



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

## **NÁVRH MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY NA ŘECE ASKISTSKALI V GRUZII**

DESIGN OF A SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANT ON THE ASKISTSKALI RIVER IN GEORGIA

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Stanislav Mitrega**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. JAN ŠULC, CSc.**

**BRNO 2023**

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ústav:	Ústav vodních staveb
Student:	<b>Bc. Stanislav Mitrega</b>
Vedoucí práce:	<b>prof. Ing. Jan Šulc, CSc.</b>
Akademický rok:	2022/23
Studijní program:	N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

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

## **Návrh malé vodní elektrárny na řece Askistskali v Gruzii**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Provedení návrhu malé vodní elektrárny na uvedeném toku. Předmětem diplomové práce je zaměření vybrané lokality, vytvoření 3D modelu terénu, provedení hydraulických a hydroenergetických výpočtů, technického návrhu elektrárny a souvisejících funkčních částí, zhotovení výkresové dokumentace. Výstupy budou využity pro přípravu ke stavebnímu povolení. Podklady k řešení budou poskytnuty projekční firmou Stream s.r.o.

### **Cíle a výstupy diplomové práce:**

Provést zaměření vybrané lokality v konkrétním profilu uvedeného toku, vytvoření 3D modelu terénu, předložit hydraulické a hydroenergetické výpočty, technický návrh elektrárny a souvisejících funkčních částí, zhotovit výkresovou dokumentaci. Výsledně zpracovat návrh malé vodní elektrárny.

**Seznam doporučené literatury a podklady:**

Mäsiar, E.; Kamenský, J.: Hydraulika pre stavebných inžinierov (I). ALFA Bratislava, 1985

Boor, B.; Kunštátský, J.; Patočka, C.: Hydraulika pro vodohospodářské stavby. SNTL Praha, 1968

Gabriel, P. a kol.: Malé vodní elektrárny. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1998

Hodák, T.; Dušička, P.: Malé vodné elektrárne. JAGA Group, Bratislava, 1998

Bednář, J.: Malé vodní elektrárny 2 – Turbíny. SNTL Praha, 1989

Čábelka, J.: Využitie vodnej energie I. Bratislava, SVTL 1958

Melichar, J.: Malé vodní turbíny. ČVUT Praha, 1995

V Brně, dne 14. 3. 2022

L. S.

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo vypracování projektu malé vodní elektrárny na řece Askistskali v Gruzii. V rámci práce bylo provedeno geodetické zaměření pomocí fotogrammetrie dronem a prohlídka zájmové lokality. V práci jsou uvedeny podklady dodané firmou Stream s.r.o. a popsán postup zaměření pomocí dronu. V další části je popsán nový návrh všech stavebních objektů a provozních souborů a jsou uvedeny výsledky ekonomické analýzy. Následuje výpočtová část příloh, ve které je popsán postup návrhu jednotlivých objektů včetně výpočtů a požadovaných výstupů. V samotném závěru práce je přiložena fotodokumentace zájmového území, která byla pořízena při prohlídce zájmové oblasti projektu.

Na základě ekonomické analýzy byl projekt vyhodnocen jako výhodná investiční příležitost.

## KLÍČOVÁ SLOVA

MVE, Malá vodní elektrárna, Gruzie, Askistskali, Peltonova turbína, fotogrammetrie, dron

## ABSTRACT

The main objective of the thesis is to develop a project for a small hydroelectric power plant on the Askistskali River in Georgia. The thesis includes a geodetic survey using drone photogrammetry and a visit of the site of interest. The thesis presents the documents supplied by Stream Ltd. and describes the procedure of geodetic surveying using a drone. In the next part, the new design of all the structures is described and the results of the economic analysis are presented. It is followed by the calculations part, which describe the design procedure for each structure. At the very end of the thesis, a photographic documentation of the area of interest is attached.

Based on the economic analysis, the project was assessed as a profitable investment opportunity.

## KEYWORDS

SHPP, small hydro power plant, Georgia, Askistskali, Pelton turbine, photogrammetry, drone

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MITREGA, Stanislav. *Návrh malé vodní elektrárny na řece Askistskali v Gruzii*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh malé vodní elektrárny na řece Askistskali v Gruzii* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2023

---

Bc. Stanislav Mitrega  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh malé vodní elektrárny na řece Askistskali v Gruzii* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

---

Bc. Stanislav Mitrega

autor

## PODĚKOVÁNÍ

Poděkovat bych chtěl profesoru Ing. Janu Šulcovi CSc., který byl nejen mým vedoucím diplomové práce, ale také mě během studia naučil teoretickým znalostem, které jsou pro mě jako absolventa při projekci neocenitelné.

Mnohokrát děkuji Ing. Karlu Kramlovi, řediteli společnosti Stream, u kterého jsem dostal možnost pracovat, pod jeho odborným vedením, i na mezinárodních projektech, díky čemuž jsem nabyl neocenitelných zkušeností.

V neposlední řadě patří poděkování mé rodině a přítelkyni za jejich podporu během celého studia.



## OBSAH

1	Úvod .....	2
2	Podklady .....	5
3	Stávající stav .....	7
3.1	Popis území .....	7
3.2	Geodetické zaměření lokality .....	9
3.3	Hydrologické podklady .....	15
3.4	Geologický průzkum lokality .....	16
4	Nové technické řešení .....	17
4.1	Účel a popis stavby .....	17
4.2	Členění stavby .....	18
5	Stavební objekty .....	19
5.1	SO 1 – Vtokový objekt .....	19
5.2	SO 1 – Přivaděč a přístupové cesty .....	23
5.3	SO 3 – Strojovna .....	24
6	Technické a technologické zařízení .....	25
6.1	PS 1 – Strojně-technologická část .....	25
6.2	PS 2 – Elektrotechnická část .....	26
7	Ekonomická analýza .....	27
8	Závěr .....	31
9	Seznam příloh .....	32
10	Seznam tabulek .....	94
11	Seznam obrázků .....	96

# 1 Úvod

V rámci mé diplomové práce jsem dostal možnost zpracovat návrh malé vodní elektrárny na řece Askistskali v Gruzii.

Investorem projektu je investiční skupina Georgia Energy SICAV a.s., která oslovila firmu Stream s.r.o., aby vypracovala projektovou dokumentaci MVE Askistskali. Firma Stream s.r.o. působí déle než 20 let na poli projektování hydrotechnických staveb po celém světě. Ing. Karel Kraml, ředitel společnosti Stream s.r.o., mi poskytnul možnost vypracovat tento projekt v rámci mé diplomové práce. Zadání diplomové práce bylo tedy sestaveno firmou Stream s.r.o., která dodala potřebné podklady.

Ekonomika Gruzie zažívá v posledních letech velmi rychlý růst. Gruzie začíná čím dál více využívat svoji strategickou polohu a stává se z ní významná křižovatka mezi Evropou a Asií. Obchod se surovinami proudí od Kaspického moře, Ázerbájdžánu a v budoucnu se předpokládá obchod s celou střední Asií. Dalším významným faktorem je značný energetický potenciál ve vodních tocích, geotermálních zdrojích a velké množství fosilních paliv. Přes všechny tyto faktory se Gruzie stále nachází v komplikované energetické situaci. Největším limitem rozvoje ekonomiky je agresivní zahraniční politika severní sousedské země, Ruska. Po rozpadu SSSR byla Gruzie až do roku 2003 v energetické krizi. Zdroje jako elektřina, plyn a voda byly pro obyvatelstvo limitovány harmonogramem. Velmi často docházelo k dlouhým výpadkům dodávky těchto zdrojů, což mělo velký vliv na životní úroveň obyvatel. V současnosti se tento problém podařilo v hlavním městě eliminovat a k výpadkům dochází s podobnou periodicitou, jako v okolních zemích. Problém však stále přetrvává v ostatních regionech, i kvůli zastaralé distribuční síti. Gruzie je stále závislá na dodávkách plynu a ropy. Oproti předchozímu režimu, kdy šlo o úplnou závislost na Rusku, se podařilo alespoň dodávky těchto surovin dovážet ze sousedního Ázerbájdžánu. [13]

Situace stavu elektrické energie je mnohem pozitivnější. Díky velkému průměrnému srážkovému úhrnu za rok má Gruzie velký hydroenergetický potenciál. V některých obdobích dokonce exportuje energii do Turecka, Ruska, Ázerbájdžánu a Arménie. Během zimního období je země energeticky závislá na Rusku. Vlastní výrobu i export elektrické energie vláda systematicky podporuje a v roce 2014 nechala zpracovat studii teoretického hydroenergetického potenciálu celého svého území. Země disponuje bezmála 300 vodními toky s hydroenergetickým potenciálem nabývajícím hodnoty kolem 15 GW. Produkce země byla roku 2014 přibližně 2.7 GW. Tato skutečnost a stále více stabilizovaná politická situace v zemi nabízí velké investiční příležitosti pro zahraniční investory. Tyto investice vláda podpořila výstavbou vysokonapěťového vedení do Turecka.

Díky rozsáhlým ekonomickým reformám se v roce 2020 Gruzie umístila na 7. místě v indexu Světové banky „Ease of Doing Business“. [13]

Velmi si vážím příležitosti, alespoň svým malým dílem, podílet se na stabilizaci energetické situace v Gruzii. Do Gruzie jsem se v rámci předprojektových studií vydal na pracovní cestu a provedl geodetické zaměření pomocí fotogrammetrie dronem, čímž jsem ověřil hrubý spád lokality. Díky použití dronu jsem byl schopen provést zaměření ve velmi krátkém čase a měl možnost prozkoumat i těžko přístupná místa. Zároveň jsem vypracoval velmi přesný geodetický podklad pro návrh malé vodní elektrárny. Dále jsem ověřil průtok v toku Askistskali hydrometrickou vrtulí a proměřil příčný profil toku (Obr. 1). Průzkum lokality před začátkem projekčních prací hodnotím jako neocenitelný podklad pro projekci. Možnost přemýšlet nad návrhem objektů přímo v zájmové lokalitě projektu eliminovala spoustu nejistot plynoucích z neznalosti lokality.



**Obr. 1 – Měření průtočného profilu toku Askistskali**

Cílem mé diplomové práce je vypracování projektu malé vodní elektrárny, která využije hydroenergetický potenciál řeky Askistskali. Předmětem návrhu bude návrh všech potřebných stavebních objektů a provozních celků. Voda bude v horní části údolí odebírána z jezové zdrže. Voda musí být předčištěna od splavenin a plavenin pomocí lapáku písku a česlí. V řečišti musí být zachována možnost migrace ryb. Z toho důvodu v rámci práce provedu návrh rybího přechodu. Nezbytnými objekty malé vodní elektrárny budou přivaděč a strojovna, ve které bude umístěna turbína a generátor. Krom technického návrhu v rámci práce provedu ekonomickou analýzu projektu, ve které popíšu hlavní parametry investice a ověřím její výnosnost.

Hlavním cílem projektu tedy není pouze technické řešení, ale v neposlední řadě musí být projekt investičně výnosný. Jeho realizací se navíc stabilizuje dodávka elektrické energie v regionu a vytvoří se nová pracovní místa.

## 2 Podklady

### Podklady poskytnuté firmou Stream

- [1] Hydrologické podklady
- [2] Geologický průzkum lokality

### Zdroje

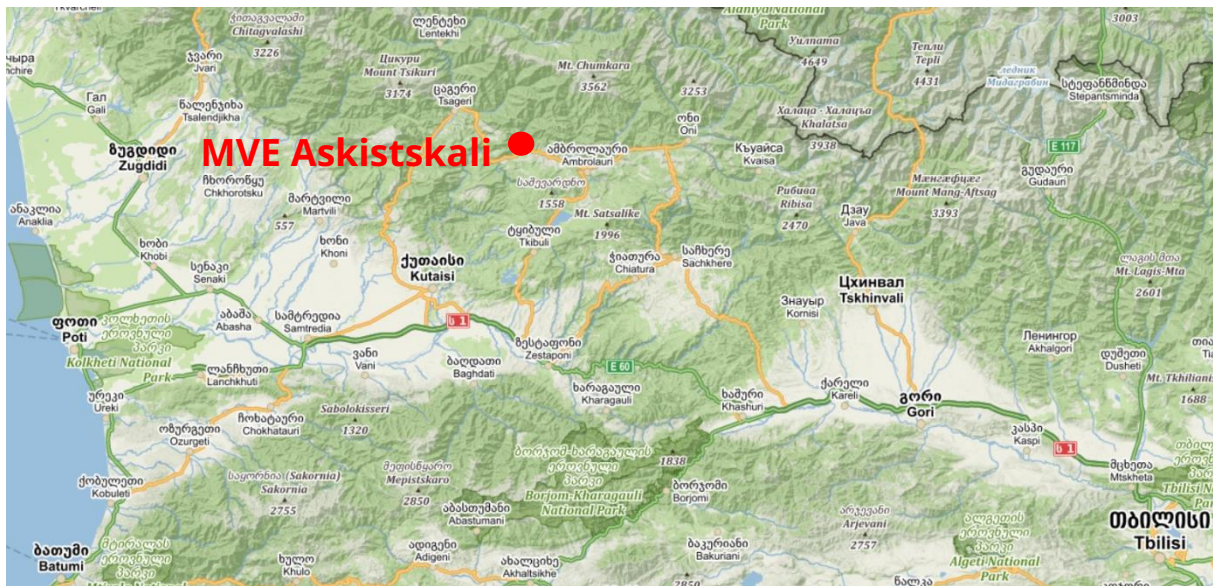
- [3] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [4] BOOR, Boris, Cyril PATOČKA a Jiří KUNŠTÁTSKÝ. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby: celost. učebnice pro vys. školy*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1968. Řada stavební literatury.
- [5] ČÁBELKA, Jaroslav. *Využitie vodnej energie I a II*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1959.
- [6] KORYTÁROVÁ, J. *Ekonomika investic*. Brno: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, 2006.
- [7] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny: Projektování a provoz*. Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- [8] SCHMIDT, G. Planning of Water intake structures for irrigation or hydropower: Planning for intake structures. G. Schmidt, H. Lauterjung, 1989. ISBN 3-528-02042-3.
- [9] Drone Surveying with DJI Phantom 4 RTK in the UK. In: *RUAS* [online]. 2022, 2022 [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <https://ruas.co.uk/drone-surveying-with-dji-phantom-4-rtk-in-the-uk/>
- [10] TNV 75 2321. *ZPRŮCHODŇOVÁNÍ MIGRAČNÍCH BARIÉR RYBÍMI PŘECHODY*. Leden 2011.
- [11] GORDON, J. L. *Submergence Factors for Hydraulic Turbines* [online]. 1989 [cit. 2022-12-30].

- [12] HIMR, D., Petra DANČOVÁ a Petr NOVONTÝ. Numerical simulation of water hammer in low pressurized pipe: comparison of SimHydraulics and Lax-Wendroff method with experiment. *EPJ Web of Conferences* [online]. 2013, 45 [cit. 2023-01-05]. ISSN 2100-014X. Dostupné z: doi:10.1051/epjconf/20134501037
- [13] Energetika Gruzie je založena z valné části na vodní energii. *EnviWeb.cz* [online]. 24.5.2014 [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/99440>

### 3 Stávající stav

#### 3.1 Popis území

Malá vodní elektrárna Askistskali se bude nacházet na řece Askistskali, která protéká vesnicí Chrebalo, přibližně 42 km severně od města Kutaisi (Obr. 2, Obr. 3). Pro výrobu energie bude využit průtok z řeky Askistskali, přítékající severně z výše položeného pohoří. Spád pro výrobu energie bude zajištěn díky morfologii terénu v údolí a 5 m vysokému jezu.



**Obr. 2 – Umístění projektu v severní části Gruzie [3]**

Jez bude umístěn v horní části údolí a díky výšce 5 m vznikne dostatečně velký retenční prostor pro špičkový provoz. Jelikož jde o elektrárnu s využitím velkého spádu, před vtokem do potrubí bude realizován lapák písku, který zajistí předčištění vody od sedimentů, jež by mohly zapříčinit mechanickou abrazi turbíny.

Na pravém břehu bude tedy jez vetknut do konstrukce lapáku písku a na levém břehu bude zajištěn konstrukcí rybího přechodu. Rybí přechod je osazen kvůli umožnění migrace lososovitých ryb řečištěm. Rybí přechod bude zpřístupněn brodem, který bude využit i při výstavbě objektu.

Od vtokového objektu bude voda převáděna sklolaminátovým potrubím o průměru 1.2 m. Po přibližně 4 kilometrech bude na potrubí osazena redukce na průměr 1.1 m. Druhá část přivaděče je dlouhá 2.8 km a vodu vede až do strojovny k turbíně.

Na 6. kilometru přivaděče jsem navrhl napojení na stávající komunikaci. Nová komunikace bude vybudována v celé trase přivaděče a propojí tak vtokový objekt se strojovnou.

Strojovnu jsem navrhl na pravém břehu řeciště. Oběžné kolo Peltonovy turbíny je na kótě 481.80 m n.m. Od strojovny povede nové připojení na stávající elektrifikační síť dlouhé přibližně 600 m.



Obr. 3 – Schematické umístění hlavních objektů [3]



### 3.2 Geodetické zaměření lokality

V rámci mé diplomové práce jsem provedl geodetické zaměření lokality pomocí dronu DJI Phantom 4 a RTK stanice („Real-Time Kinematic“).

Zaměření území dronem je nejmodernější a nejrychlejší metoda, jak získat přesnou topografii zájmové oblasti.

Sestava pro zaměření se skládá ze samotného dronu, RTK stanice a ovladače (Obr. 4).



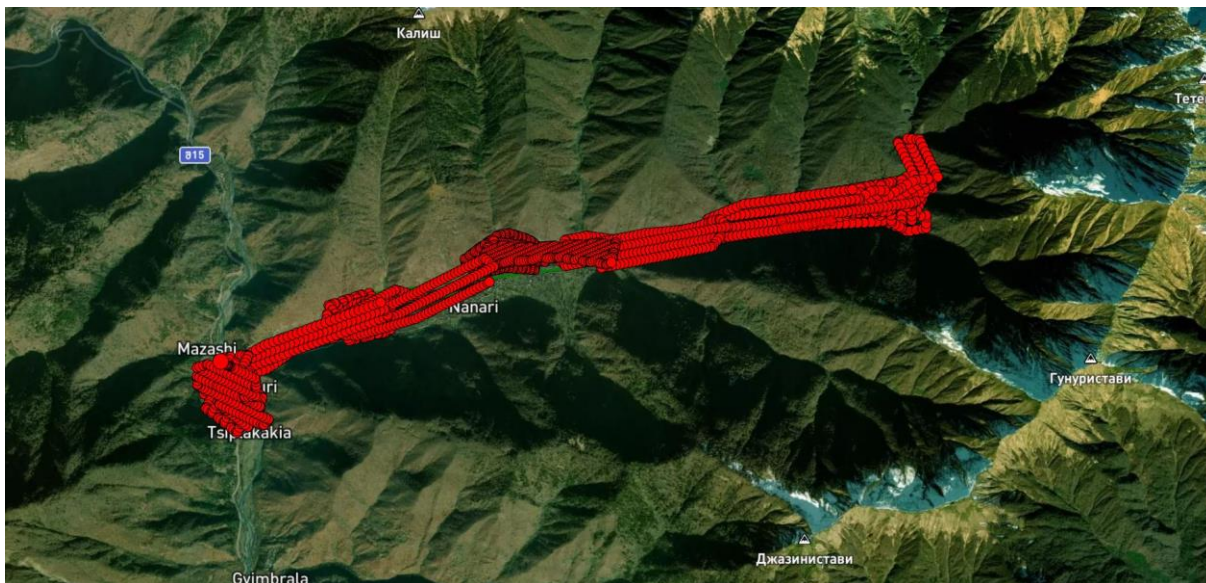
**Obr. 4 – Dron DJI Phantom 4, RTK stanice [9]**

Zaměření jsem provedl následujícím způsobem. Nejdříve jsem území rozdělil na více menších ploch. Ke každé ploše jsem v softwaru DJI přidal informace, v jaké výšce, při jaké rychlosti a s jakou četností má dron létat a pořizovat snímky kamerou. Rovněž jsem před odletem do oblasti alespoň orientačně vyhledal místa, ze kterých bude možné s dronem vzlétnout. Přímo na místě jsem pomocí velmi přesného GPS lokátoru určil souřadnice RTK stanice. Stanici jsem propojil s dronem, který od ní získával informace v reálném čase o své poloze. Po provedení průzkumu dronem jsem získal georeferencované snímky v ultra HD rozlišení (Obr. 5). Snímky jsem zpracoval pomocí programu Pix4D Mapper a Virtual Surveyor (Obr. 6). Program identifikuje identické body skrze všechny snímky a vygeneruje z nich tzv. „Tie points“. Pomocí triangulace dopočítá souřadnice každé z nich a vznikne hrubý model území (Obr. 7). Následuje vytvoření

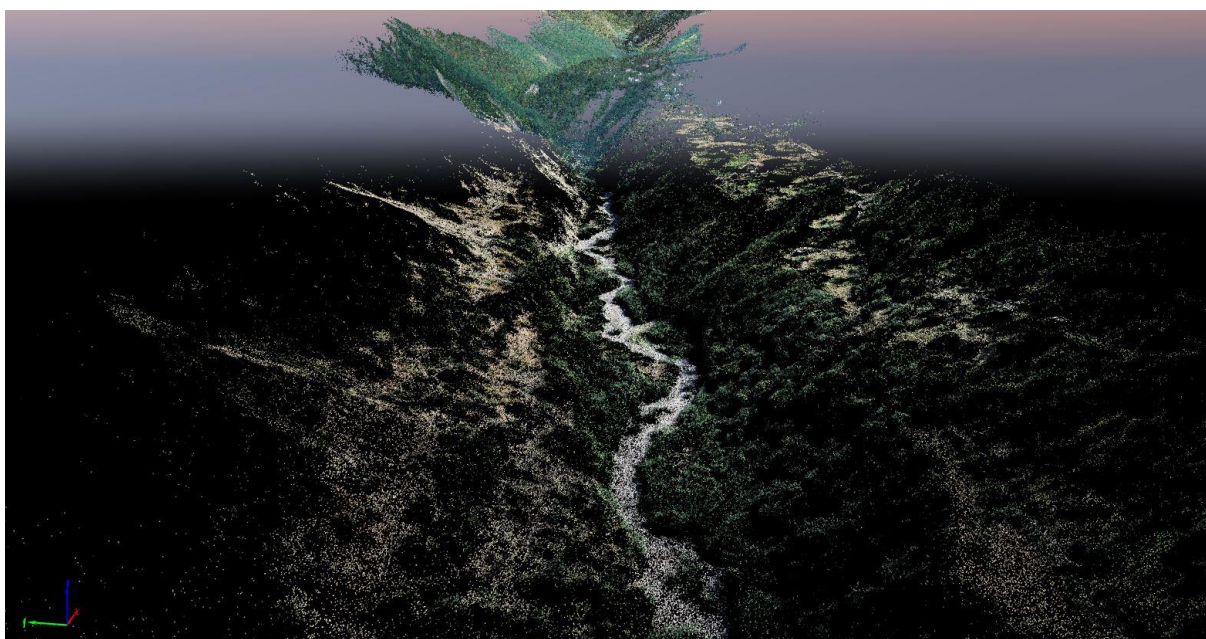
mračna bodů (Obr. 8). Body jsou v dalším kroku automaticky klasifikovány do skupin (Obr. 9). Skupiny bodů se dělí podle předpokládaného typu objektu. Software dokáže rozeznat například silnici, vysokou vegetaci, budovy, objekty vytvořené lidmi a další. Tuto automatickou klasifikaci jsem zpřesnil manuální korekcí a nechal znovu vygenerovat mračno bodů. Body se poté propojí triangulací a vytvoří tak digitální model povrchu neboli „DSM“ („Digital surface model“) (Obr. 11). Program dále potlačí veškeré objekty uměle vytvořené lidmi, vysokou i nízkou vegetaci a další nežádoucí objekty a vytvoří digitální model terénu neboli „DTM“ („Digital terrain model“) (Obr. 12). Automatickým výstupem je ortofoto snímek území v ultra HD kvalitě a vygenerované vrstevnice ve vektorových formátech (Obr. 13). Tímto postupem jsme schopni získat velmi přesné zaměření rozsáhlého území ve velmi krátkém čase.



