



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní
Ústav energetiky**

Studie malé vodní elektrárny

Study of small water hydro power plant

Diplomová práce

Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetika

Vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Melichar, CSc.

Bc. David Razzak

Praha 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu.

V Praze dne 30. 5. 2016

.....

Bc. David Razzak

Anotační list

Jméno autora:	David Razzak
Název DP:	Studie malé vodní elektrárny
Anglický název:	Study of small water hydro power plant
Akademický rok:	2015/2016
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky/Energetické stroje a zařízení
Vedoucí DP:	Prof. Ing. Jan Melichar, CSc.
Konzultant:	Ing. Pavel Mosler
Oponent:	Prof. Ing. Jaroslav Bláha, DrSc.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 39 Počet obrázků: 26 Počet tabulek: 7 Počet příloh: 2
Klíčová slova:	Malá vodní elektrárna, šroubová turbína, Kaplanova turbína
Keywords:	Small water hydro power plant, screw turbine, Kaplan turbine
Anotace:	Práce se zabývá technicko-ekonomickou studií malé vodní elektrárny v lokalitě Ploučnice, Eliščíno údolí u Benešova nad Ploučnicí. Řeší volbu vhodného typu vodní turbíny, výpočet roční výroby elektrické energie, dobu návratnosti investice a dispoziční řešení derivační vodní elektrárny.
Abstract:	The work deals with the technical and economic studies of small hydro power plant in the locality Ploučnice, Eliščíno valley near Benešov over Ploučnice. Solves the selection of a suitable type of water turbine, the calculation of annual electricity production, payback time of investment and layout of derivation hydro power plant.

Poděkování

Úvodem bych chtěl velice poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Prof. Ing. Janu Melicharovi, CSc., za vedení této diplomové práce, jeho podnětné rady a připomínky při jejím vypracování.

Chtěl bych také poděkovat svým rodičům za podporu a trpělivost při studiu a při tvorbě této diplomové práce.



Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	7
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
1 Úvod	10
2 Popis lokality malé vodní elektrárny	11
3 Volba optimálního typu turbíny pro lokalitu	15
3.1 Kaplanova turbína	16
3.1.1 Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie	17
3.1.2 Výpočet doby návratnosti investice	23
3.2 Šroubová turbína	24
3.2.1 Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie	25
3.2.2 Výpočet doby návratnosti investice	27
3.3 Závěr k volbě turbíny	27
4 Dispoziční řešení MVE	28
4.1 Úprava lokality	28
4.2 Šroubová turbína	32
4.3 Plechový žlab a betonový kanál	33
4.4 Převodovka	34
4.5 Generátor	34
4.6 Budova strojovny a ochranné prvky	35
5 Závěr	37
6 Seznam použité literatury	38
Seznam příloh	39
Přílohy	39



Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam zkratek:

MVE Malá vodní elektrárna

Seznam symbolů:

Označení	Veličina	Jednotka
CF	Roční peněžní toky	Kč
E	Měrná energie turbíny	$J \cdot kg^{-1}$
F	Plocha povodí	km^2
g	Gravitační zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
h	Počet hodin provozu turbíny	1
H	Čistý spád	m
H_b	Hrubý spád	m
H_{Sa}	Průměrná dlouhodobá roční výška srážek na povodí	mm
IN	Investiční náklady	Kč
M	Počet dní za rok	den
n_1	Otáčky šroubové turbíny	min^{-1}
n_2	Otáčky generátoru	min^{-1}
N	Vyrobena elektrická energie	Wh
P_G	Výkon generátoru	W
P_T	Výkon turbíny	W
Q	Průtok turbíny	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_a	Průměrný dlouhodobý roční průtok	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_{max}	Maximální průtok turbíny	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_{min}	Minimální průtok turbíny	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_{Md}	M - denní průměrný průtok	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_n	Jmenovitý průtok turbíny	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_s	Minimální zůstatkový průtok	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_V	Využitelný průtok ve vodní elektrárně	$m^3 \cdot s^{-1}$
T_s	Doba návratnosti investice	rok
ρ	Měrná hmotnost	$kg \cdot m^{-3}$
η_T	Účinnost turbíny	1
η_G	Účinnost generátoru	1
η_P	Účinnost převodu	1



Seznam obrázků

Obr. 2.1 - Poloha lokality MVE vzhledem k Benešovu nad Ploučnicí [10].....	11
Obr. 2.2 - Detailní pohled na lokalitu MVE [10].....	11
Obr. 2.3 - Křivka překroč. průměrných denních průtoků Q_{Md} : Ploučnice 1–14–03–100.....	12
Obr. 2.4 - Křivka překročení denních využitelných průtoků ve vodní elektrárně Q_v	14
Obr. 3.1 - Oblasti použití turbín pro MVE [1].....	15
Obr. 3.2 - Oblasti použití turbín podle firmy MAS HYDRO, a.s. [9].....	16
Obr. 3.3 - Kaplanova turbína [2].....	17
Obr. 3.4 - Turbína KB 1290 K3.....	18
Obr. 3.5 - Turbína KB 1290 K3.....	19
Obr. 3.6 - Závislost účinnosti Kaplanovy a Francisovy turbíny na průtoku.....	20
Obr. 3.7 - Reg. rozsah průtoků turb. KB 1290 K3 v křivce překroč. den. využ. průtoků.....	22
Obr. 3.8 - Šroubový vodní motor [2].....	24
Obr. 3.9 - Znázornění účinnosti na průtoku a reg. rozsahu průtoků šroub. turbíny [9].....	25
Obr. 3.10 - Reg. rozsah průtoků šroub. turbíny v křivce překroč. denních využ. průtoků.....	26
Obr. 4.1 - Schéma uspořádání derivační vodní elektrárny [1].....	28
Obr. 4.2 - Pohled znázorňující směr, ve kterém by se vybudoval nový vodní kanál.....	29
Obr. 4.3 - Situování nově vybudovaného vodního kanálu v dané lokalitě.....	29
Obr. 4.4 - Znázornění přesměrování průtoku vody z derivačního přivaděče do řeky.....	30
Obr. 4.5 - Pohled na kanál spojující derivační přivaděč s řekou (fotka č. 1).....	31
Obr. 4.6 - Pohled na kanál spojující derivační přivaděč s řekou (fotka č. 2).....	31
Obr. 4.7 - Šroubová turbína.....	32
Obr. 4.8 - Plechový žlab.....	33
Obr. 4.9 - Uložení šroubové turbíny ve žlabu a v ložiscích.....	33
Obr. 4.10 - Pohled do strojovny.....	34
Obr. 4.11 - Dispoziční řešení MVE.....	35
Obr. 4.12 - Dispoziční řešení MVE z více pohledů.....	36



Seznam tabulek

Tab. 2.1 - Průměrné denní průtoky Q_{Md} : Ploučnice 1–14–03–100 [5].....	12
Tab. 2.2 - Směrné hodnoty minimálního zůstatkového průtoku [11].....	13
Tab. 2.3 - Denní využitelné průtoky ve vodní elektrárně Q_v	14
Tab. 3.1 - Motory s vysokou účinností IE3 od firmy Siemens [13]... ..	21
Tab. 3.2 - Výpočet hrubé roční výroby el. energie při použití turbíny KB 1290 K3.....	22
Tab. 3.3 - Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie při použití šroubové turbíny.....	26
Tab. 3.4 - Ekonomické porovnání jednotlivých variant.....	27



1 Úvod

Vodní energie je v historii lidstva nejdéle technicky využívanou formou energie v přírodě. Její využívání je neoddelitelně spjata s vývojem civilizace. Vodní energie je zdrojem relativně dostupným, čistým a především obnovitelným (nevyčerpatelným). Z hlediska technického využití mechanické energie vod v přírodě je nejvýznamnější energie vodních toků. Využívá se její forma potenciální (polohová a tlaková) a okrajově i kinetická (rychlostní). Energii vodních toků lze využívat strojně-technologickým zařízením poměrně vysoké technicko-ekonomické úrovně ve vodních elektrárnách. Nutnou a podstatnou součástí každé vodní elektrárny je vodní motor (turbína), tj. stroj, ve kterém dochází k transformaci (přeměně) energie vodního toku (hydraulické energie) na energii mechanickou. [1]

Zatímco výstavba velkých vodních elektráren s akumulací je v současné době u nás předmětem diskusí a polemik pro své lokální vlivy na okolní prostředí, opodstatněnost výstavby malých, vesměs průtočných, vodních elektráren se všeobecně považuje za nespornou. Význam a možnosti efektivního využití vodní energie pro krytí energetických potřeb České republiky jsou ovšem omezené, protože velká část hydroenergetického potenciálu je rozptýlena v malých tocích. Vodní energie je tedy pouze doplňkovým, nicméně kvalitativně velmi cenným zdrojem výroby elektrické energie, jehož využití se ukazuje jako nezbytné. [3]

Vodní elektrárny mají relativně vysoký počet provozních hodin v roce a to při nízkých provozních nákladech. Poruchovost zařízení vodních elektráren je velmi malá a jejich provoz může být prakticky bezobslužný. V současnosti je velmi významný i přínos hydroenergetických zařízení k úspoře fosilních paliv při pokrývání rostoucí spotřeby elektrické energie. [2]

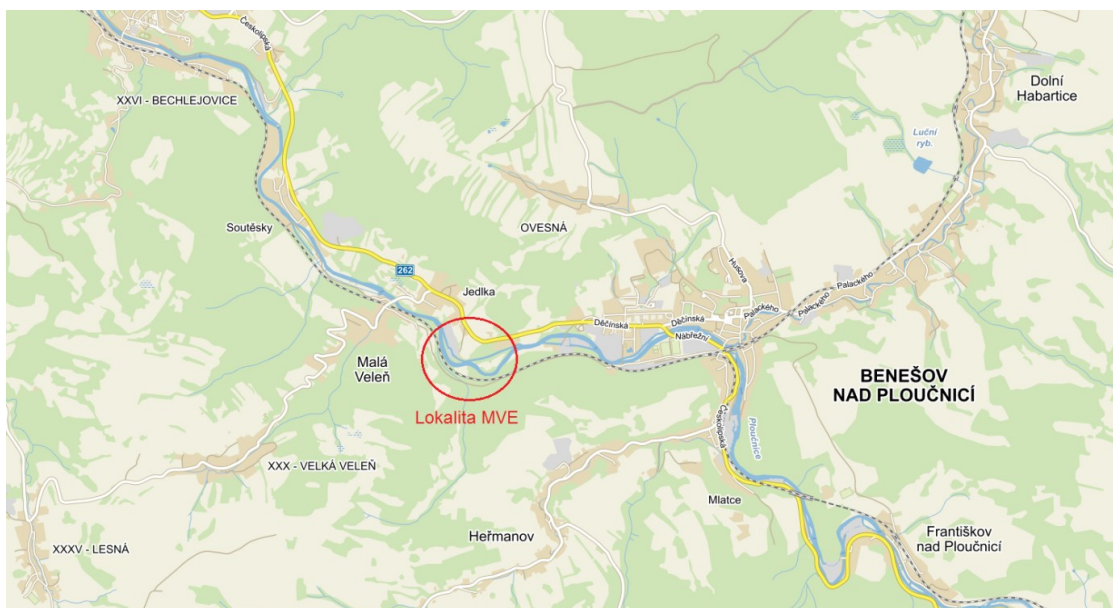
Výstavbu nových vodních děl omezuje mj. i to, že značný počet lokalit přicházejících v úvahu pro stavbu vodního díla leží v chráněných krajinných oblastech. V současnosti je proto zájem soustředěn zejména na obnovu a rekonstrukci malých vodních děl v lokalitách, v nichž zařízení využívající vodní energii již v minulosti pracovala. Důvody pro výhodnost rekonstrukce ve starších objektech, příp. modernizace stávajících vodních elektráren, oproti budování nového vodního díla, jsou jak ekologické, tak ekonomické. [2]

Cílem této diplomové práce je návrh MVE v lokalitě Ploučnice, Eliščino údolí u Benešova nad Ploučnicí. Při návrhu MVE je nejdůležitější zvolit vhodný typ vodní turbíny pro danou lokalitu. Jako hlavní hodnotící hlediska pro volbu vhodného typu vodní turbíny zvolím dobu návratnosti investice MVE a roční výrobu elektrické energie. Pro vhodný typ vodní turbíny nakonec navrhnou dispoziční řešení MVE.



2 Popis lokality malé vodní elektrárny

Lokalita MVE se nachází na řece Ploučnici u města Benešov nad Ploučnicí. Poblíž lokality je vedena místní komunikace, která zajišťuje bezproblémovou dostupnost. Ve vzdálenosti přibližně 10 m od levého břehu řeky ve směru proudu vede železniční trať Děčín – Benešov nad Ploučnicí. Vhodné místo pro instalaci turbíny je na pozemku firmy Marwi CZ, s.r.o., ke kterému vede derivační kanál o maximálním průtoku $8,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Čistý spád je v tomto místě 3,25 m. Konkrétní umístění lokality je znázorněno na obrázcích 2.1 a 2.2.



Obr. 2.1 - Poloha lokality MVE vzhledem k Benešovu nad Ploučnicí [10]



Obr. 2.2 - Detailní pohled na lokalitu MVE [10]



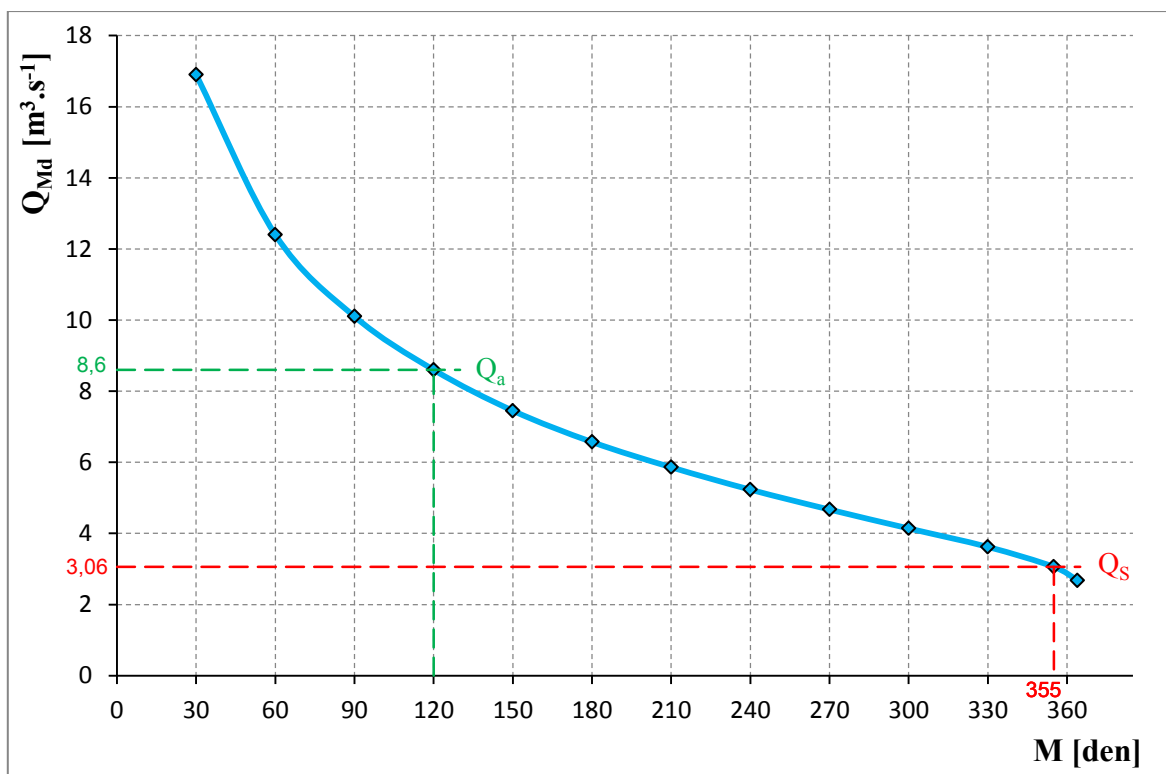
Hydrologická data: [5]

Tok: Ploučnice
Hydrologické číslo povodí: 1-14-03-100
V profilu: 8,8 km
Plocha povodí: $F = 1162 \text{ km}^2$
Průměrná dlouhodobá roční výška srážek na povodí: $H_{Sa} = 673 \text{ mm}$
Průměrný dlouhodobý roční průtok: $Q_a = 8,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Třída: III

M [den]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_{Md} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	16,9	12,4	10,1	8,6	7,45	6,57	5,86	5,23	4,67	4,14	3,62	3,06	2,68

Tab. 2.1 - Průměrné denní průtoky Q_{Md} : Ploučnice 1-14-03-100 [5]

Průběh průměrných denních průtoků Q_{Md} je znázorněn v obr. 2.3.



