



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

TECHNICKÝ NÁVRH ALTERNATIVY MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY EJPOVICE

TECHNICAL DESIGN OF AN ALTERNATIVE TO THE SMALL HYDROPOWER PLANT EJPOVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Stanislav Mitrega

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JAN ŠULC, CSc.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Stanislav Mitrega
Název	Technický návrh alternativy malé vodní elektrárny Ejpovice
Vedoucí práce	prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

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
podklady dodané firmou Stream s.r.o.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provedení návrhu alternativy malé vodní elektrárny Ejpovice při využití 70 let starého stávajícího tunelu pro umístění trubního přivaděče. Předmětem bakalářské práce je provedení hydraulických a hydroenergetických výpočtů, technického návrhu alternativního řešení, zhotovení výkresové dokumentace a orientační ekonomické zhodnocení investice včetně porovnání s řešením založeném na dopravě vody k MVE tunelem. Podklady k řešení budou poskytnuty projekční firmou Stream s.r.o.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Hlavním cílem bakalářské práce je provedení nového návrhu malé vodní elektrárny Ejpovice s beztlakovo-tlakovou derivací. Beztlaková část přivaděče zahrnuje návrh jezu, propustku a přívodního koryta. Tlaková část je tvořena vtokovým objektem a využívá stávající tunel pro převedení vody k turbíně. Předmětné posouzení uvažuje dvě varianty dopravy vody k elektrárně. V první variantě voda proudí přímo tunelem, přičemž ve druhé variantě je do tunelu instalováno sklolaminátové potrubí a tunel zůstává nezatopen.

Práce rozebírá všechny dostupné podklady, následně je popsána lokalita a stávající stav území. Dále je prezentován nový návrh všech stavebních objektů a technologických zařízení. Je také podrobně popsán způsob sanace tunelu a závěrem práce je provedena ekonomická analýza obou řešení.

Ačkoliv alternativní řešení nevyžaduje náročnou sanaci tunelu, vychází doba návratnosti projektu oproti variantě se zatopeným tunelem výrazně delší, a tak bych doporučil řešení dle první varianty.

KLÍČOVÁ SLOVA

malá vodní elektrárna, tunel, Kaplanova turbína, výroba energie, ekonomická analýza

ABSTRACT

The main purpose of this bachelor's thesis is a new design of a small hydroelectric power plant Ejpvovice with non-pressure and pressure derivation. The non-pressure part of a waterway includes design of a weir, culvert and an inlet channel. The pressure part of a waterway includes an intake object and an original tunnel. The design review includes two variants of a waterway. In the first variant water is running straight through the tunnel. The second variant is considering with a glass reinforced pipe that will be installed in the tunnel so the tunnel won't be flooded.

At first the thesis analyses all the sources for the preparation of a design and describes an area of interest. Below the thesis presents a design of all the new building objects and technological equipments. Detailed restoration of the tunnel is also described. In conclusion of the thesis, there are calculations of a power generation and an economic analysis of both variants.

The payback period of the second variant is significantly longer than the period of the first variant although an alternative design doesn't require a complicated restoration of the tunnel. On the basis of this fact I recommend to implement the first design.

KEYWORDS

small hydroelectric power plant, tunnel, Kaplan turbine, power generation, economic analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Stanislav Mitrega *Technický návrh alternativy malé vodní elektrárny Ejpovice*. Brno, 2021. 31 s., 121 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Technický návrh alternativy malé vodní elektrárny Ejovice* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Stanislav Mitrega
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Technický návrh alternativy malé vodní elektrárny Ejovice* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2021

Stanislav Mitrega
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval prof. Ing. Janu Šulcovi CSc. za vstřícnost, cenné rady a odborné vedení při realizaci bakalářské práce. Moje velké poděkování patří rovněž Ing. Karlu Kramlovi a Ing. Janu Sedlickému za příležitost vypracovat velmi zajímavý projekt, jejich velkou ochotu a odborné konzultace.