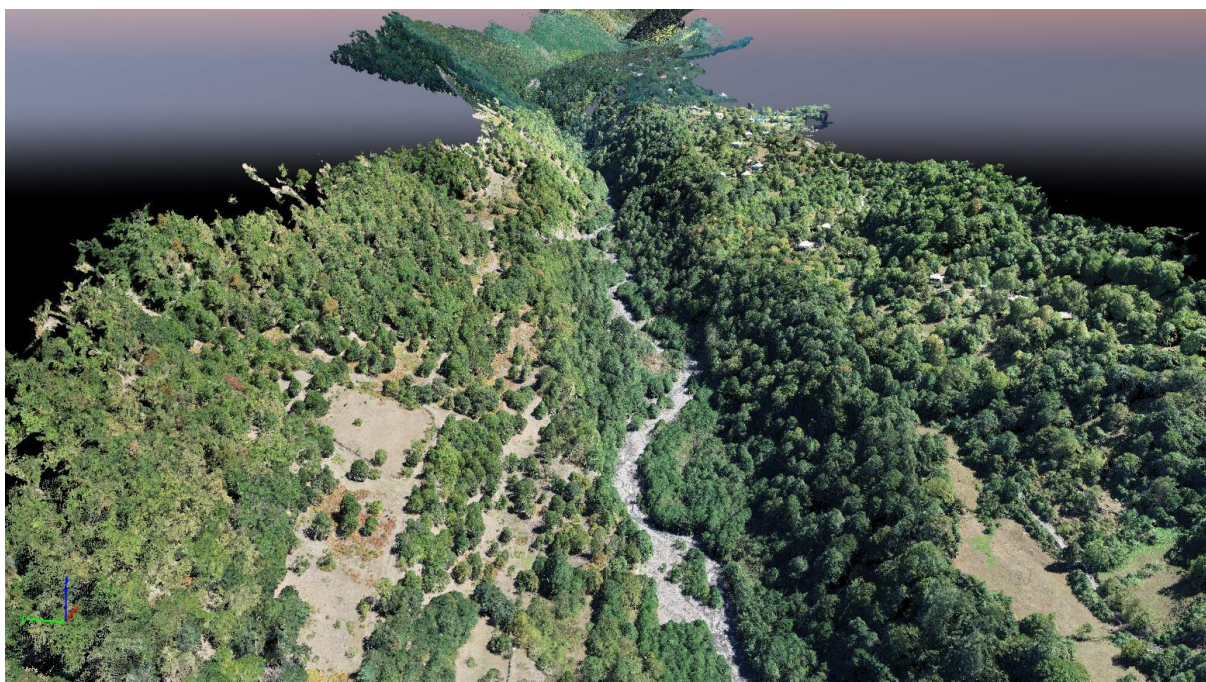
**Obr. 5 – Pohled z dronu do údolí řeky Askistskali**



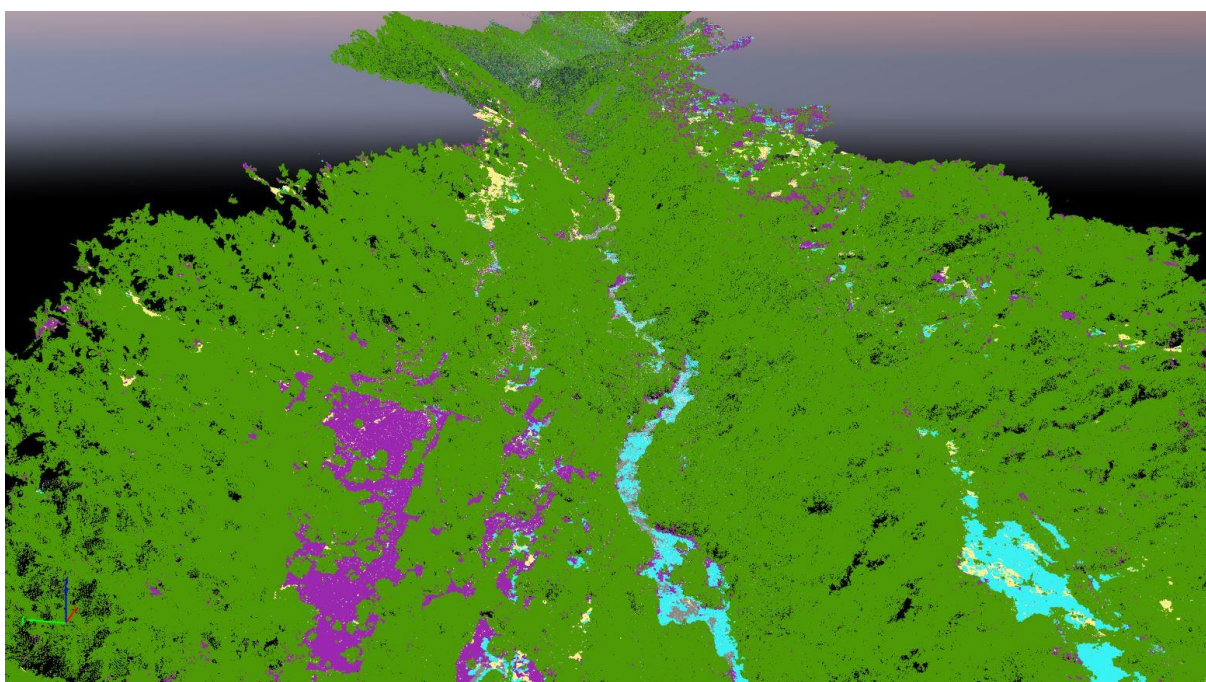
**Obr. 6 - Záznam trasy dronu ze zaměření údolí řeky Askistskali**



**Obr. 7 - Detail modelu terénu z programem vygenerovaných „Tie points“**



**Obr. 8 - Detail terénu tvořený z „Tie points“**



**Obr. 9 - Detail modelu terénu s vyznačením klasifikačních skupin**



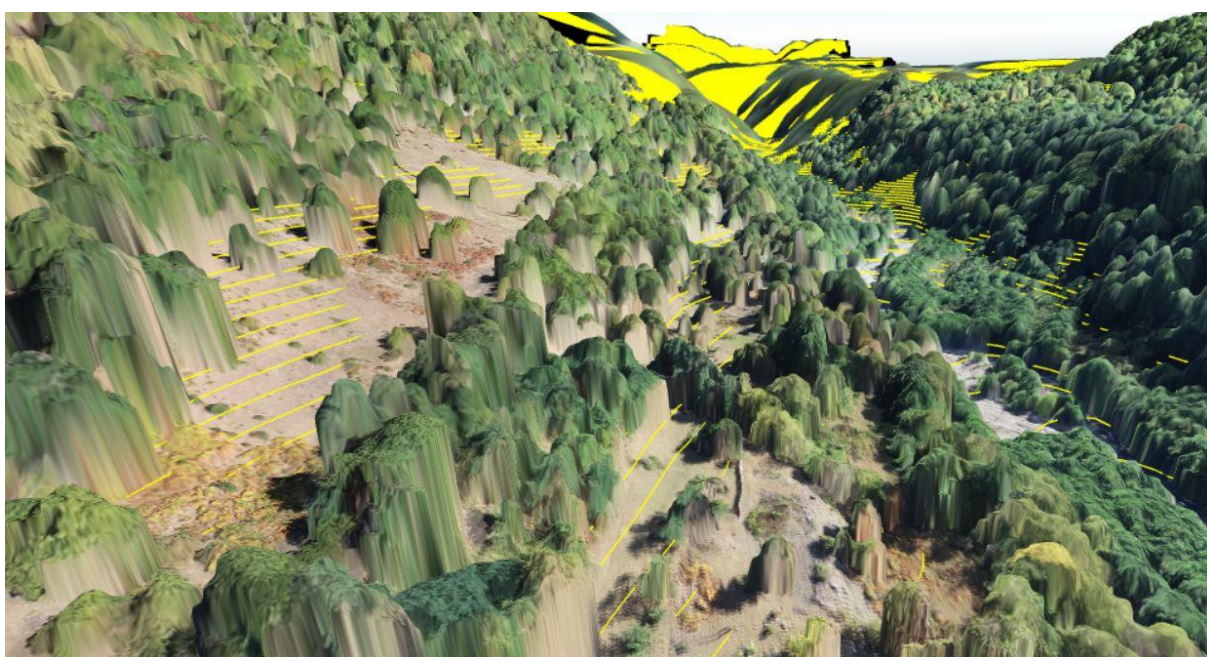
**Obr. 10 - Detail modelu terénu tvořený mračnem bodů**



**Obr. 11 - Detail digitálního modelu povrchu DSM**



**Obr. 12 - Detail digitálního modelu terénu DTM**



**Obr. 13 - Detail digitálního modelu povrchu DSM podloženého vrstevnicemi generovanými z digitálního modelu terénu DTM**

### 3.3 Hydrologické podklady

Hydrologické údaje povrchových vod [1] byly poskytnuty firmou Stream. Hodnoty m-denních průtoků byly stanoveny pomocí srážkoodtokových modelů, které vycházely z databáze hydrologických parametrů Gruzie.

**Vodní tok:** Askistskali

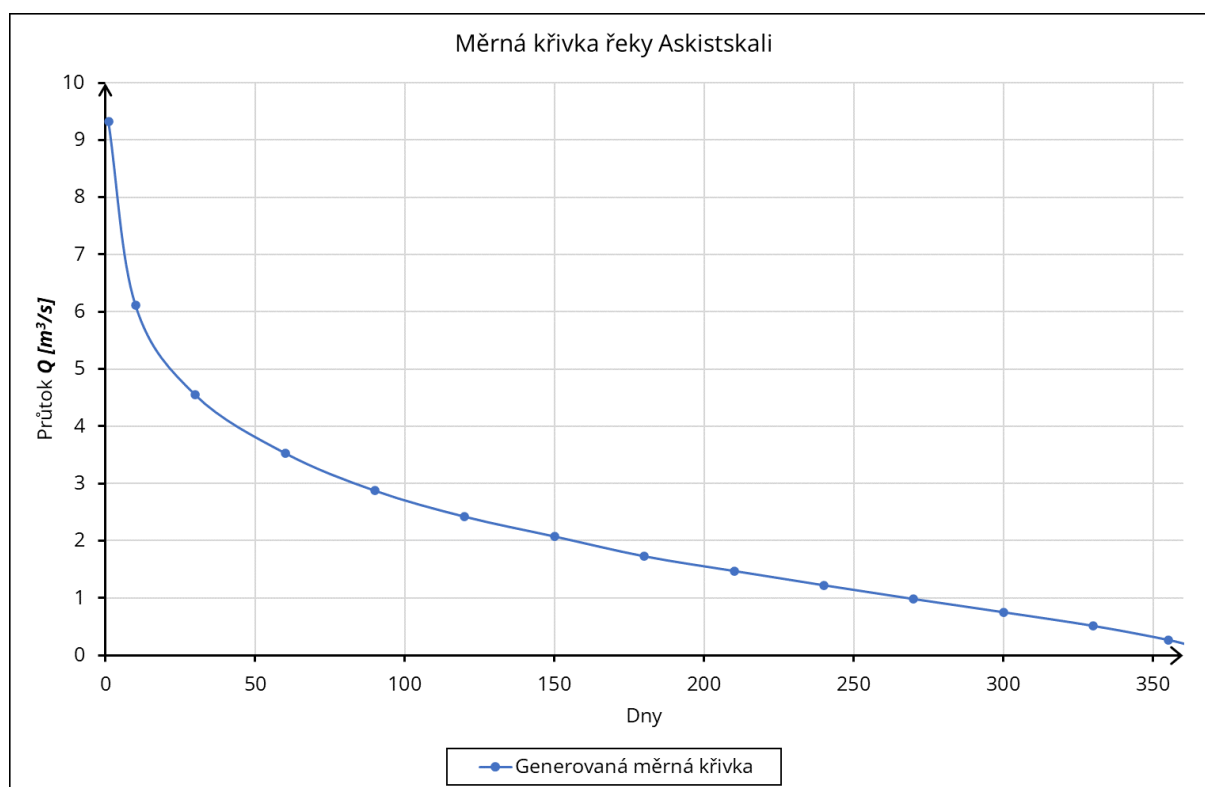
**Dlouhodobý průměrný průtok  $Q_a$ :** 2.1 m<sup>3</sup>/s

**Minimální hygienický průtok v toku:** 0.21 m<sup>3</sup>/s

**Tab. 1 - M-denní průtoky  $Q_{Md}$**

dny	1	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	365
$Q_{Md}$ [m <sup>3</sup> /s]	9.32	4.55	3.53	2.87	2.42	2.07	1.73	1.47	1.22	0.98	0.75	0.51	0.27	0.13

**Tab. 2 - N-leté průtoky  $Q_N$**

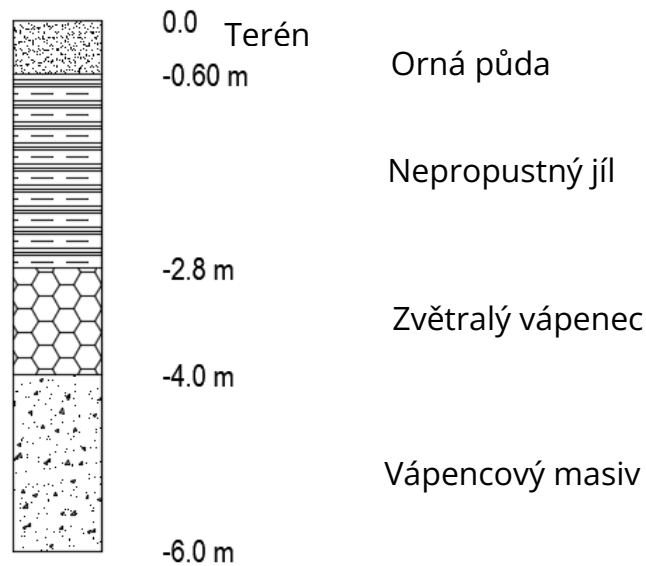


**Obr. 14 - Měrná křivka řeky Askistskali**

### 3.4 Geologický průzkum lokality

Firmou Stream byl poskytnut geologický průzkum lokality [2].

Průzkum byl prováděn od července do srpna roku 2022. Průzkumné vrty byly provedeny v místě strojovny za účelem zjištění vlastností zeminy a hloubky skalního masivu. Spodní vody byly ve zprávě vyhodnoceny jako neagresivní.



**Obr. 15 – Charakteristický geologický vrt na břehu řečiště**



**Obr. 16 – Charakteristický geologický vrt v řečišti**



## 4 Nové technické řešení

### 4.1 Účel a popis stavby

Pro využití hydroenergetického potenciálu koryta řeky Askistskali jsem navrhl malou vodní elektrárnu o výkonu 5.18 MW. Dle ČSN 75 0128 ji lze klasifikovat jako malou vodní elektrárnu (instalovaný výkon do 10 MW) vysokotlakou (spád nad 100 m).

Hlavní objekty nového technického řešení jsem vyznačil v obecné situaci ve výkresové příloze č. 2.1.

Na vodním toku Askistskali přibližně 7 km od vesnice Chrebalo jsem navrhl vtokový objekt. Jeho součástí je jez o délce 12 m a výšce 5 m. Aby mohla být šířka hradicí stěny 0.8 m, podepřel jsem ji po konzultaci se statikem pilířem šířky 3 m. Pod jezem jsem navrhl vývařiště pro bezpečné převedení provozních průtoků. Na pravém břehu na jez navazuje štěrková propust. Na pravém břehu jsem také navrhl vtok do lapáku písku. Lapák písku slouží pro separaci a následný odvod jemných částic rozptýlených ve vodě, které by v případě vniknutí do potrubí sloužily jako abrazní materiál turbíny a mohly by zapříčinit její destrukci. Lapák písku jsem navrhl dostatečně kapacitní pro průtok 2.25 m<sup>3</sup>/s. Lapák bude vybaven dvěma proplachy pro snazší údržbu.

Na levém břehu na jez navazuje rybí přechod, který umožňuje lososovitým rybám migraci řekou Askistskali. Rybí přechod překonává hrazenou výškou 5 m a kvůli úspoře místa jsem zvolil technický štěrbínový typ. Pro stavbu rybího přechodu bude vybudován brod, který bude po realizaci sloužit jako přístupová cesta na levý břeh.

Na konci lapáku písku za jemnými česlemi s čistícím strojem jsem navrhl vtok do přivaděče.

Přivaděč o délce 6.93 km bude převádět vodu od vtokového objektu do strojovny, ve které bude umístěna turbína. Materiál přivaděče jsem po konzultacích s Ing. Karlem Kramlem zvolil navíjený sklolaminát. Asijský dodavatel potrubí deklaruje, že potrubí při zvolených průměrech tento průtok a spád bezpečně převede a rovněž předložil potřebnou certifikaci výroby. Bude třeba dodržet postup výstavby, který bude více upřesněn v dalším stupni dokumentace. Potrubí jsem navrhl umístit do náspu. Veškeré lomy v potrubí bude potřeba zakotvit do železobetonových bloků. Podél celé délky přivaděče bude realizována nová přístupová cesta šířky 4 m.

Nová cesta bude napojena na stávající komunikaci v úseku u staničení 6 km.

Přibližně 700 m od vesnice Chrebalo jsem navrhl novou strojovnu. Původně jsem navrhoval umístění strojovny v již zmíněném staničení 6 km kvůli výhodné dostupnosti, ale na přání investora bylo potřeba navýšení výkonu malé vodní elektrárny. Z tohoto důvodu jsem posunul strojovnu o cca. 700 m níže po směru proudu, čímž jsem získal větší spád a požadovanou hranici 5 MW jsem splnil. Ačkoli si tato změna vyžádá vyšší náklady, ekonomická analýza projektu dokazuje, že projekt je stále výnosný s výhodnou dobou návratnosti.

Strojovna, stejně jako celý koridor podél přivaděče, bude realizována pouze na pravém břehu řeky Askistskali. Tím jsem splnil další požadavek investora, držet se v co nejvyšší míře u koryta toku, což značně zjednoduší výkup pozemků.

Sklolaminátový přivaděč je navržen až ke strojovně, kde je voda dále vedena v ocelovém potrubí k Peltonově turbíně. Voda je distribuována podél turbíny čtyřmi dýzami vybavenými deflektory. Ty jsou osazeny kvůli eliminaci účinků vodního rázu. Při požadavku zavřít turbínu deflektory odkloní paprsek vody od korečků a umožní tak pozvolné zavírání potrubí.

Ze strojovny bude vybudováno nové připojení 35 kV ke 700 m vzdálenému připojovacímu bodu hlavní distribuční sítě. To se nachází u mostu hlavní silnice procházející obcí Chrebalo.

## **4.2 Členění stavby**

Navržené řešení MVE Askistskali si vyžádá realizaci 3 stavebních objektů a 2 provozních souborů.

### **Stavební objekty:**

- SO 1 – Vtokový objekt
- SO 2 – Přivaděč a přístupové cesty
- SO 3 – Strojovna

### **Provozní soubory:**

- PS 1 – Strojně-technologická část
- PS 2 – Elektrotechnická část

## 5 Stavební objekty

### 5.1 SO 1 – Vtokový objekt

Vtokový objekt tohoto projektu se skládá z jezové hradící konstrukce, vývařiště pod jezem, štěrkové propusti jezové zdrže, lapáku písku a rybího přechodu. V blízkosti vtokového objektu budou také realizovány přístupové cesty, brod, technická budova a zařízení staveniště.

Technické řešení vtokového objektu jsem zpracoval do výkresových příloh č. 1.1 až 1.10.

Všechny dílčí objekty umístěné na vtoku jsem navrhl či posoudil v druhé výpočtové části příloh v kapitole B.1 Vtokový objekt.

#### Jez

Konstrukci jezu jsem navrhl pevnou železobetonovou o délce 12 m, hradicí výšce 5 m a tloušťce stěny 0.8 m. Takto subtilní konstrukci jsem navrhl kvůli požadavku investora snížit cenu stavby. Kvůli statické bezpečnosti jsem navrhl hradicí stěnu podepřít pilířem o šířce 3 m v celé výšce stěny. Toto řešení bylo konzultováno se statikem.

Přelivnou hranu jezu jsem navrhl kruhovou s poloměrem 0.4 m. Koruna jezu se bude nacházet v nadmořské výšce 784.5 m n.m., tedy 5 m nad kótou terénu v nadjezí 779.5 m n.m. Jez je schopen převést 50letý průtok  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  při přepadové výšce 1.9 m. Okolní konstrukce stěn budou vystavěny do výšky 786.5 m n.m. a při 50letém průtoku nebudou zaplaveny. Na vyšší N-letosti nebyl vtok navržen z důvodu ekonomiky projektu. V bočních stěnách jezu jsem navrhl zavzdušňovací potrubí prostoru pod paprskem přepadu.

Podrobný výpočet přepadu přes přeliv jsem zpracoval do příloh do kapitoly B.1.1 Výpočet přepadu. Pro posouzení ovlivnění přepadu hladinou dolní vody pod jezem jsem vypočítal a sestavil konsumpční křivku koryta pod jezem v kapitole B.1.2.

## Vývar

Vývar pod jezem jsem navrhl železobetonový s prohloubením 1.6 m pod kótou původního terénu v nadjezí 779.5 m n.m. Jelikož voda do vývařiště přepadá z výšky 5 m, vývařiště by muselo být pro větší povodňové průtoky navrženo velmi dlouhé. Takový návrh by byl z ekonomických důvodů nevhodný. Proto jsem po konzultaci s Ing. Karlem Kramlem navrhl vývar na průtok 20 m<sup>3</sup>/s. Tento průtok bude kapacitní na nižší N-letosti. Stabilitu jezu a vývaru zajišťuje vetknutí do pilíře rybího přechodu a šterkové propusti. Dále je vývar zajištěn proti posunu masivní železobetonovou patkou. Proti průsakům podzemní vody pod jezem jsem navrhl podzemní stěnu, která bude vyhloubena až na úroveň nepropustné horniny. Dno řečiště pod jezem bude zpevněno stavebním opevněním balvany zalitými betonem v šířce 5 m.

Návrh vývaru jsem zpracoval do výkresových příloh 1.2 a 1.5. Výpočty jsem uvedl do kapitoly B.1.3 Návrh vývaru.

## Šterková propust

Pro proplach sedimentů z jezové zdrže jsem navrhl u pravého břehu šterkovou propust. Propust bude realizována v šířce 2.1 m a délce 10.8 m. Propust bude tvořena drážkami provizorního hrazení a hydraulickým automatickým stavidlem o dvou hradicích polích. Pro manipulaci se stavidly, jeho prohlídkami a údržbě jsem přes propust navrhl ocelovou obslužnou lávku. Za stavidlem bude dno připojeno k původnímu terénu ve sklonu 12.4 %.

Šterková propust bude sloužit pro umožnění proplachu sedimentů z jezové zdrže a také pro převod části minimálního zůstatkového průtoku v řece. Díky zatažení stavidel 8.8 cm pod provozní hladinu bude propust schopna převést průtok 0.081 m<sup>3</sup>/s. Zbylá část průtoku bude převáděna rybím přechodem.

Ve výkresu 1.6 jsem zpracoval řez šterkovou propustí a situace propusti je součástí výkresu podrobné situace vtoku 1.2.

## Lapák písku

Vtok do lapáku písku bude realizován na pravém břehu. Od šterkové propusti bude oddělen obtokovým pilířem. Na vtoku jsem navrhl vtokový práh výšky 1 m, abych zabránil vniku sedimentů ze dna řečiště. Usazené sedimenty budou díky náklonu prahu vyplaveny přímo do šterkové propusti. Na vtoku budou osazeny hrubé česle ve sklonu 90°. Hrubé česle jsou tvořeny kruhovými tyčemi o průměru 6 cm. Jejich koeficient tvaru  $\beta$  je tedy 1.79. Tyče jsem navrhl ve vzdálenosti 20 cm po celé délce vtoku. Díky kruhovému tvaru a skutečnosti, že česle nebudou pevně vetknuty do konstrukce, je lze v případě potřeby snadno jednotlivě vyměnit.

Třetím objektem na vtoku je norná stěna, zamezující plaveninám vnik do lapáku písku. Pro přístup k česlům jsem na norné stěně navrhl ocelovou obslužnou lávku. Vtokový otvor do lapáku písku je dlouhý 6 m o výšce 2.5 m. Voda je skrze něj odváděna k obtokovému pilíři, který rozděluje žlab lapáku na dvě části. Je tomu tak kvůli omezení velikosti stavidel a usměrnění proudu. V prostoru před funkčním prostorem lapáku písku jsou umístěny drážky provizorního hrazení, stavidla a obslužná lávka. Usazovací prostor lapáku písku jsem navrhl 25 m dlouhý a 3.5 m široký. Tvar dna je upraven do lichoběžníku, aby byly sedimenty lépe proplachovány. Za tímto účelem jsem také navrhl dvě proplachovací stavidla. Jedno bude instalováno přibližně v polovině usazovací části. Druhé před výtokovým prahem na konci lapáku písku. Stavidla proplachu jsem navrhl 2x2 m a budou vyústěny do prostoru pod jezem.

Na konci lapáku písku jsem navrhl práh o výšce 1.5 m sloužící pro zachycení usazovaných částic před vtokem do potrubí. Žlab je za usazováním opět rozdělen obtokovým pilířem, ve kterém jsem navrhl realizaci drážek provizorního hrazení a stavidel. Hned za pilířem budou instalovány jemné česle s automatickým řetězovým čistícím strojem. Jemné česle budou tvořeny ocelovými tyčemi obdélníkového oválného průřezu o šířce 6 mm, 2 cm od sebe. Shrabky budou pásovým dopravníkem vraceny zpět do toku. Za jemnými česly bude realizován nátok do přivaděče se stavidlovým uzávěrem. Jelikož se vtok nachází v horní části toku, svahy obklopující řečiště jsou ve velkém spádu a na realizaci tak rozměrného objektu jsem musel přijmout určité kompromisy. Hlavním kompromisem je natočení vtoku přímo u ústění do přivaděče. Vyskytne se zde místní ztráta, která je ale v našem případě zanedbatelná. Kolem začátku přivaděče bude realizován revizní objekt, ve kterém bude na přivaděč instalován revizní vstup do potrubí a bezpečnostní čidlo. Pokud by došlo k náhlému zrychlení vody v potrubí, vyvolané prasknutím přivaděče, bezpečnostní čidlo změnu zachytí a automaticky uzavře vtok do potrubí.

Technický návrh lapáku písku jsem zpracoval do výkresu podrobné situace vtoku 1.3 a řez lapákem písku je obsažen ve výkresu 1.8. Výpočet jsem popsal a hlavní parametry lapáku uvedl v kapitole B.1.4 Návrh lapáku písku, výpočtové části příloh.

## Rybí přechod

Na levém břehu jsem navrhl realizaci technického štěrbinového rybího přechodu. Rybí přechod překonává hrazenou výšku jezu 5 m. Dno na vtoku do rybího přechodu se bude nacházet na kótě 784.5 m n.m. a na konci bude dno ústít v nadmořské výšce 779.5 m n.m. Celkovou konstrukční délku rybího přechodu jsem navrhl 50 m. Jelikož na 50 m dlouhý žlab není v údolí prostor, navrhl jsem žlab 2x zalomit. Tím minimalizuji objem betonu pro realizaci a výrazně zmenším požadavek na prostor. Sklon takto navrženého žlabu činí 10 %.

Rybí přechod jsem navrhl dle doporučených hodnot pro lososovité a pstruhové ryby, které uvádí česká technická norma TNV 75 2321 [10]. Rybochod je tvořen 24 zdrži o šířce 1.2 m a průměrné hloubce 0.6 m. Jednotlivé zdrže jsou od sebe odděleny přepážkami, ve kterých je voda převáděna štěrbinou o šířce 0.2 m. Celkový průtok v rybím přechodu při těchto parametrech činí 0.129 m<sup>3</sup>/s. Rybí přechod bude plnit dvě funkce. Bude umožňovat migraci ryb a převádět část minimálního zůstatkového průtoku, zbylá část 0.081 m<sup>3</sup>/s bude převáděna šterkovou propustí.

Rybí přechod navazuje na hradící stěnu jezu a je dále zapřen železobetonovou opěrnou stěnou do levého břehu. Přístup k objektu, a tedy i na levý břeh, je zajištěn brodem a příjezdovou cestou. Tato cesta bude využívána při i po výstavbě. Násyp cesty bude tvořen zpevněnou vytěženou zeminou s opevněním svahů kamennou rovnatinou.

Technický návrh rybího přechodu jsem zpracoval ve výkresech 1.2 a 1.9. Výpočet rozměrů jsem zpracoval do kapitoly B.1.5 výpočtové části příloh.

## 5.2 SO 1 – Přivaděč a přístupové cesty

Pro převod vody údolím od jezu ke strojovně jsem zvolil využití sklolaminátového potrubí o celkové délce 6.93 km. Voda do potrubí ústí na konci lapáku písku za jemnými česlemi a osa vtoku se nachází na kótě 780.9 m n.m. Provozní hladinu na jezu jsem navrhl ve výšce 784.5 m n.m. Oběžné kolo Peltonovy turbíny se nachází na kótě 481.8 m n.m. Potrubí tedy překonává celkový hrubý spád 302.7 m vodního sloupce. Hltnost turbíny, tedy maximální průtok potrubí, činí 2.25 m<sup>3</sup>/s. Přestože se jedná o využití velkého spádu, na výstavbu přivaděče nebude využito ocelové potrubí. Cena ocelového potrubí je příliš vysoká a investice by přestala být výnosnou. Naproti tomu Asijský výrobce sklolaminátových potrubí deklaruje dostatečnou kvalitu a odolnost potrubí. Sklolaminátové potrubí bylo proto zvoleno pro jeho cenu, dostupnost, kvalitu a vysokou rychlost instalace, která je dosažena díky nízké hmotnosti a jednoduché výrobě specifických kusů.

Hlavní úseky přivaděče jsem shrnul do tabulky Tab. 3.

Jelikož je trasa přivaděče projektována údolím podél řečiště, bude třeba realizace velkého počtu lomů potrubí. Každý lom bude třeba zakotvit do železobetonového bloku. Celkem si výstavba přivaděče vyžádá realizaci 70 kotevních bloků. V rámci mé diplomové práce jsem provedl výpočet sil v lomech potrubí, které bude třeba zakotvit. Návrh kotevních bloků bude obsahem navazujícího stupně projektové dokumentace. Výpočty jsem uvedl do výpočtové části příloh do kapitoly B.2.1. Provedení těchto výpočtů je pro realizaci přivaděče stěžejní. Největší nevýhodou sklolaminátových potrubí je právě náchylnost k popraskání při posunu bloků v lomech potrubí. Z tohoto důvodu je kladen zřetel na provedení výpočtů sil v lomech potrubí.

Pro výpočet výroby energie jsem provedl výpočet celkových ztrát vodní cesty, kam jsem započítal ztráty od hrubých a jemných česlí, vtoku do potrubí, ztráty od změn směru v lomech potrubí, zúžení potrubí, uzávěrů a ztráty třením po délce přivaděče, které byly v tomto případě majoritní. Výpočet jsem uvedl do příloh do kapitoly B.2.2. Celkové ztráty vodní cesty při návrhovém průtoku činí 30.8 m.