Obr. 2.3 - Křivka překročení průměrných denních průtoků Q_{Md} : Ploučnice 1-14-03-100

kde:

Q_s - minimální zůstatkový průtok (sanační průtok) [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 Q_a - průměrný dlouhodobý roční průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]



Minimální zůstatkový průtok

Minimální zůstatkový průtok (Q_S) je minimální průtok, který je nutno ponechat ve vodním toku v daném profilu nebo úseku pro udržení jeho základních vodohospodářských a ekologických funkcí. Zůstatkový průtok je průtok, který zůstane ve vodním toku v daném profilu nebo úseku po jednom nebo více odběrech vod nebo jejich jiném užívání. Průtok Q_{364d} , Q_{355d} , Q_{330d} je průtok v daném profilu vodního toku, který byl dosažen nebo překročen průměrně 364, 355 nebo 330 dní v roce. Směrné hodnoty minimálního zůstatkového průtoku se stanoví podle následující tab. 2.2. [11]

Průtok Q_{355d} [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Minimální zůstatkový průtok Q_S [$m^3 \cdot s^{-1}$]
< 0,05	Q_{330d}
0,05 - 0,5	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
0,51 - 5,0	Q_{355d}
> 5,0	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

Tab. 2.2 - Směrné hodnoty minimálního zůstatkového průtoku [11]

Z tabulky 2.1 se zjistí pro vodní tok v daném profilu hodnota $Q_{355d} = 3,06 m^3 \cdot s^{-1}$. Podle tabulky 2.2 tato hodnota odpovídá průtoku Q_{355d} v intervalu 0,51 - 5,0 $m^3 \cdot s^{-1}$. Minimální zůstatkový průtok Q_S potom odpovídá hodnotě $Q_{355d} = 3,06 m^3 \cdot s^{-1}$.

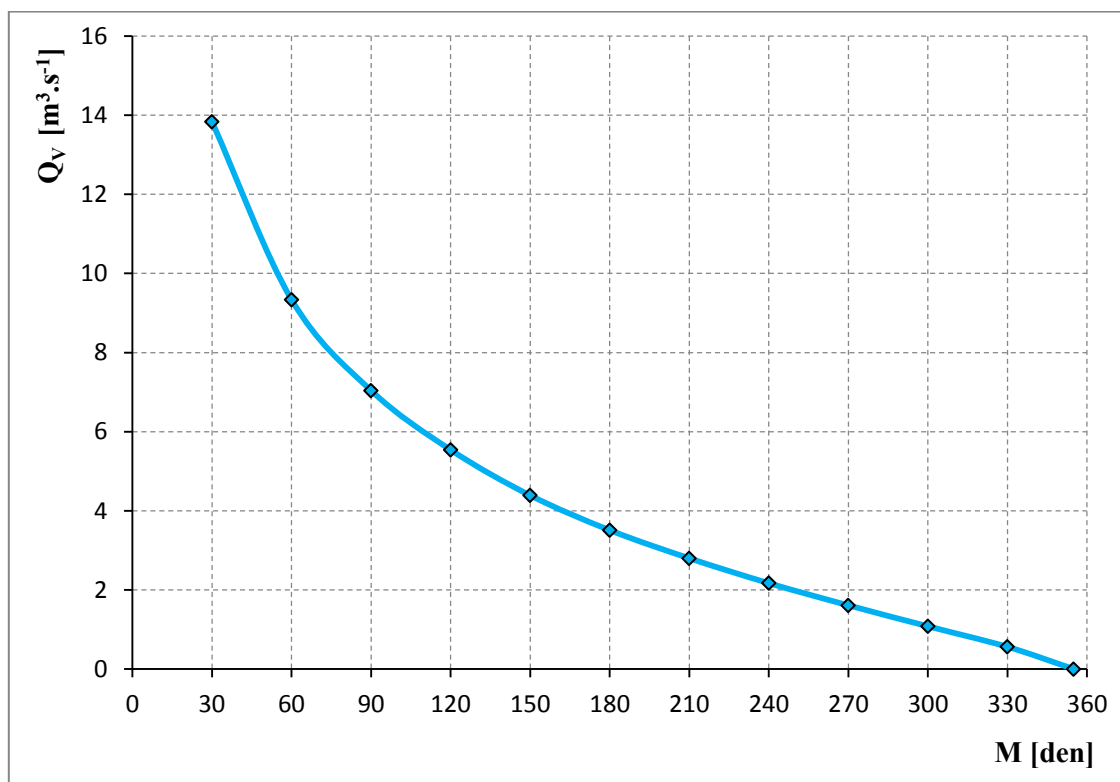
Po odečtení minimálního zůstatkového průtoku $Q_S = Q_{355d}$ od hodnot Q_{Md} z tabulky 2.1, získáme hodnoty využitelných průtoků ve vodní elektrárně Q_V , které jsou uvedeny v tabulce 2.3 a jejich grafické znázornění je v obr. 2.4.



$$Q_V = Q_{Md} - Q_S \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (2.1)$$

M [den]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355
$Q_V [m^3 \cdot s^{-1}]$	13,84	9,34	7,04	5,54	4,39	3,51	2,8	2,17	1,61	1,08	0,56	0

Tab. 2.3 - Denní využitelné průtoky ve vodní elektrárně Q_V



Obr. 2.4 - Křivka překročení denních využitelných průtoků ve vodní elektrárně Q_V



3 Volba optimálního typu turbíny pro lokalitu

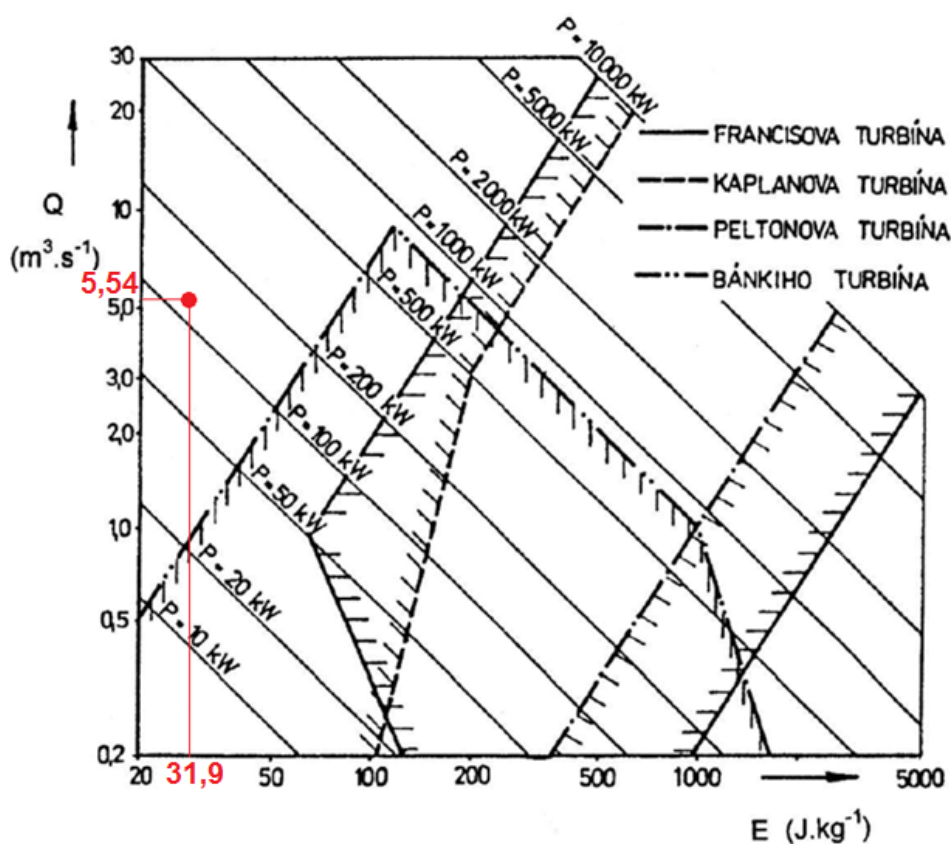
Lokalita má následující parametry:

- hrubý spád $H_b = 3,6$ m
- čistý spád $H = 0,9 \cdot H_b = 0,9 \cdot 3,6 = 3,25$ m
- průměrný dlouhodobý roční průtok $Q_a = 8,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- minimální zůstatkový průtok $Q_s = 3,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Turbína má tedy následující parametry:

- měrná energie turbíny $E = g \cdot H = 9,81 \cdot 3,25 = 31,9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- průměrný roční průtok turbínou $Q = Q_a - Q_s = 8,6 - 3,06 = 5,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

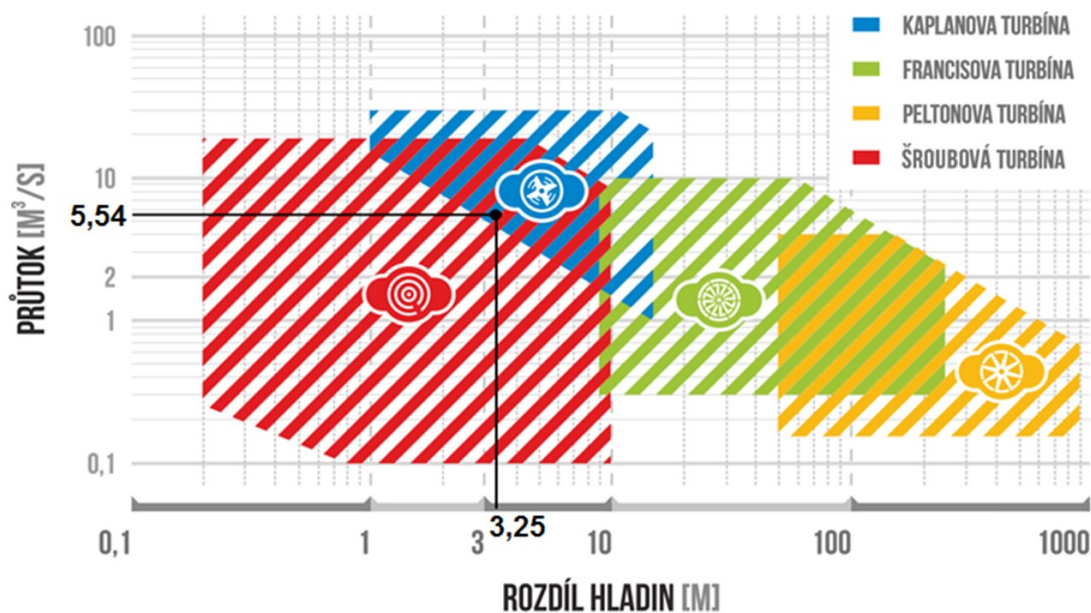
Z obr. 3.1 vyplývá, že pro parametry $E = 31,9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $Q = 5,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je Kaplanova turbína nejvhodnější pro danou lokalitu.



Obr. 3.1 - Oblasti použití turbín pro MVE [1]



Z obr. 3.2 vyplývá, že pro parametry $H = 3,25$ m a $Q = 5,54$ m³.s⁻¹ je Kaplanova i šroubová turbína nejvhodnější pro danou lokalitu.



Obr. 3.2 - Oblasti použití turbín podle firmy MAS HYDRO, a.s. [9]

Pro oba typy turbín provedu odhad roční výroby elektrické energie MVE, ze kterého určím roční výnos. Dále pro oba typy turbín odhadnu celkové investiční náklady na stavbu MVE a vypočtu dobu návratnosti investice. Na základě těchto kritérií potom vyberu vhodnější turbínu pro danou lokalitu.

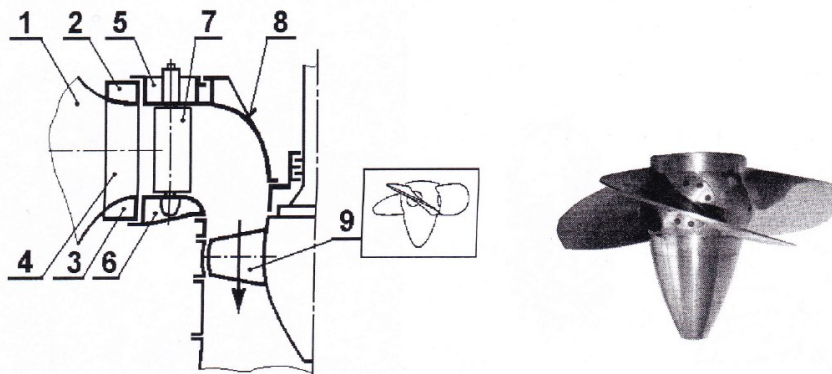
3.1 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína je přetlaková axiální. Oběžné kolo bez vnějšího věnce má oběžné lopatky upevněny natáčivě v náboji kola. Náboj má hydrodynamicky vhodný tvar (v prostoru lopatek je plocha náboje kulová). Lopatky jsou ovládané regulačním mechanismem, osazeným uvnitř náboje kola. Osa čepů lopatek svírá s osou náboje úhel 90°. U standardních provedení se jejich plynulé natáčení provádí za provozu stroje. Rozváděč, který je u klasického provedení řešen, jako radiální, má rovněž natáčivé lopatky, ovládané vlastním regulačním mechanismem. Změna polohy oběžných a rozváděcích lopatek je prováděna současně, vázaně. Obvyklé provedení turbíny je vertikální (u turbín větších výkonů), příp. horizontální, se spirálou. Běžná je sací trouba. Moderním řešením je přímoproudá axiální turbína nízkospádová, malých i velkých výkonů. U této axiální turbíny, která nemá spirálu, je rozváděč diagonální až axiální. [2]



Variantami řešení Kaplanovy turbíny jsou turbíny: [2]

- **axiální neregulovatelná**; oběžné i rozváděcí lopatky jsou pevné
- **propelerová**; oběžné lopatky jsou pevné, příp. přestavitelné po demontáži za klidu stroje, regulace se provádí nastavením rozváděcích lopatek, které jsou natáčivé
- **semikaplan**; regulace turbíny je prováděna pouze nastavením lopatek oběžného kola, které jsou natáčivé za chodu, rozváděcí lopatky jsou pevné.