OBSAH

1	Úvod.....	2
2	Podklady.....	4
3	Stávající stav.....	5
3.1	Popis území.....	5
3.2	Hydrologické podklady.....	7
3.3	Geodetické zaměření lokality.....	8
3.4	Inženýrsko-geologický průzkum.....	9
3.5	Georadarový průzkum.....	12
3.6	Odborný posudek geotechnika.....	13
3.7	Zpráva o technickém stavu betonu pravého tunelu.....	14
4	Nové technické řešení.....	15
4.1	Účel a popis stavby.....	15
4.2	Členění stavby.....	17
5	Stavební objekty.....	18
5.1	SO 1 – Jez.....	18
5.2	SO 2 – Propustek.....	19
5.3	SO 3 – Náhon.....	20
5.4	SO 4 – Vtokový objekt.....	20
5.5	SO 5 – Sanace tunelu.....	21
5.6	SO 6 – Strojovna.....	22
6	Technické a technologické zařízení.....	24
6.1	PS 1 – Strojně-technologická část.....	24
6.2	PS 2 – Elektro-technická část.....	25
7	Alternativní návrh.....	25
8	Ekonomická analýza.....	26
9	Závěr.....	31
10	Seznam příloh.....	32
11	Seznam tabulek.....	80
12	Seznam obrázků.....	82

1 Úvod

Na řece Klabavě, přibližně 10 kilometrů východně od Plzně, je umístěna Vodní nádrž Ejpovice. Nádrž je pojmenována podle sousední obce Ejpovice a na jejím břehu se nachází přírodní památka Ejpovické útesy.

Nádrž vznikla postupným zatopením lomu Ejpovice, o kterém jsou zmínky již v 15. století, kdy započala těžba železné rudy. Nejrozsáhlejší hlubinná těžba probíhala v první polovině 19. století, po které dochází k úpadku a roku 1926 je těžba zastavena úplně. V polovině 20. století je snaha o znovuoobnovení a je prováděno geologické mapování oblasti. Průzkum odhalil, že těžba bude naprosto nerentabilní, ale i přesto k její obnově roku 1954 dochází. Pro odklonění řeky Klabavy jsou v letech 1958 až 1960 vybudovány 2 tunely o délce přibližně 1,5 km a podkovovitým průřezu výšky 3,6 m a šířky 4 m. V roce 1967 je těžba přece jen zastavena kvůli nerentabilitě, přičemž se odhaduje, že bylo vytěženo pouze 5 % zásob železné rudy. Od téhož roku se přestávají využívat tunely a řeka Klabava postupně zaplavuje Ejpovický lom [10]. Vzniklá nádrž se od 80. let využívá pro rekreační účely. Bohužel se od této doby vody v nádrži výrazně znečistily a vyvstaly problémy se sinicemi. Důvodem je velké množství splachů ze zemědělsky obdělávaných oblastí, které s sebou řeka Klabava přináší. Řešením této situace by mohlo být odklonění části přítoku do nádrže stávajícími tunely. Pokud by se přítok do nádrže omezil na 50 l/s, snížilo by se i množství přiváděného znečištění a tím by k růstu sinic nedocházelo. S tímto řešením souhlasil i technolog kvality vody Povodí Vltavy, ale následně byl minimální zůstatkový průtok v korytě stanoven na 400 l/s. Pro boj se sinicemi bude třeba nalézt jiné řešení, nicméně vznikl zájem o využití stávajících tunelů jako přivaděče pro novou průtočnou malou vodní elektrárnu, která by využila zbylé průtoky v řece Klabavě.

Roku 2008 sice bylo uděleno stavební povolení projektu MVE Ejpovice, ale výpočty výroby elektrické energie a celé koncepční řešení bylo zpracováno neodborně a projekt, zpracovaný podle této dokumentace, by nebyl realizace schopný. Investor proto oslovil firmu Stream s.r.o., aby zpracovala nové variantní řešení.