Posudek vodního rázu v potrubí je obsažen ve výpočtové části příloh v kapitole B.2.3. Účinky vodního rázu jsem posoudil navzdory faktu, že bude využita Peltonova turbína, která díky deflektorům může být uzavírána pozvolna, čímž se vodní ráz eliminuje. Posudek jsem provedl z důvodu přání investora a jeho uvažování nad použitím jiného typu turbíny.

Podél celé trasy přivaděče bude vybudována přístupová cesta. Cesta bude tvořena náspem z vytěženého štěrku (výkres 2.21).

**Tab. 3 – Hlavní úseky trasy přivaděče**

Staničení [km]	Objekt	Poznámka
0.0	Vtok do potrubí	Osa potrubí 780.9 m n.m.
0.0 – 4.1	Sklolaminátové potrubí DN 1200	3D délka 4177 m
4.1	Zúžení DN 1200 na DN 1100	Součástí bloku číslo 45
4.1 – 6.9	Sklolaminátové potrubí DN 1100	3D délka 2753 m
6.9	Výtok do potrubí u turbíny	Oběžné kolo turbíny 481.8 m n.m.

### 5.3 SO 3 – Strojovna

Přivaděčem bude voda přiváděna k turbíně, umístěné ve strojovně. Strojovna bude chránit turbínu a elektrotechnické vybavení před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Strojovnu jsem v návrhu situoval na pravém břehu řečiště kvůli výhodné morfologii terénu. Terén kolem strojovny jsem navrhl srovnat náspem na kótu 484.10 m n.m., což je nad hladinou povodňové vlny  $Q_{100}$ . Vstup do strojovny je umožněn pomocí hlavních vrat o rozměrech 4x4 m. Skrze tyto vrata je umožněn vjezd vozidel, od kterých jsou těžká břemena dále dopravována skrze jeřáb s únosností 15 tun. Strojovnu jsem navrhl o dvou podlažích. Přízemní podlaží je navrženo na kótě 484.1 m n.m., stejně jako okolní terén a nachází se na něm místnost pro transformátor, rozvaděče, sociální vybavenost strojovny a operační místnost strojovny. Z operační místnosti je možná vizuální kontrola celé strojovny. Nižší podlaží jsem navrhl na kótě 481.1 m n.m. a nachází se na něm Peltonova turbína ve vertikálním uspořádání s generátorem. Dále je na něm situována hydraulická jednotka a mazací agregát. Přístup je mezi podlažími umožněn ocelovým schodištěm. Z bezpečnostních důvodů jsem navrhl instalaci ocelového zábradlí.

Od Peltonovy turbíny bude voda odváděna železobetonovým žlabem do stávajícího koryta toku.



## 6 Technické a technologické zařízení

### 6.1 PS 1 – Strojně-technologická část

Před vtokem do lapáku písku jsem navrhl osazení hrubých česlí. Ty budou tvořeny z ocelových trubek o průměru 6 cm. Za hrubými česlemi budou osazeny drážky provizorního hrazení, tvořené ocelovými nosníky U300. Jako provozní uzávěr před lapákem písku budou sloužit stavidla. Drážky provizorního hrazení a stavidla budou osazeny i na konci lapáku písku. Pro vyplachování sedimentů budou v polovině a na konci lapáku písku osazena stavidla. Před vtokem do přivaděče jsem navrhl osazení jemných česlí, vybavených řetězovým čistícím strojem a pásovým dopravníkem. Jako provozní uzávěr na vtoku do přivaděče bude sloužit stavidlo. Drážky provizorního hrazení a stavidlo budou osazeny na šterkové propusti. Ke všem stavidlům jsem navrhl obslužné lávky.

Uvnitř strojovny bude umístěna Peltonova turbína (Tab. 4) a generátor (Tab. 5). Na přivaděči bude osazen klapkový uzávěr DN600, který bude sloužit jako provozní uzávěr. Ve strojovně bude také umístěn mazací agregát, hydraulická jednotka, odvod tepla od generátoru a ventilační jednotka. Podlaží strojovny budou zpřístupněna pomocí ocelového schodiště.

U všech míst, kde hrozí riziko pádu, bude instalováno ocelové zábradlí.

**Tab. 4 – Hlavní parametry turbíny**

Typ turbíny	Peltonova, vertikální, 4 dýzová	
Průměr oběžného kola	0.937	m
Hltnost	2.25	m <sup>3</sup> /s
Minimální průtok	0.225	m <sup>3</sup> /s
Maximální výkon	5423	kW
Návrhový čistý spád	271.9	m
Synchronní otáčky	750	min <sup>-1</sup>
Maximální průběžné otáčky	1345	min <sup>-1</sup>

## 6.2 PS 2 – Elektrotechnická část

Průtok vody turbínou jsem navrhl plně automatický. Správné najetí i odstavení soustrojí, signalizace provozních a poruchových stavů, výpis poruch a případné přepnutí režimu ručního ovládání bude zajištěno řídicím systémem. Průtok bude regulován na základě dat z hladinové sondy, umístěné na vtokovém objektu. Trafostanici jsem navrhl uvnitř strojovny ve zvláštní místnosti vybavené ventilací.

**Tab. 5 – Hlavní parametry generátoru**

Typ generátoru	Indar synchronní	
Maximální výkon	5200	kW
Návrhové napětí	6.3	kV

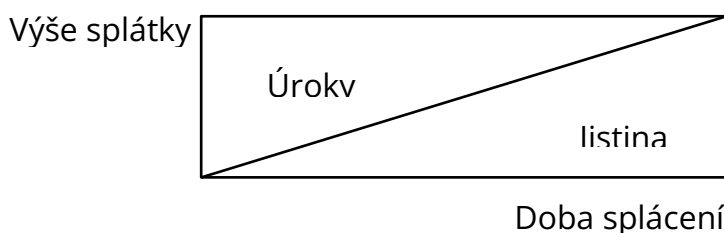
## 7 Ekonomická analýza

Ekonomickou analýzu projektu jsem provedl na základě konzultace s Ing. Karlem Kramlem a daňovým poradcem. Dále mi byl firmou Stream s.r.o. poskytnut rozpočet stavby a provozní náklady.

V rámci práce jsem provedl výpočet výroby energie, na základě kterého jsem provedl ekonomickou analýzu projektu. Hlavními parametry analýzy jsou míra výnosnosti (IRR) a čistá současná hodnota výnosu (NPV). Výpočty těchto parametrů jsem provedl pro diskontované i nediskontované ceny. Rozdíl mezi těmito cenami činí míra inflace. Aby byly výsledky analýzy přehledné, inflaci jsem určil jako 4 %.

Vstupní hodnotou analýzy byl tedy celkový rozpočet stavby, který byl vyčíslen na hodnotu 192 400 000 Kč. Stavební práce byly vyčísleny na 80 550 000 Kč, cena technologií na 40 400 000 Kč, pořizovací náklady na 850 000 Kč a zbylých 8 milionů na mzdy pracovníků, vedení projektu a samotný návrh (Obr. 38, Tab. 40). Daňovým poradcem byla stanovena metoda zrychlených odpisů. V prvním roce bude tedy odepsáno větší procento celkové částky, které se bude postupně v čase snižovat. Daň se v tomto případě stanovuje z celkového zisku po odečtení odpisů.

Průměrné roční provozní náklady byly vyčísleny firmou Stream s.r.o. na 852 480 Kč. Do projektu investor investuje vlastní vklad ve výši 57 720 000 Kč. Vlastní vklad (ekvita) byla bankou stanovena na hodnotu 30 %. Při úroku 6.5 % a splatnosti 10 let celková roční splátka činí 18 734 620 korun (Tab. 41). Splacení celkové dlužné částky bude probíhat anuitním splácením. To znamená, že roční splátka se rozdělí na úrok a jistinu. Úrok se počítá z celkové zbývající dlužné částky vynásobené bankovním úrokem, v našem případě 6.5 %. Jistina je skutečná dlužná částka bez navýšení úrokem. To znamená, že na začátku splácení bude výše úroku značně převyšovat výši jistiny. Jakmile bude splacena první splátka, celková dlužná částka se ponížší o hodnotu zaplacené jistiny a úrok v dalším roce se stanoví pouze ze snížené celkové dlužné částky, čímž mírně vzroste podíl jistiny. Tento systém je přehledně znázorněn na obrázku Obr. 17.



**Obr. 17 – Schematické znázornění anuitního splácení**

Důležitým faktorem při udělení úroku je rezerva splatnosti úvěru. Ta se stanoví jako poměr vydělaných peněz výrobou energie a výše roční splátky. Pokud se tento poměr nerovná hodnotě minimálně 1.2, může nastat problém se získáním úroku. V této variantě se počítá s průměrnou vyrobenou energií 25 187 481 kWh za průměrný hydrologický rok. Výkupní sazba vyrobené energie činí 1.05 Kč/kWh s valorizací tarifu 2 %. Valorizace je dána energetickým zákonem a vyjadřuje každoroční navýšení tarifu. Platnost tarifu je stanovena na 20 let. Nediskontovaná doba návratnosti vlastní investice činí 9 let. Diskontovaná (ponížená) míra výnosnosti vlastního vkladu po 20 letech činí 13.0 %, což hodnotím jako velice slušné zhodnocení (Tab. 42).

V rámci analýzy jsem stanovil dobu využití instalovaného výkonu, která nabývá hodnoty 4843 hodin (Tab. 42).

Výpočet čisté současné hodnoty výnosu (NPV) byl proveden způsobem dle [6]:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{(1+r)^i} - IN \quad (1.1)$$

kde: NPV.....čistá současná hodnota výnosu  
 $V_i$ ..... hodnota výnosu za jednotlivé roky  
 $i$ .....počet let  
 $r$ .....inflace (diskontovaná sazba)  
 $IN$ .....ekvita (vlastní vklad)

Doba návratnosti investice byla stanovena dle [6]:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (1.2)$$

kde:  $T_s$ ..... prostá doba návratnosti  
 nediskontovaná  
 $IN$ ..... ekvita (vlastní vklad)  
 $CF$ ..... roční peněžní tok (cash flow)

$$CF = V_r - OPEX - D \quad (1.3)$$

kde:  $V_r$ ..... výnos za rok  
 $OPEX$ ..... provozní náklady  
 $D$ ..... daň

$$T_{DS} = \frac{IN}{DCF} \quad (1.4)$$

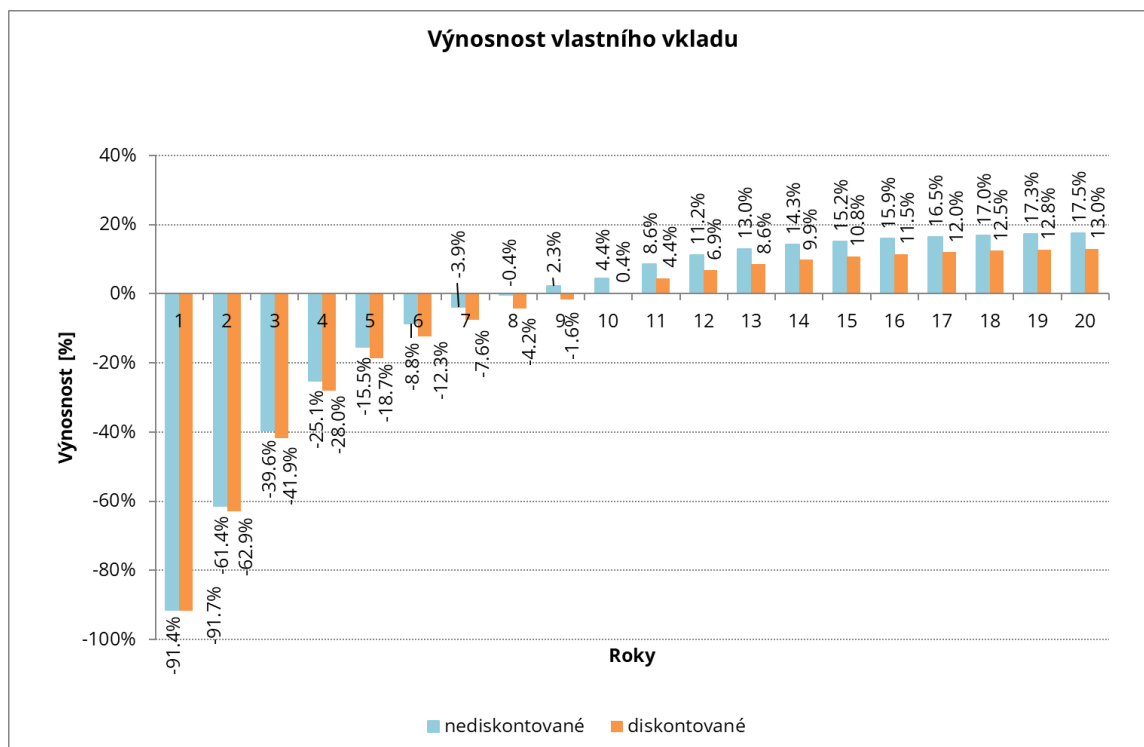
kde:  $T_{DS}$ ..... diskontovaná doba návratnosti  
 IN..... ekvita (vlastní vklad)  
 DCF..... diskontované roční peněžní toky

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^t} \quad (1.5)$$

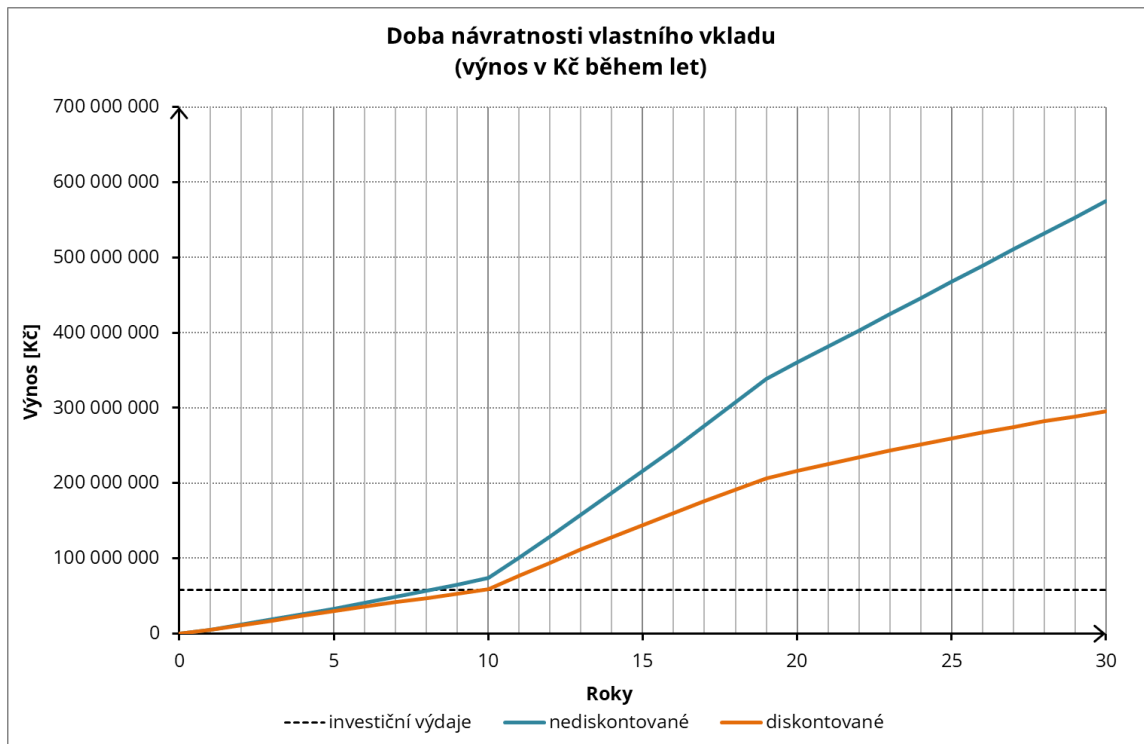
kde: CF..... roční peněžní tok (cash flow)  
 t..... vyšetřovaný rok  
 r.....inflace (diskontovaná sazba)

Výpočty byly provedeny na dobu životnosti stavby 30 let a jsou umístěny v příloze č. B.4.

Pro přehlednost jsem nediskontovanou a diskontovanou výnosnost vlastního vkladu znázornil do grafu na obrázku Obr. 19. Na obrázku je vykreslen diskontovaný a nediskontovaný výnos během let, což názorně reprezentuje dobu návratnosti. Na křivce můžeme sledovat rapidní růst od 19. roku, kdy bude splacen úvěr.



**Obr. 18 - Míra výnosnosti vlastního vkladu během 20 let provozu MVE**



**Obr. 19 – Přehledná charakteristika doby návratnosti**

## 8 Závěr

Pro vypracování mé diplomové práce jsem využil hydrologické a geologické podklady dodané firmou Stream s.r.o. Ověření spádu, průtoku a geodetické zaměření jsem provedl během pracovní cesty do Gruzie. Díky použití dronu jsem ušetřil velké množství času a dokázal provést prohlídku i velmi těžko dostupných míst. Tyto podklady mi umožnily provést návrh bezpečněji, zároveň však s dostatečnou úsporou nákladů. Ekonomickou analýzou jsem ověřil, že se vlastní vklad investorovi vrátí za 9 let a po 20 letech mu malá vodní elektrárna přinese čistý diskontovaný zisk přibližně 86,7 milionu korun. Návrh není tedy jen efektivně technicky vyřešen, ale stává se z něj zajímavá investiční příležitost.

Realizací mnou navrženého řešení se navíc zachová život v toku. Migraci lososovitých ryb jsem zajistil návrhem rybího přechodu a elektrárna bude odebírat jen tolik vody, aby v toku zůstal dostatečný hygienický průtok.

Během práce jsem byl nucen řešit problémy, které jsou specifikem pro projekty ze zahraničí, a to jak při přípravě na cestu, tak přímo v terénu při provádění prohlídky lokality. Samotný návrh má kvůli složité geomorfologii terénu mnohá specifika a projekčně náročné úseky. Veškeré překážky se mi podařilo vyřešit pomocí nabitých znalostí z absolvovaného studia a praxe. Své řešení jsem konzultoval s panem profesorem Janem Šulcem a s Ing. Karlem Kramlem, kteří mě vždy dokázali nasměrovat ke správnému řešení i velmi složitých problémů.

Malou vodní elektrárnu na řece Askistskali v Gruzii jsem efektivně technicky i ekonomicky navrhl a navíc jsem měl možnost nabýt neocenitelné zkušenosti do budoucí praxe. Hlavní cíle projektu se mi tedy podařilo splnit.

## 9 Seznam příloh

### A) Výkresová část

<b>Číslo přílohy</b>	<b>Název přílohy</b>
1.1	Vtok – situace
1.2	Vtok – podrobná situace část 1
1.3	Vtok – podrobná situace část 2
1.4	Vtok – podrobná situace část 3
1.5	Vtok – řez jezem A-A'
1.6	Vtok – řez štěrkovou propustí B-B'
1.7	Vtok – řez C-C'
1.8	Vtok – řez lapákem písku D-D'
1.9	Vtok – řez rybím přechodem E-E'
1.10	Vtok – zařízení staveniště
2.1	Obecná situace
2.2	Přivaděč – situace část 1
2.3	Přivaděč – situace část 2
2.4	Přivaděč – situace část 3
2.5	Přivaděč – situace část 4
2.6	Přivaděč – situace část 5
2.7	Přivaděč – situace část 6
2.8	Přivaděč – situace část 7
2.9	Přivaděč – situace část 8
2.10	Přivaděč – situace část 9
2.11	Přivaděč – podélný profil část 1
2.12	Přivaděč – podélný profil část 2
2.13	Přivaděč – podélný profil část 3
2.14	Přivaděč – podélný profil část 4
2.15	Přivaděč – podélný profil část 5
2.16	Přivaděč – podélný profil část 6
2.17	Přivaděč – podélný profil část 7
2.18	Přivaděč – podélný profil část 8
2.19	Přivaděč – podélný profil část 9



- 2.20 Přivaděč – podélný profil část 10
- 2.21 Přivaděč – vzorový příčný řez přivaděčem
- 2.22 Přivaděč – příčné řezy část 1
- 2.23 Přivaděč – příčné řezy část 2
- 2.24 Přivaděč – příčné řezy část 3
- 3.1 Strojovna – situace
- 3.2 Strojovna – půdorys základů
- 3.3 Strojovna – půdorys přízemí
- 3.4 Strojovna – řez A-A'
- 3.5 Strojovna – řez B-B'
- 3.6 Strojovna – situace připojení do sítě
- 3.7 Strojovna – zařízení staveniště

Výkresy byly zpracovány pomocí programu AutoCAD a AutoCAD CIVIL 3D.

## **B) Výpočtová část**

### B.1 Vtokový objekt

- B.1.1 Výpočet přepadu
- B.1.2 Měrná křivka koryta pod jezem
- B.1.3 Návrh vývaru
- B.1.4 Návrh lapáku písku
- B.1.5 Návrh rybího přechodu
- B.1.6 Posouzení vzniku vtokového víru

### B.2 Přivaděč

- B.2.1 Výpočet sil v blocích
- B.2.2 Výpočet hydraulických ztrát
- B.2.3 Posouzení účinků vodního rázu

### B.3 Výroba energie MVE

### B.4 Ekonomie projektu

Výpočty byly provedeny pomocí programu Excel a Matlab.

## **C) Fotodokumentace**

## B.1 Vtokový objekt

Návrh a ověření kapacity jezu byl proveden na základě konzultací s Ing. Karlem Kramlem, ředitelem společnosti Stream.

Na základě morfologie terénu a navržené výšky jezu jsem stanovil přelivnou hranu jezu na kótě 784.5 m n. m. Standartní návrh jezové konstrukce by byl v tomto případě velmi nákladný, kvůli tomu byla konstrukce účelově zjednodušena. Konstrukci jsem navrhl relativně subtilní o tloušťce hradicí stěny 800 mm. Po konzultaci se statikem jsem její stabilitu podpořil opěrným pilířem uprostřed hradicí délky.

Provozní hladina na jezu bude udržována pomocí hladinové regulace. Na jezu bude umístěna hladinová sonda, která bude předávat informace o poloze hladiny turbíně. Ta se podle toho bude uzavírat nebo otevírat. Pokud se začne hladina na jezu snižovat, turbína se bude postupně uzavírat. Při průtoku menším, než je minimální hltnost turbíny, bude MVE odstavena úplně. Jestliže by docházelo ke zvýšení hladiny na jezu, turbína se bude postupně otevírat, až do dosažení hltnosti turbíny 2.25 m<sup>3</sup>/s. Jakmile by byl průtok vyšší, než je hltnost turbíny, MVE bude stále odebírat pouze 2.25 m<sup>3</sup>/s a přes jez tak začne přepadat vyšší průtok, čímž se bude také postupně zvyšovat hladina vody na jezu.

Vypracoval jsem výpočet přepadového množství přes přeliv a sestrojil měrnou křivku koryta pod jezem.

## B.1.1 Výpočet přepadu

Výpočty a grafy byly provedeny pomocí programu EXCEL. Pro stanovení průtoku byl použit iterační postup a hladina dolní vody byla získána regresí z měrné křivky dolní vody.

Hodnoty přepadového součinitele, součinitele zatopení a použité vztahy byly převzaty z [4]:

$$Q = \sigma_{zat} \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}} \quad (2.1)$$

kde: Q..... přepadový průtok  
 $\sigma_{zat}$ ..... součinitel zatopení  
m..... přepadový součinitel  
 $b_0$ ..... účinná šířka přelivu  
g..... gravitační zrychlení  
 $h_0$ ..... přepadová výška zvýšená o rychlostní výšku

$$h_0 = h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2 \cdot g} \quad (2.2)$$

kde: h..... výška přepadového paprsku  
 $\alpha$ ..... Coriolisovo číslo  
 $v_0$ ..... rychlost na přítoku v korytě

$$v_0 = \frac{Q}{A} \quad (2.3)$$

kde: Q..... průtok  
A..... průřezová plocha koryta před přelivem

$$b_0 = B - 0,1 \cdot C_p \cdot n \cdot h_0 \quad (2.4)$$

kde: B..... délka přelivu koruny  
 $C_p$ ..... součinitel tvaru obtékaných hran  
n..... počet obtékaných hran pilířů

**Tab. 6 – Přepad přes jezový přeliv – výchozí hodnoty**

Koruna přelivu	$H_k$	784.5	m n. m.
Délka přelivu (koruny)	$B$	12	m
Počet obtékaných bočních hran pilířů	$n$	2	počet
Součinitel tvaru obtékaných hran	$C_p$	0.5	-
Kóta dna před jezem (přelivem)	$H_d$	779.5	m n. m.
Šířka toku před přelivem	$B_t$	30	m

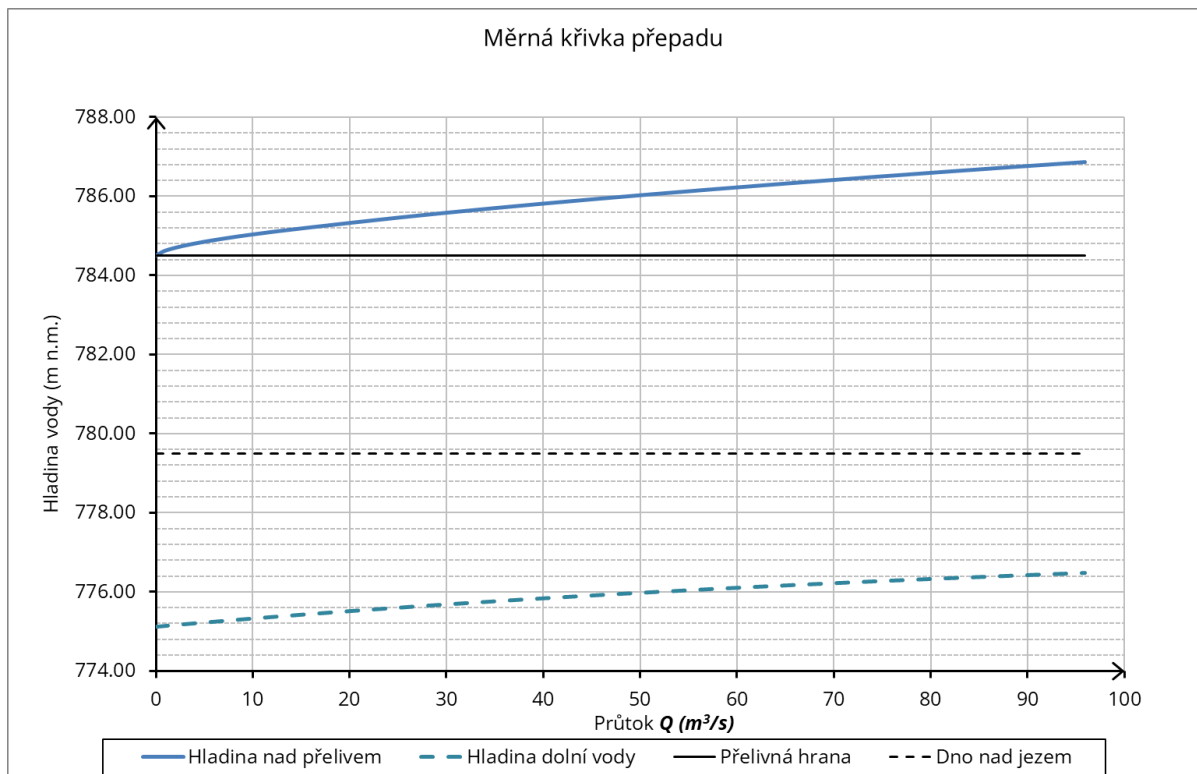
**Tab. 7 – Přepad přes jezový přeliv – výpočet přepadového množství**

HHV	$v_0$	$h$	$m$	$h_0$	$B_0$	$Q$	$\sigma_{zat}$	HDV
[m n. m.]	[m/s]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[-]	[m n. m.]
784.50	0.0000	0.00	0.000	0.000	12.00	0.00	1.000	775.12
784.62	0.0057	0.12	0.394	0.120	11.99	0.87	1.000	775.14
784.74	0.0169	0.24	0.425	0.240	11.98	2.65	1.000	775.17
784.86	0.0320	0.36	0.449	0.360	11.96	5.14	1.000	775.23
784.98	0.0502	0.48	0.468	0.480	11.95	8.25	1.000	775.29
785.10	0.0708	0.60	0.484	0.600	11.94	11.90	1.000	775.36
785.22	0.0934	0.72	0.496	0.720	11.93	16.02	1.000	775.44
785.34	0.1161	0.84	0.500	0.841	11.92	20.34	1.000	775.52
785.46	0.1389	0.96	0.500	0.961	11.90	24.84	1.000	775.60
785.58	0.1624	1.08	0.500	1.081	11.89	29.62	1.000	775.67
785.70	0.1864	1.20	0.500	1.202	11.88	34.66	1.000	775.75
785.82	0.2108	1.32	0.500	1.322	11.87	39.96	1.000	775.83
785.94	0.2355	1.44	0.500	1.443	11.86	45.51	1.000	775.91
786.06	0.2606	1.56	0.500	1.563	11.84	51.28	1.000	775.99
786.18	0.2858	1.68	0.500	1.684	11.83	57.27	1.000	776.07
786.30	0.3112	1.80	0.500	1.805	11.82	63.48	1.000	776.14
786.42	0.3366	1.92	0.500	1.926	11.81	69.89	1.000	776.21
<b>786.5</b>	<b>0.3568</b>	<b>2.01</b>	<b>0.500</b>	<b>2.021</b>	<b>11.80</b>	<b>75.00</b>	<b>1.000</b>	<b>776.27</b>

kde: HHV..... kóta hladiny horní vody

HDV..... kóta hladiny dolní vody

Ve výpočtech uvažuji zaoblenou korunu přelivu o poloměru 0.4 m. Minimální zůstatkový průtok v řece bude převáděn rybím přechodem a štěrkovou propustí. Operační hladina v jezové zdrži bude udržována pomocí hladinové regulace. Přepad a výšku okolních konstrukcí jsem dimenzoval na hladinu povodňového průtoku  $Q_{50} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ , která se nachází na kótě 786.5 m n.m.