1 - spirála, 2 - horní výztužný kruh, 3 - dolní výztužný kruh, 4 - výztužné lopatky,
5 - horní lopatkový kruh, 6 - dolní lopatkový kruh, 7 - rozváděcí lopatky,
8 - víko turbíny, 9 - oběžné kolo

Obr. 3.3 - Kaplanova turbína [2]

3.1.1 Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie

Pro výpočet hrubé roční výroby elektrické energie použiji Kaplanovu turbínu firmy Mavel, a.s., která mi poskytla technické parametry Kaplanovy turbíny vhodné pro danou lokalitu. Jedná se o Kaplanovu turbínu KB 1290 K3.

Technické parametry Kaplanovy turbíny KB 1290 K3:

Průměr oběžného kola:	1290 mm
Počet lopatek oběžného kola:	3 ks
Počet lopatek rozváděcího kola:	16 ks
Jmenovitý čistý spád pro Q_{\max} :	3,25 m
Maximální průtok turbíny Q_{\max} :	$8,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Minimální průtok turbíny Q_{\min} :	$1,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Otáčky turbíny:	219 min^{-1}
Maximální výkon turbíny (na hřídeli turbíny):	241 kW



DIPLOMOVÁ PRÁCE STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

Jmenovitý průtok turbíny se dopočte ze vztahu:

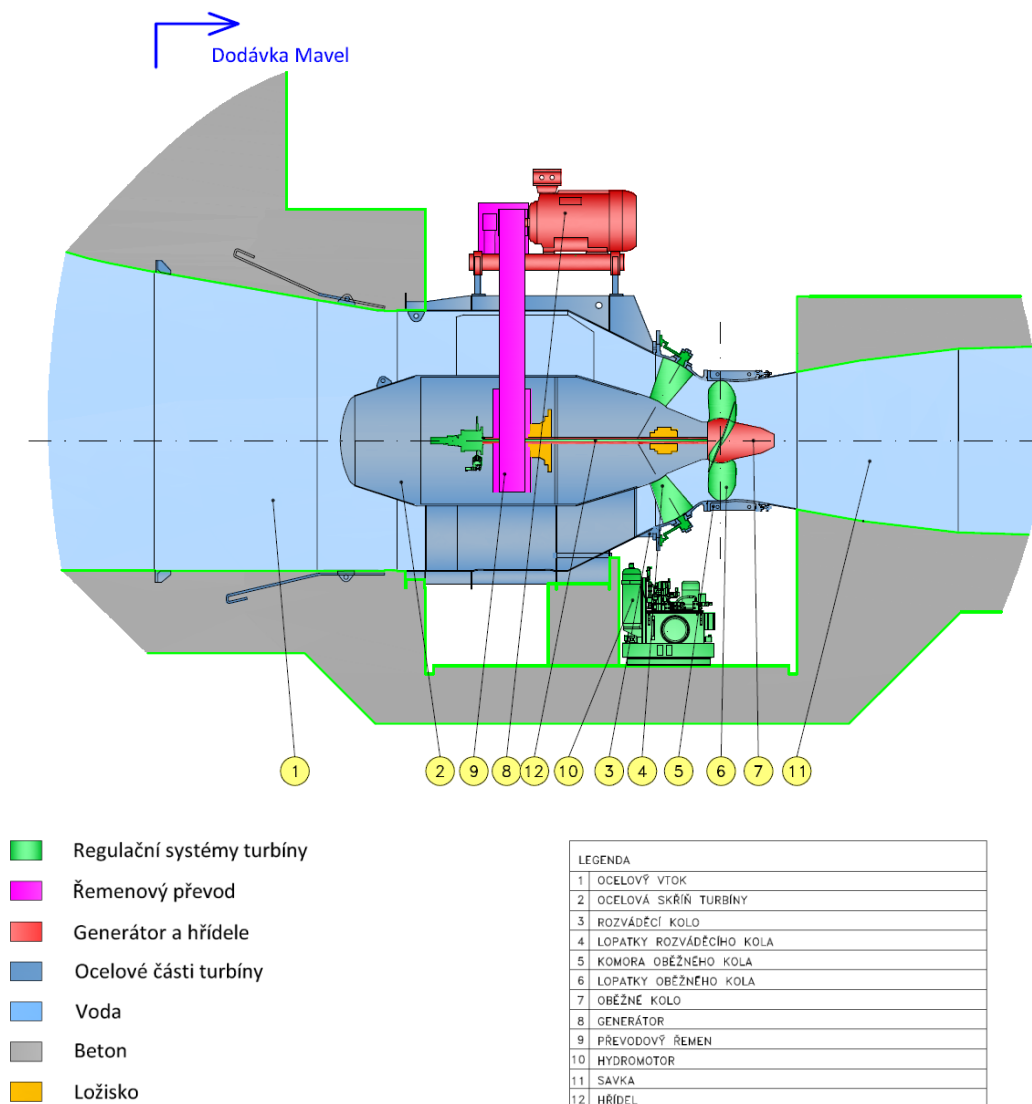
$$Q_n \doteq Q_{\text{stř}} = \frac{Q_{\text{max}} + Q_{\text{min}}}{2} = \frac{8,5 + 1,65}{2} = 5,075 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.1)$$

Regulační rozsah průtoků turbíny potom vychází:

$$Q_{\text{min}} = 0,325 \cdot Q_n \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{max}} = 1,675 \cdot Q_n \quad (3.3)$$

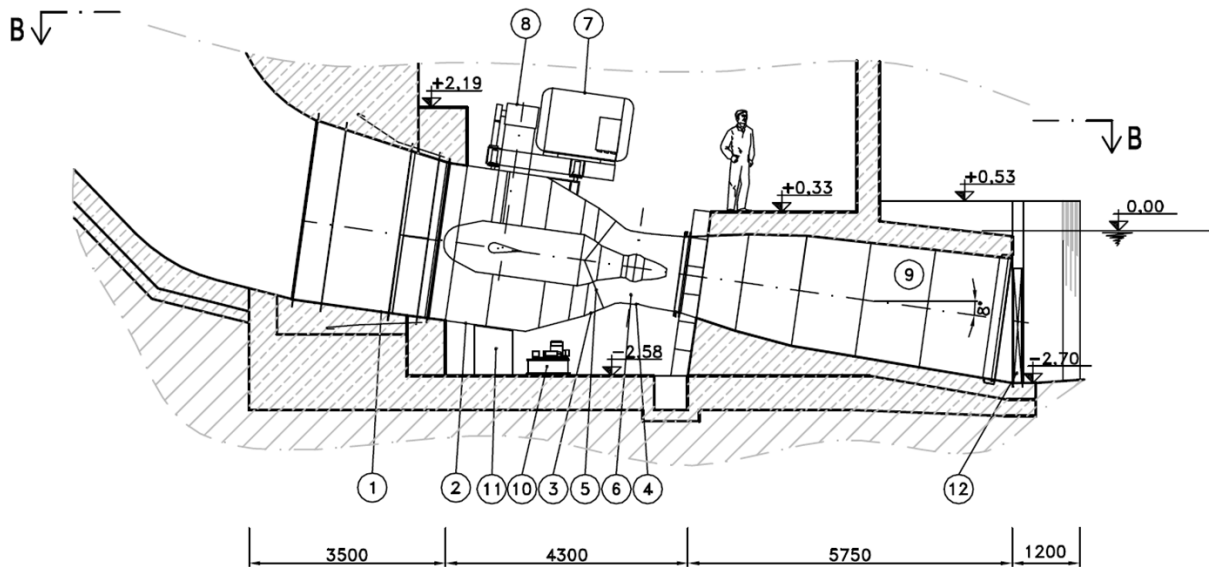
Uložení turbíny KB 1290 K3 ve strojně je znázorněno na obrázcích 3.4 a 3.5.



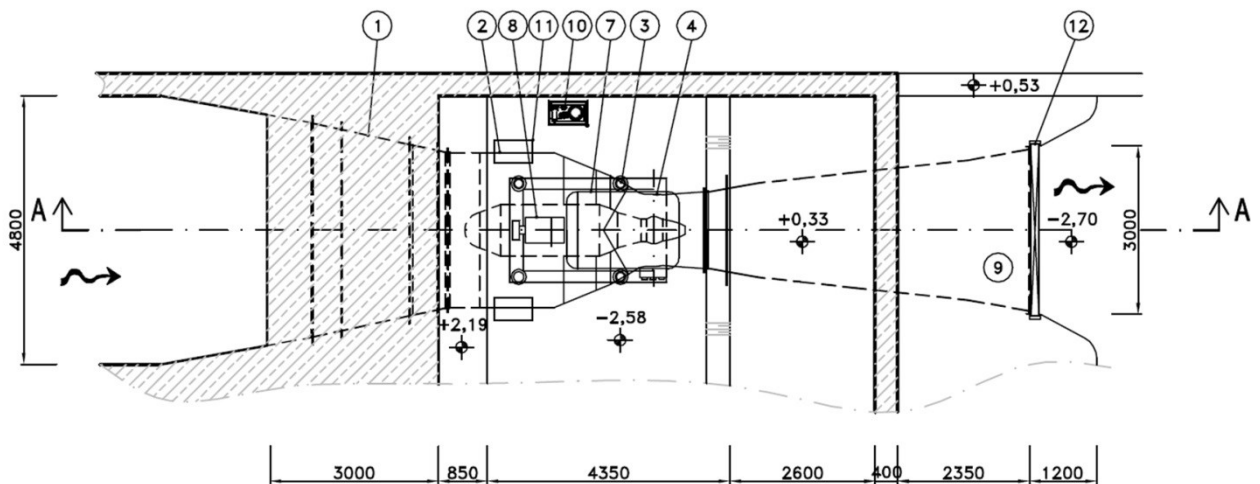
Obr. 3.4 - Turbína KB 1290 K3



podélný řez A-A



půdorys B-B



- 1 - vtok, 2 - skříň turbíny, 3 - komora rozváděcího kola, 4 - komora oběžného kola, 5 - lopatky rozváděcího kola, 6 - lopatky oběžného kola, 7 - generátor, 8 - plochý řemen, 9 - savka, 10 - hydraulický agregát regulace turbíny, 11 - kotevní patky turbíny, 12 - provizorní hrazení

Obr. 3.5 - Turbína KB 1290 K3

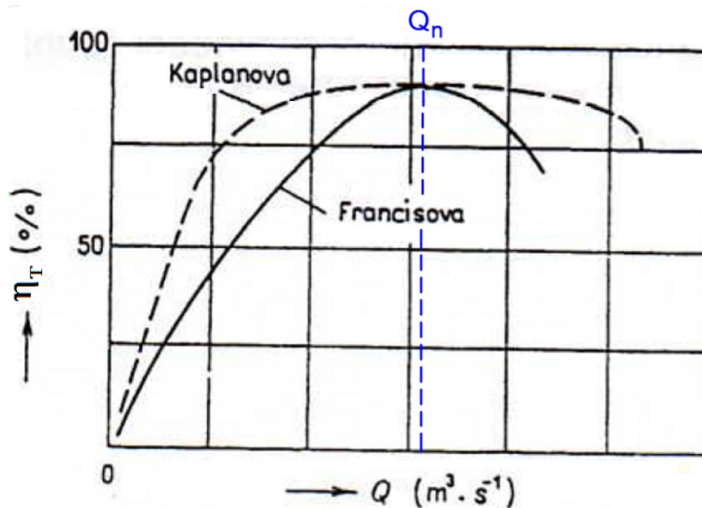


Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie provedu se zjednodušujícími předpoklady:

- 1) $H = \text{konst}$; neměnnost spádu, ve skutečnosti kolísá hladina vody ve vtokovém objektu v závislosti na konkrétním odebíraném množství vody turbínou event. turbínami
- 2) $\eta_G = \text{konst}$; neměnnost účinnosti generátoru
- 3) $\eta_T = \text{konst}$; neměnnost účinnosti turbíny v celém svém regulačním rozsahu průtoků

Ve skutečnosti závisí účinnost turbíny nejen na druhu a velikosti turbíny, ale i na protékajícím množství vody turbínou (viz obr. 3.6). Při jmenovitém průtoku Q_n je hodnota účinnosti maximální a turbína má nejlepší hydraulické vlastnosti. Pro výpočet hrubé roční výroby elektrické energie použiji střední účinnost Kaplanovy turbíny ($\eta_T \cong 0,88$).

Uvedené zjednodušení výpočtu hrubé roční výroby elektrické energie použiji, protože nemám k dispozici konkrétní závislost účinnosti turbíny KB 1290 K3 na průtoku. Od firmy Mavel, a.s. jsem nezískal žádné informace ohledně účinnosti této turbíny.



Obr. 3.6 - Závislost účinnosti Kaplanovy a Francisovy turbíny na průtoku

Ve výpočtu se použijí následující vztahy:

$$\text{Výkon turbíny:} \quad P_T = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_T \quad [\text{W}] \quad (3.4)$$

$$\text{Výkon generátoru:} \quad P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \eta_P \quad [\text{W}] \quad (3.5)$$

$$\text{Vyrobená elektrická energie:} \quad N = P_G \cdot h \quad [\text{Wh}] \quad (3.6)$$



DIPLOMOVÁ PRÁCE STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

kde:

Q - objemový průtok turbínou	[m ³ .s ⁻¹]
H - čistý spád	[m]
h - počet hodin provozu turbíny	[1]
ρ - měrná hmotnost (hustota) vody ($\rho \cong 999 \text{ kg.m}^{-3}$)	[kg.m ⁻³]
g - gravitační zrychlení ($g \cong 9,81 \text{ m.s}^{-2}$)	[m.s ⁻²]
η_T - účinnost turbíny	[1]
η_G - účinnost generátoru	[1]
η_P - účinnost převodu ($\eta_P \cong 0,96$)	[1]

Instalován bude jeden 4 - pólový asynchronní generátor 1LG6318-4MA o maximálním výkonu 250 kW od firmy Siemens. Základní údaje o tomto generátoru jsou uvedeny v tab. 3.1. Při výpočtu hrubé roční výroby elektrické energie budu počítat se střední hodnotou účinnosti tohoto generátoru $\eta_G = 95,8 \%$.