Firma Stream s.r.o., dále jen Stream, má 20letou praxi v oboru vodohospodářských staveb. Firmu založil Ing. Karel Kraml v roce 2010 v Praze. Od té doby firma zpracovala desítky projektů po celém světě, přičemž se specializuje hlavně na vodní elektrárny. Není tedy divu, že investor oslovil právě tuto firmu. Já měl velké štěstí, že již od roku 2018 s firmou spolupracuji a pan Ing. Karel Kraml mi umožnil zpracovat projekt v rámci mé bakalářské práce.

Cílem této bakalářské práce je zpracování nového projektu MVE Ejpovice a jeho alternativního řešení, kterým bude ověřena ekonomická výhodnost projektu. Alternativní řešení bude uvažovat s jinou variantou převedení vody stávajícím tunelem pomocí sklolaminátového potrubí. V práci budou tedy zpracovány výkresy i hydraulická a ekonomická analýza všech stavebních objektů. Závěrem budou varianty vyhodnoceny a bude ověřena výhodnost stávajícího řešení oproti řešení alternativnímu.

2 Podklady

Podklady poskytnuté firmou Stream

- [1] Původní projekt pro stavební povolení 2008
- [2] Hydrologické podklady
- [3] Geodetické zaměření lokality
- [4] Inženýrsko-geologický průzkum lokality
- [5] Georadarový průzkum pravého tunelu
- [6] Odborný posudek geotechnika o technickém stavu pravého tunelu
- [7] Zpráva o technickém stavu betonu pravého tunelu
- [8] Fotodokumentace lokality

Zdroje

- [9] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [10] Důl Ejpovice. *Zdar Bůh.cz* [online]. 2018 [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.zdarbuh.cz/reviry/rnd-ejpovice/dul-ejpovice/>
- [11] *Ejpovice* [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://www.ejpovice.cz/>
- [12] 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.
- [13] ČÁBELKA, Jaroslav. *Využitie vodnej energie I a II*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1959.
- [14] KORYTÁROVÁ, J. *Ekonomika investic*. Brno: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, 2006.
- [15] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny: Projektování a provoz*. Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

3 Stávající stav

3.1 Popis území

Zájmová oblast projektu se nachází mezi obcemi Klabava a Ejpovice v okrese Rokycany v Plzeňském kraji. Oblastí protéká řeka Klabava (Obr. 26), na které je umístěna vodní nádrž Ejpovice (Obr. 27) [11].



Obr. 1 – Obecná mapa ČR s vyznačením projektovaného umístění MVE Ejpovice [9]

Přibližně 650 m proti proudu od nádrže bude umístěn nový jez, který bude sloužit pro vzdutí hladiny vody v toku. V rámci původního projektu z roku 2008 [1] byl navržen jez kolmo na osu toku s levým závazáním do břehu. Kvůli současně probíhající stavbě v okolí byl pod jezem zpevněn stávající brod (Obr. 28) a byla vybudována příjezdová cesta na stávající hráz (Obr. 29). Hlavní jezové těleso, navržené v původním projektu, pro který bylo získáno stavební povolení, bohužel zasahuje do nového zpevněného brodu a dochází tak ke kolizi dvou navzájem povolených staveb. Aby byla tato situace vyřešena, bude hlavní těleso jezu půdorysně odkloněno o 15°, čímž bude možné zachovat stávající příjezd k brodu a nadále jej využívat.

Od jezu bude voda přiváděna propustkem pod cestou (Obr. 29) do náhonu. Náhon bude tvořit otevřené koryto, jehož pravý břeh bude tvořen stávající hrází a levý břeh úpatím stávajícího svahu (Obr. 30).