**Obr. 20 – Měrná křivka přepadu**

Přepad je v celém rozsahu dokonalý.

## B.1.2 Měrná křivka koryta pod jezem

Pro výpočet hladiny dolní vody bylo uvažováno s lichoběžníkovým korytem a byly využity tyto vztahy dle [4]:

$$S = b \cdot h + \frac{m_1 \cdot h^2}{2} + \frac{m_2 \cdot h^2}{2} \quad (2.5)$$

$$O = b + h \cdot \sqrt{1 + m_1^2} + h \cdot \sqrt{1 + m_2^2} \quad (2.6)$$

$$R = \frac{S}{O} \quad (2.7)$$

$$n = \frac{\sum O_i \cdot n_i}{O} \quad (2.8)$$

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n} \quad (2.9)$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (2.10)$$

$$Q = S \cdot v \quad (2.11)$$

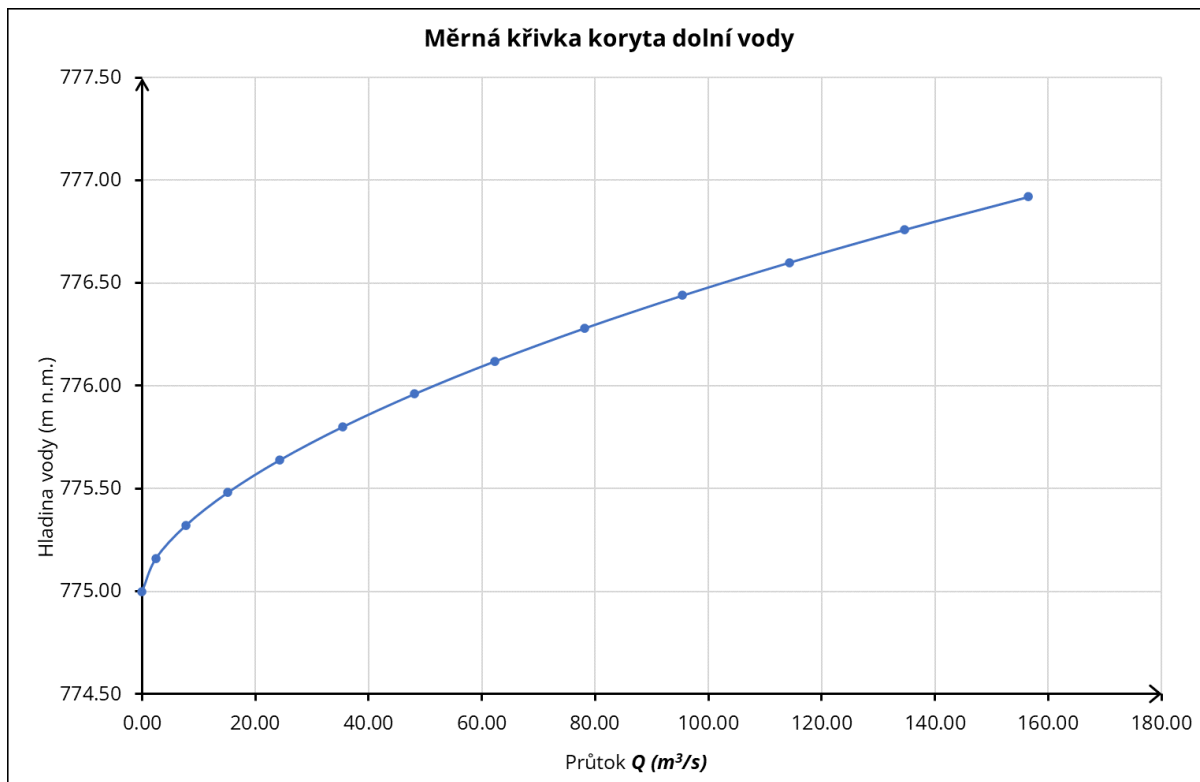
kde: S..... průtočná plocha koryta  
b..... šířka dna koryta  
m..... sklon svahu  
h..... výška hladiny vody  
O..... omočený obvod  
R..... hydraulický poloměr  
n..... drsnost dna  
C..... Chézyho rychlostní součinitel  
i..... sklon  
Q..... průtok

**Tab. 8 – Měrná křivka koryta pod jezem – výchozí hodnoty**

Šířka dna	b	7	m
Sklon svahů (1 : m)	m	1	-
Podélný sklon	i	0.067	-
Drsnost dna (Manning) [4]	$n_b$	0.035	-
Drsnost svahů (Manning) [4]	$n_s$	0.035	-
Nadmořská výška dna	$H_{dno}$	775	m n. m.

**Tab. 9 – Měrná křivka koryta pod jezem – výpočet**

Hladina vody [m n. m.]	h [m]	S [m <sup>2</sup> ]	O [m]	R [m]	n [-]	C [m <sup>0.5</sup> /s]	v [m/s]	Q [m <sup>3</sup> /s]
775.00	0.00	0.000	7.00	0.00	0.035	0.00	0.00	0.00
775.16	0.16	1.146	7.45	0.15	0.035	20.91	2.12	2.43
775.32	0.32	2.342	7.91	0.30	0.035	23.33	3.28	7.68
775.48	0.48	3.590	8.36	0.43	0.035	24.82	4.20	15.08
775.64	0.64	4.890	8.81	0.55	0.035	25.90	4.98	24.37
775.80	0.80	6.240	9.26	0.67	0.035	26.75	5.67	35.38
775.96	0.96	7.642	9.72	0.79	0.035	27.45	6.29	48.05
776.12	1.12	9.094	10.17	0.89	0.035	28.05	6.85	62.30
776.28	1.28	10.598	10.62	1.00	0.035	28.56	7.37	78.10
776.44	1.44	12.154	11.07	1.10	0.035	29.02	7.85	95.42
776.60	1.60	13.760	11.53	1.19	0.035	29.43	8.30	114.27
776.76	1.76	15.418	11.98	1.29	0.035	29.80	8.73	134.62
776.92	1.92	17.126	12.43	1.38	0.035	30.14	9.14	156.47



**Obr. 21 – Měrná křivka koryta pod jezem**



### B.1.3 Návrh vývaru

Po konzultaci s Ing. Karlem Kramlem byl návrh vývaru z ekonomických důvodů navržen na průtok 20 m<sup>3</sup>/s. Výpočty a grafy byly provedeny pomocí programu EXCEL. Výpočet délky vývaru jsem provedl dle Nováka. Délka vývaru pro návrhový průtok činí 7.6 m. Z důvodu odolnosti proti vymílání jsem navrhl za vývarem stavební opevnění dna (balvany zalité betonem).

Hodnoty přepadového součinitele a dalších veličin spojených s výpočtem přelivu byly převzaty z předchozí kapitoly B.1.1 Výpočet přepadu. Použité vztahy při návrhu vývaru byly převzaty z [4]:

$$E_0 = h_c + \frac{q^2}{2g\varphi^2 h_c^2} \quad (2.12)$$

kde:  $E_0$ ..... energetická výška  
 $h_c$ ..... kritická hloubka  
 $q$ ..... specifický průtok  
 $\varphi$ ..... rychlostní součinitel  
 $g$ ..... gravitační zrychlení

$$E_0 = s + h + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \quad (2.13)$$

kde:  $E_0$ ..... energetická výška  
 $h$ ..... hloubka přepadového paprsku  
 $s$ ..... výška jezu  
 $\alpha$ ..... Coriolisovo číslo  
 $v_0$ ..... přítoková rychlost  
 $g$ ..... gravitační zrychlení

$$h_c = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - h_c)}} \quad (2.14)$$

kde:  $h_c$ ..... kritická hloubka  
 $q$ ..... průřezová plocha koryta před  
 $\varphi$ ..... rychlostní součinitel  
 $g$ ..... gravitační zrychlení  
 $E_0$ ..... energetická výška

$$\sigma = \frac{h_d + d}{h_2} \quad (2.15)$$

kde:  $\sigma$ ..... míra vzdutí  
 $h_d$ ..... hloubka dna v podjezí  
 $d$ ..... prohloubení vývaru

$$E_d = E_0 + d = s + h + \frac{\alpha v_0^2}{2g} + d \quad (2.16)$$

kde:  $E_d$ ..... oprava energetické výšky  
 $E_0$ ..... energetická výška  
 $d$ ..... prohloubení vývaru  
 $s$ ..... výška jezu  
 $h$ ..... přepadová výška  
 $\alpha$ ..... Coriolisovo číslo  
 $v_0$ ..... přítoková rychlost  
 $g$ ..... gravitační zrychlení

$$L_v = K(h_2 - h_1) \quad (2.17)$$

kde:  $L_v$ ..... délka vývaru dle Nováka  
 $K$ ..... koeficient  
 $h_2, h_1$ ..... vzájemné hloubky

**Tab. 10 – Návrh vývaru – výchozí hodnoty**

Koruna přelivu	$H_k$	784.50	m n. m.
Délka přelivu (koruny)	B	12	m
Počet obtékaných bočních hran pilířů	n	2	počet
Součinitel tvaru obtékaných hran	$C_p$	0.5	-
Kóta dna před jezem (přelivem)	$H_d$	779.50	m n. m.
Šířka toku před přelivem	$B_t$	30	m

**Tab. 11 – Návrh vývaru – výpočet přepadového množství**

HHV	h	$v_0$	$h_0$	m	$b_0$	Q	q	$y_d$
[m n. m.]	[m]	[m/s]	[m]	[-]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>2</sup> /s]	[m n. m.]
784.62	0.120	0.006	0.120	0.394	11.99	0.87	0.07	779.57
784.74	0.240	0.017	0.240	0.425	11.98	2.65	0.22	779.60
784.86	0.360	0.032	0.360	0.449	11.96	5.14	0.43	779.64
784.98	0.480	0.050	0.480	0.468	11.95	8.25	0.69	779.69
785.10	0.600	0.071	0.600	0.484	11.94	11.90	0.99	779.74
785.22	0.720	0.093	0.720	0.496	11.93	16.02	1.34	779.80
<b>785.33</b>	<b>0.831</b>	<b>0.114</b>	<b>0.831</b>	<b>0.500</b>	<b>11.92</b>	<b>20.00</b>	<b>1.67</b>	<b>779.86</b>

kde: HHV..... kóta hladiny horní vody  
h..... přepadová výška  
 $v_0$ ..... přítoková rychlost  
 $h_0$ ..... energetická přepadová výška  
m..... součinitel přepadu  
 $b_0$ ..... účinná šířka přelivu  
Q..... průtok  
q..... specifický průtok  
 $y_d$ ..... hloubka za vodním skokem

**Tab. 12 – Návrh vývaru**

<b>Návrh hloubky vývaru</b>	$d_{náv}$	<b>1.60</b>	<b>m</b>
Energetická výška	$E_d$	7.43	m
Míra vzduť	$\sigma$	1.07	-
Výpočet délky vývaru	$L_v$	7.56	m
<b>Návrh délky vývaru</b>	<b><math>L_v</math></b>	<b>7.60</b>	<b>m</b>

## B.1.4 Návrh lapáku písku

Návrh lapáku písku jsem provedl podle postupu z publikace [8] a po konzultaci s Ing. Karlem Kramlem, který má v této problematice mnohaleté zkušenosti.

Výchozí hodnoty a hlavní parametry lapáku písku jsou uvedené v tabulce (Tab. 13, Tab. 14).

Schopnost lapáku písku sedimentovat plaveniny před vtokem do potrubí je graficky znázorněna v grafu (Obr. 22).

Při návrhu jsem použil následující vzorce dle [8]:

$$L_1 = \frac{v_d * h}{v'_s} \quad (2.18)$$

kde:  $L_1$ .....minimální efektivní délka lapáku písku

$v_d$ ..... rychlost v lapáku písku

$h$ ..... hloubka usazovací části

$v'_s$ ..... usazovací rychlost zrn v lapáku

$$t_d = \frac{L_1}{v_d} \quad (2.19)$$

kde:  $t_d$ ..... doba zdržení vody v lapáku písku

$L_1$ ..... minimální efektivní délka lapáku písku

$v_d$ ..... rychlost v lapáku písku

$$t_s = \frac{h}{v'_s} \quad (2.20)$$

kde:  $t_s$ ..... doba usazení částice

$h$ ..... hloubka usazovací části

$v'_s$ ..... rychlost v lapáku písku

$$v'_s = v_s - w \quad (2.21)$$

kde:  $v'_s$ ..... rychlost v lapáku písku

$v_s$ ..... usazovací rychlost zrn ve stojaté vodě

$w$ ..... dynamická vzosná síla z turbulentního proudění

$$v_{d,max} = 44 * d^{0.5} \quad (2.22)$$

kde:  $v_{d,max}$ ..... maximální rychlost zrn

$d$ ..... návrhová velikost zrna

$$v_d = \frac{Q}{A} \quad (2.23)$$

kde:  $v_d$ ..... rychlost v lapáku písku

$Q$ .....návrhový průtok

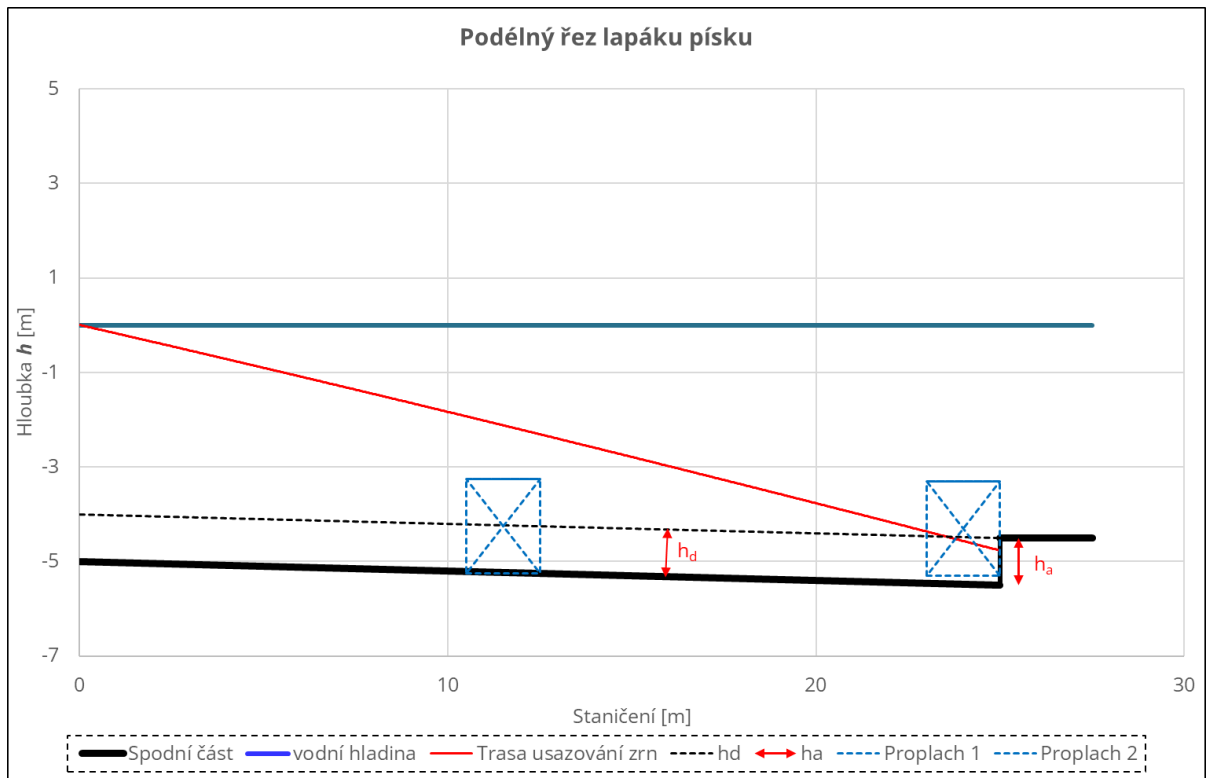
$A$ ..... průřezová plocha účinné oblasti

**Tab. 13 – Návrh lapáku písku – vstupní hodnoty**

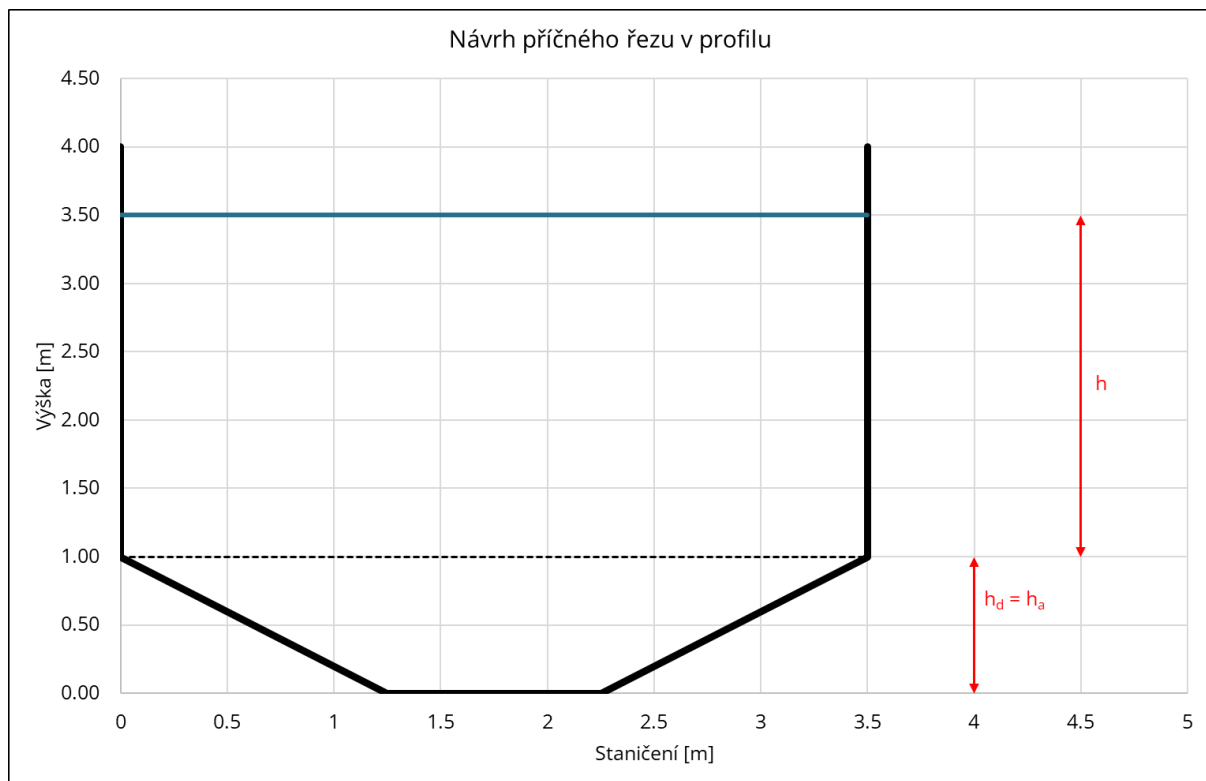
Návrhový průtok	Q	2.25	m <sup>3</sup> /s
Návrhová velikost zrna	d	0.220	mm
Hrubý spád	H <sub>b</sub>	302.70	m

**Tab. 14 – Návrh lapáku písku**

<b>Celková šířka</b>	<b>B</b>	<b>3.50</b>	<b>m</b>
<b>Průměrná celková hloubka</b>	<b>h<sub>t</sub></b>	<b>3.50</b>	<b>m</b>
<b>Šířka dolního kanálu</b>	<b>b</b>	<b>1.00</b>	<b>m</b>
Sklony dolního kanálu	m	1 : 1.3	-
Hloubka usazovací části	h	2.50	m
<b>Výška dolní části</b>	<b>h<sub>d</sub></b>	<b>1.00</b>	<b>m</b>
Průřezová plocha účinné oblasti	A	11	m <sup>2</sup> /s
Omočený obvod účinné oblasti	O	9.20	m
<b>Výška prahu</b>	<b>h<sub>a</sub></b>	<b>1.000</b>	<b>m</b>
Kinematická viskozita vody	$\nu$	0.00000131	m <sup>2</sup> /s
Hustota zrna	$\rho_s$	2.600	g/m <sup>3</sup>
Rychlost v lapáku písku	$v_d$	0.205	m/s
Maximální rychlost zrn	$v_{d,max}$	0.206	m/s
<b>Usazovací rychlost zrn v lapáku písku</b>	<b><math>v_s'</math></b>	<b>0.022</b>	<b>m/s</b>
Doba zdržení vody v lapáku písku	$t_d$	113	s
Doba usazení částice	$t_s$	113	s
Minimální efektivní délka lapáku	$L_1$	23.072	m
Podmínka limitující rychlost v lapáku $v_{d,max} > v_d$	ano		
<b>Návrhová délka</b>	<b>L</b>	<b>25.000</b>	<b>m</b>



**Obr. 22 - Podélný řez lapákem písku**



**Obr. 23 - Příčný řez lapákem písku v profilu**

## B.1.5 Návrh rybího přechodu

Rybí přechod jsem navrhl na lososovité ryby. Základní údaje přechodu a navržené technické parametry jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 15, Tab. 16).

Rybím přechodem bude převáděna část minimálního hygienického průtoku 0.129 m<sup>3</sup>/s. Zbylý průtok 0.081 m<sup>3</sup>/s bude převáděn šterkovou propustí.

Návrh jsem provedl dle technické normy TNV 75 2321 [10] s použitím těchto rovnic:

$$d_t = \frac{l_v - d_2 - n_s * d_s}{n_s * d_s} \quad (2.24)$$

kde:  $d_t$ ..... minimální délka zdrže  
 $l_v$ ..... celková délka přechodu  
 $d_2$ ..... vzdálenost od poslední štěrbin  
 $n_s$ ..... minimální počet štěrbin  
 $d_s$ ..... délka štěrbin (axiálně)

$$v_z = \frac{Q_s}{h_z * b_t} \quad (2.25)$$

kde:  $v_z$ ..... střední rychlost ve zdrži  
 $Q_s$ ..... průtok mezi štěrbinami  
 $h_z$ ..... střední hloubka zdrže  
 $b_t$ ..... šířka zdrže

$$P_z = \frac{P_s}{h_z * b_t * d_t} \quad (2.26)$$

kde:  $P_z$ ..... disipační energie zdrže  
 $P_s$ ..... energie vody proudící štěrbinou  
 $h_z$ ..... střední hloubka zdrže  
 $b_t$ ..... šířka zdrže  
 $d_t$ ..... minimální délka zdrže

$$P_s = Q_s * \Delta H * g \quad (2.27)$$

kde:  $P_s$ ..... energie vody proudící štěrbinou

$Q_s$ .....průtok mezi štěrbinami

$\Delta H$ ..... čistý spád mezi štěrbinami

$g$ ..... gravitační zrychlení

$$Q_s = C_s * S * (2 * g * \Delta H)^{0.5} \quad (2.28)$$

kde:  $Q_s$ .....průtok mezi štěrbinami

$C_s$ ..... ztrátový koeficient otvoru

$\Delta H$ ..... čistý spád mezi štěrbinami

$g$ ..... gravitační zrychlení

$$v_s = \frac{Q_s}{S} \quad (2.29)$$

kde:  $v_s$ .....maximální rychlost ve štěrbině

$Q_s$ .....průtok mezi štěrbinami

$S$ .....střední průřezová plocha ve štěrbinách

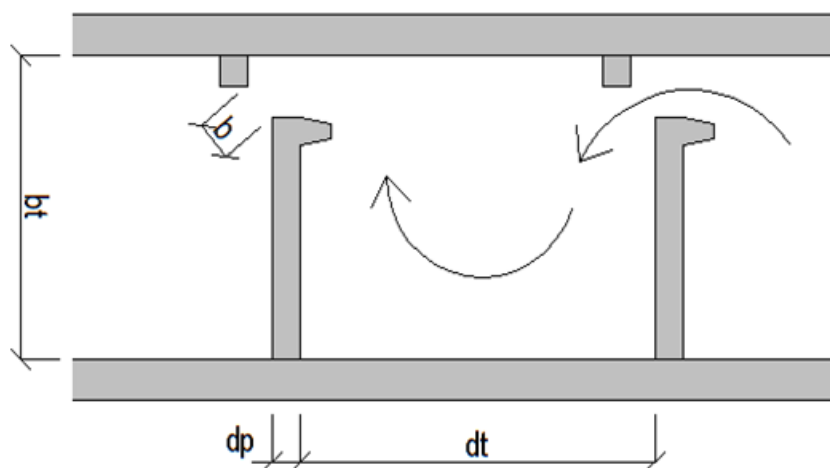
**Tab. 15 - Návrh rybího přechodu - Základní údaje**

Kóta horní vody	784.5	m n.m.
Kóta dolní vody	779.5	m n.m.
Spád	5	m
Celková konstrukční délka přechodu	50	m
Celkový sklon přechodu	10.0	%



**Tab. 16 – Návrh rybího přechodu**

<b>Zdrže</b>				<b>Požadavek [10]</b>	
Návrhový rozdíl vodních hladin	$\Delta H$	0.2	m	0.1 – 0.2 m	✓
Šířka zdrže	$b_t$	1.2	m	min. 1.2 m	✓
Minimální délka zdrže	$d_t$	1.85	m	min. 1.5 m	✓
Min. počet zdrží	$n_z$	24	počet		
Střední hloubka zdrže	$h_z$	0.6	m	min. 0.5 m	✓
Střední rychlost ve zdrži	$v_z$	0.179	m/s	< 0.5 m/s	✓
Disipační energie zdrže	$P_z$	189.7	W/m <sup>3</sup>	< 200 W	✓
<b>Štěrbiny</b>					
Počet štěrbin v přepážce	$n_s$	1	počet		
Délka štěrbin (axiální směr)	$d_s$	0.15	m		
Čistý spád mezi zdržemi	$\Delta H$	0.2	m		
Průtok mezi štěrbinami	$Q_s$	0.129	m <sup>3</sup> /s		
Minimální počet štěrbin přechodu	$n_s$	25			
Maximální rychlost ve štěrbině	$v_s$	1.29	m/s	< 1.5 m/s	✓
Střední průřezová plocha ve štěrbinách	$S$	0.10	m <sup>2</sup>		
Šířka otvoru štěrbin	$b_s$	0.2	m		
Výška otvoru (k horní hladině)	$h_o$	0.5	m		
Ztrátový koeficient otvoru	$C_s$	0.65	-		
Energie vody proudící štěrbinou	$P_s$	252.6	W		
<b>Celkový průtok v rybím přechodu</b>	<b>Q</b>	<b>0.129</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>		



**Obr. 24 – Schéma púdorysu rybího přechodu**

## B.1.5 Posouzení vzniku vtokového víru

V rámci práce jsem posoudil, jestli nedojde ke vzniku vtokového víru u vtoku do přivaděče. Přivaděč jsem navrhl zahlouben 3 m pod úroveň pracovní hladiny na jezu.