Provozní hodnoty při jmenovitém výkonu															Litinová řada 1LG6, provedení IE3 podle ČSN EN 60034-30		m_{MB3}		J		Momentová třída	
P_N 50 Hz	P_N 60 Hz ¹⁾	Veli- kost	n_N 50 Hz	M_N 50 Hz	IE třída	η_N 50 Hz	η_N 50 Hz	η_N 50 Hz	$\cos \varphi_N$	I_N 50 Hz	M_k/I M_N	I_k/I I_N	M_k/M_N	L_{pSA} 50 Hz	L_{WA} 50 Hz	▲	*	kg	kgm ²	KL		
kW	kW		min ⁻¹	Nm		%	%	%		A				dB(A)	dB(A)	▲	▲					
<ul style="list-style-type: none"> • Chlazení: vlastní chlazení (IC 411) • Účinnost: vysoká účinnost IE3 (Premium efficiency), servisní faktor 1,15 • Izolační systém: tepelná třída 155 (F), využití na tepelnou třídu 130 (B), ochrana krytem IP55 																						
2-pólové: 3000 min ⁻¹ při 50 Hz, 3600 min ⁻¹ při 60 Hz ¹⁾																						
110	123	315 S	2982	352	IE3	95,2	95,1	94,2	0,91	184 ²⁾	2,4	6,9	2,8	80	94	▲	▲	1LG6310-2AB	■-Z D25	790	1,4	13
132	148	315 M	2982	423	IE3	95,4	95,3	94,7	0,91	220 ²⁾	2,6	7,1	2,9	80	94	▲	▲	1LG6313-2AB	■-Z D25	915	1,6	13
160	180	315 L	2982	512	IE3	95,6	95,6	95,2	0,92	265	2,5	7,1	2,9	80	94	▲	▲	1LG6316-2AB	■-Z D25	1055	2,1	13
200	224	315 L	2982	641	IE3	95,8	95,8	95,5	0,93	325	2,5	6,9	2,8	80	94	▲	▲	1LG6317-2AB	■-Z D25	1245	2,5	13
250	280	315 L	2985	800	IE3	95,8	95,9	95,3	0,92	410	3,1	8,8	3,4	78	92	▲	▲	1LG6318-2MB	■-Z D25	1290	2,7	16
315	353	315 L	2990	1006	IE3	95,8	95,5	94,5	0,89	530	3,4	9,0	3,8	82	96	▲	▲	1LG6312-2MA	■-Z D25	1355	2,8	16
4-pólové: 1500 min ⁻¹ při 50 Hz, 1800 min ⁻¹ při 60 Hz ¹⁾																						
110	127	315 S	1488	706	IE3	95,4	95,5	95,1	0,87	192 ²⁾	2,7	7,1	2,9	70	84	▲	▲	1LG6310-4AA	■-Z D25	810	2,3	16
132	152	315 M	1488	847	IE3	95,6	95,7	95,4	0,88	225 ²⁾	2,7	7,3	2,9	71	85	▲	▲	1LG6313-4AA	■-Z D25	965	2,9	16
160	184	315 L	1490	1026	IE3	95,8	95,9	95,6	0,88	275 ³⁾	3,0	7,4	3,0	71	85	▲	▲	1LG6316-4AA	■-Z D25	1105	3,5	16
200	230	315 L	1490	1282	IE3	96,0	96,1	95,8	0,88	340 ³⁾	3,2	7,6	3,0	71	85	▲	▲	1LG6317-4AA	■-Z D25	1305	4,2	16
250	288	315 L	1488	1605	IE3	96,0	96,1	95,6	0,87	430	3,1	7,7	3,2	73	87	▲	▲	1LG6318-4MA	■-Z D25	1270	4,2	16
315	362	315 L	1488	2022	IE3	96,0	95,8	95,3	0,86	550	3,4	7,9	3,2	74	89	▲	▲	1LG6312-4MA	■-Z D25	1480	5,0	16
6-pólové: 1000 min ⁻¹ při 50 Hz, 1200 min ⁻¹ při 60 Hz ¹⁾																						
75	90	315 S	990	724	IE3	94,6	94,6	94,2	0,83	138	2,8	7,3	3,0	63	77	▲	▲	1LG6310-6AA	■-Z D25	760	2,5	16
90	108	315 M	990	868	IE3	94,9	95,0	94,6	0,85	162 ²⁾	2,7	7,3	2,9	63	77	▲	▲	1LG6313-6AA	■-Z D25	935	3,2	16
110	132	315 L	990	1061	IE3	95,1	95,2	95,0	0,85	196	2,9	7,4	2,9	64	78	▲	▲	1LG6316-6AA	■-Z D25	1010	4,0	16
132	158	315 L	990	1273	IE3	95,4	95,4	95,0	0,85	235	3,1	7,8	3,1	64	78	▲	▲	1LG6317-6AA	■-Z D25	1180	4,7	16
160	192	315 L	990	1543	IE3	95,6	95,6	95,3	0,86	280 ³⁾	3,2	7,8	3,1	65	79	▲	▲	1LG6318-6AA	■-Z D25	1245	5,4	16
200	240	315 L	990	1929	IE3	95,8	96,1	95,9	0,83	365 ³⁾	2,6	7,7	2,8	67	81	▲	▲	1LG6312-6MA	■-Z D25	1545	6,1	16

Tab. 3.1 - Motory s vysokou účinností IE3 od firmy Siemens [13]



DIPLOMOVÁ PRÁCE STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

Turbína KB 1290 K3 bude provozována v rozmezí průtoků $Q_{\max} \geq Q \geq Q_{\min}$;

- maximální průtok vody turbínou $Q_{\max} = 8,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = Q_{70}$
- minimální průtok vody turbínou $Q_{\min} = 1,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = Q_{268}$

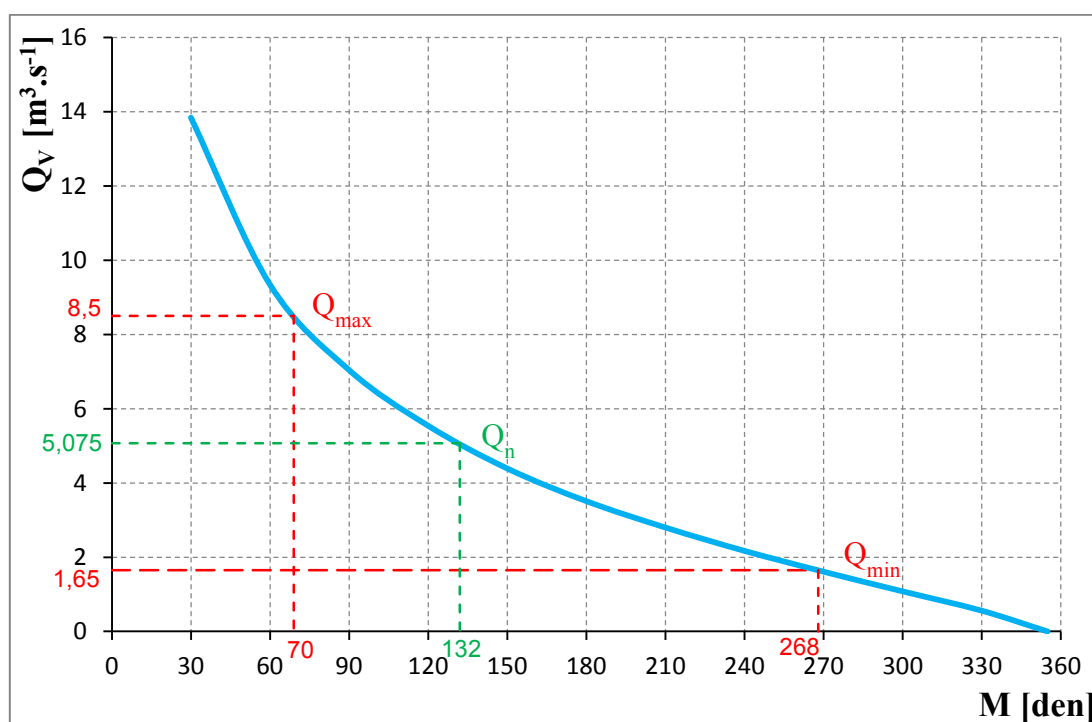
V uvedeném regulačním rozsahu, tj. pro Q_{70} až Q_{268} , budou pro výpočet výkonu turbíny uvažovány střední hodnoty průtoku v desetidenních obdobích. Od $M = 268$ se turbína odstaví z provozu, protože využitelný průtok Q_v je menší než minimální průtok vody turbínou Q_{\min} . Z výpočtu plyne, že turbína vyrobí každý rok přibližně 884 000 kWh (viz tab. 3.2).

M [den]	30	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Q_v [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	13,84	9,34	8,5	7,75	7,04	6,54	6,04	5,54	5,16	4,77	4,39	4,1
Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	8,5	8,5	8,5	8,13	7,40	6,79	6,29	5,79	5,35	4,97	4,58	4,25
P_T [kW]	238,24	238,24	238,24	227,73	207,27	190,31	176,30	162,29	149,95	139,16	128,37	118,98
P_G [kW]	219,11	219,11	219,11	209,44	190,62	175,03	162,14	149,25	137,91	127,98	118,06	109,42
h [l]	720	720	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
N [kWh]	157757	157757	52586	50266	45750	42007	38913	35820	33098	30716	28334	26262

Tab. 3.2 (1. část) - Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie při použití turbíny KB 1290 K3

M [den]	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	268
Q_v [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	3,8	3,51	3,27	3,04	2,8	2,59	2,38	2,17	1,98	1,8	1,65
Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	3,95	3,66	3,39	3,16	2,92	2,70	2,49	2,28	2,08	1,89	1,73
P_T [kW]	110,71	102,44	95,02	88,43	81,84	75,54	69,65	63,76	58,16	52,97	48,35
P_G [kW]	101,82	94,22	87,39	81,33	75,27	69,47	64,06	58,64	53,49	48,72	44,47
h [l]	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	192
N [kWh]	24437	22612	20972	19519	18065	16673	15374	14074	12837	11693	8537
N [kWh/rok]	884058	Zaokrouhleno na 884 000									

Tab. 3.2 (2. část) - Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie při použití turbíny KB 1290 K3



Obr. 3.7 - Regulační rozsah průtoků turbíny KB 1290 K3 v křivce překročení denních využitelných průtoků



3.1.2 Výpočet doby návratnosti investice

Firma Mavel, a.s. bohužel nevedla orientační cenu Kaplanovy turbíny KB 1290 K3 a ani přibližnou cenu stavební části MVE. Firma VODNÍ TURBÍNY s.r.o., která vyrábí rovněž Kaplanovy turbíny mi ale poskytla informace ohledně přibližné celkové ceny stavby i technologie MVE pro danou lokalitu. V obou případech se jedná o přímoproudou Kaplanovu turbínu. Proto si myslím, že se výsledná cena MVE z důvodu konkurence mezi těmito firmami nebude výrazně lišit. Podle firmy VODNÍ TURBÍNY s.r.o. bude pro danou lokalitu cena technologie 5 mil. Kč a cena stavby 15 mil. Kč. Celková cena MVE při použití přímoproudé Kaplanovy turbíny bude tedy přibližně 20 mil. Kč.

Podle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.1/2014 ze dne 12. listopadu 2014, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie je stanovena výkupní cena na elektřinu pro malé vodní elektrárny na 3,23 Kč/kWh. [14]

Doba návratnosti investice se vypočte ze vztahu (3.7). [12]

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad [\text{rok}] \quad (3.7)$$

kde:

IN - investiční náklady [Kč]

CF - roční peněžní toky [Kč]

Turbína KB 1290 K3 vyrobí každý rok 884 000 kWh a při výkupní ceně 3,23 Kč/kWh bude roční zisk činit 2 855 000 Kč.

$$CF = 884\,000 \cdot 3,23 = 2\,855\,000 \text{ Kč} \quad (3.8)$$

Doba návratnosti investice potom vychází na 7 let.

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{20\,000\,000}{2\,855\,000} = 7 \text{ let} \quad (3.9)$$

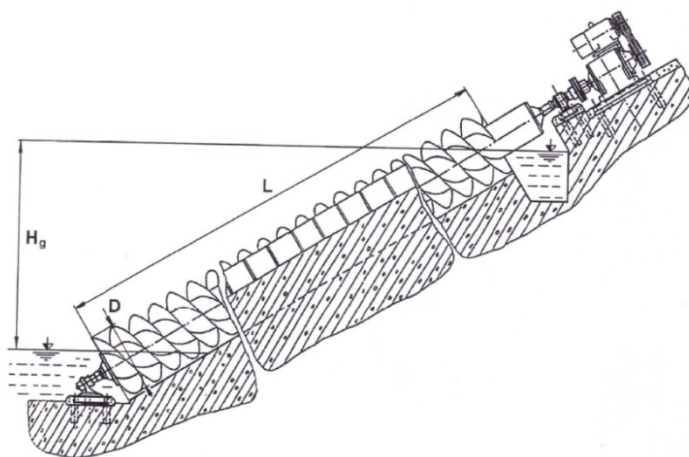


3.2 Šroubová turbína

Šroubové vodní motory jsou vysoce spolehlivým nástrojem získávání elektřiny z obnovitelných zdrojů s minimálním vlivem na životní prostředí. Jedná se o moderní využití technologie, která je jako Archimédův šroub známá již z antického Řecka. Tento vodní motor lze charakterizovat jako rovnotlakou turbínu, která využívá působení hmotnosti vody na listy šroubu a tím je roztáčí. Kroutící moment je přenášen z turbíny přes spojku do převodovky a z převodovky přes další spojku (nebo přes řetězový či řemenový převod) do generátoru. Možné je i přímé spojení převodovky s generátorem. Hlavní oblast využití technologie šroubové turbíny je pro lokality se spádem od méně než 1 m do 10 m a průtokem do $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (pro jednu turbínu). [9]

Hlavní výhody využití šroubových turbín: [9]

- Efektivní využití nízkých spádů (již od méně než 1 m)
- Výrazné zlevnění stavební části malé vodní elektrárny
- Menší časová náročnost výstavby – zkrácení doby výstavby díky jednoduššímu technologickému řešení
- Účinnost turbíny až 92 %
- Spolehlivá konstrukce, dlouhá životnost, nízké náklady na údržbu
- Využití širokého rozsahu průtoku vody
- Regulace průtoku pomocí proměnných otáček turbíny
- Bez rizika kavitace
- Umožňuje plně poproudou migraci ryb
- Snadná aplikace při rekonstrukci existujících lokalit



Obr. 3.8 - Šroubový vodní motor [2]



3.2.1 Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie

Pro výpočet hrubé roční výroby elektrické energie použiji šroubovou turbínu firmy MAS HYDRO, a.s., která mi poskytla technické parametry šroubové turbíny vhodné pro danou lokalitu a také přibližnou celkovou cenu MVE.

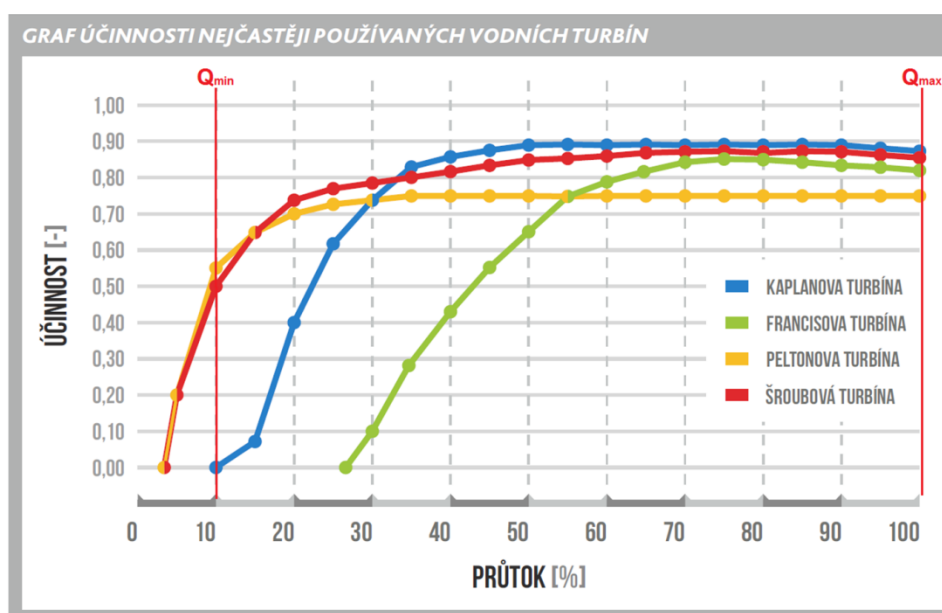
Technické parametry šroubové turbíny:

Délka šroubu: 8,3 m
Průměr šroubu: 4,1 m
Otáčky šroubu: 21 min⁻¹

Celková cena MVE při použití šroubové turbíny:

8 000 000 Kč

Pro výpočet hrubé roční výroby elektrické energie u šroubové turbíny použiji stejné zjednodušující předpoklady a vztahy jako u Kaplanovy turbíny jen s tím rozdílem, že budu uvažovat změnu účinnosti šroubové turbíny na průtoku. Je to z toho důvodu, že firma MAS HYDRO, a.s. uvádí tuto závislost účinnosti šroubové turbíny na průtoku (viz příloha 2). Maximální průtok šroubové turbíny $Q_{\max} = 8,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bude při 100 % hltnosti a minimální průtok šroubové turbíny $Q_{\min} = 0,85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bude při 10 % hltnosti (viz obr. 3.9).