Náhon přivádí vodu ke vtoku do tunelů. Nátok mezi tunely je rozdělen vtokovým pilířem (Obr. 31) a je zhotoven z litého betonu, stejně jako stěny a dno vtoku. Levý tunel (Obr. 32) bude zahrazen, aby se do něj nedostala voda a mohl

být dále zimovištěm netopýrů. Pravým tunelem bude voda odváděna ke strojovně. Vtokový objekt do pravého tunelu bude umístěn na pravém břehu tunelu (Obr. 33) a bude k němu vybudován příjezd ze stávající cesty (Obr. 34).

Pravý tunel je dlouhý cca 1550 m a až na jednu mírnou zatáčku kolem staničení 300 m je přímý. Spád tunelu je v průměru 0,78 %. Tunel má podkovovitý tvar s výškou 3,6 m a šířkou 4 m. Stávající technický stav tunelu není vhodný pro převod vody v tlakovém režimu. Jejich technický stav bude podrobněji popsán v kapitole 3.4 Inženýrsko-geologický průzkum a 3.5 Georadarový průzkum. Z tunelu je voda přiváděna ke strojovně.

Výtoky z tunelů se nacházejí přibližně 1,6 km od výtoku z vodní nádrže Ejpovice. Strojovna bude umístěna u výtoku z pravého tunelu (Obr. 35). Na pravém břehu bude vybudováno obratiště (Obr. 36), ke kterému bude přivedena příjezdová cesta (Obr. 37).



Obr. 2 – Obecná situace zájmového území [9]

3.2 Hydrologické podklady

Hydrologické údaje povrchových vod byly poskytnuty firmou Stream [2].

Vodní tok:	Klabava
Číslo hydrologického pořadí:	1-11-01-0361
Profil:	Obec Ejpovice, cca. 180 m před křížením toku s místní komunikací
Souřadnice v S-JTSK:	x= -811682,0 m y= -1070697,0 m
Plocha povodí:	356,16 km ²
Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí P _a :	697 mm
Dlouhodobý průměrný průtok Q _a :	1,93 m ³ /s

Tab. 1 - M-denní průtoky Q_{Md}

dny	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _{Md} [m ³ /s]	4.25	2.65	2.01	1.55	1.27	1.06	0.895	0.757	0.634	0.525	0.415	0.29	0.146

Tab. 2 - N-leté průtoky Q_N

roky	1	2	5	10	20	50	100	Třída
Q _N [m ³ /s]	22.1	37.7	66.4	94.6	129	183	233	II

3.3 Geodetické zaměření lokality

Geodetické zaměření lokality bylo provedeno za účelem získání polohopisu a výškopisu místní morfologie a stávajících staveb a jako podklad [3] byl poskytnut firmou Stream.

Byla použita metoda GNSS (globální družicový polohový systém) pomocí přístroje Galaxy G1 – dvoufrekvenčního. Souřadnice byly navázány na systém ETRS89 pomocí referenční stanice. Monitoringem na webu ČUZK byla ověřena stabilita virtuální stanice. Byla provedena zpřesněná globální transformace mezi systémy ETR89 a S-JTSK. Zpřesnění nebo ověření souřadnic bylo provedeno pomocí nivelace.

V plánovaném umístění jezu byl podrobně zaměřen stávající terén, koryto řeky a stávající zpevněný brod. Dále bylo zaměřeno území plánovaného vybudování propustku pod stávající cestou. Byla rovněž zaměřena morfologie náhonu včetně stávající hráze, dna, svahů a vtoku do tunelů, kde byly zaměřeny vedle terénu i stávající betonové konstrukce. Nakonec byl podrobně zaměřen prostor výtoku z tunelů a okolní území až po napojení na komunikaci.

Podklad byl poskytnut ve formátu .dwg jako množina bodů.

3.4 Inženýrsko-geologický průzkum

Podrobný inženýrsko-geologický průzkum základových poměrů v prostoru jezu Klabava a tunelu Ejpovice byl převzat jako podklad [4] od firmy Stream.