Při posouzení jsem použil vzorec dle Gordona, 1989 [11]:

$$S = 0.545 * v * D^{0.5} \quad (2.30)$$

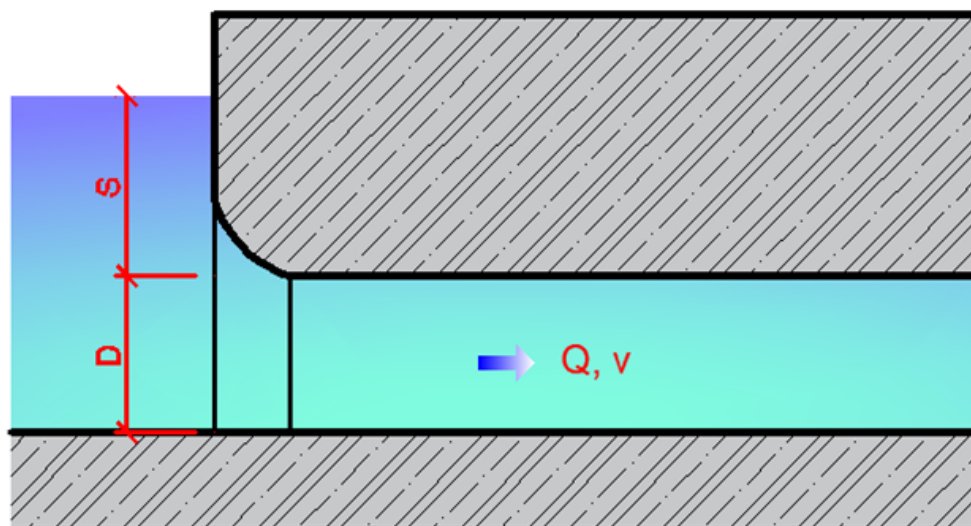
kde: S..... minimální hloubka zanoření

v..... rychlost v potrubí

D..... průměr potrubí

**Tab. 17 – Posouzení vzniku vtokového víru**

Návrhový průtok	Q	2.250	m <sup>3</sup> /s
Průměr potrubí	D	1.2	m
Kinematická viskozita	$\nu_k$	0.000001307	m <sup>2</sup> /s
Plocha	A	1.131	m <sup>2</sup>
Rychlost v potrubí	v	1.989	m/s
Reynoldsovo číslo	Re	1 826 568	-
Hydraulický poloměr	R	0.300	m
<b>Minimální hloubka zanoření</b>	<b>S</b>	<b>1.2</b>	<b>m</b>



**Obr. 25 – Schéma vtoku do přivaděče**

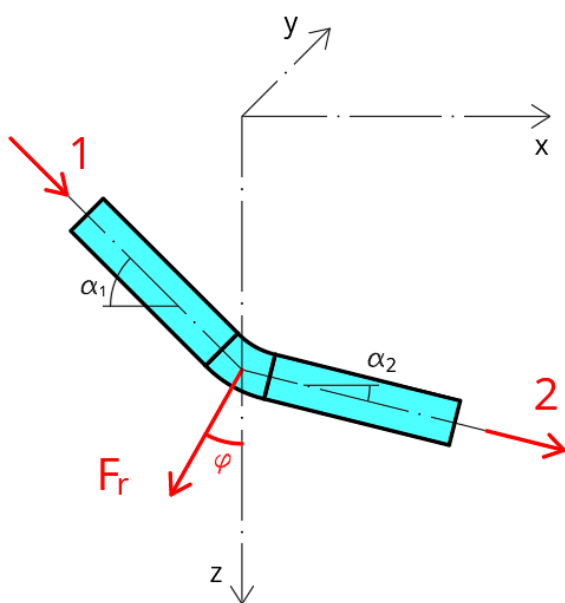
## B.2 Přivaděč

### B.2.1 Výpočet sil v blocích

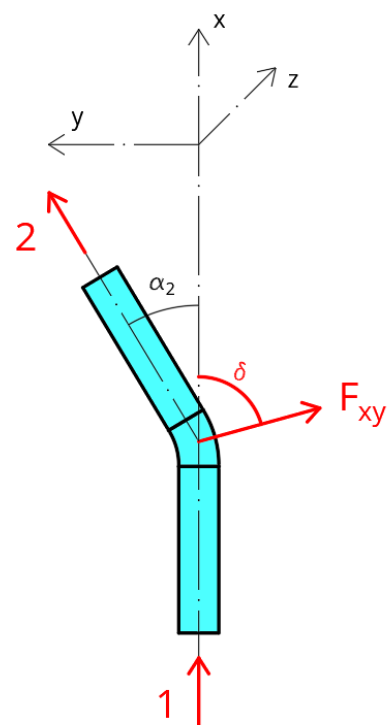
V rámci práce jsem vypočítal maximální síly v lomech potrubí. Výpočty budou použity pro návrh betonových bloků v další fázi projektové dokumentace.

Výpočty jsem provedl dle [5] a na základě konzultací s Ing. Karlem Kramlem, který má v tomto oboru mnohaleté zkušenosti

Před začátkem samotných výpočtů sil jsem nejdříve provedl návrh přivaděče, abych získal geometrii potrubí. Z podélného profilu a situace jsem si nechal pomocí programu CIVIL 3D vypsát délky a nadmořské výšky z potrubí a všechny potřebné úhly jednotlivých lomů potrubí dle (Obr. 26, Obr. 41, Obr. 27). Potrubí jsem navrhl o průměrech DN1100 a DN1200. Návrhový průtok jsem určil jako  $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Z geometrie potrubí a známé provozní výšky na jezu jsem byl schopen dopočítat hodnotu maximálního hydrostatického tlaku. Příklad od vodního rázu jsem získal z analýzy, kterou jsem provedl v rámci výpočtové přílohy B.2.3 pomocí programu Matlab. Po získání všech výchozích hodnot jsem provedl samotný výpočet sil.



**Obr. 26 – Schéma podélného profilu lomu potrubí pro výpočet celkové výslednice sil**



**Obr. 27 – Schéma půdorysu lomu potrubí pro výpočet celkové výslednice sil**

Výpočet sil v lomech potrubí jsem provedl dle následujících vzorců a síly rozložil dle následujících schémat (Obr. 26, Obr. 27, Obr. 28):

$$P_{MAX} = h * \rho * g \quad (3.1)$$

kde:  $P_{MAX}$ .....maximální hydrostatický tlak

$h$ .....výška vodního sloupce

$\rho$ ..... hustota vody

$g$ .....gravitační zrychlení

$$P_1 = P_{MAX} * S_1 \quad (3.2)$$

kde:  $P_1$ ..... maximální hydrostatická vstupní síla

$P_{MAX}$ .....maximální hydrostatický tlak

$S_1$ ..... plocha potrubí u vtoku

$$P_2 = P_{MAX} * S_2 \quad (3.3)$$

kde:  $P_2$ ..... maximální hydrostatická výstupní síla

$P_{MAX}$ .....maximální hydrostatický tlak

$S_2$ ..... plocha potrubí u výtoku

$$P_{1x} = P_1 * \cos(\alpha_1) \quad (3.4)$$

kde:  $P_{1x}$ .....složka hydrostatické vstupní síly ve směru osy x

$P_1$ ..... maximální hydrostatická vstupní síla

$\alpha_1$ .....vertikální úhel vtokového potrubí

$$P_{1z} = P_1 * \sin(\alpha_1) \quad (3.5)$$

kde:  $P_{1z}$ .....složka hydrostatické vstupní síly ve směru osy z

$P_1$ ..... maximální hydrostatická vstupní síla

$\alpha_1$ .....vertikální úhel vtokového potrubí

$$P_{2z} = P_2 * \sin (\alpha_2) \quad (3.6)$$

kde:  $P_{2z}$ ..... složka hydrostatické  
výstupní síly ve směru osy z

$P_2$ ..... maximální hydrostatická  
výstupní síla

$\alpha_2$ ..... vertikální úhel výtokového  
potrubí

$$P'_{2x} = P_2 * \cos (\alpha_2) \quad (3.7)$$

kde:  $P'_{2x}$ ..... složka hydrostatické  
výstupní síly ve směru osy x  
v podélném profilu

$P_2$ ..... maximální hydrostatická  
výstupní síla

$\alpha_2$ ..... vertikální úhel výtokového  
potrubí

$$P_{2x} = P_2 * \cos(\alpha_2) * \cos (\beta) \quad (3.8)$$

kde:  $P_{2x}$ ..... složka hydrostatické  
výstupní síly ve směru osy x

$P_2$ ..... maximální hydrostatická  
výstupní síla

$\alpha_2$ ..... vertikální úhel výtokového  
potrubí

$\beta$ ..... horizontální úhel výtokového  
potrubí

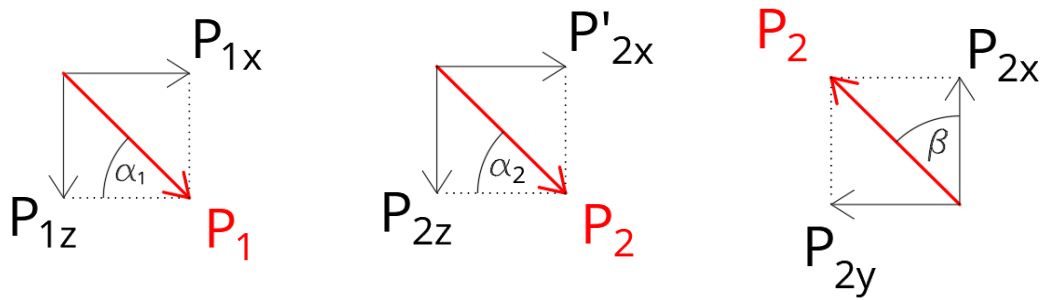
$$P_{2y} = P_2 * \cos(\alpha_2) * \sin (\beta) \quad (3.9)$$

kde:  $P_{2y}$ ..... složka hydrostatické  
výstupní síly ve směru osy y

$P_2$ ..... maximální hydrostatická  
výstupní síla

$\alpha_2$ ..... vertikální úhel výtokového  
potrubí

$\beta$ ..... horizontální úhel výtokového  
potrubí



**Obr. 28 – Schémata pro výpočet hydrostatických sil**

Síly přírůstku tlaku od vodního rázu a od zatížení tlakem vody jsem vypočítal podle následujících vzorců a schémat (Obr. 29, Obr. 30), rozložení sil jsem provedl analogicky jako u výpočtu hydrostatických sil.

$$F_{h1} = P_{WH} * S_1 \quad (3.10)$$

kde:  $F_{h1}$ .....vstupní síla od přírůstku tlaku vodního rázu

$P_{WH}$ ..... maximální přírůstek tlaku od vodního rázu

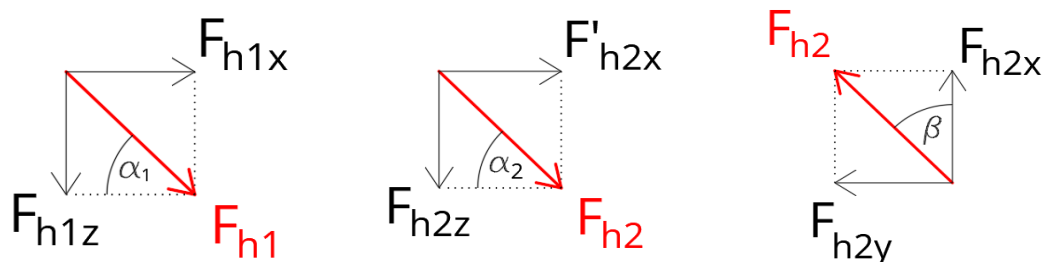
$S_1$ ..... plocha potrubí u vstupu

$$F_{h2} = P_{WH} * S_2 \quad (3.11)$$

kde:  $F_{h2}$ .....výstupní síla od přírůstku tlaku vodního rázu

$P_{WH}$ ..... maximální přírůstek tlaku od vodního rázu

$S_2$ ..... plocha potrubí u výstupu



**Obr. 29 – Schémata pro výpočet sil přírůstku tlaku od vodního rázu**

$$F_{f1} = \rho_W * Q * v_1 \quad (3.12)$$

kde:  $F_{f1}$ .....vstupní síla od přírůstku tlaku vodního rázu

$\rho_w$ .....hustota vody

$Q$ ..... maximální průtok potrubím

$v_1$ ..... vtoková rychlost vody

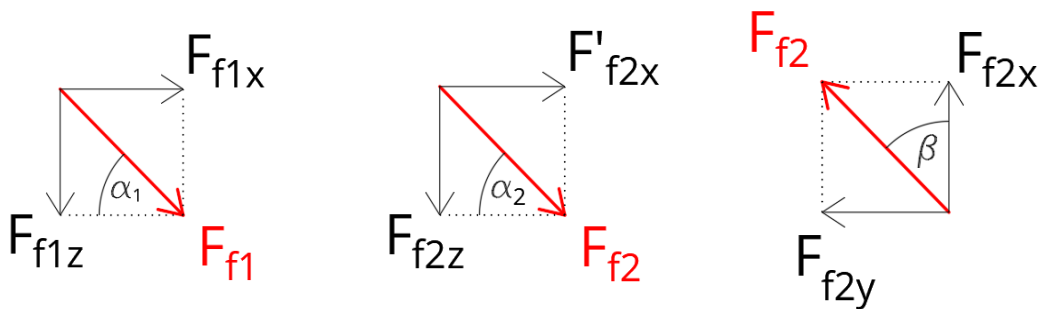
$$F_{f2} = \rho_W * Q * v_2 \quad (3.13)$$

kde:  $F_{f2}$ .....výstupní síla od přírůstku tlaku vodního rázu

$\rho_w$ .....hustota vody

$Q$ ..... maximální průtok potrubím

$v_2$ ..... výtoková rychlost vody



**Obr. 30 – Schémata pro výpočet sil od zatížení tlakem vody**

Maximální horizontální sílu, celkovou výslednici sil a úhly natočení při maximálním provozním zatížení jsem vypočítal dle následujících vzorců a schémat (Obr. 26, Obr. 27, Obr. 31):

$$F_{xy} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (3.14)$$

$$\delta = -\tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \quad (3.15)$$

kde:  $F_{xy}$ ..... maximální horizontální síla

$F_x$ ..... suma složek všech sil působících ve směru osy x

$F_y$ ..... suma složek všech sil působících ve směru osy y

$\delta$ ..... horizontální úhel odklonu maximální horizontální síly od osy x

$$F_r = \sqrt{F_{xy}^2 + F_z^2} \quad (3.16)$$

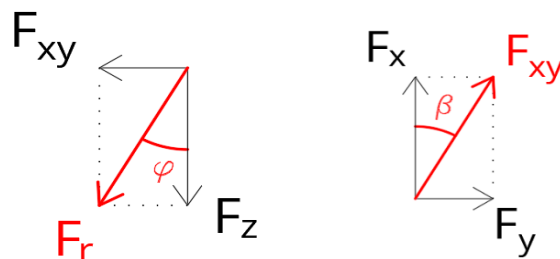
$$\varphi = -\tan^{-1}\left(\frac{F_{xy}}{F_z}\right) \quad (3.17)$$

kde:  $F_r$ ..... celková výslednice sil

$F_{xy}$ ..... maximální horizontální síla

$F_z$ ..... suma složek všech sil působících ve směru osy z

$\varphi$ ..... vertikální úhel odklonu maximální horizontální síly od osy x



**Obr. 31 – Schémata pro výpočet maximální horizontální síly a celkové výslednice sil**



**Tab. 18 - Výpočet sil v blocích - geometrie 1. část**

Geometrie										
Kotevní blok	Staničení	DN	Číslo kotevního bloku	Horizontální úhel	Vertikální úhel		Nadm. výška osy potrubí u vtoku	Nadm. výška dna potrubí	Plocha vtoku	Plocha výtoku
				$\beta$	$\alpha_1$	$\alpha_2$			$A_{in}$	$A_{out}$
				[°]	[°]	[°]			[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
B(1)	21.510	1.200	1	40.309	9.286	7.410	773.490	772.890	1.131	1.131
B(2)	77.620	1.200	2	60.232	2.962	4.098	770.610	770.010	1.131	1.131
B(3)	167.920	1.200	3	58.794	0.000	0.000	764.010	763.410	1.131	1.131
B(4)	230.330	1.200	4	38.385	0.000	0.000	759.450	758.850	1.131	1.131
B(5)	275.860	1.200	5	32.759	4.098	1.792	756.150	755.550	1.131	1.131
B(6)	308.090	1.200	6	25.756	0.000	0.000	755.120	754.520	1.131	1.131
B(7)	354.540	1.200	7	15.072	0.000	0.000	753.680	753.080	1.131	1.131
B(8)	435.480	1.200	8	25.994	1.792	3.016	751.150	750.550	1.131	1.131
B(9)	515.240	1.200	9	22.469	0.000	0.000	746.950	746.350	1.131	1.131
B(10)	640.020	1.200	10	30.819	0.000	0.000	740.390	739.790	1.131	1.131
B(11)	698.930	1.200	11	52.812	0.000	0.000	737.300	736.700	1.131	1.131
B(12)	784.620	1.200	12	65.362	0.000	0.000	732.780	732.180	1.131	1.131
B(13)	850.300	1.200	13	22.553	3.016	2.466	729.320	728.720	1.131	1.131
B(14)	891.520	1.200	14	51.842	0.000	0.000	727.540	726.940	1.131	1.131
B(15)	969.440	1.200	15	55.085	2.466	1.472	724.160	723.560	1.131	1.131
B(16)	1037.740	1.200	16	32.396	1.472	3.761	722.390	721.790	1.131	1.131
B(17)	1094.400	1.200	17	47.631	0.000	0.000	718.700	718.100	1.131	1.131
B(18)	1169.590	1.200	18	14.450	3.761	1.751	713.800	713.200	1.131	1.131
B(19)	1238.470	1.200	19	30.626	0.000	0.000	711.670	711.070	1.131	1.131
B(20)	1290.630	1.200	20	26.092	0.000	0.000	710.060	709.460	1.131	1.131
B(21)	1424.860	1.200	21	21.091	0.000	0.000	705.910	705.310	1.131	1.131
B(22)	1505.010	1.200	22	42.517	1.751	3.292	703.440	702.840	1.131	1.131
B(23)	1620.430	1.200	23	31.252	3.292	1.885	696.890	696.290	1.131	1.131
B(24)	1789.330	1.200	24	34.455	0.000	0.000	691.320	690.720	1.131	1.131
B(25)	1939.830	1.200	25	21.468	0.000	0.000	686.350	685.750	1.131	1.131
B(26)	2271.760	1.200	26	15.040	0.000	0.000	675.400	674.800	1.131	1.131
B(27)	2401.520	1.200	27	34.384	0.000	0.000	671.120	670.520	1.131	1.131
B(28)	2587.850	1.200	28	34.433	1.885	2.041	664.970	664.370	1.131	1.131
B(29)	2678.720	1.200	29	57.320	0.000	0.000	661.730	661.130	1.131	1.131
B(30)	2837.880	1.200	30	58.657	0.000	0.000	656.050	655.450	1.131	1.131
B(31)	2914.610	1.200	31	24.250	0.000	0.000	653.320	652.720	1.131	1.131
B(32)	2977.530	1.200	32	51.989	0.000	0.000	651.070	650.470	1.131	1.131
B(33)	3054.440	1.200	33	28.979	0.000	0.000	648.330	647.730	1.131	1.131
B(34)	3120.380	1.200	34	34.100	2.041	2.521	645.980	645.380	1.131	1.131
B(35)	3441.620	1.200	35	57.581	0.000	0.000	631.740	631.140	1.131	1.131

**Tab. 19 – Výpočet sil v blocích – geometrie 2. část**

Geometrie										
Kotevní blok	Staničení	DN	Číslo kotevního bloku	Horizontální úhel	Vertikální úhel		Nadm. výška osy potrubí u vtoku	Nadm. výška dna potrubí	Plocha vtoku	Plocha výtoku
				$\beta$	$\alpha_1$	$\alpha_2$			$A_{in}$	$A_{out}$
				[°]	[°]	[°]			[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
B(36)	3501.550	1.200	36	80.313	0.000	0.000	629.080	628.480	1.131	1.131
B(37)	3588.050	1.200	37	60.491	0.000	0.000	625.270	624.670	1.131	1.131
B(38)	3672.900	1.200	38	42.304	0.000	0.000	621.510	620.910	1.131	1.131
B(39)	3748.570	1.200	39	36.224	0.000	0.000	618.160	617.560	1.131	1.131
B(40)	3810.960	1.200	40	44.424	0.000	0.000	615.400	614.800	1.131	1.131
B(41)	3869.460	1.200	41	53.218	0.000	0.000	612.810	612.210	1.131	1.131
B(42)	3900.790	1.200	42	46.174	0.000	0.000	611.420	610.820	1.131	1.131
B(43)	3958.490	1.200	43	81.231	0.000	0.000	608.890	608.290	1.131	1.131
B(44)	4043.350	1.200	44	46.767	2.521	3.018	605.110	604.510	1.131	1.131
B(45)	4157.640	1.2/1.1	45	25.138	0.000	0.000	599.050	598.450	1.131	0.950
B(46)	4213.420	1.100	46	21.799	0.000	0.000	596.100	595.550	0.950	0.950
B(47)	4267.470	1.100	47	38.977	0.000	0.000	593.240	592.690	0.950	0.950
B(48)	4332.780	1.100	48	66.540	3.018	2.973	589.780	589.230	0.950	0.950
B(49)	4483.770	1.100	49	38.297	0.000	0.000	581.950	581.400	0.950	0.950
B(50)	4571.770	1.100	50	9.651	0.000	0.000	577.380	576.830	0.950	0.950
B(51)	4643.350	1.100	51	64.836	0.000	0.000	573.670	573.120	0.950	0.950
B(52)	4748.610	1.100	52	39.083	2.973	2.357	568.220	567.670	0.950	0.950
B(53)	5010.450	1.100	53	47.995	0.000	0.000	557.430	556.880	0.950	0.950
B(54)	5122.030	1.100	54	64.447	0.000	0.000	552.830	552.280	0.950	0.950
B(55)	5190.320	1.100	55	22.937	2.357	6.656	550.020	549.470	0.950	0.950
B(56)	5237.340	1.100	56	28.483	0.000	0.000	544.480	543.930	0.950	0.950
B(57)	5304.440	1.100	57	36.759	6.656	2.867	536.670	536.120	0.950	0.950
B(58)	5482.710	1.100	58	12.205	2.867	2.857	527.700	527.150	0.950	0.950
B(59)	5553.160	1.100	59	47.900	0.000	0.000	524.190	523.640	0.950	0.950
B(60)	5623.970	1.100	60	35.437	2.857	2.918	520.660	520.110	0.950	0.950
B(61)	5690.340	1.100	61	29.810	2.918	2.069	517.350	516.800	0.950	0.950
B(62)	5827.380	1.100	62	13.543	0.000	0.000	512.390	511.840	0.950	0.950
B(63)	5964.110	1.100	63	27.220	0.000	0.000	507.440	506.890	0.950	0.950
B(64)	6111.720	1.100	64	26.875	2.069	2.449	502.090	501.540	0.950	0.950
B(65)	6168.780	1.100	65	19.725	2.449	0.848	499.660	499.110	0.950	0.950
B(66)	6349.020	1.100	66	34.618	0.848	1.904	496.970	496.420	0.950	0.950
B(67)	6495.290	1.100	67	45.702	1.904	1.293	492.100	491.550	0.950	0.950
B(68)	6630.590	1.100	68	32.556	1.293	2.237	489.040	488.490	0.950	0.950
B(69)	6716.300	1.100	69	34.859	0.000	0.000	485.170	484.620	0.950	0.950
B(70)	6814.590	1.100	70	58.891	2.237	0.000	481.800	481.250	0.950	0.950

**Tab. 20 – Výpočet sil v blocích – přírůstek tlaku od vodního rázu 1. část**

Kotevní blok	Výstup z programu Matlab		Zatížení od přírůstku tlaku od vodního rázu						
	Maximální přírůstek tlaku		Vstupní síla	Výstupní síla	Rozklad sil				
	H <sub>WH</sub>	P <sub>WH</sub>	F <sub>h1</sub>	F <sub>h2</sub>	F <sub>h1x</sub>	F <sub>h1z</sub>	F <sub>h2x</sub>	F <sub>h2y</sub>	F <sub>h2z</sub>
	[m v.s.]	[kPA]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
B(1)	13	134	0	0	0	0	0	0	0
B(2)	17	173	3	-3	3	0	-2	-3	0
B(3)	26	261	14	-14	14	0	-7	-12	0
B(4)	32	321	21	-21	21	0	-17	-13	0
B(5)	36	364	27	-27	27	2	-22	-14	-1
B(6)	38	380	30	-30	30	0	-27	-13	0
B(7)	40	401	35	-35	35	0	-34	-9	0
B(8)	44	438	44	-44	44	1	-39	-19	-2
B(9)	50	496	53	-53	53	0	-49	-20	0
B(10)	59	585	67	-67	67	0	-57	-34	0
B(11)	63	627	73	-73	73	0	-44	-58	0
B(12)	69	689	83	-83	83	0	-35	-75	0
B(13)	74	736	90	-90	90	5	-83	-35	-4
B(14)	76	761	95	-95	95	0	-58	-74	0
B(15)	81	808	103	-103	103	4	-59	-84	-3
B(16)	84	835	110	-110	110	3	-93	-59	-7
B(17)	88	885	116	-116	116	0	-78	-86	0
B(18)	95	950	125	-125	125	8	-121	-31	-4
B(19)	98	981	132	-132	132	0	-114	-67	0
B(20)	100	1005	137	-137	137	0	-123	-60	0
B(21)	107	1066	151	-151	151	0	-141	-54	0
B(22)	110	1102	160	-160	159	5	-117	-108	-9
B(23)	119	1190	172	-172	172	10	-147	-89	-6
B(24)	127	1271	189	-189	189	0	-156	-107	0
B(25)	134	1343	204	-204	204	0	-190	-75	0
B(26)	150	1501	238	-238	238	0	-229	-62	0
B(27)	156	1563	250	-250	250	0	-207	-141	0
B(28)	165	1652	269	-269	269	9	-221	-152	-10
B(29)	170	1698	278	-278	278	0	-150	-234	0
B(30)	178	1780	295	-295	295	0	-153	-252	0
B(31)	182	1819	303	-303	303	0	-276	-125	0
B(32)	185	1852	310	-310	310	0	-191	-244	0
B(33)	189	1891	318	-318	318	0	-278	-154	0
B(34)	192	1925	325	-325	325	12	-269	-182	-14
B(35)	212	2123	359	-359	359	0	-192	-303	0