Obr. 3.9 - Znázornění účinnosti na průtoku a regulačního rozsahu průtoků šroubové turbíny [9]



DIPLOMOVÁ PRÁCE STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

Šroubová turbína bude provozována v rozmezí průtoků $Q_{\max} \geq Q \geq Q_{\min}$;

- maximální průtok vody turbínou $Q_{\max} = 8,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = Q_{70}$
- minimální průtok vody turbínou $Q_{\min} = 0,85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = Q_{313}$

V uvedeném regulačním rozsahu, tj. pro Q_{70} až Q_{313} , budou pro výpočet výkonu turbíny opět uvažovány střední hodnoty průtoku v desetidenních obdobích. Od $M = 313$ se turbína odstaví z provozu, protože využitelný průtok Q_v je menší než minimální průtok vody turbínou Q_{\min} . Z výpočtu plyne, že turbína vyrobí každý rok přibližně 878 000 kWh (viz tab. 3.3).

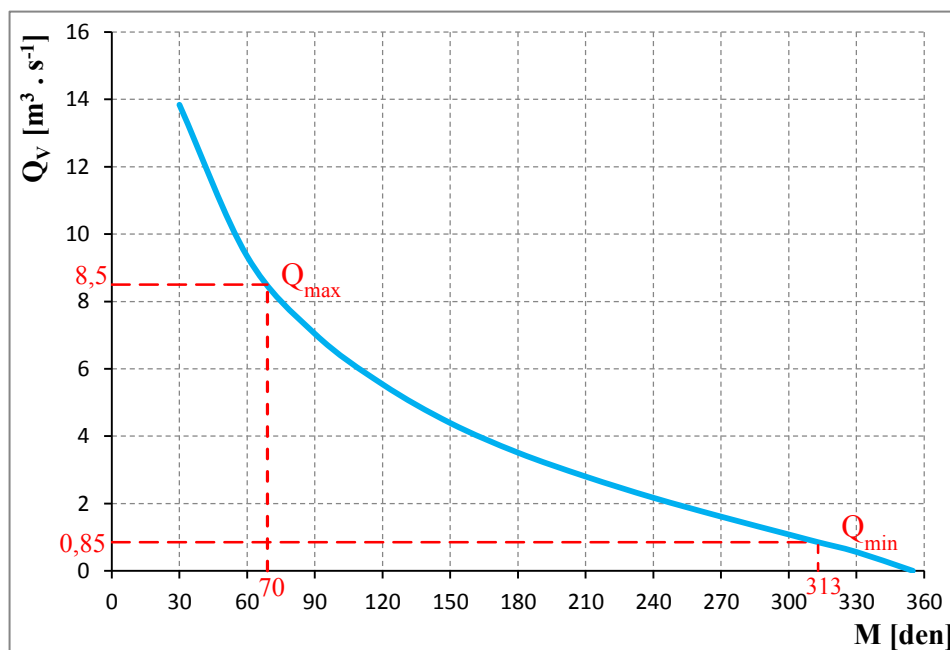
M [den]	30	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Q_v [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	13,84	9,34	8,5	7,75	7,04	6,54	6,04	5,54	5,16	4,77	4,39	4,1	3,8	3,51
Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	8,5	8,5	8,5	8,13	7,40	6,79	6,29	5,79	5,35	4,97	4,58	4,25	3,95	3,66
q [%]	100	100	100	96	87	80	74	68	63	58	54	50	46	43
η_T [%]	86	86	86	87	87	87	87	87	86	85	85	84	84	83
P_T [kW]	232,83	232,83	232,83	225,14	204,92	188,15	174,30	160,44	146,54	134,42	123,99	113,57	105,68	96,62
P_G [kW]	214,13	214,13	214,13	207,06	188,46	173,04	160,30	147,55	134,77	123,62	114,04	104,45	97,19	88,86
h [l]	720	720	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
N [kWh]	154172	154172	51391	49695	45230	41529	38471	35413	32346	29669	27368	25068	23326	21327

Tab. 3.3 (1. část) - Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie při použití šroubové turbíny

M [den]	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	313
Q_v [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	3,27	3,04	2,8	2,59	2,38	2,17	1,98	1,8	1,61	1,43	1,26	1,08	0,91	0,85
Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	3,39	3,16	2,92	2,70	2,49	2,28	2,08	1,89	1,71	1,52	1,35	1,17	1,00	0,88
q [%]	40	37	34	32	29	27	24	22	20	18	16	14	12	10
η_T [%]	82	81	80	79	78	77	76	75	74	71	68	64	58	50
P_T [kW]	88,54	81,40	74,40	67,81	61,74	55,79	50,23	45,15	40,19	34,37	29,13	23,85	18,38	14,01
P_G [kW]	81,43	74,86	68,43	62,36	56,78	51,31	46,19	41,52	36,96	31,61	26,79	21,93	16,90	12,89
h [l]	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	72
N [kWh]	19542	17966	16422	14968	13627	12315	11087	9965	8870	7587	6430	5264	4057	928
N [kWh/rok]	878204													

Zaokrouhлено na 878 000

Tab. 3.3 (2. část) - Výpočet hrubé roční výroby elektrické energie při použití šroubové turbíny



Obr. 3.10 - Regulační rozsah průtoků šroubové turbíny v křivce překročení denních využitelných průtoků



3.2.2 Výpočet doby návratnosti investice

Šroubová turbína vyrobí každý rok 878 000 kWh a při výkupní ceně 3,23 Kč/kWh bude roční zisk činit 2 836 000 Kč.

$$CF = 878\,000 \cdot 3,23 = 2\,836\,000 \text{ Kč} \quad (3.10)$$

Doba návratnosti investice potom vychází na 2,8 let.

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{8\,000\,000}{2\,836\,000} = 2,8 \text{ let} \quad (3.11)$$

3.3 Závěr k volbě turbíny

Investiční náklady jednotlivých variant jsou jen velmi hrubým odhadem stejně jako výpočet roční výroby elektrické energie, který je značně zjednodušen. Přesto je v investičních nákladech IN [Kč] na stavbu MVE výrazný rozdíl mezi Kaplanovou a šroubovou turbínou. Z tabulky 3.4 plyne, že investiční náklady na stavbu MVE u Kaplanovy turbíny jsou více jak dvakrát větší než u šroubové turbíny. Je to z největší části dáno tím, že náklady na stavební část MVE u Kaplanovy turbíny jsou výrazně vyšší než u šroubové turbíny. Dále z tabulky 3.4 plyne, že se roční výroba elektrické energie N [kWh.rok⁻¹] u obou turbín téměř neliší a proto vychází doba návratnosti investice T_s [rok] u Kaplanovy turbíny také více jak dvakrát větší. Velmi malý rozdíl ve vyrobené elektrické energii je dán skutečností, že Kaplanova turbína má vyšší střední účinnost než šroubová turbína. Další zásadní výhodou šroubové turbíny je menší časová náročnost výstavby díky jednoduššímu technologickému řešení. Z těchto důvodů volím jako optimální pro danou lokalitu turbínu šroubovou.

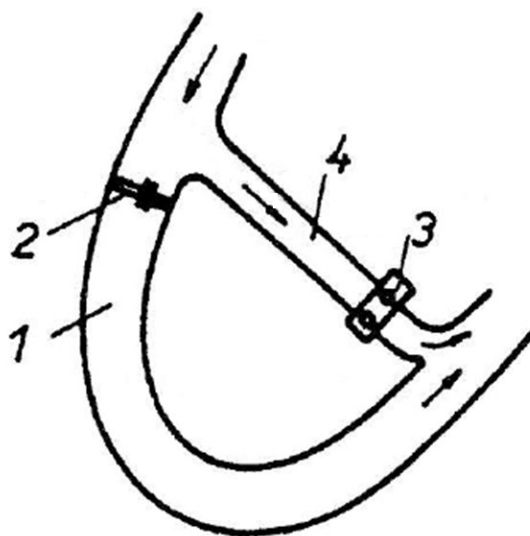
Turbína	N [kWh.rok ⁻¹]	CF [Kč.rok ⁻¹]	IN [Kč]	T_s [rok]
Kaplanova	884 000	2 855 000	20 000 000	7,0
šroubová	878 000	2 836 000	8 000 000	2,8

Tab. 3.4 - Ekonomické porovnání jednotlivých variant



4 Dispoziční řešení MVE

Vodní dílo by bylo řešeno jako derivační elektrárna, protože je již v dané lokalitě vybudovaný derivační přivaděč (viz obr. 2.2). Schématické uspořádání derivační vodní elektrárny je znázorněno na obr. 4.1.



1 - koryto vodního toku, 2 - vzdouvací zařízení, 3 - strojovna, 4 - derivační přivaděč

Obr. 4.1 - Schéma uspořádání derivační vodní elektrárny [1]

4.1 Úprava lokality

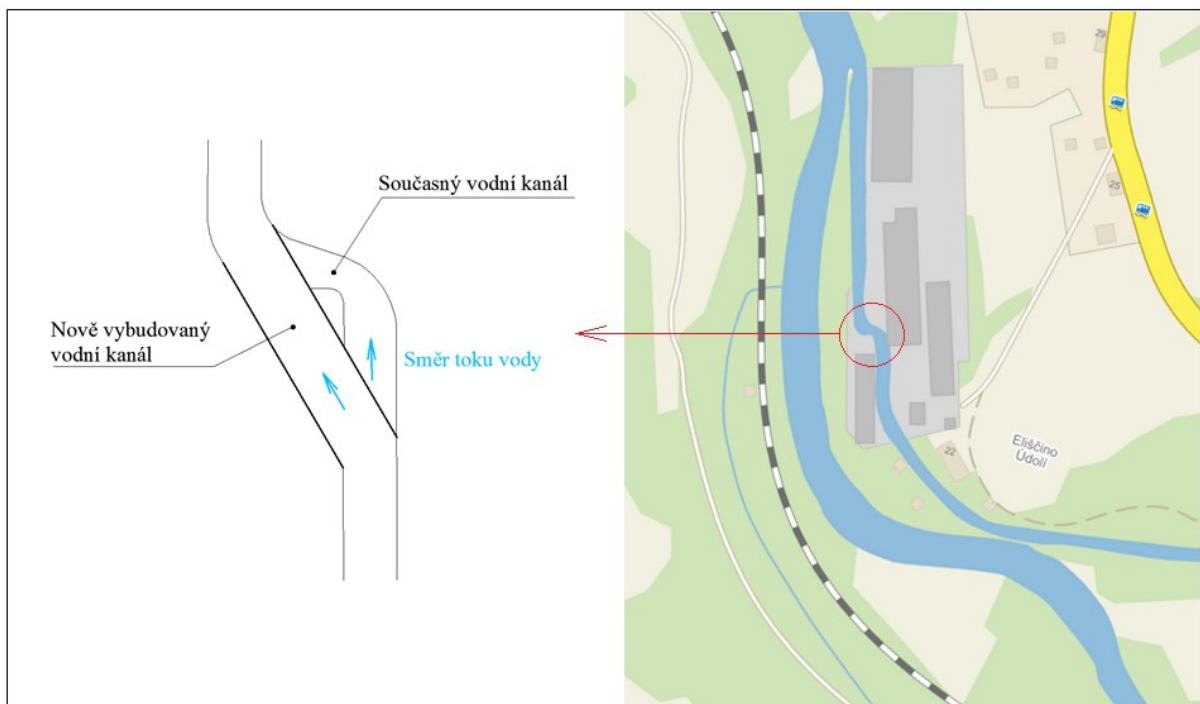
V místě kde je koncentrovaný spád pro umístění turbíny (na obr. 4.3 je toto místo označeno červeným kruhem) jsme bohužel prostorově omezeni. Do současného vodního kanálu se šroubová turbína i se strojovnou nevejde. Proto by bylo zapotřebí v tomto místě vybudovat nový vodní kanál, do kterého by se umístila šroubová turbína i se strojovnou. Umístění nově vybudovaného vodního kanálu je znázorněno na obr. 4.2 a 4.3. Délka tohoto kanálu by byla pouze 17 metrů, proto se nejedná o velkou a nákladnou úpravu dané lokality. Vykopanou zeminou by se pak mohl zasypat současný vodní kanál, kterým by už po dokončení nového kanálu netekla voda. Detailní umístění šroubové turbíny i se strojovnou v nově vybudovaném vodním kanálu bude znázorněno na konci této kapitoly v obr. 4.12.



Směr, ve kterém by se
vybudoval nový vodní kanál

Současný vodní kanál
(šipka znázorňuje směr toku vody)

Obr. 4.2 - Pohled znázorňující směr, ve kterém by se vybudoval nový vodní kanál



Obr. 4.3 - Situování nově vybudovaného vodního kanálu v dané lokalitě



Celou stavbu by bylo nejvýhodnější provádět koncem léta, kdy je průtok v řekách nejmenší. Před začátkem stavby by bylo nutné dočasně uzavřít průtok vody v části derivačního přivaděče. Nejjednodušší bude přesměrovat průtok vody z derivačního přivaděče zpátky do řeky, jak to znázorňuje světle modrá šipka na obr. 4.4, 4.5 a 4.6. V tomto místě je derivační přivaděč spojen s řekou pomocí 6 metrů dlouhého kanálu. Pro přesměrování průtoku vody stačí pouze odstranit dřevěnou zábranu, která je zobrazena na obr. 4.5. Průtok vody by se dal uzavřít i v celém derivačním přivaděči, ale v jeho blízkosti se nachází malá zahrádkářská kolonie a obyvatelé by měli delší cestu k vodě na zalévání.