Lokalita, v níž se zájmové území stavby nachází, se nazývá Klabavská pahorkatina, která je součástí Plzeňské pahorkatiny a ta je dílčí jednotkou Poberounské soustavy, zabírající území především na algonkických horninách. Nadmořská výška území je zhruba 330,00 m n. m. Erozní bází je údolí řeky Klabavy, která náleží do povodí řeky Berounky od Úslavy po Střelu. Z klimatického hlediska dle E. Quitta (1971) se území nachází v mírně teplé oblasti MT11, která je charakteristická dlouhým, teplým a suchým létem a krátkou, mírně teplou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky.

Z regionálně geologického hlediska náleží zájmová oblast do barrandienského proterozoika, tvořeného souborem aleuropelitických a drobových sedimentů a hojných produktů submarinního vulkanismu bazaltového až ryolitického složení. Ve svrchním proterozoiku naprosto převažují klastické sedimenty, jako jsou břidlice, droby, prachovce a jílovce.

V zájmovém území Klabavy, Ejpovic a Dýšiny je nejčastější výskyt ordovické černé a šedozelené břidlice a prachovce. Podloží je tvořeno především proterozoickými fylitickými břidlicemi a v menšině se vyskytují i prokřemenělé droby. Sedimenty řeky Klabavy (kvartér) tyto proterozoické horniny překrývají. Sedimenty jsou tvořeny písčitymi jíly až jílovitopísčitymi štěrky. Širší území je pak pokryto především navážkami a výsypkami vytěžených prostor lomu Ejpovice a odvaly hlušiny po těžbě železné rudy.

Zájmová oblast je z hlediska hydrogeologického pouze velmi málo významná. V území se vyskytuje jediný možný, slabě zvodnělý kolektor podzemních vod, kterým je přechod zvětralinového pláště do rozrušeného a rozpukaného skalního podkladu. Dále se pak v kvartérním souvrství mohou vyvinout lokální mělké zvodně. Propustnost skalního podloží je puklinová, přičemž zvodnělý komplex obsahuje více zvodní, převážně o volné hladině.

V souvislosti se všemi výše uvedenými souvislostmi byly zatříděny pokryvní útvary a podložní horniny v oblasti dle propustnosti hornin. V okolí plánované stavby bylo zastižené horninové prostředí klasifikováno jako třída VI - slabě propustné (J. Jetel, 1982).

V rámci průzkumných prací bylo provedeno 8 vrtů do hloubky 1,5 až 7,5 m, s předpokládaným ukončením ve skalním podloží. První vrt „Sonda S1“ byl hlouben u jezu vrtnou soupravou UGB 50 technologií rotačního vrtání na sucho za použití jádru s vrtným průměrem 220 mm. V okolí tunelu bylo provedeno celkem 7 vrtů pomocí přenosné vrtné soupravy CEDIMA 3/5 M s technologií rotačního

vrtání na mokro jádrovým vrtáním s vrtným průměrem 76 mm. Vrty v obou lokalitách převážně končily v navětralém skalním podloží a byly zlikvidovány dusaným záhozem.

Tab. 3 – Přehled parametrů vyhloubených sond

Označení sondy	Lokalita	Hloubka sondy	Hladina podzemní vody	
			naražená	ustálená
		[m p. t.]	[m pod terénem]	[m pod terénem]
D-1	Tunel 10,5 m	1,6	-	-
BP-1	Tunel 10,5 m	1,5	-	-
BL-1	Tunel 10,5 m	2,2	-	-
D-2	Tunel ústí	1,5	-	-
BP-2	Tunel ústí	1,5	-	-
D3	Přívod k turbíně	2,5	-	-
D4	Strojovna	7,5	-	-
S1	Jez	7,0	3,1	3,0

Průzkumné práce byly vyhodnoceny, načež byly ověřeny geologické poměry v lokalitách u jezu a tunelu. Na základě provedených sondáží můžeme s určitostí konstatovat, že skalní podklad celého zájmového území je budován proterozoickými horninami, jejichž hlavním zástupcem jsou fylitické břidlice. Podzemní voda v okolí jezu se nalézá 3 m pod terénem a v okolí tunelu k ní nebylo dosaženo.