**Tab. 21 – Výpočet sil v blocích – přírůstek tlaku od vodního rázu 2. část**

Kotevní blok	Výstup z programu Matlab		Zatížení od přírůstku tlaku od vodního rázu						
	Maximální přírůstek tlaku		Vstupní síla	Výstupní síla	Maximální přírůstek tlaku				
	H <sub>WH</sub>	P <sub>WH</sub>	F <sub>h1</sub>	F <sub>h2</sub>	F <sub>h1x</sub>	F <sub>h1z</sub>	F <sub>h2x</sub>	F <sub>h2y</sub>	F <sub>h2z</sub>
	[m v.s.]	[kPA]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
B(36)	216	2160	365	-365	365	0	-61	-360	0
B(37)	221	2213	374	-374	374	0	-184	-326	0
B(38)	226	2265	383	-383	383	0	-283	-258	0
B(39)	231	2311	391	-391	391	0	-315	-231	0
B(40)	235	2349	398	-398	398	0	-284	-278	0
B(41)	239	2385	404	-404	404	0	-242	-323	0
B(42)	240	2404	407	-407	407	0	-282	-293	0
B(43)	244	2439	413	-413	413	0	-63	-408	0
B(44)	249	2491	421	-421	421	19	-288	-307	-22
B(45)	257	2573	433	-433	433	0	-392	-184	0
B(46)	261	2614	371	-371	371	0	-344	-138	0
B(47)	265	2654	377	-377	377	0	-293	-237	0
B(48)	270	2702	384	-384	383	20	-153	-351	-20
B(49)	281	2812	400	-400	400	0	-314	-248	0
B(50)	288	2875	409	-409	409	0	-403	-69	0
B(51)	293	2927	417	-417	417	0	-177	-377	0
B(52)	300	3003	428	-428	427	22	-332	-270	-18
B(53)	316	3158	454	-454	454	0	-304	-338	0
B(54)	322	3224	466	-466	466	0	-201	-420	0
B(55)	326	3264	472	-472	472	19	-432	-183	-55
B(56)	333	3335	478	-478	478	0	-420	-228	0
B(57)	343	3435	485	-485	482	56	-388	-290	-24
B(58)	356	3559	503	-503	502	25	-491	-106	-25
B(59)	361	3607	510	-510	510	0	-342	-378	0
B(60)	366	3656	517	-517	516	26	-420	-299	-26
B(61)	370	3702	523	-523	522	27	-454	-260	-19
B(62)	377	3773	536	-536	536	0	-521	-125	0
B(63)	384	3845	548	-548	548	0	-487	-251	0
B(64)	392	3922	561	-561	561	20	-500	-254	-24
B(65)	396	3956	567	-567	566	24	-533	-191	-8
B(66)	400	4003	582	-582	582	9	-478	-330	-19
B(67)	407	4074	594	-594	594	20	-415	-425	-13
B(68)	412	4121	605	-605	605	14	-510	-325	-24
B(69)	417	4175	613	-613	613	0	-503	-350	0
B(70)	422	4223	621	-621	620	24	-321	-531	0

**Tab. 22 – Výpočet sil v blocích – hydrostatické síly 1. část**

Kotevní blok	Maximální hydrostatický tlak	Maximální hydrostatické síly						
		Vstupní síla	Výstupní síla	Rozklad sil				
	$P_{max}$	$P_1$	$P_2$	$P_{1x}$	$P_{1z}$	$P_{2x}$	$P_{2y}$	$P_{2z}$
	[kPa]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
B(1)	137	155	-155	153	25	-117	-99	-20
B(2)	171	193	-193	193	10	-96	-167	-14
B(3)	248	281	-281	281	0	-145	-240	0
B(4)	302	341	-341	341	0	-268	-212	0
B(5)	341	385	-385	384	28	-324	-208	-12
B(6)	353	399	-399	399	0	-359	-173	0
B(7)	370	418	-418	418	0	-404	-109	0
B(8)	400	452	-452	452	14	-406	-198	-24
B(9)	449	508	-508	508	0	-469	-194	0
B(10)	526	595	-595	595	0	-511	-305	0
B(11)	563	636	-636	636	0	-385	-507	0
B(12)	616	697	-697	697	0	-290	-633	0
B(13)	657	743	-743	742	39	-685	-285	-32
B(14)	678	766	-766	766	0	-473	-603	0
B(15)	717	811	-811	811	35	-464	-665	-21
B(16)	738	835	-835	835	21	-703	-446	-55
B(17)	782	884	-884	884	0	-596	-653	0
B(18)	839	949	-949	947	62	-919	-237	-29
B(19)	864	978	-978	978	0	-841	-498	0
B(20)	883	999	-999	999	0	-897	-439	0
B(21)	932	1054	-1054	1054	0	-984	-379	0
B(22)	961	1087	-1087	1087	33	-800	-734	-62
B(23)	1038	1174	-1174	1172	67	-1003	-609	-39
B(24)	1104	1249	-1249	1249	0	-1030	-706	0
B(25)	1162	1315	-1315	1315	0	-1224	-481	0
B(26)	1291	1461	-1461	1461	0	-1410	-379	0
B(27)	1342	1518	-1518	1518	0	-1252	-857	0
B(28)	1414	1599	-1599	1599	53	-1318	-904	-57
B(29)	1452	1643	-1643	1643	0	-887	-1383	0
B(30)	1519	1718	-1718	1718	0	-894	-1467	0
B(31)	1551	1754	-1754	1754	0	-1600	-721	0
B(32)	1578	1784	-1784	1784	0	-1099	-1406	0
B(33)	1610	1821	-1821	1821	0	-1593	-882	0
B(34)	1638	1852	-1852	1851	66	-1532	-1037	-81
B(35)	1805	2042	-2042	2042	0	-1095	-1724	0

**Tab. 23 – Výpočet sil v blocích – hydrostatické síly 2. část**

Kotevní blok	Maximální hydrostatický tlak	Maximální hydrostatické síly						
		Vstupní síla	Výstupní síla	Rozklad sil				
	$P_{max}$	$P_1$	$P_2$	$P_{1x}$	$P_{1z}$	$P_{2x}$	$P_{2y}$	$P_{2z}$
	[kPa]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
B(36)	1837	2077	-2077	2077	0	-350	-2048	0
B(37)	1882	2128	-2128	2128	0	-1048	-1852	0
B(38)	1926	2178	-2178	2178	0	-1611	-1466	0
B(39)	1965	2223	-2223	2223	0	-1793	-1313	0
B(40)	1998	2259	-2259	2259	0	-1614	-1581	0
B(41)	2028	2294	-2294	2294	0	-1373	-1837	0
B(42)	2045	2312	-2312	2312	0	-1601	-1668	0
B(43)	2074	2346	-2346	2346	0	-358	-2319	0
B(44)	2119	2396	-2396	2394	105	-1639	-1743	-126
B(45)	2190	2477	-2081	2477	0	-1884	-884	0
B(46)	2224	2114	-2114	2114	0	-1963	-785	0
B(47)	2258	2146	-2146	2146	0	-1668	-1350	0
B(48)	2299	2185	-2185	2182	115	-869	-2001	-113
B(49)	2391	2272	-2272	2272	0	-1783	-1408	0
B(50)	2445	2323	-2323	2323	0	-2290	-389	0
B(51)	2488	2365	-2365	2365	0	-1006	-2140	0
B(52)	2553	2426	-2426	2422	126	-1881	-1528	-100
B(53)	2680	2546	-2546	2546	0	-1704	-1892	0
B(54)	2734	2598	-2598	2598	0	-1121	-2344	0
B(55)	2767	2629	-2629	2627	108	-2405	-1018	-305
B(56)	2832	2691	-2691	2691	0	-2366	-1284	0
B(57)	2924	2779	-2779	2760	322	-2223	-1661	-139
B(58)	3030	2879	-2879	2875	144	-2810	-608	-144
B(59)	3071	2918	-2918	2918	0	-1957	-2165	0
B(60)	3112	2958	-2958	2954	147	-2407	-1713	-151
B(61)	3151	2995	-2995	2991	152	-2597	-1488	-108
B(62)	3210	3050	-3050	3050	0	-2966	-714	0
B(63)	3268	3106	-3106	3106	0	-2762	-1421	0
B(64)	3331	3166	-3166	3163	114	-2821	-1430	-135
B(65)	3360	3193	-3193	3190	136	-3005	-1077	-47
B(66)	3391	3223	-3223	3222	48	-2651	-1830	-107
B(67)	3449	3277	-3277	3276	109	-2288	-2345	-74
B(68)	3485	3312	-3312	3311	75	-2789	-1781	-129
B(69)	3530	3355	-3355	3355	0	-2753	-1917	0
B(70)	3570	3393	-3393	3390	132	-1753	-2905	0

**Tab. 24 – Výpočet sil v blocích – tlak vody 1. část**

Kotevní blok	Zatížení tlakem vody									
	Maximální průtok	Vtoková rychlost	Výtoková rychlost	Vstupní síla	Výstupní síla	Rozklad sil				
	Q	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	F <sub>f1</sub>	F <sub>f2</sub>	F <sub>f1x</sub>	F <sub>f1z</sub>	F <sub>f2x</sub>	F <sub>f2y</sub>	F <sub>f2z</sub>
	m <sup>3</sup> /s	m/s	m/s	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
B(1)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.4	-2.9	-0.6
B(2)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.2	-3.9	-0.3
B(3)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.3	-3.8	0.0
B(4)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.5	-2.8	0.0
B(5)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.8	-2.4	-0.1
B(6)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.0	-1.9	0.0
B(7)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.3	-1.2	0.0
B(8)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.0	-2.0	-0.2
B(9)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.1	-1.7	0.0
B(10)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.8	-2.3	0.0
B(11)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.7	-3.6	0.0
B(12)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-1.9	-4.1	0.0
B(13)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.1	-1.7	-0.2
B(14)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.8	-3.5	0.0
B(15)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.6	-3.7	-0.1
B(16)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.8	-2.4	-0.3
B(17)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.0	-3.3	0.0
B(18)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.3	-1.1	-0.1
B(19)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.9	-2.3	0.0
B(20)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.0	-2.0	0.0
B(21)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.2	-1.6	0.0
B(22)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.3	-3.0	-0.3
B(23)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.8	-2.3	-0.1
B(24)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.7	-2.5	0.0
B(25)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.2	-1.6	0.0
B(26)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.3	-1.2	0.0
B(27)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.7	-2.5	0.0
B(28)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.7	-2.5	-0.2
B(29)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.4	-3.8	0.0
B(30)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.3	-3.8	0.0
B(31)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-4.1	-1.8	0.0
B(32)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.8	-3.5	0.0
B(33)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.9	-2.2	0.0
B(34)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.7	-2.5	-0.2
B(35)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.4	-3.8	0.0

**Tab. 25 – Výpočet sil v blocích – tlak vody 2. část**

Kotevní blok	Zatížení tlakem vody									
	Maximální průtok	Vtoková rychlost	Výtoková rychlost	Vstupní síla	Výstupní síla	Rozklad sil				
	Q	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	F <sub>f1</sub>	F <sub>f2</sub>	F <sub>f1x</sub>	F <sub>f1z</sub>	F <sub>f2x</sub>	F <sub>f2y</sub>	F <sub>f2z</sub>
	m <sup>3</sup> /s	m/s	m/s	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
B(36)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-0.8	-4.4	0.0
B(37)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.2	-3.9	0.0
B(38)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.3	-3.0	0.0
B(39)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.6	-2.6	0.0
B(40)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.2	-3.1	0.0
B(41)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-2.7	-3.6	0.0
B(42)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.1	-3.2	0.0
B(43)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-0.7	-4.4	0.0
B(44)	2.25	2.0	2.0	4.5	-4.5	4.418	0.7	-3.1	-3.3	-0.2
B(45)	2.25	2.0	2.4	4.5	-5.3	4.418	0.7	-4.8	-2.3	0.0
B(46)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.9	-2.0	0.0
B(47)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.1	-3.4	0.0
B(48)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-2.1	-4.9	-0.3
B(49)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.2	-3.3	0.0
B(50)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-5.3	-0.9	0.0
B(51)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-2.3	-4.8	0.0
B(52)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.1	-3.4	-0.2
B(53)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-3.6	-4.0	0.0
B(54)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-2.3	-4.8	0.0
B(55)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.9	-2.1	-0.6
B(56)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.7	-2.5	0.0
B(57)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.3	-3.2	-0.3
B(58)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-5.2	-1.1	-0.3
B(59)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-3.6	-4.0	0.0
B(60)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.3	-3.1	-0.3
B(61)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.6	-2.6	-0.2
B(62)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-5.2	-1.2	0.0
B(63)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.7	-2.4	0.0
B(64)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.7	-2.4	-0.2
B(65)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-5.0	-1.8	-0.1
B(66)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.4	-3.0	-0.2
B(67)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-3.7	-3.8	-0.1
B(68)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.5	-2.9	-0.2
B(69)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-4.4	-3.0	0.0
B(70)	2.25	2.4	2.4	5.3	-5.3	5.257	0.9	-2.8	-4.6	0.0



**Tab. 26 – Výpočet sil v blocích – výsledné síly 1. část**

<b>Maximální provozní zatížení</b>						
<b>Rozklad sil</b>			<b>Maximální horizontální síla</b>	<b>Kotevní blok</b>	<b>Celková výslednice sil</b>	<b>Úhel celkové výslednice sil</b>
<b>F<sub>x</sub></b>	<b>F<sub>y</sub></b>	<b>F<sub>z</sub></b>	<b>F<sub>xy</sub></b>		<b>F<sub>r</sub></b>	<b>φ</b>
<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>		<b>[kN]</b>	<b>[°]</b>
36.7	-102.0	5.2	<b>108.4</b>	B(1)	<b>108.6</b>	-1.52
101.0	-173.8	-3.5	<b>201.0</b>	B(2)	<b>201.0</b>	1.55
144.2	-256.0	0.7	<b>293.8</b>	B(3)	<b>293.8</b>	-1.57
79.3	-228.1	0.7	<b>241.5</b>	B(4)	<b>241.5</b>	-1.57
65.3	-225.3	17.1	<b>234.6</b>	B(5)	<b>235.2</b>	-1.50
43.0	-188.5	0.7	<b>193.4</b>	B(6)	<b>193.4</b>	-1.57
15.7	-119.1	0.7	<b>120.1</b>	B(7)	<b>120.1</b>	-1.56
50.9	-219.0	-10.1	<b>224.8</b>	B(8)	<b>225.0</b>	1.53
42.8	-216.0	0.7	<b>220.2</b>	B(9)	<b>220.2</b>	-1.57
94.0	-341.4	0.7	<b>354.2</b>	B(10)	<b>354.2</b>	-1.57
282.4	-568.9	0.7	<b>635.2</b>	B(11)	<b>635.2</b>	-1.57
457.0	-712.5	0.7	<b>846.5</b>	B(12)	<b>846.5</b>	-1.57
63.5	-320.8	8.5	<b>327.0</b>	B(13)	<b>327.1</b>	-1.54
330.7	-680.5	0.7	<b>756.5</b>	B(14)	<b>756.5</b>	-1.57
392.1	-753.1	16.5	<b>849.1</b>	B(15)	<b>849.2</b>	-1.55
149.1	-507.5	-37.3	<b>529.0</b>	B(16)	<b>530.3</b>	1.50
327.6	-742.5	0.7	<b>811.5</b>	B(17)	<b>811.5</b>	-1.57
32.2	-269.0	38.2	<b>271.0</b>	B(18)	<b>273.6</b>	-1.43
155.3	-567.6	0.7	<b>588.4</b>	B(19)	<b>588.4</b>	-1.57
116.2	-501.8	0.7	<b>515.1</b>	B(20)	<b>515.1</b>	-1.57
81.0	-435.5	0.7	<b>442.9</b>	B(21)	<b>442.9</b>	-1.57
329.9	-844.2	-33.0	<b>906.4</b>	B(22)	<b>907.0</b>	1.53
194.4	-700.5	33.6	<b>726.9</b>	B(23)	<b>727.7</b>	-1.52
252.9	-815.9	0.7	<b>854.2</b>	B(24)	<b>854.2</b>	-1.57
105.6	-557.6	0.7	<b>567.5</b>	B(25)	<b>567.5</b>	-1.57
58.3	-441.8	0.7	<b>445.6</b>	B(26)	<b>445.6</b>	-1.57
309.6	-1000.9	0.7	<b>1047.7</b>	B(27)	<b>1047.7</b>	-1.57
328.0	-1058.1	-4.5	<b>1107.8</b>	B(28)	<b>1107.8</b>	1.57
885.5	-1620.2	0.7	<b>1846.4</b>	B(29)	<b>1846.4</b>	-1.57
968.0	-1723.1	0.7	<b>1976.4</b>	B(30)	<b>1976.4</b>	-1.57
181.9	-846.9	0.7	<b>866.3</b>	B(31)	<b>866.3</b>	-1.57
806.2	-1653.6	0.7	<b>1839.6</b>	B(32)	<b>1839.6</b>	-1.57
268.3	-1038.4	0.7	<b>1072.5</b>	B(33)	<b>1072.5</b>	-1.57
375.4	-1221.9	-17.7	<b>1278.3</b>	B(34)	<b>1278.4</b>	1.56
1115.7	-2030.4	0.7	<b>2316.8</b>	B(35)	<b>2316.8</b>	-1.57

**Tab. 27 – Výpočet sil v blocích – výsledné síly 2. část**

<b>Maximální provozní zatížení</b>						
<b>Rozklad sil</b>			<b>Maximální horizontální síla</b>	<b>Kotevní blok</b>	<b>Celková výslednice sil</b>	<b>Úhel celkové výslednice sil</b>
$F_x$	$F_y$	$F_z$	$F_{xy}$		$F_r$	$\varphi$
[kN]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]	[°]
2035.2	-2412.1	0.7	<b>3156.0</b>	B(36)	<b>3156.0</b>	-1.57
1272.0	-2181.7	0.7	<b>2525.4</b>	B(37)	<b>2525.4</b>	-1.57
668.1	-1726.9	0.7	<b>1851.7</b>	B(38)	<b>1851.7</b>	-1.57
506.0	-1547.2	0.7	<b>1627.8</b>	B(39)	<b>1627.8</b>	-1.57
760.6	-1862.9	0.7	<b>2012.2</b>	B(40)	<b>2012.2</b>	-1.57
1084.0	-2164.0	0.7	<b>2420.3</b>	B(41)	<b>2420.3</b>	-1.57
837.5	-1964.9	0.7	<b>2136.0</b>	B(42)	<b>2136.0</b>	-1.57
2341.9	-2730.9	0.7	<b>3597.5</b>	B(43)	<b>3597.5</b>	-1.57
889.0	-2053.3	-23.9	<b>2237.5</b>	B(44)	<b>2237.6</b>	1.56
633.4	-1070.5	0.7	<b>1243.8</b>	B(45)	<b>1243.8</b>	-1.57
178.0	-924.6	0.9	<b>941.6</b>	B(46)	<b>941.6</b>	-1.57
562.6	-1589.9	0.9	<b>1686.5</b>	B(47)	<b>1686.5</b>	-1.57
1546.7	-2357.6	2.6	<b>2819.7</b>	B(48)	<b>2819.7</b>	-1.57
576.1	-1659.3	0.9	<b>1756.4</b>	B(49)	<b>1756.4</b>	-1.57
38.7	-459.0	0.9	<b>460.6</b>	B(50)	<b>460.6</b>	-1.57
1601.8	-2522.4	0.9	<b>2988.0</b>	B(51)	<b>2988.0</b>	-1.57
637.7	-1800.9	31.3	<b>1910.4</b>	B(52)	<b>1910.7</b>	-1.55
994.4	-2233.8	0.9	<b>2445.2</b>	B(53)	<b>2445.2</b>	-1.57
1745.0	-2768.6	0.9	<b>3272.6</b>	B(54)	<b>3272.6</b>	-1.57
262.3	-1202.7	-231.7	<b>1230.9</b>	B(55)	<b>1252.6</b>	1.38
384.2	-1513.8	0.9	<b>1561.8</b>	B(56)	<b>1561.8</b>	-1.57
631.3	-1954.1	215.7	<b>2053.5</b>	B(57)	<b>2064.8</b>	-1.47
76.4	-715.2	1.2	<b>719.3</b>	B(58)	<b>719.3</b>	-1.57
1131.5	-2547.5	0.9	<b>2787.5</b>	B(59)	<b>2787.5</b>	-1.57
643.9	-2015.0	-3.1	<b>2115.4</b>	B(60)	<b>2115.4</b>	1.57
463.6	-1750.3	52.7	<b>1810.7</b>	B(61)	<b>1811.5</b>	-1.54
99.8	-841.0	0.9	<b>846.9</b>	B(62)	<b>846.9</b>	-1.57
405.2	-1673.8	0.9	<b>1722.1</b>	B(63)	<b>1722.1</b>	-1.57
403.7	-1685.7	-24.1	<b>1733.3</b>	B(64)	<b>1733.5</b>	1.56
217.8	-1270.5	105.8	<b>1289.0</b>	B(65)	<b>1293.3</b>	-1.49
675.7	-2163.1	-69.4	<b>2266.2</b>	B(66)	<b>2267.3</b>	1.54
1167.7	-2773.9	42.0	<b>3009.7</b>	B(67)	<b>3010.0</b>	-1.56
617.7	-2108.9	-63.9	<b>2197.5</b>	B(68)	<b>2198.5</b>	1.54
712.8	-2270.6	0.9	<b>2379.9</b>	B(69)	<b>2379.9</b>	-1.57
1939.2	-3440.6	157.5	<b>3949.4</b>	B(70)	<b>3952.6</b>	-1.53

## B.2.2 Výpočet hydraulických ztrát

V rámci práce jsem stanovil celkové ztráty mechanické energie vodní cesty od vtoku na jezu až po výtok z turbíny. Návrhový průtok jsem uvažoval pro maximální hltnost turbíny 2.25 m<sup>3</sup>/s.

Pro stanovení celkové ztrátové výšky vodní cesty jsem vypočítal ztrátové výšky na jemných a hrubých česlicích. Výpočet jsem provedl dle Kirschmerovy metody [5], která byla později upravena Holatou [7]. Pan Ing. Karel Kraml tento výpočet na základě svých zkušeností upravil tím způsobem, že ve výpočtu se nezapočítává celkový průřez koryta, ale pouze čistá plocha otvorů mezi česlicemi.

Tvarový součinitel  $\beta$  česlic byl stanoven pro obdélníkový průřez dle obrázku Obr. 32. Vliv podpůrných nosníků byl stanoven do rozmezí od 1 – bez podpůrných nosníků do 2 – velmi masivní nosníky. Vliv obtékání česlic byl stanoven pro nátok přímý.

$$d_z = \beta \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{Q^2}{((F_n \cdot (1 - p) - h' \cdot B)^2 \cdot 2 \cdot g) \cdot k_p \cdot k_\delta} \quad (3.18)$$

- kde:  $d_z$ ..... místní ztrátová výška  
 $\beta$ ..... koeficient tvaru česlic  
 $s$ ..... šířka česlic  
 $b$ ..... rozteč mezi česlicemi  
 $F_n$ ..... celková plocha mezi česlicemi  
 $p$ ..... ucpaná část plochy česlí  
 $h'$ ..... výška podpůrného nosníku  
 $B$ ..... celková šířka česlí  
 $Q$ ..... průtok  
 $g$ ..... gravitační zrychlení  
 $k_p$ ..... vliv podpůrných nosníků  
 $k_\delta$ ..... vliv směru obtékání česlic

$$b' = B - \frac{B \cdot s}{b + s} \quad (3.19)$$

- kde:  $b'$ ..... celková čistá šířka mezer  
 $B$ ..... celková šířka česlí  
 $s$ ..... šířka česlic  
 $b$ ..... rozteč mezi česlicemi

$$v_0 = \frac{Q}{F_n} \quad (3.20)$$

kde:  $v_0$ ..... rychlost mezi česlicemi  
 $Q$ .....průtok  
 $F_n$ ..... celková plocha mezi česlicemi

$$v = \frac{Q}{B \cdot h} \quad (3.21)$$

kde:  $v$ ..... rychlost před česlemi  
 $Q$ .....průtok  
 $B$ ..... celková šířka česlí  
 $h$ ..... délka česlic

$$F = B \cdot h \quad (3.22)$$

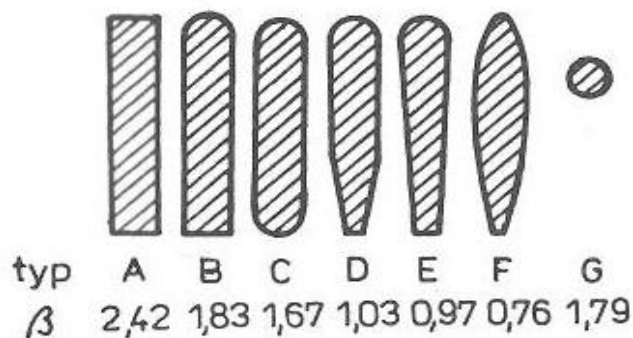
kde:  $F$ ..... plocha rámu česlí  
 $h$ ..... délka česlic  
 $B$ ..... celková šířka česlí

$$F_n = b' \cdot h \cdot (1 - p) - h' \cdot b' \quad (3.23)$$

kde:  $F_n$ ..... celková plocha mezi česlicemi  
 $h$ ..... délka česlic  
 $b'$ ..... celková čistá šířka mezer mezi česlicemi  
 $p$ ..... ucpaná část plochy česlí  
 $h'$ ..... výška podpůrného nosníku

$$h = \frac{h_d}{\sin \alpha} \quad (3.24)$$

kde:  $h$ ..... délka česlic  
 $h_d$ ..... hloubka vody  
 $\alpha$ ..... úhel česlic se dnem



Obr. 32 – Tvarové součinitele  $\beta$  česlic různých profilů [5]

Tab. 28 – Ztrátová výška na hrubých česlích – výchozí hodnoty

Rozteč mezi česlicemi	b	0.200	m
Šířka česlic	s	0.060	m
Tvar česlic	$\beta$	1.79	-
Úhel se dnem	$\alpha$	90	°
Úhel se dnem	$\alpha$	1.5708	rad
Vliv podpůrných nosníků [15]	$k_p$	1.10	-
Vliv směru obtékání česlic [15]	$k_\delta$	4	-
Průtok	Q	2.250	m <sup>3</sup> /s
Ucpaná část plochy česlí splaveninami	p	10	%
Celková šířka česlí	B	6.00	m
Hloubka vody	$h_d$	3.20	m
Výška podpůrného nosníku	$h'$	0.40	m

Tab. 29 – Ztrátová výška na hrubých česlích – výpočet

Celková čistá šířka mezer mezi česlicemi	$b'$	4.615	m
Rychlost mezi česlicemi	$v_o$	0.20	m/s
Rychlost před česlemi	v	0.12	m/s
Plocha rámu česlí	F	19.20	m <sup>2</sup>
Plocha mezi česlicemi celková	$F_n$	11.446	m <sup>2</sup>
Délka česlic	h	3.20	m
<b>Místní ztráta</b>	<b><math>d_z</math></b>	<b>0.7</b>	<b>cm</b>

**Tab. 30 – Ztrátová výška na jemných česlích – výchozí hodnoty**

Rozteč mezi česlicemi	b	0.040	m
Šířka česlic	s	0.006	m
Tvar česlic	$\beta$	2.42	-
Úhel se dnem	$\alpha$	75	°
Úhel se dnem	$\alpha$	1.3090	rad
Vliv podpůrných nosníků [15]	$k_p$	1.10	-
Vliv směru obtékání česlic [15]	$k_\delta$	4	-
Průtok	Q	2.250	m <sup>3</sup> /s
Ucpaná část plochy česlí splaveninami	p	10	%
Celková šířka česlí	B	3.50	m
Hloubka vody	$h_d$	3.20	m
Výška podpůrného nosníku	$h'$	0.15	m

**Tab. 31 – Ztrátová výška na jemných česlích – výpočet**

Celková čistá šířka mezer mezi česlicemi	$b'$	3.043	m
Rychlost mezi česlicemi	$v_o$	0.26	m/s
Rychlost před česlemi	v	0.19	m/s
Plocha rámu česlí	F	11.60	m <sup>2</sup>
Plocha mezi česlicemi celková	$F_n$	8.618	m <sup>2</sup>
Délka česlic	h	3.31	m
<b>Místní ztráta</b>	<b><math>d_z</math></b>	<b>0.4</b>	<b>cm</b>

Přestože místní ztráty na česlích dle výpočtů nevyšly tak velké, s ohledem na možné nejistoty jsem na základě konzultace s panem Ing. Karlem Kramlem započítal ztráty na česlích jako 0.2 m.