Obr. 4.4 - Znázornění přesměrování průtoku vody z derivačního přivaděče do řeky



Obr. 4.5 - Pohled na kanál spojující derivační přivaděč s řekou (fotka č. 1)

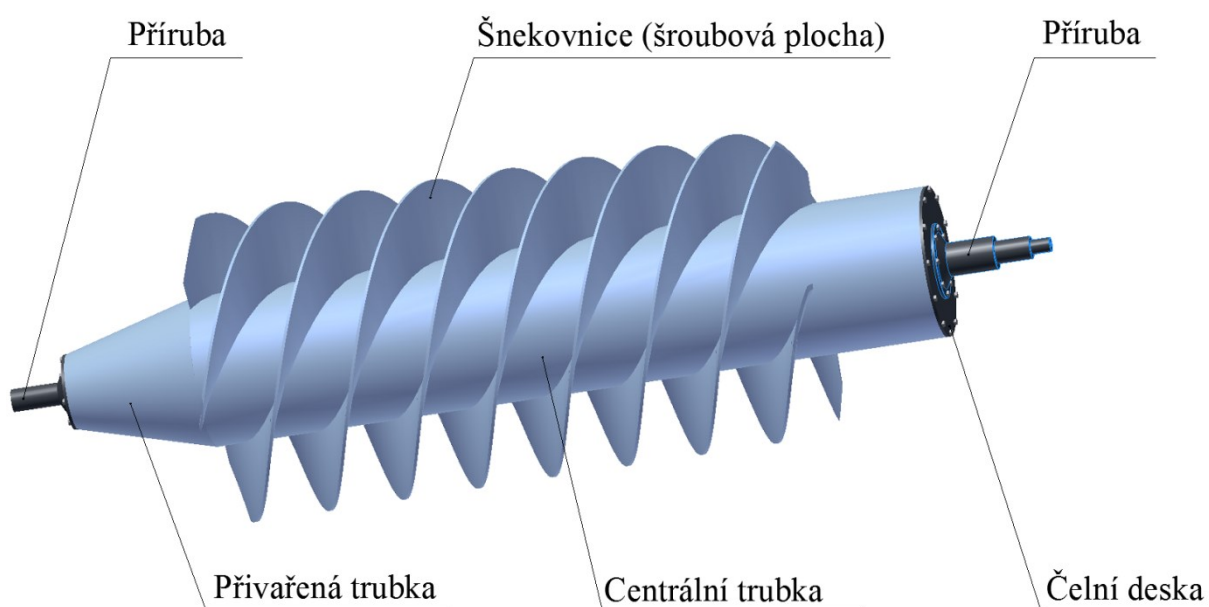


Obr. 4.6 - Pohled na kanál spojující derivační přivaděč s řekou (fotka č. 2)



4.2 Šroubová turbína

Hlavní částí celé turbíny je ocelový rotor (šnek, šroub), který je svařen z centrální trubky a šnekovnice (šroubová plocha). Šroub jsem zvolil čtyřchodý, protože má vyšší účinnost oproti dvou nebo tříchodému šroubu. Při ještě větším počtu chodů by už byla šnekovnice (šroubová plocha) nákladná na výrobu a také obtížně vyrobitelná. Vnější průměr centrální trubky se rovná polovině průměru šroubu. Z jedné strany centrální trubky je připevněna pomocí šroubů čelní deska, ke které se přišroubuje příruba. Z druhé strany je k centrální trubce přivařena trubka se zmenšujícím se průměrem, ke které se přišroubuje příruba (viz obr. 4.7). Obě tyto příruby jsou uloženy v ložiskových domcích, které jsou přišroubovány k podstavcům (viz obr. 4.9). Šroubová turbína bude uložena v plechovém žlabu, který se umístí do betonového kanálu a je určen k podlití betonem.



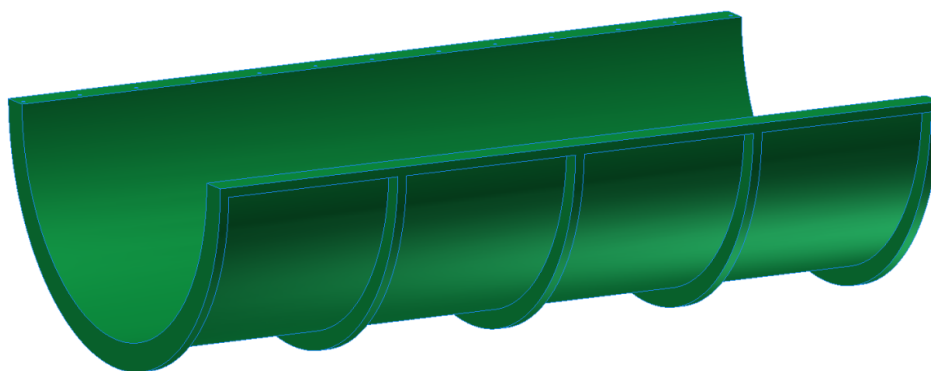
Obr. 4.7 - Šroubová turbína



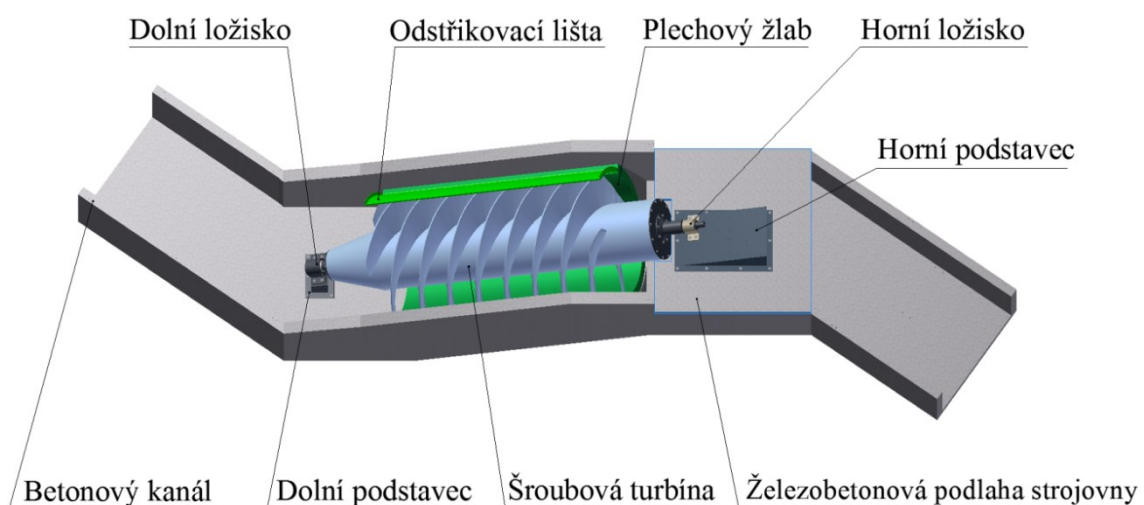
4.3 Plechový žlab a betonový kanál

Žlab je plechový svařenec. Jeho vnitřní průměr by neměl být o moc větší než průměr šneku, optimální je volit vůli 3 až 5 mm. Umístí se do částečně připraveného betonového kanálu a po usazení se následně podlijí betonem. Žlab je opatřen žebry, aby byl pevně uchycen v betonovém kanálu po podlité betonem. Žlab ještě bývá doplněn odstříkovací lištou, která se k němu z jedné strany připevní pomocí šroubů. Odstříkovací lišta usnadňuje opravy a údržbu rotoru turbíny. Samotný žlab je znázorněn na obr. 4.8 a jeho umístění v betonovém kanálu je uvedeno na obr. 4.9.

Maximální rychlost vody v betonovém kanálu před a za turbínou by neměla být vyšší než $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, což je splněno. Při maximálním průtoku vody $8,5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ v kanálu vychází z rovnice kontinuity rychlost $0,95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Voda v betonovém kanálu teče i pod železobetonovou podlahou strojovny a před vstupem do turbíny je hladina vody v polovině šroubu.



Obr. 4.8 - Plechový žlab



Obr. 4.9 - Uložení šroubové turbíny ve žlabu a v ložiscích

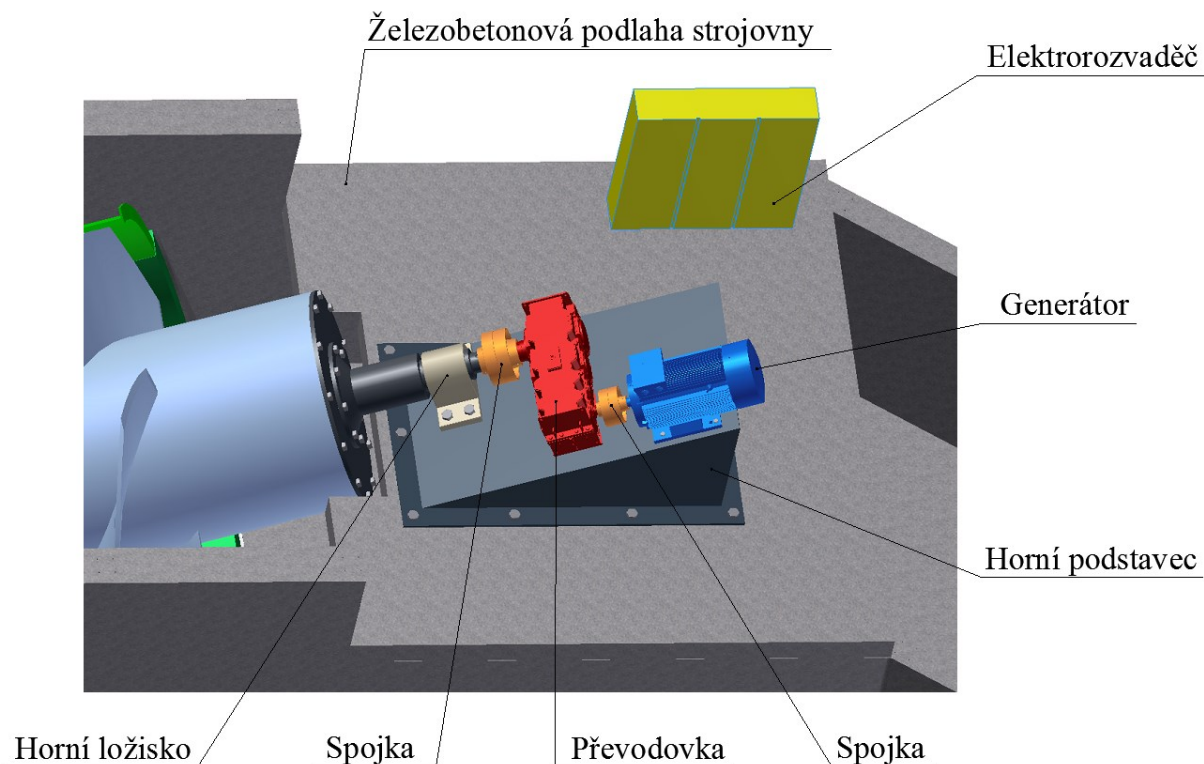


4.4 Převodovka

Šroubová turbína má otáčky $n_1 = 21 \text{ min}^{-1}$ a generátor má otáčky $n_2 = 1500 \text{ min}^{-1}$, proto je nutné použít převodovky s převody do rychla. Bude použita třístupňová převodovka s čelními ozubenými koly od firmy Siemens. Výkon se přenáší z turbíny do převodovky přes kotoučovou spojku a z převodovky do generátoru přes další kotoučovou spojku. Spojka mezi turbínou a převodovkou musí být o něco větší než spojka mezi převodovkou a generátorem, protože přenáší větší kroutící moment (přenáší přibližně stejný výkon při menších otáčkách). Převodovka je připevněna pomocí šroubů k hornímu podstavci, který se přišroubuje k železobetonové podlaze strojovny (viz obr. 4.10).

4.5 Generátor

Instalován bude 4 - pólový asynchronní generátor 1LG6318-4MA o maximálním výkonu 250 kW s vysokou účinností IE3 od firmy Siemens. Generátor se také připevní pomocí šroubů k hornímu podstavci (viz obr. 4.10). V případě potřeby se na horní podstavec přivaří podložky kvůli vyrovnání výškových rozdílů u uchycovacích prvků generátoru, převodovky a ložiskového domku.