Ztráty energie jsou vyjadřovány formou ztrátových výšek. Následující vzorce jsem využil pro výpočet celkových ztrát. Ztrátové součinitele a použité vzorce jsem převzal z [4]:

$$v_i = \frac{Q_N}{A_i} \quad (3.25)$$

kde:  $v_i$ ..... rychlost v potrubí  
 $Q_N$ ..... návrhový průtok potrubím  
 $A_i$ ..... plocha vztažného průřezu

$$h_m = \xi \cdot n \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g} \quad (3.26)$$

kde:  $h_m$ ..... místní ztráty  
 $\xi$ ..... koeficient místních ztrát  
 $n$ ..... počet

$\frac{v_i^2}{2 \cdot g}$ ..... rychlostní výška

$$h_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3.27)$$

kde:  $h_t$ ..... ztráty třením  
 $\lambda$ ..... součinitel ztrát třením  
 $L$ ..... délka potrubí  
 $D$ ..... průměr potrubí

$\frac{v_i^2}{2 \cdot g}$ ..... rychlostní výška

Pro výpočet součinitele tření jsem použil Moodyho rovnici [4] a ověřil jsem, že turbulentní proudění se nachází v přechodové oblasti.

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left( 1 + \left( 2 \cdot 10^4 \cdot \frac{k}{D} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \quad (3.28)$$

pro:  $Re \geq 4 \cdot 10^3$

kde:  $\lambda$ ..... součinitel ztrát třením  
 $k$ ..... absolutní drsnost  
 $D$ ..... průměr potrubí  
 $Re$ ..... Reynoldsovo kritérium

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (3.29)$$

kde: Re..... Reynoldsovo kritérium  
 v..... rychlost v potrubí  
 $\nu$ ..... kinematická viskozita vody  
 D..... průměr potrubí

$$h_z = h_m + h_t \quad (3.30)$$

kde:  $h_z$ ..... celkové ztráty  
 $h_m$ ..... místní ztráty  
 $h_t$ ..... ztráty třením

$$K = \frac{\Sigma h_z}{Q^2} \quad (3.31)$$

kde: K..... ztrátový součinitel  
 $h_z$ ..... celkové ztráty  
 $Q_N$ ..... návrhový průtok v potrubí

Ztrátový součinitel K uvádím, jelikož jej později využiji pro výpočet výroby energie MVE.

**Tab. 32 – Celková ztrátová výška – obecné vstupní údaje**

Návrhový průtok	$Q_N$	2.25	m <sup>3</sup> /s
Coriolisovo číslo	$\alpha$	1.05	-
Gravitační zrychlení	$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Kinematická viskozita vody	$\nu$	0.000001307	m <sup>2</sup> /s



**Tab. 33 – Celková ztrátová výška – výpočet 1. úseku**

1) Úsek č.1

GRP DN1200

Průměr	$D_1$	1.2	m
Průřezová plocha	$A_1$	1.131	m <sup>2</sup>
Délka	$L_1$	4158	m
Rychlost	$v_1$	1.989	m/s
Absolutní drsnost	$k_1$	0.100	mm

<b>Místní ztráty</b>	<b><math>\Sigma h_{m1}</math></b>	<b>3.61</b>	<b>m</b>
Díličí místní ztráty	$\xi [-]$	počet	$h_m [m]$
Hrubé a jemné česle	0.94	1	0.2
Vtok do potrubí	0.5	1	0.106
Koleno 22.5°	0.066	6	0.084
Koleno 30°	0.13	6	0.165
Koleno 45°	0.236	14	0.700
Koleno 60°	0.471	14	1.397
Koleno 90°	1.129	4	0.957

<b>Ztráty třením</b>	<b><math>h_{t1}</math></b>	<b>9.30</b>	<b>m</b>
Reynoldsovo kritérium	Re	1826568	-
	$Re \geq 4 \cdot 10^3$	Moody platí	
Součinitel tření	$\lambda_1$	0.0127	-

<b>Režim turbulentního proudění:</b>			
Tloušťka mezní vrstvy	$\delta$	0.0002	m
Hydraulicky hladké potrubí	$\delta > 5k$	NE	
Kvadratická oblast	$Re > \frac{191D}{\sqrt{\lambda} \cdot \Delta}$	NE	
Přechodová oblast		ANO	

<b>Celkové ztráty</b>	<b><math>h_{z1}</math></b>	<b>12.91</b>	<b>m</b>
-----------------------	----------------------------	--------------	----------

**Tab. 34 – Celková ztrátová výška – výpočet 2. úseku**

2) Úsek č.2

GRP DN1100

Průměr	$D_2$	1.1	m
Průřezová plocha	$A_2$	0.950	m <sup>2</sup>
Délka	$L_2$	2744	m
Rychlost	$v_2$	2.368	m/s
Absolutní drsnost	$k_2$	0.100	mm

<b>Místní ztráty</b>	<b><math>\Sigma h_{m2}</math></b>	<b>3.19</b>	<b>m</b>
Dílčí místní ztráty	$\xi [-]$	počet	$h_m [m]$
Zúžení DN1200 / DN1100	0.74	1	0.221
Koleno 10°	0.03	1	0.010
Koleno 15°	0.04	2	0.025
Koleno 22.5°	0.07	3	0.059
Koleno 30°	0.13	4	0.156
Koleno 45°	0.24	9	0.637
Koleno 60°	0.47	3	0.424
Koleno 90°	1.13	4	1.355
Klapkový uzávěr	0.30	1	0.090
Montážní vložka	0.08	1	0.024
Uzávěr turbíny	0.50	1	0.150
Savka	0.12	1	0.036

<b>Ztráty třením</b>	<b><math>h_{t2}</math></b>	<b>9.57</b>	<b>m</b>
Reynoldsovo kritérium	Re	1992619	-
	$Re \geq 4 \cdot 10^3$	Platnost potvrzena	
Součinitel tření	$\lambda_2$	0.0128	-

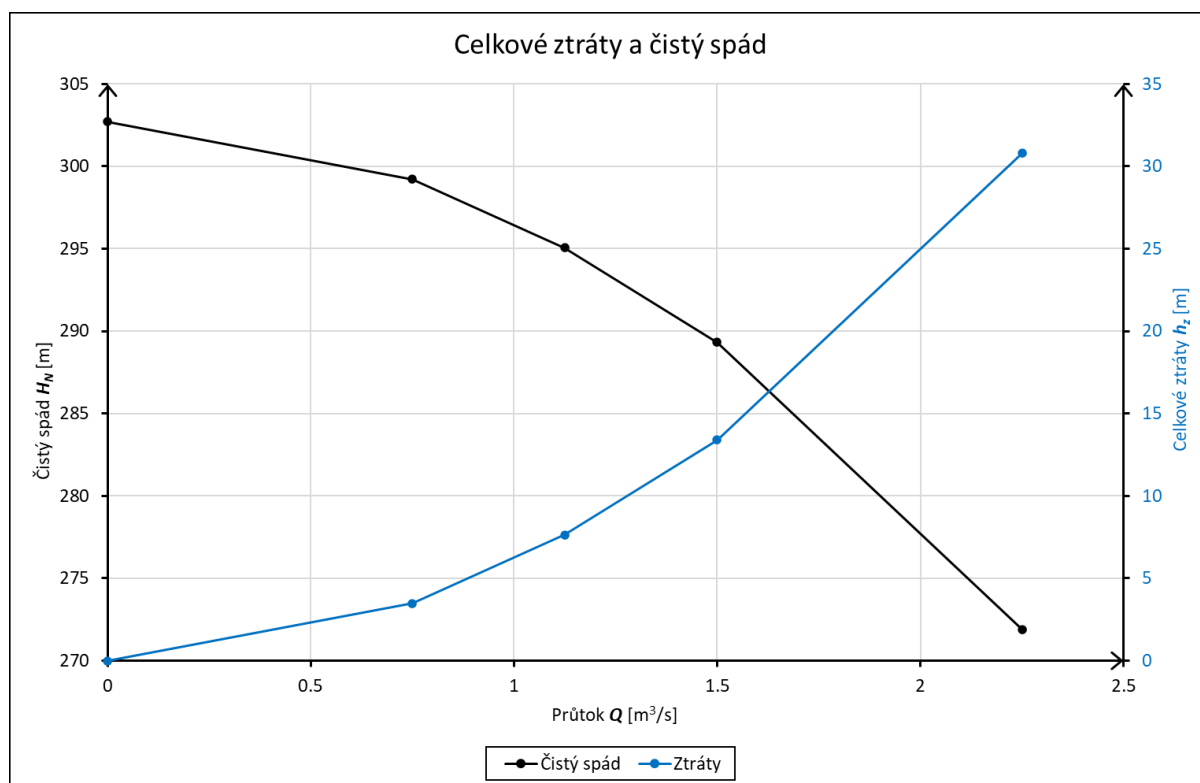
<b>Režim turbulentního proudění:</b>			
Tloušťka mezní vrstvy	$\delta$	0.0002	m
Hydraulicky hladké potrubí	$\delta > 5k$	NE	
Kvadratická oblast	$Re > \frac{191D}{\sqrt{\lambda} \cdot \Delta}$	NE	
Přechodová oblast		ANO	

<b>Celkové ztráty</b>	<b><math>h_{z2}</math></b>	<b>12.75</b>	<b>m</b>
-----------------------	----------------------------	--------------	----------

**Tab. 35 - Celková ztrátová výška - výsledné hodnoty**

3) Celkové ztráty při  $Q_N = 2.25 \text{ m}^3/\text{s}$

Nadm. výška horní vody	$H_H$	784.5	m n. m.
Nadm. výška dolní vody	$H_D$	481.8	m n. m.
Hrubý spád	$H_B$	302.7	m
<b>Čistý spád</b>	<b><math>H_N</math></b>	271.91	<b>m</b>
Celkové místní ztráty	$\Sigma h_m$	6.80	m
Celkové ztráty třením	$\Sigma h_t$	18.86	m
Celkové ztráty	$\Sigma h_z$	25.66	m
Rezerva		20	%
<b>Celkové ztráty při <math>Q_N</math></b>	<b><math>\Sigma h_z</math></b>	<b>30.79</b>	<b>m</b>
<b>Ztrátový koeficient</b>	<b>K</b>	6.08	-



**Obr. 33 - Celkové ztráty - závislost ztrát na spádu a průtoku**

### B.2.3 Posouzení účinků vodního rázu

Jelikož jsem navrhl použití Peltonovy turbíny, která pomocí deflektoru dokáže odklonit paprsek vody z dýzy od korečků, je možné zavírat potrubí déle a tím eliminovat účinky vodního rázu.

Kvůli požadavkům investora jsem posouzení přece jen provedl. Do výpočtů jsem uvažoval dobu uzavírání turbíny 50 sekund.

Účinky vodního rázu v potrubí jsem modeloval pomocí programu Matlab Simulink s modulem SimHydraulics. Nestacionární chování kapaliny lze popsat rovnicí hybnosti (rovnice 3.32) a spojitosti (rovnice 3.33). Pro tvar rovnic v případě 1D jsou hlavními předpoklady nemění se průměr potrubí v osovém směru, kolmou rychlost proudění na průřezovou plochu potrubí, stejný tlak v celém průřezu a nemění se hustota kapaliny. Rovnice hybnosti (3.32) v sobě krom třecích ztrát obsahuje i vliv gravitace. Rovnice kontinuity (3.33) obsahuje obecnou funkci, sloužící pro popis vlivu pulzace na stěnu potrubí a může být proměnná v čase. [12]

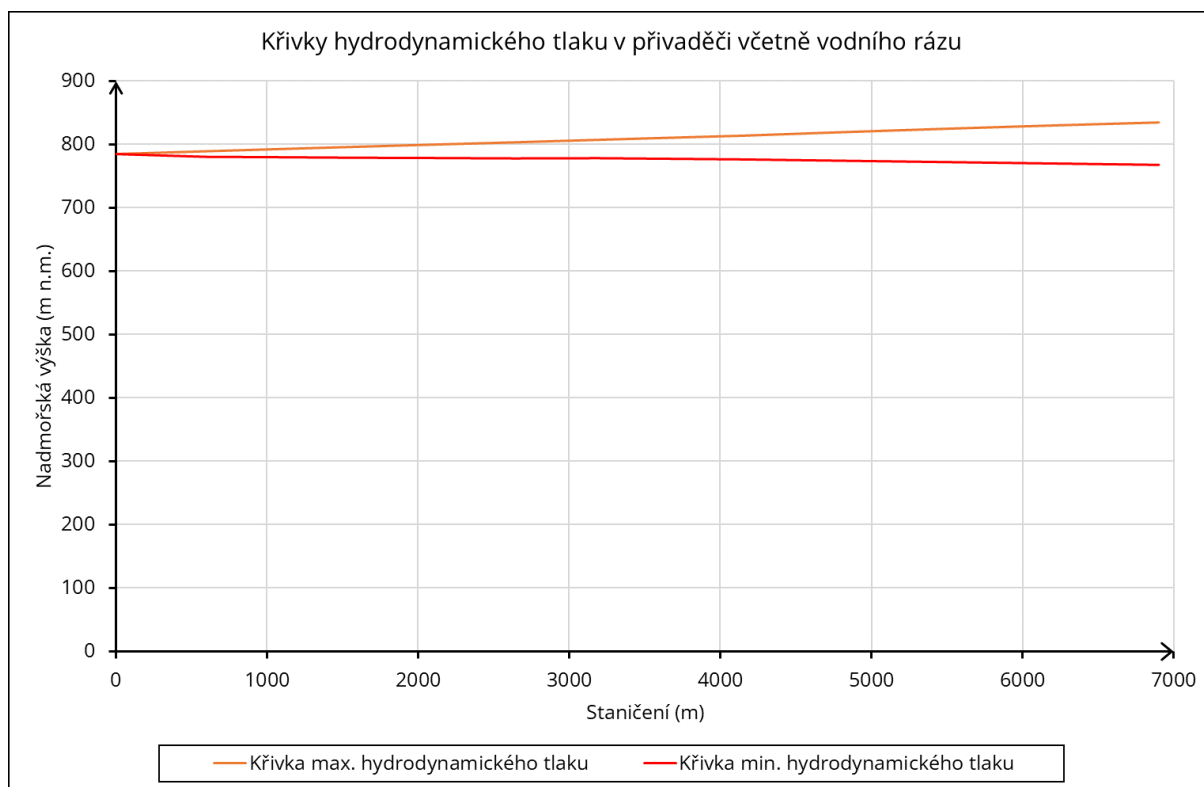
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{S}{\rho} * \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\lambda}{2 * D * S} * |Q| * Q = S * g_p \quad (3.32)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{K}{S} * \frac{\partial Q}{\partial x} = f(p, t) \quad (3.33)$$

Program Matlab Simulink byl vyvinut firmou MathWorks jako grafické prostředí, které je založené na blokových diagramech Simulink. Tento program lze využít pro analýzu a simulaci dynamických systémů, jako je v mém případě modelování šíření rázové vlny potrubím při uzavření turbíny. Program obsahuje knihovnu bloků včetně ventilů, čerpadel, nádrží a dalších. Jednotlivé bloky se propojí pomocí potrubí. Potrubí jsou rozděleny na segmenty, z nichž každý segment obsahuje složku odporu, reprezentující ztrátu třením a složky představující pružnost a tlumící vlastnost potrubí. Čím více se člení potrubí na segmenty, tím přesnější výsledek získáme. Pružnost potrubí je vyjádřena koeficientem změny průměru potrubí při statickém tlaku. Tlumící schopnost potrubí je popsána konstantou popisující rychlost změny průměru potrubí při zatížení tlakem. Kapalina je definována například hustotou, kinematickou viskozitou a objemovým modulem při atmosférickém tlaku. Po sestavení modelu z knihovny bloků (Obr. 34), nastavení jejich vlastností, definování kapaliny a zadání parametrů pro výpočet, program SimHydraulics dokáže vyřešit rovnice hybnosti a spojitosti pomocí metody „ode15s“ s adaptivním časovým krokem a provést tak analýzu, po které nabízí tabulární výstupy výsledků (Tab. 36). [12]



**Obr. 34 - Výpočtové schéma vodního rázu**



**Obr. 35 - Křivka hydrodynamického tlaku v přivaděči včetně vodního rázu**

**Tab. 36 - Hodnoty maximálního tlaku z programu Matlab**

Kotevní blok	Výstup z programu Matlab		Kotevní blok	Výstup z programu Matlab	
	Maximální tlak			Maximální tlak	
	H <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>		H <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>
	[m v.s.]	[kPa]		[m v.s.]	[kPa]
B(1)	11	112	B(36)	180	1800
B(2)	14	145	B(37)	184	1844
B(3)	22	217	B(38)	189	1887
B(4)	27	267	B(39)	193	1926
B(5)	30	304	B(40)	196	1958
B(6)	32	316	B(41)	199	1988
B(7)	33	334	B(42)	200	2004
B(8)	37	365	B(43)	203	2033
B(9)	41	413	B(44)	208	2076
B(10)	49	488	B(45)	214	2144
B(11)	52	523	B(46)	218	2179
B(12)	57	574	B(47)	221	2212
B(13)	61	614	B(48)	225	2252
B(14)	63	634	B(49)	234	2343
B(15)	67	674	B(50)	240	2396
B(16)	70	696	B(51)	244	2439
B(17)	74	737	B(52)	250	2502
B(18)	79	791	B(53)	263	2631
B(19)	82	818	B(54)	269	2686
B(20)	84	837	B(55)	272	2720
B(21)	89	888	B(56)	278	2779
B(22)	92	919	B(57)	286	2862
B(23)	99	992	B(58)	297	2966
B(24)	106	1059	B(59)	301	3006
B(25)	112	1119	B(60)	305	3047
B(26)	125	1251	B(61)	308	3085
B(27)	130	1303	B(62)	314	3145
B(28)	138	1376	B(63)	320	3204
B(29)	142	1415	B(64)	327	3268
B(30)	148	1483	B(65)	330	3297
B(31)	152	1516	B(66)	334	3336
B(32)	154	1543	B(67)	339	3395
B(33)	158	1576	B(68)	343	3435
B(34)	160	1604	B(69)	348	3479
B(35)	177	1769	B(70)	352	3519

### B.3 Výroba energie MVE

Pro vypracování ekonomické analýzy jsem provedl výpočet celkové vyrobené energie.

Hodnotu čistého spádu jsem vypočítal v kapitole B.2.2 a dosadil ji do výpočtu ekonomické rozvahy. Účinnosti turbíny a generátoru byly převzaty přímo od výrobců z podkladů dodaných firmou Stream. Na turbostrojí nebude instalována převodovka, tudíž počítáme s účinností převodu 100 %. Maximální povolený výkon MVE činí 6000 kW, proto bude případně instalován i omezovač výkonu.

Průtoky budou regulovány pomocí hladinové regulace. U jezu bude pomocí turbíny udržována provozní hladina 784.5 m n. m., osa Peltonovy turbíny se nachází na kótě 481.8 m n. m. Pokud průtok překročí hltnost turbíny, začne se zvyšovat hladina na jezu. Po konzultaci s firmou Stream a zadání investora, tyto výkyvy hladiny nebudou do výpočtu uvažovány. Rovněž bude uvažováno s provozní hladinou 784.5 m n. m.

Pro výpočet byly použity tyto vztahy dle [5]:

$$H_B = H_H - H_D \quad (4.1)$$

$$H_N = H_B - K \cdot Q^2 \quad (4.2)$$

$$P = \eta_T \cdot \eta_P \cdot \eta_G \cdot H_N \cdot Q_t \cdot g \cdot \rho \quad (4.3)$$

$$E = P \cdot t \quad (4.4)$$

Byla také stanovena doba využití instalovaného výkonu dle [5]:

$$\sigma = \frac{E_{rok}}{P_{inst}} \quad (4.5)$$

kde:  $E_{rok}$ ..... průměrná roční výroba  
energie

$P_{inst}$ ..... instalovaný výkon

**Tab. 37 - Výroba energie - vstupní hodnoty**

Návrhový průtok (hltnost turbíny)	$Q_N$	2.25	m <sup>3</sup> /s
Minimální hygienický průtok v řece	$Q_{hyg}$	0.21	m <sup>3</sup> /s
Hladina horní vody	$H_H$	784.5	m n. m.
Hladina dolní vody	$H_D$	481.8	m n. m.
Ztrátový koeficient	$K$	6.0818	-
Gravitační zrychlení	$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Typ turbíny	Peltonova turbína		
Hltnost	$Q_{MAX}$	2.25	m <sup>3</sup> /s
Minimální hltnost	$Q_{MIN}$	0.225	m <sup>3</sup> /s
Účinnost převodovky	$\eta_P$	1.00	-
Maximální povolený výkon MVE	$P_{MVE}$	6000	kW

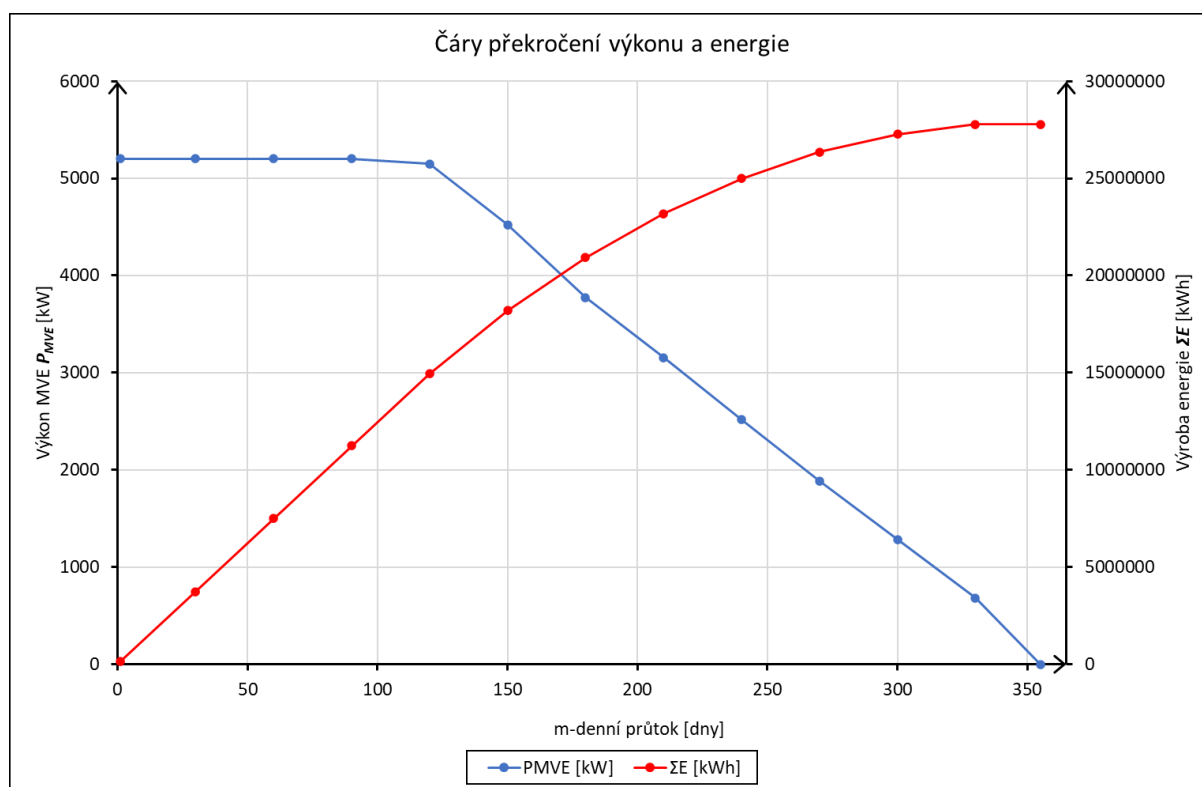
**Tab. 38 - Výroba energie - výpočet**

m-denní průtok	Průtok v toku	Využitelný průtok	Průtok na turbínu	Hrubý spád	Čistý spád	Účinnost turbíny	Účinnost generátoru	Výkon turbíny	Výkon generátoru	Výkon MVE	Výroba energie MVE	Celková výroba energie
m	$Q_m$	$Q_{vyuz}$	$Q_t$	$H_B$	$H_N$	$\eta_T$	$\eta_G$	$P_T$	$P_G$	$P_{MVE}$	E	$\Sigma E$
[dny]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh]	[kWh]
1	9.320	9.11	2.25	302.70	271.91	0.9036	0.9589	5423	5200	5200	124811	124811
30	4.548	4.34	2.25	302.70	271.91	0.9036	0.9589	5423	5200	5200	3619520	3744331
60	3.530	3.32	2.25	302.70	271.91	0.9036	0.9589	5423	5200	5200	3744331	7488663
90	2.874	2.66	2.25	302.70	271.91	0.9036	0.9589	5423	5200	5200	3744331	11232994
120	2.420	2.21	2.21	302.70	273.00	0.9073	0.9586	5370	5148	5148	3706500	14939494
150	2.074	1.86	1.86	302.70	281.57	0.9161	0.9585	4717	4521	4521	3255216	18194709
180	1.728	1.52	1.52	302.70	288.69	0.9168	0.9579	3941	3775	3775	2718274	20912983
210	1.471	1.26	1.26	302.70	293.03	0.9115	0.9550	3304	3156	3156	2272033	23185016
240	1.221	1.01	1.01	302.70	296.48	0.9021	0.9487	2653	2517	2517	1812079	24997095
270	0.981	0.77	0.77	302.70	299.08	0.8884	0.9382	2010	1886	1886	1357579	26354674
300	0.750	0.54	0.54	302.70	300.93	0.8721	0.9229	1390	1283	1283	923767	27278442
330	0.511	0.30	0.30	302.70	302.15	0.8501	0.9004	758	683	683	491659	27770101
355	0.266	0.06	0.00	302.70	302.70	0.0000	0.8657	0	0	0	0	27770101
365	0.131	0.00	0.00	302.70	302.70	0.0000	0.8657	0	0	0	0	27770101
<b>Celková výroba energie <math>\Sigma E</math> [kWh]</b>												<b>27770101</b>

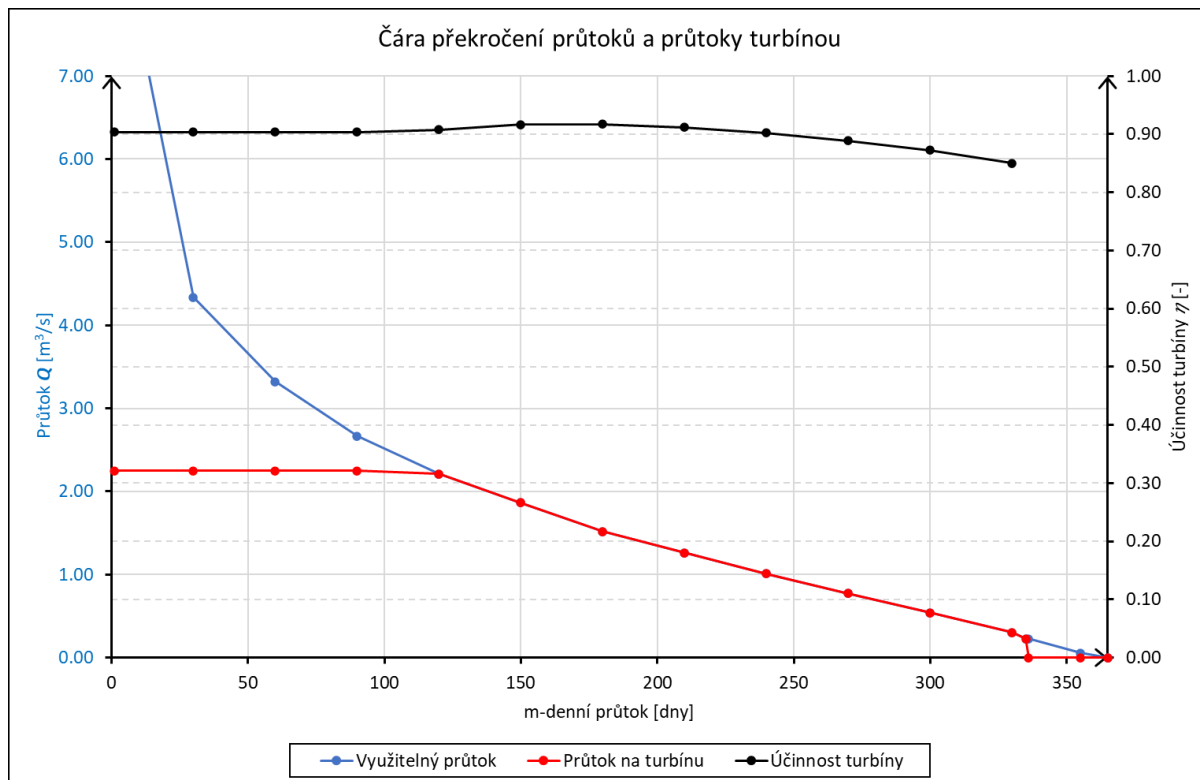


**Tab. 39 - Výroba energie - výsledné hodnoty**

Maximální výkon turbíny	$P_{T,max}$	5423	kW
Maximální výkon generátoru	$P_{G,max}$	5200	kW
Maximální výkon MVE	$P_{MVE}$	5200	kW
<b>Celková výroba energie MVE</b>			
Průměrná roční výroba energie	$\Sigma E$	27770101	kWh
Ztráty transformátoru	$Z_T$	0.02	-
Vlastní spotřeba	$Z_{MVE}$	0.005	-
Poruchy	$Z_{por}$	0.008	-
Nestálé průtoky	$Z_Q$	0.04	-
Ztráty vedení	$Z_V$	0.02	-
<b>Průměrná roční výroba energie</b>	<b><math>\Sigma E</math></b>	<b>25187481</b>	<b>kWh</b>
<b>Doba využití instalovaného výkonu</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>4843</b>	<b>h</b>



**Obr. 36 - Výroba energie - čáry překročení výkonu a energie**



**Obr. 37 - Výroba energie - čáry překročení průtoků, účinnost a průtoky turbínou**

MVE bude odebírat průtok z řečiště po odečtení minimálního zůstatkového průtoku v řece  $0.21 \text{ m}^3/\text{s}$  a zároveň od minimální hlnosti turbíny  $0.225 \text{ m}^3/\text{s}$ , tedy od celkového průtoku v řečišti  $0.435 \text{ m}^3/\text{s}$ .