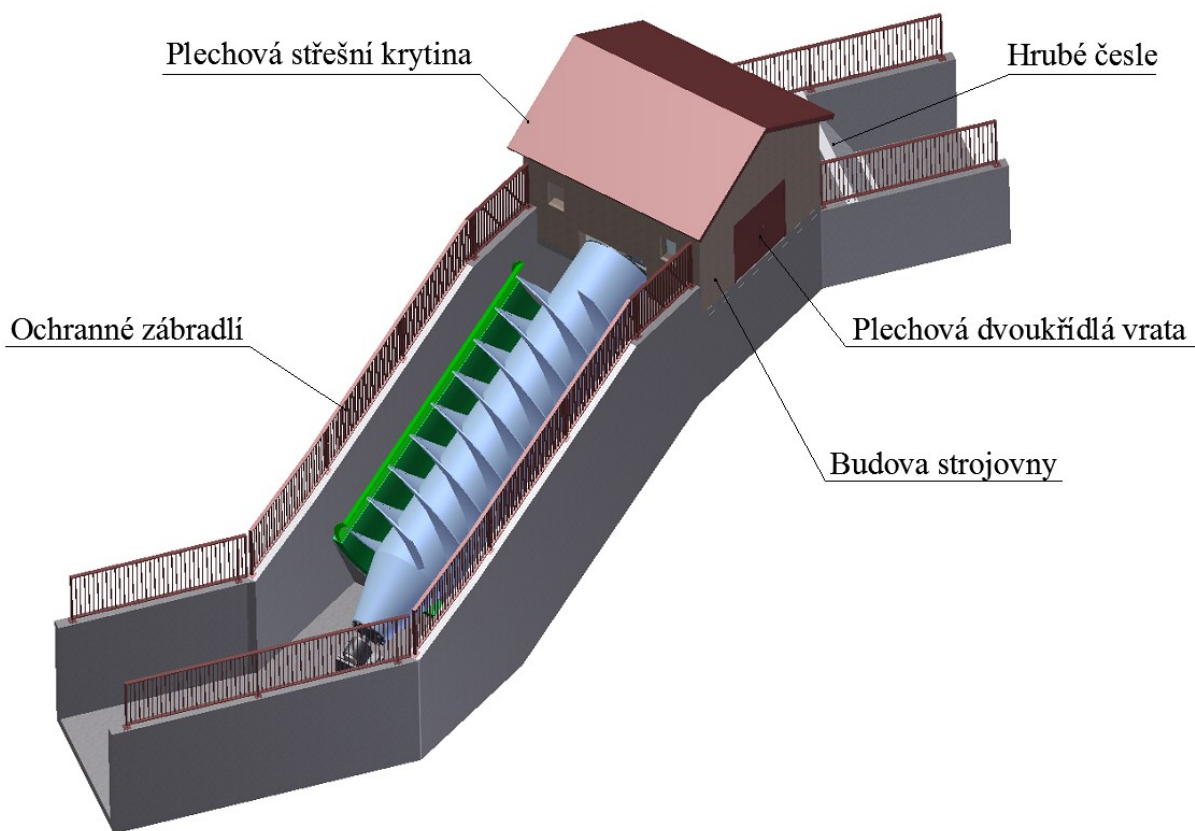


Obr. 4.10 - Pohled do strojovny

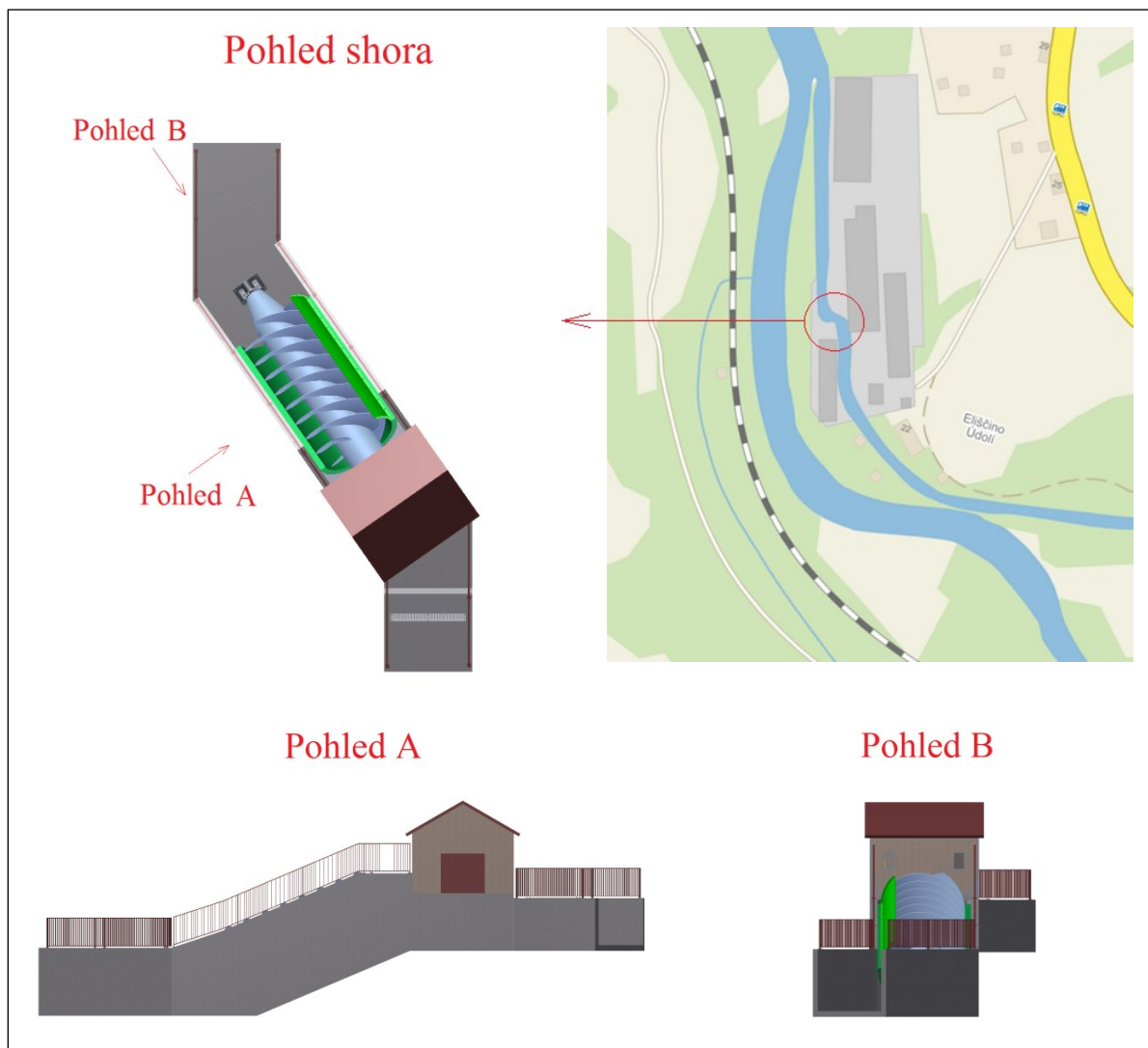


4.6 Budova strojovny a ochranné prvky

Zastřešení strojovny je důležité jednak z důvodu ochrany před povětrnostními vlivy a také jako ochrana proti odcizení nebo poškození některých komponent. Na střechu budovy se použije plechová krytina a zdi budou z betonu. Podlaha strojovny musí být z železobetonu, aby mohla unést přibližně polovinu váhy šroubové turbíny a všech komponent ve strojovně. Budova strojovny bude uzamykatelná, vstup umožňují plechová dvoukřídlá vrata. Celá MVE musí být zároveň zabezpečena před možným pádem člověka do rotujících částí turbíny, proto se k betonovému kanálu po obvodě přišroubuje ochranné zábradlí. Šroubová turbína nepotřebuje jemné česle, postačují pouze hrubé, které jsou přišroubovány k betonovému kanálu před strojovnou. Dispoziční řešení MVE je znázorněno na obr. 4.11 a 4.12.



Obr. 4.11 - Dispoziční řešení MVE



Obr. 4.12 - Dispoziční řešení MVE z více pohledů



5 Závěr

Na základě denních využitelných průtoků a spádu jsem z diagramu oblastí použití turbín nejprve zjistil, že pro danou lokalitu je vhodná Kaplanova a šroubová turbína. Dále jsem kontaktoval celkem 11 výrobců těchto vodních turbín a zdvořile jsem je požádal, zda by mi mohli poskytnout pro moji diplomovou práci parametry vhodné turbíny pro danou lokalitu a také přibližné náklady na stavbu MVE. Částečné údaje jsem dostal po delší době pouze od tří výrobců (Mavel, a.s., VODNÍ TURBÍNY s.r.o. a MAS HYDRO, a.s.). Pomocí údajů, které mi tyto firmy poskytly, jsem provedl odhad roční výroby elektrické energie a vypočetl přibližnou dobu návratnosti investice pro oba typy turbín. Z výpočtu vyplynulo, že u obou turbín je roční výroba elektrické energie přibližně stejná, ale doba návratnosti investice je u Kaplanovy turbíny více jak dvakrát větší než u šroubové turbíny. Proto jsem zvolil pro danou lokalitu jako optimální turbínu šroubovou.

Při prohlídce dané lokality jsem pořizoval fotografie a zjistil jsem, že v místě kde je koncentrovaný spád pro umístění turbíny jsme bohužel prostorově omezeni. Proto by bylo zapotřebí v tomto místě vybudovat nový vodní kanál, do kterého by se umístila šroubová turbína i se strojovnou. Dále jsem zjistil, že v jednom místě je derivační přivaděč spojen s řekou pomocí 6 metrů dlouhého kanálu. Před začátkem stavby MVE by se dal dočasně tímto kanálem přesměrovat průtok vody z derivačního přivaděče zpátky do řeky.

Celé dispoziční řešení MVE jsem navrhl pouze na základě povahy dané lokality a dvou rozměrových parametrů (délka a průměr šroubu turbíny), které mi poskytla firma MAS HYDRO, a.s. Proto budou všechny rozměry uvedené na výkresu sestavení MVE pouze orientační. Při modelování dispozičního řešení jsem se snažil vycházet hlavně z fotografií MVE se šroubovou turbínou dostupných na internetu, aby mohl vzniknout model, který by se co nejvíce blížil skutečnosti a dával dobrou představu o uspořádání díla v případě skutečné realizace.



6 Seznam použité literatury

- [1] MELICHAR, J. *Malé vodní turbíny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02164-5.
- [2] MELICHAR, J. *Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05283-9.
- [3] GABRIEL, P., ČIHÁK, F., KALANDRA, P. *Malé vodní elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01812-1.
- [4] NECHLEBA, M. *Vodní turbíny, jejich konstrukce a příslušenství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. ISBN 04-241-62.
- [5] MELICHAR, J. *Popis lokality Ploučnice, Eliščino údolí u Benešova nad Ploučnicí*.
- [6] RAZZAK, D. *Studie malé vodní elektrárny: bakalářská práce*. Praha: ČVUT Fakulta strojní, 2013.
- [7] SKLENÁŘ, V. *Šneková turbína pro MVE: bakalářská práce*. Brno: VUT Fakulta strojního inženýrství, 2013.
- [8] KUPEC, P. *Návrh malé vodní elektrárny: diplomová práce*. Praha: ČVUT Fakulta strojní, 2013.
- [9] Stránky výrobce šroubových turbín MAS HYDRO [online], [citace 5. 5. 2015]. Dostupné z WWW:
http://www.mashydro.cz/galerie/tinymce/mashydro_letak_archsroubturb_CZ_web2_040914.pdf
- [10] Seznam mapy [online], [citace 19. 4. 2015]. Dostupné z WWW: <http://www.mapy.cz/>
- [11] Stránky Ministerstva životního prostředí [online], [citace 20. 4. 2015]. Dostupné z WWW:
[http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [12] Stránky tzb-info [online], [citace 25. 5. 2015]. Dostupné z WWW:
<http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [13] Stránky výrobce el. motorů SIEMENS [online], [citace 30. 4. 2015]. Dostupné z WWW:
http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/d81_1/cat_d-81-1_2012_cz.pdf
- [14] Stránky Energetického regulačního úřadu [online], [citace 2. 5. 2015]. Dostupné z WWW:
http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683



Seznam příloh

Příloha 1 - Výkres dispozičního řešení MVE

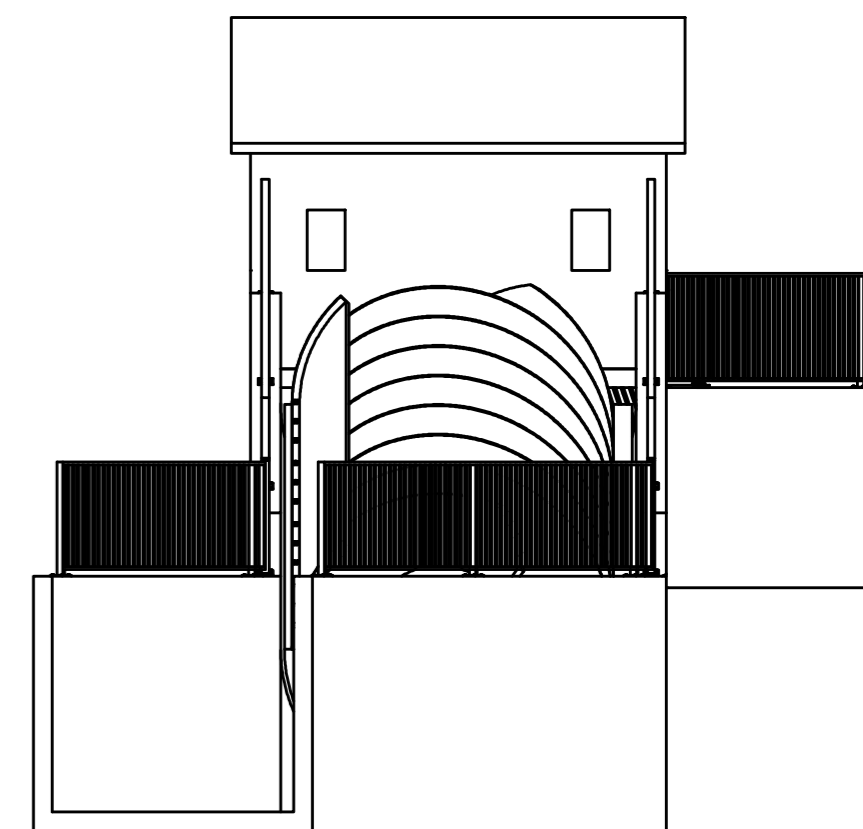
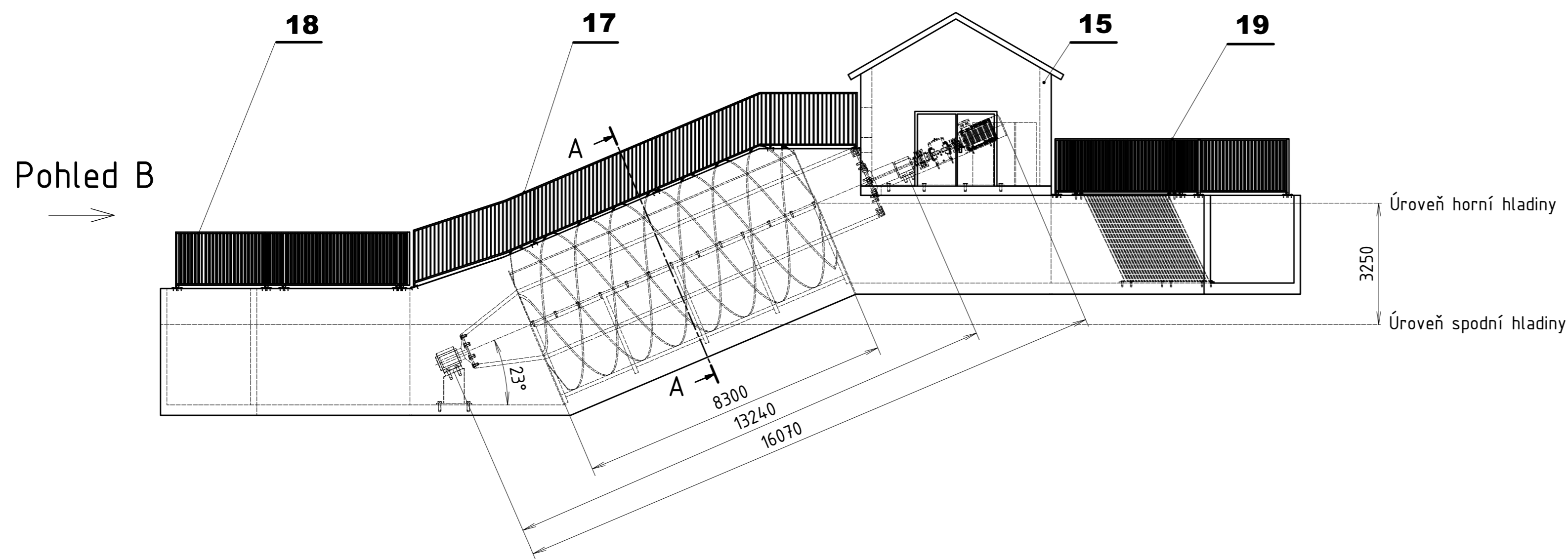
Příloha 2 - Produktový katalog šroubové turbíny firmy MAS HYDRO, a.s.

Přílohy

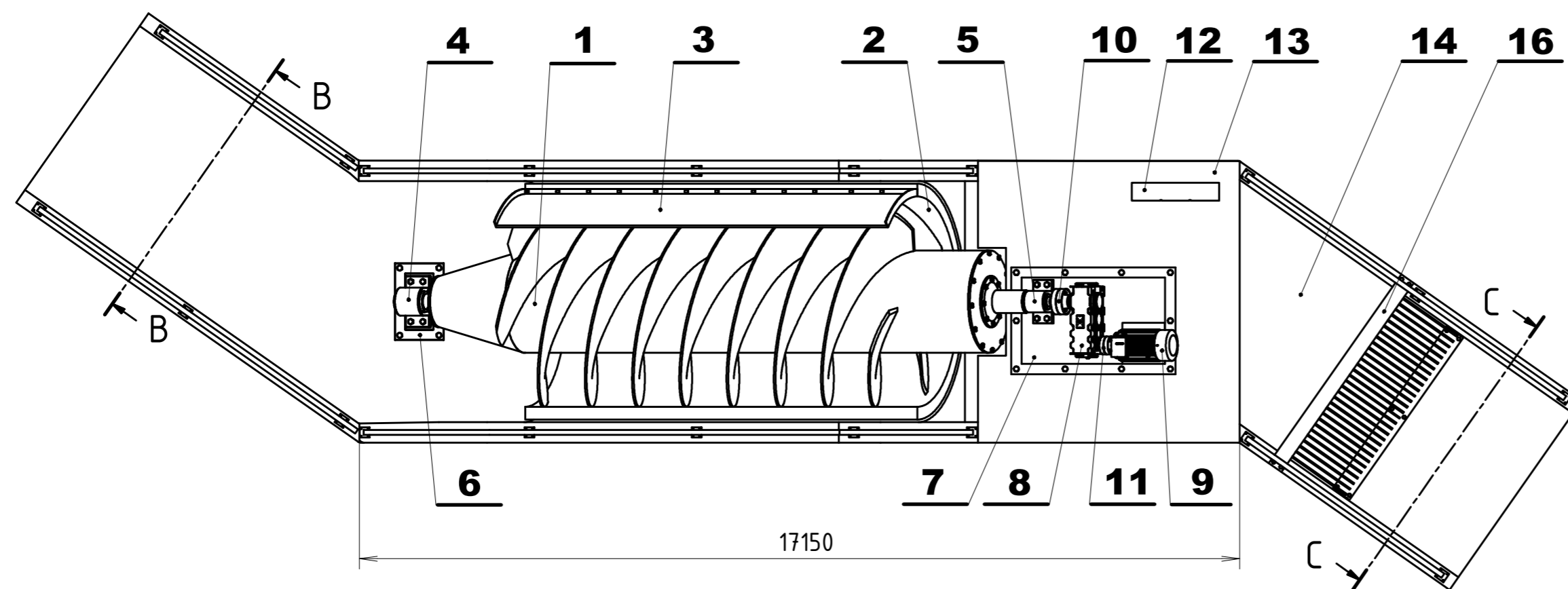
Příloha 1 - Výkres dispozičního řešení MVE

Pohled A

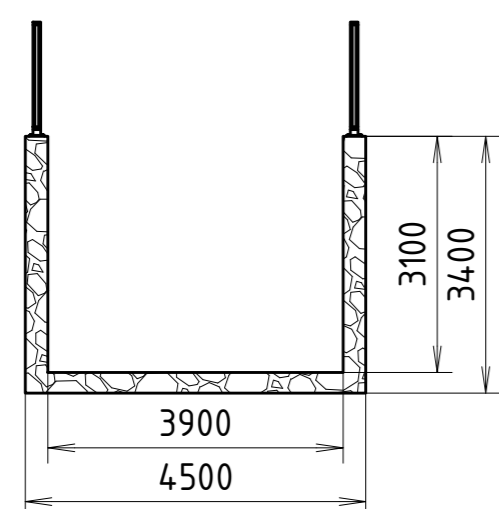
Pohled B



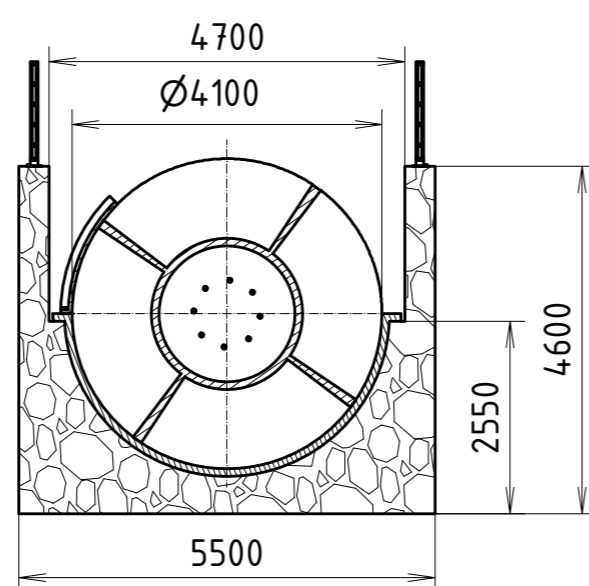
Pohled A (bez budovy strojovny)



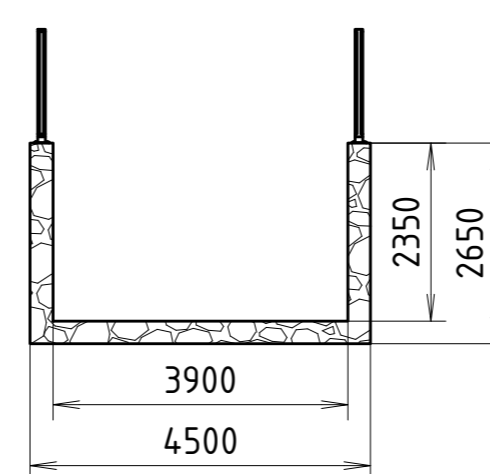
B-B (1 : 100)



A-A (1 : 100)



C-C (1 : 100)



Kusovník

POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
19	2	6-14-19	Ochranné zábradlí před turbínou
18	2	6-14-18	Ochranné zábradlí za turbínou
17	2	6-14-17	Ochranné zábradlí u turbíny
16	1	6-14-16	Hrubé česle
15	1	6-14-15	Budova strojovny
14	1	6-14-14	Betonový kanál
13	1	6-14-13	Železobetonová podlaha strojovny
12	1	6-14-12	Elektrorozvaděč
11	1	6-14-11	Spojka mezi převodovkou a generátorem
10	1	6-14-10	Spojka mezi turbínou a převodovkou
9	1	6-14-09	Generátor
8	1	6-14-08	Převodovka
7	1	6-14-07	Horní podstavec
6	1	6-14-06	Dolní podstavec
5	1	6-14-05	Horní ložisko
4	1	6-14-04	Dolní ložisko
3	1	6-14-03	Odstřikovací lišta
2	1	6-14-02	Plechový žlab
1	1	6-14-01	Šroubová turbína

NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	kg	MĚŘÍTKO	1:100
KRESIL	David Razzak	1.3.2016	NORM. REF.			MIKROFILM		Č. SVETLO	
SKUPINAR			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
 Dispoziční řešení MVE
 ČÍSLO VÝKRESU: **6-14-00**
 LIST: 1



DIPLOMOVÁ PRÁCE
STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

ARCHIMÉDOVA ŠROUBOVÁ TURBÍNA

Vodní motory



Produktový katalog

KOVOSVIT MAS, a.s.
Náměstí Tomáše Bati 419, 391 02 Sezimovo Ústí
Czech Republic

IČO: 26047284
Tel.: +420 775 441778
E-mail: hydro@kovosvit.cz

WWW.MAS-HYDRO.CZ



MAS HYDRO
future of your **energy**

O společnosti



Společnost **KOVOSVIT MAS a.s.** je jedním z největších výrobců obráběcích strojů v České Republice. V současné chvíli zaměstnává 750 zaměstnanců a v minulém roce dosáhla obrátu ve výši 1,5 miliardy korun.

Na základě dlouholetých zkušeností s přesnou strojírenskou výrobou (přes 70 let), výsledků vlastního oddělení výzkumu a vývoje a globálnímu zaměření, je ve společnosti **KOVOSVIT MAS a. s.** v roce 2011 vytvořena nová sekce hydroenergetiky **MAS HYDRO** s cílem poskytnout zákazníkům komplexní služby v této oblasti, konkrétně se zaměřením na malé vodní elektrárny.

Naším hlavním cílem je dodávka kvalitního a spolehlivého výrobku, který přispěje ke zvýšení ziskovosti investičního záměru našich zákazníků ve všech oblastech spojených s realizací vodohospodářských staveb. Vytváříme dokonalé spojení mezi přáním zákazníka a finální realizací jeho záměrů.

Díky zázemí silné strojírenské společnosti, využívání nejmodernějších projekčních metod a spoluprací s odborníky z vlastních řad i technických univerzit jsme schopni zohlednit jedinečnost každé lokality i každého zákazníka a vytvářet vždy řešení na míru pro konkrétní případ. Díky tomu pomáháme dosáhnout maximálního využití energetického potenciálu konkrétní lokality.

Cílem našich výrobků je poskytnout zákazníkovi vysoce kvalitní turbínu a tím přispět k maximální efektivitě investice s využitím inovativních a ekologicky přívětivých řešení. Klademe důraz na komplexní přístup k návrhu, přesné zpracování, garance technických parametrů, minimalizaci nákladů na výstavbu, údržbu a provoz. Součástí naší nabídky jsou komplexní služby zákazníkům. Zhodnotíme potenciál vaší lokality, vyprojektujeme vhodné technologické řešení, zajistíme jeho dodání, instalaci, servis i údržbu.

Šroubové turbíny

Šroubové vodní motory jsou vysoce spolehlivým nástrojem získávání elektřiny z obnovitelných zdrojů s minimálním vlivem na životní prostředí. Jedná se o moderní využití technologie, která je jako Archimédův šroub známá již z antického Řecka. Tento vodní motor lze charakterizovat jako rovnolankou turbínu, která využívá působení hmotnosti vody na listy šroubu a tím jej roztáčí. Síla vody je přes listy šroubu přenášena do převodovky a generátoru.

Hlavní oblast využití technologie šroubové turbíny je pro lokality se spádem od méně než 1 m do 10 m a průtokem do 18,0 m³/s (pro jednu turbínu).

Šroubové turbíny se prosazují zejména díky své nižší ceně, menší investiční náročnosti stavby a schopnosti vyrobit v dané lokalitě stejné nebo větší množství energie za rok oproti běžně využívaným turbínám.

K návrhům našich turbín vám můžeme připravit porovnání s jinou využitelnou technologií v každé konkrétní lokalitě, technické podklady s navrhovanými parametry, technické garance a finanční plán.



- 1 SPODNÍ ULOŽENÍ
- 2 ARCHIMÉDOVA ŠROUBOVÁ TURBÍNA
- 3 HORNÍ ULOŽENÍ
- 4 PŘEVODOVKA
- 5 GENERÁTOR
- 6 KORYTO
- 7 STAVIDLO
- 8 HRUBÉ ČESLE

Hlavní výhody využití šroubových turbín

- Efektivní využití nízkých spádů (již od méně než 1,0 m)
- Výrazné zlevnění stavební části malé vodní elektrárny
- Menší časová náročnost výstavby – zkrácení doby výstavby díky jednoduššímu technologickému řešení
- Účinnost turbíny až 92%
- Spolehlivá konstrukce, dlouhá životnost, nízké náklady na údržbu
- Využití širokého rozsahu průtoku vody – pracovní rozsah turbíny 14% - 120% návrhového průtoku, náběh turbíny již od 8%
- Regulace průtoku pomocí proměnných otáček turbíny
- Bez rizika kavitace
- Umožňuje plně poproudou migraci ryb
- Regulace podle aktuálního průtoku, udržuje hladinu na požadované hodnotě
- Snadná aplikace při rekonstrukci existujících lokalit (jezy, jezové propusti, vodní nádrže, staré vodní cesty, zavlažovací kanály a podobně)

ZÁKLADNÍ PARAMETRY TURBÍN:

- Průtok: **od 0,2 do 18,0 m³/s** (průtok jednou turbínou)*
- Průměr šroubu: **od 0,8 do 5,0 m**
- Spád: **od 0,8 do 10 m**
- Účinnost: **až 92 %**
- Výkon jedné turbíny: **do 650 kW pro 1 turbínu** (lze navýšit paralelní instalací až na jednotky MW instalovaného výkonu)

* Průtok lze navýšit paralelní instalací více turbín

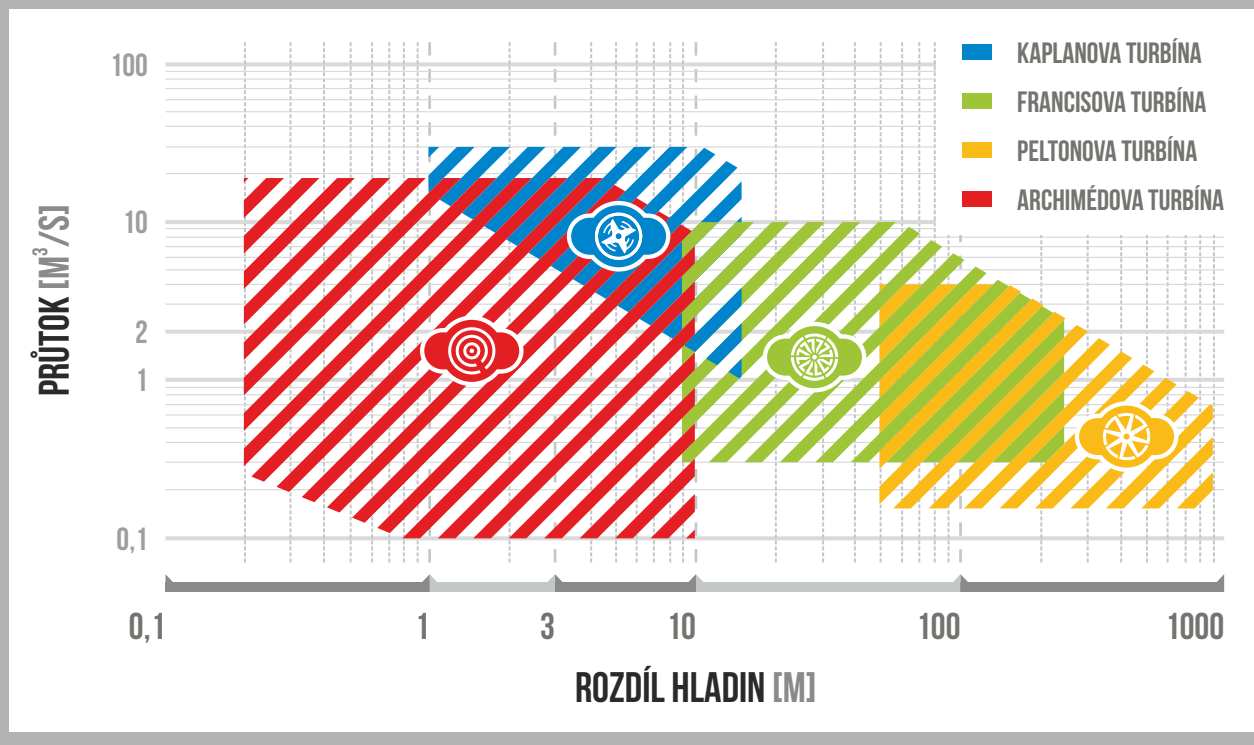
Nejčastější aplikace šroubových turbín

- Výstavba nových energetických zdrojů
- Při rekonstrukci stávajících MVE jako efektivnější náhrada starších typů turbín
- Osazení do jezu
- Náhrada vodního kola
- Pro využití zbytkové vody v existujícím náhonu nebo jezu
- Na výstupech užitkové vody z továren a zpracovatelských závodů



Pracovní rozsah nejčastěji využívaných turbín

PRACOVNÍ ROZSAH JEDNOTLIVÝCH TYPŮ TURBÍN



Účinnost šroubových turbín je srovnatelná s ostatními turbínami stejné velikosti. Výjimečná je však její schopnost dosahovat velmi slušné účinnosti i při minimálních průtocích, kdy dokáže velmi efektivně zpracovávat dostupnou hydraulickou energii, která je pro ostatní konvenční turbíny již nevyužitelná. Archimédova šroubová turbína je schopna výrazně snížit náklady stavební části, zkrátit dobu výstavby a zlepšit tak celkovou ekonomiku projektu.

Ve svém pracovním rozsahu má tedy šroubová turbína své nezastupitelné místo mezi ostatními technologiemi využívanými v segmentu MVE.

GRAF ÚČINNOSTI NEJČASTĚJI POUŽÍVANÝCH VODNÍCH TURBÍN