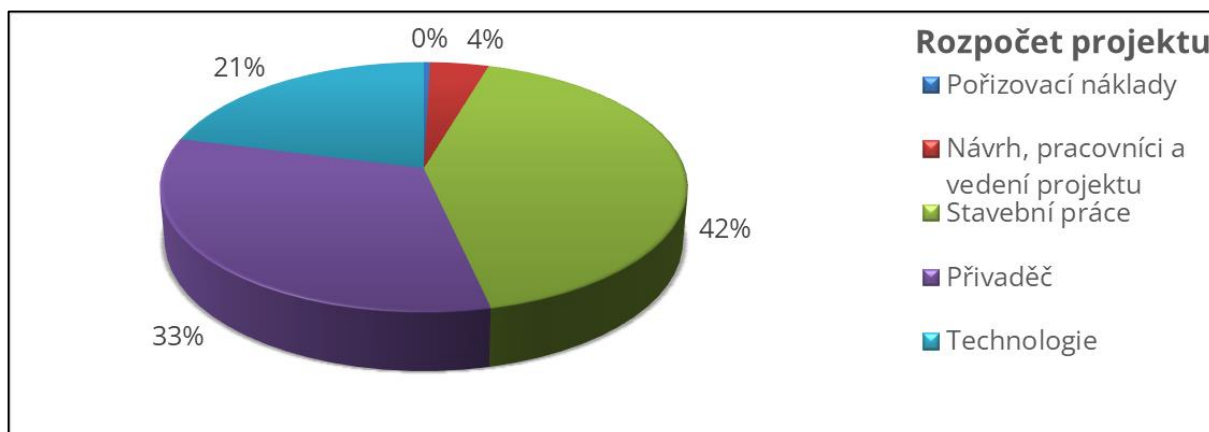
## B.4 Ekonomie projektu

Ekonomická analýza byla provedena na základě konzultace s Ing. Karlem Kramlem a vztahů z podkladu [6]. Daňovým poradcem byla nastavena forma zkrácených odpisů. Podrobný postup společně s použitými vzorci je obsahem kapitoly 7 textové části. V této kapitole jsou také uvedeny přehledné grafy s výstupy analýzy.

Cena přivaděče byla sestavena na základě osobní schůzky s dodavatelem potrubí ze střední Asie. Cena dalších položek rozpočtu bude potvrzena či upřesněna během dalších obchodních schůzek. Doba návratnosti na základě aktuálně platných cen činí 9 let (Tab. 42).

**Tab. 40 – Ekonomická analýza – rozpočet projektu**

Rozpočet projektu			Odpisy
I.	Požizovací náklady	850 000 Kč	0
II.	Návrh, pracovníci a vedení projektu	8 000 000 Kč	0 (služby nejsou odpisovány)
III.	Stavební práce	80 550 000 Kč	20 (běžná hodnota 20–30 let)
IV.	Přivaděč	62 600 000 Kč	20 (běžná hodnota 20–30 let)
V.	Technologie	40 400 000 Kč	20 (běžná hodnota 20–30 let)
VI.	<b>Celkem</b>	<b>192 400 000 Kč</b>	



**Obr. 38 – Rozpočet projektu**

**Tab. 41 – Ekonomická analýza – vstupní údaje a bankovní půjčka**

<b>Vstupy</b>		
Průměrná výroba energie	25 187 481	kWh
Nákupní sazba energie	1.05	Kč/kWh
Valorizace tarifu	2.0	%
Platnost tarifu	20	let
Inflace	4.0	%
Rozpočet (CAPEX)	192 400 000	Kč
Provozní náklady (OPEX)	852 480	Kč
OPEX valorizace	1.0	%
Korporátní daň	15.0	%
Daňové úlevy	0	let
<b>Bankovní půjčka</b>		
Vlastní vklad (ekvita)	30.0	%
Půjčka	134 680 000	Kč
Vlastní vklad (ekvita)	57 720 000	Kč
Bankovní úrok	6.5	%
Splatnost	10	let
Roční splátka	18 734 620	Kč
Rezerva pro splatnost úvěru DSCR	1.26	-

**Tab. 42 – Ekonomická analýza – doba návratnosti  $T_s$ , přehled výnosnosti vlastního vkladu a projektu bez a včetně ovlivnění inflací**

<b>Ekvita (vlastní vklad)</b>		
Doba návratnosti nediskontovaná	9	let
<b>Ekvitní parametry</b>	<b>Diskontované</b>	<b>Nediskontované</b>
Míra výnosnosti IRR (10 let)	0.4 %	4.4 %
Míra výnosnosti IRR (15 let)	10.8 %	15.2 %
Míra výnosnosti IRR (20 let)	13.0 %	17.5 %
Čistá současná míra výnosu NPV (10 let)	1 159 681	15 926 825
Čistá současná míra výnosu NPV (15 let)	86 677 352	158 275 659
Čistá současná míra výnosu NPV (20 let)	158 134 584	302 241 075
<b>Parametry projektu</b>	<b>Diskontované</b>	<b>Nediskontované</b>
Míra výnosnosti IRR (10 let)	1.8 %	5.8 %
Míra výnosnosti IRR (15 let)	6.4 %	10.7 %
Míra výnosnosti IRR (20 let)	8.1 %	12.4 %
Čistá současná míra výnosu NPV (10 let)	18 434 229	68 593 021
Čistá současná míra výnosu NPV (15 let)	103 951 899	210 941 856
Čistá současná míra výnosu NPV (20 let)	175 409 131	354 907 272

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Roky	0	1	2	3	4	5	6
Inflace		4%	4%	4%	4%	4%	4%
Výroba energie		25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481
Tarif		1.0460	1.0669	1.0883	1.1100	1.1322	1.1549
Roční výdělek		26 346 105	26 873 027	27 410 488	27 958 698	28 517 872	29 088 229
OPEX		852 480	861 005	869 615	878 311	887 094	895 965
EBITDA		25 493 625	26 012 023	26 540 873	27 080 387	27 630 778	28 192 264
Odpisy		4 771 667	13 837 833	13 109 526	12 381 219	11 652 912	10 924 605
EBIT		20 721 959	12 174 189	13 431 347	14 699 167	15 977 865	17 267 659
Úrok		8 754 200	8 105 473	7 414 578	6 678 775	5 895 146	5 060 580
EBT		11 967 759	4 068 717	6 016 769	8 020 392	10 082 720	12 207 079
Daň		1 795 164	610 307	902 515	1 203 059	1 512 408	1 831 062
Čisté příjmy CF	-192 400 000	23 698 462	25 401 715	25 638 358	25 877 328	26 118 370	26 361 202
Celkové CF	-192 400 000	-168 701 538	-143 299 823	-117 661 465	-91 784 138	-65 665 768	-39 304 566
Diskontované příjmy DCF	-192 400 000	22 786 982	23 485 314	22 792 407	22 120 048	21 467 396	20 833 641
Celkové DCF	-192 400 000	-169 613 018	-146 127 704	-123 335 297	-101 215 249	-79 747 853	-58 914 212
<b>Ekvita</b>							
Čisté příjmy CF	-57 720 000	4 963 842	6 667 095	6 903 738	7 142 708	7 383 750	7 626 583
Celkové CF	-57 720 000	-52 756 158	-46 089 063	-39 185 324	-32 042 616	-24 658 866	-17 032 284
Diskontované příjmy DCF	-57 720 000	4 772 925	6 164 105	6 137 398	6 105 617	6 068 904	6 027 399
Celkové DCF	-57 720 000	-52 947 075	-46 782 971	-40 645 572	-34 539 955	-28 471 051	-22 443 652
<b>Půjčka</b>							
Splátka		18 734 620	18 734 620	18 734 620	18 734 620	18 734 620	18 734 620
Úrok		8 754 200	8 105 473	7 414 578	6 678 775	5 895 146	5 060 580
Jistina		9 980 420	10 629 147	11 320 041	12 055 844	12 839 474	13 674 040
DSCR		1.26	1.36	1.37	1.38	1.39	1.41
Dluh	134 680 000	124 699 580	114 070 433	102 750 392	90 694 548	77 855 074	64 181 034



### Tab. 43 – Ekonomická analýza – výpočet, část 1

kde: OPEX.....provozní náklady  
EBITDA.....zisk bez započtení daní, odpisů a úroků  
EBIT.....zisk bez započtení daní a úroků  
EBT.....zisk před zdaněním  
DSCR.....rezerva pro splatnost úvěru

**Tab. 44 – Ekonomická analýza – výpočet, část 2**

2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
7	8	9	10	11	12	13	14
4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481
1.1780	1.2015	1.2256	1.2501	1.2751	1.3006	1.3266	1.3531
29 669 994	30 263 394	30 868 661	31 486 035	32 115 755	32 758 070	33 413 232	34 081 497
904 925	913 974	923 114	932 345	941 668	951 085	960 596	970 202
28 765 069	29 349 420	29 945 548	30 553 690	31 174 087	31 806 986	32 452 636	33 111 295
10 196 298	9 467 991	8 739 684	8 011 377	7 283 070	6 554 763	5 826 456	5 098 149
18 568 771	19 881 428	21 205 864	22 542 313	23 891 017	25 252 222	26 626 180	28 013 146
4 171 767	3 225 182	2 217 068	1 143 427	0	0	0	0
14 397 004	16 656 247	18 988 795	21 398 885	23 891 017	25 252 222	26 626 180	28 013 146
2 159 551	2 498 437	2 848 319	3 209 833	3 583 653	3 787 833	3 993 927	4 201 972
26 605 518	26 850 983	27 097 228	27 343 857	27 590 435	28 019 152	28 458 709	28 909 323
-12 699 047	14 151 936	41 249 164	68 593 021	96 183 456	124 202 608	152 661 317	181 570 640
20 218 007	19 619 750	19 038 153	18 472 530	17 922 220	17 500 680	17 091 563	16 694 414
-38 696 205	-19 076 455	-38 301	18 434 229	36 356 449	53 857 129	70 948 692	87 643 106
7 870 899	8 116 363	8 362 609	8 609 237	27 590 435	28 019 152	28 458 709	28 909 323
-9 161 385	-1 045 022	7 317 587	15 926 825	43 517 259	71 536 411	99 995 120	128 904 443
5 981 236	5 930 547	5 875 458	5 816 092	17 922 220	17 500 680	17 091 563	16 694 414
-16 462 416	-10 531 869	-4 656 411	1 159 681	19 081 902	36 582 581	53 674 145	70 368 558
18 734 620	18 734 620	18 734 620	18 734 620	0	0	0	0
4 171 767	3 225 182	2 217 068	1 143 427	0	0	0	0
14 562 852	15 509 438	16 517 551	17 591 192	0	0	0	0
1.42	1.43	1.45	1.46	-	-	-	-
49 618 181	34 108 743	17 591 192	0	0	0	0	0



**Tab. 45 – Ekonomická analýza – výpočet, část 3**

2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
15	16	17	18	19	20	21	22
4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481
1.3802	1.4078	1.4359	1.4647	1.4939	1.0460	1.0460	1.0460
34 763 126	35 458 389	36 167 557	36 890 908	37 628 726	26 346 105	26 346 105	26 346 105
979 904	989 703	999 600	1 009 596	1 019 692	1 029 889	1 040 188	1 050 589
33 783 223	34 468 686	35 167 957	35 881 312	36 609 034	25 316 217	25 305 918	25 295 516
4 369 842	2 177 907	3 498 679	2 624 009	1 749 340	874 670	0	0
29 413 381	32 290 779	31 669 278	33 257 303	34 859 695	24 441 547	25 305 918	25 295 516
0	0	0	0	0	0	0	0
29 413 381	32 290 779	31 669 278	33 257 303	34 859 695	24 441 547	25 305 918	25 295 516
4 412 007	4 843 617	4 750 392	4 988 595	5 228 954	3 666 232	3 795 888	3 794 327
29 371 216	29 625 069	30 417 565	30 892 717	31 380 080	21 649 985	21 510 030	21 501 188
210 941	240 566	270 984	301 877	333 257	354 907	376 417	397 918 490
856	925	490	207	287	272	302	
16 308 793	15 817 067	15 615 564	15 249 514	14 894 317	9 880 770	9 439 324	9 072 542
103 951	119 768	135 384	150 634	165 528	175 409	184 848	193 920 998
899	966	530	044	361	131	455	

29 371 216	29 625 069	30 417 565	30 892 717	31 380 080	21 649 985	21 510 030	21 501 188
158 275	187 900	218 318	249 211	280 591	302 241	323 751	345 252 293
659	728	294	010	090	075	105	
16 308 793	15 817 067	15 615 564	15 249 514	14 894 317	9 880 770	9 439 324	9 072 542
86 677 352	102 494	118 109	133 359	148 253	158 134	167 573	176 646 450
	418	983	496	814	584	908	

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0



**Tab. 46 – Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 4**

2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052
23	24	25	26	27	28	29	30
4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481	25 187 481
1.0460	1.0460	1.0460	1.0460	1.0460	1.0460	1.0460	1.0460
26 346 105	26 346 105	26 346 105	26 346 105	26 346 105	26 346 105	26 346 105	26 346 105
1 061 095	1 071 706	1 082 423	1 093 248	1 104 180	1 115 222	1 126 374	1 137 638
25 285 010	25 274 399	25 263 682	25 252 858	25 241 925	25 230 883	25 219 731	25 208 467
0	0	0	0	0	0	0	0
25 285 010	25 274 399	25 263 682	25 252 858	25 241 925	25 230 883	25 219 731	25 208 467
0	0	0	0	0	0	0	0
25 285 010	25 274 399	25 263 682	25 252 858	25 241 925	25 230 883	25 219 731	25 208 467
3 792 751	3 791 160	3 789 552	3 787 929	3 786 289	3 784 633	3 782 960	3 781 270
21 492 258	21 483 239	21 474 130	21 464 929	21 455 636	21 446 251	21 436 772	21 427 197
419 410	440 893	462 368	483 833	505 288	526 734	548 171	569 598 903
749	988	117	046	683	934	705	
8 719 975	8 381 073	8 055 307	7 742 169	7 441 170	7 151 842	6 873 731	6 606 405
202 640	211 022	219 077	226 819	234 260	241 412	248 286	254 892 669
973	046	353	521	692	533	264	

21 492 258	21 483 239	21 474 130	21 464 929	21 455 636	21 446 251	21 436 772	21 427 197
366 744	388 227	409 701	431 166	452 622	474 068	495 505	516 932 706
552	791	921	850	486	737	509	
8 719 975	8 381 073	8 055 307	7 742 169	7 441 170	7 151 842	6 873 731	6 606 405
185 366	193 747	201 802	209 544	216 986	224 137	231 011	237 618 122
425	498	805	974	144	986	717	

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0

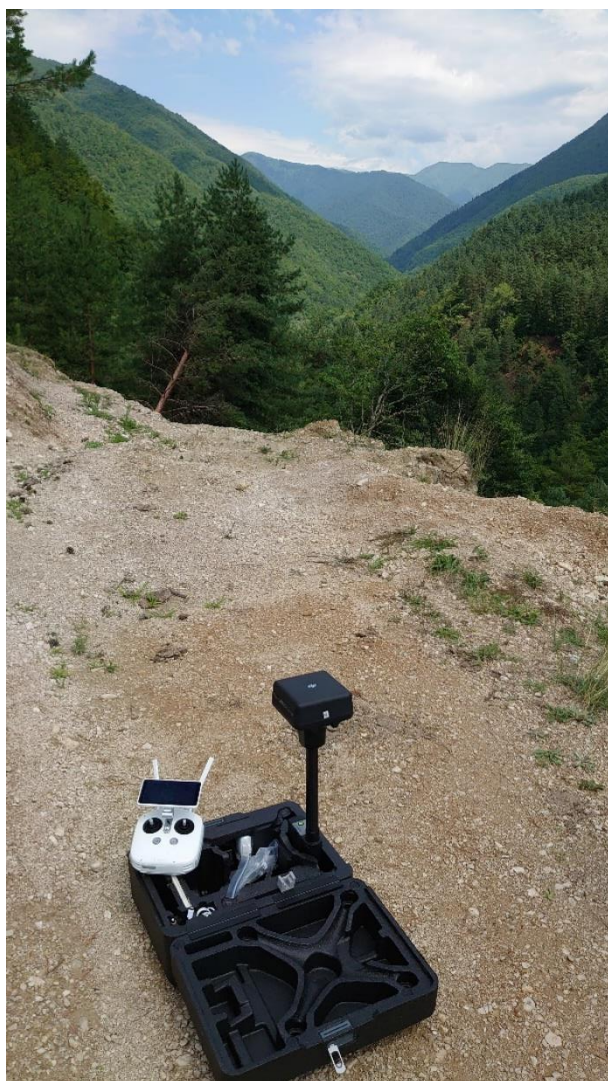




## C Fotodokumentace



**Obr. 39 - Plánované umístění lapáku písku**



**Obr. 40 - Výchozí místo zaměření, RTK stanice a ovladač dronu**



**Obr. 41 - Panoramatická fotka plánovaného umístění vtokového objektu**



**Obr. 42 – Plánované umístění brodu k rybímu přechodu**



**Obr. 43 – Problémový úsek na trase přivaděče**



**Obr. 44 – Ověřování nadmořských výšek pomocí GPS lokátoru**



**Obr. 45 – Velké balvany v řečišti v horní části údolí**



**Obr. 46 - Lavice v dolní části údolí tvořené naplavenými kameny a balvany**

## 10 Seznam tabulek

Tab. 1 - M-denní průtoky $Q_{Md}$ .....	15
Tab. 2 - N-leté průtoky $Q_N$ .....	15
Tab. 3 – Hlavní úseky trasy přivaděče .....	24
Tab. 4 – Hlavní parametry turbíny .....	25
Tab. 5 – Hlavní parametry generátoru .....	26
Tab. 6 – Přepad přes jezový přeliv – výchozí hodnoty .....	36
Tab. 7 – Přepad přes jezový přeliv – výpočet přepadového množství .....	36
Tab. 8 – Měrná křivka koryta pod jezem – výchozí hodnoty.....	39
Tab. 9 – Měrná křivka koryta pod jezem – výpočet.....	39
Tab. 10 – Návrh vývaru – výchozí hodnoty .....	43
Tab. 11 – Návrh vývaru – výpočet přepadového množství .....	43
Tab. 12 – Návrh vývaru .....	43
Tab. 13 – Návrh lapáku písku – vstupní hodnoty .....	45
Tab. 14 – Návrh lapáku písku .....	45
Tab. 15 – Návrh rybího přechodu – Základní údaje .....	48
Tab. 16 – Návrh rybího přechodu .....	49
Tab. 17 – Posouzení vzniku vtokového víru .....	50
Tab. 18 – Výpočet sil v blocích – geometrie 1. část.....	57
Tab. 19 – Výpočet sil v blocích – geometrie 2. část.....	58
Tab. 20 – Výpočet sil v blocích – přírůstek tlaku od vodního rázu 1. část.....	59
Tab. 21 – Výpočet sil v blocích – přírůstek tlaku od vodního rázu 2. část.....	60
Tab. 22 – Výpočet sil v blocích – hydrostatické síly 1. část .....	61
Tab. 23 – Výpočet sil v blocích – hydrostatické síly 2. část .....	62
Tab. 24 – Výpočet sil v blocích – tlak vody 1. část.....	63
Tab. 25 – Výpočet sil v blocích – tlak vody 2. část.....	64
Tab. 26 – Výpočet sil v blocích – výsledné síly 1. část.....	65
Tab. 27 – Výpočet sil v blocích – výsledné síly 2. část.....	66

Tab. 28 – Ztrátová výška na hrubých česlích – výchozí hodnoty.....	69
Tab. 29 – Ztrátová výška na hrubých česlích – výpočet.....	69
Tab. 30 – Ztrátová výška na jemných česlích – výchozí hodnoty .....	70
Tab. 31 – Ztrátová výška na jemných česlích – výpočet.....	70
Tab. 32 – Celková ztrátová výška – obecné vstupní údaje .....	72
Tab. 33 – Celková ztrátová výška – výpočet 1. úseku.....	73
Tab. 34 – Celková ztrátová výška – výpočet 2. úseku.....	74
Tab. 35 - Celková ztrátová výška – výsledné hodnoty.....	75
Tab. 36 – Hodnoty maximálního tlaku z programu Matlab .....	78
Tab. 37 – Výroba energie – vstupní hodnoty.....	80
Tab. 38 – Výroba energie – výpočet.....	80
Tab. 39 - Výroba energie – výsledné hodnoty.....	81
Tab. 40 – Ekonomická analýza – rozpočet projektu.....	83
Tab. 41 – Ekonomická analýza – vstupní údaje a bankovní půjčka .....	84
Tab. 42 – Ekonomická analýza – doba návratnosti $T_s$ , přehled výnosnosti vlastního vkladu a projektu bez a včetně ovlivnění inflací.....	84
Tab. 43 – Ekonomická analýza – výpočet, část 1.....	85
Tab. 44 – Ekonomická analýza – výpočet, část 2.....	86
Tab. 45 – Ekonomická analýza – výpočet, část 3.....	87
Tab. 46 – Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 4.....	88

## 11 Seznam obrázků

Obr. 1 – Měření průtočného profilu toku Askistskali.....	3
Obr. 2 – Umístění projektu v severní části Gruzie.....	7
Obr. 3 – Schematické umístění hlavních objektů .....	8
Obr. 4 – Dron DJI Phantom 4, RTK stanice [9].....	9
Obr. 5 – Pohled z dronu do údolí řeky Askistskali.....	10
Obr. 6 – Záznam trasy dronu ze zaměření údolí řeky Askistskali .....	11
Obr. 7 – Detail modelu terénu z programem vygenerovaných „Tie points“ .....	11
Obr. 8 – Detail terénu tvořený z „Tie points“ .....	12
Obr. 9 – Detail modelu terénu s vyznačením klasifikačních skupin .....	12
Obr. 10 – Detail modelu terénu tvořený mračnem bodů .....	13
Obr. 11 – Detail digitálního modelu povrchu DSM .....	13
Obr. 12 – Detail digitálního modelu terénu DTM .....	14
Obr. 13 – Detail digitálního modelu povrchu DSM podloženého vrstevnicemi generovanými z digitálního modelu terénu DTM.....	14
Obr. 14 – Měrná křivka řeky Askistskali .....	15
Obr. 15 – Charakteristický geologický vrt na břehu řečiště .....	16
Obr. 16 – Charakteristický geologický vrt na břehu řečiště .....	16
Obr. 17 – Schematické znázornění anuitního splácení .....	27
Obr. 18 – Míra výnosnosti vlastního vkladu během 20 let provozu MVE .....	29
Obr. 19 – Přehledná charakteristika doby návratnosti .....	30
Obr. 20 – Měrná křivka přepadu .....	37
Obr. 21 – Měrná křivka koryta pod jezem .....	40
Obr. 22 – Podélný řez lapákem písku.....	46
Obr. 23 – Příčný řez lapákem písku v profilu .....	46
Obr. 24 – Schéma půdorysu rybího přechodu .....	49
Obr. 25 – Schéma vtoku do přivaděče .....	50



Obr. 26 – Schéma podélného profilu lomu potrubí pro výpočet celkové výslednice sil.....	51
Obr. 27 – Schéma půdorysu lomu potrubí pro výpočet celkové výslednice sil .....	51
Obr. 28 – Schémata pro výpočet hydrostatických sil.....	54
Obr. 29 – Schémata pro výpočet sil přírůstku tlaku od vodního rázu.....	54
Obr. 30 – Schémata pro výpočet sil od zatížení tlakem vody.....	55
Obr. 31 – Schémata pro výpočet maximální horizontální síly a celkové výslednice sil.....	56
Obr. 32 – Tvarové součinitele $\beta$ česlic různých profilů [5] .....	69
Obr. 33 – Celkové ztráty – závislost ztrát na spádu a průtoku .....	75
Obr. 34 – Výpočtové schéma vodního rázu.....	77
Obr. 35 – Křivka hydrodynamického tlaku v přivaděči včetně vodního rázu.....	77
Obr. 36 – Výroba energie – čáry překročení výkonu a energie .....	81
Obr. 37 – Výroba energie – čáry překročení průtoků, účinnost a průtoky turbínou .....	82
Obr. 38 – Rozpočet projektu.....	83
Obr. 39 – Plánované umístění lapáku písku.....	89
Obr. 40 – Výchozí místo zaměření, RTK stanice a ovladač dronu .....	90
Obr. 41 – Panoramatická fotka plánovaného umístění vtokového objektu .....	90
Obr. 42 – Plánované umístění brodu k rybímu přechodu .....	91
Obr. 43 – Problémový úsek na trase přivaděče.....	91
Obr. 44 – Ověřování nadmořských výšek pomocí GPS lokátoru .....	92
Obr. 45 – Velké balvany v řečišti v horní části údolí.....	92
Obr. 46 – Lavice v dolní části údolí tvořené naplavenými kameny a balvany.....	93