Tab. 4 – Geologické vrstvy v lokalitě „jez“ dle Sondy S1

	Ozn. vrstvy	Popis vrstvy
Navážka	1	Navážka
Kvartér	2	Hlína písčítá
	3	Štěrk
Algonkium	4	Fylitická břidlice, rozložená až navětralá

Tab. 5 – Geologické vrstvy v lokalitě „tunel“ dle provedených vrtů

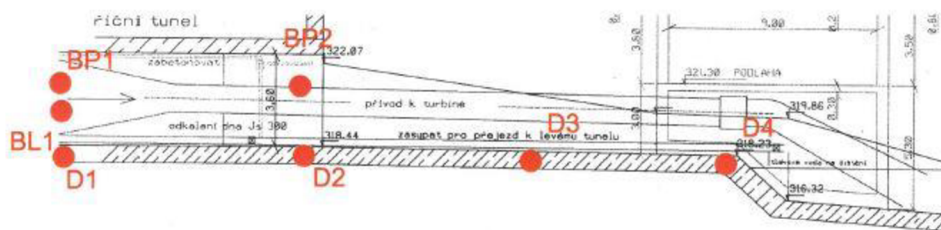
	Ozn. vrstvy	Popis vrstvy
Navážka	1	Beton
Kvartér	2	Jíl písčítý až jíl
	3	Štěrk
Algonkium	4	Fylitická břidlice, slabě navětralá

Po provedených laboratorních zkouškách lze s určitostí konstatovat, že lze zakládat strojovnu, ucpávku tunelu i jez na zastižených horninách podloží. Veškeré sondy v lokalitě tunelu lze dle systému RMR zařadit do III. třídy, takže stav horninového masivu je klasifikován jako uspokojivý. Laboratorní rozbory podzemní vody odhalily stupeň uhličitanové agresivity X A2 na betonové konstrukce. Staveniště je stabilní a zájmová lokalita se nenachází v oblasti se zvýšenou seismickou aktivitou dle ČSN 73 0036 – Seismická zatížení staveb. Pokud bude dodrženo správné technické provedení stavby, nehrozí negativní ovlivnění režimu proudění podzemních vod.

Prostudováním všech přírodních poměrů, inženýrskogeologické a hydrogeologické prozkoumanosti zájmového území je možné konstatovat, že uvedený záměr je možný realizovat.



Obr. 3 – Schéma umístění Sondy S1 u jezu



Obr. 4 – Schéma s vyznačením vrtů v řezu výtoku z tunelu

3.5 Georadarový průzkum

Geofyzikální průzkum pravého tunelu byl poskytnut jako podklad [5] firmou Stream.

Hlavním úkolem průzkumu bylo na 4 profilech ve výšce 2 a 0,5 m nade dnem tunelu (na levé a pravé straně po stěně tunelu) detekovat možný výskyt dutin a anomálních oblastí za ostěním pro následné ověření vrtáním.

Pro průzkum byla použita metoda GPR (geofyzikální pulzní radar) s anténami 250 MHz, která nabízí podrobnější rozlišení s hloubkovým dosahem až 4 m. Mocnost stěn byla dle předběžného průzkumu stanovena na 0,8 až 1,3 m.

Použitá metoda georadarového měření přístrojem RAMAG X3M s krokem měření 5 cm je velmi vhodná pro nalezení nehomogenit, jako jsou dutiny a anomálie v ostění i v podloží. Její princip je založen na pulzním geofyzikálním radaru, který vysílá a přijímá odražené vysokofrekvenční elektromagnetické pulsy, což umožňuje nedestruktivním způsobem zkoumat svrchní část horninového prostředí v proměřované trase. Zpracovaný odražený signál z vysílače je možné pomocí počítače sledovat na obrazovce, kde je postupně vykreslován georadarový řez proměřované trasy.

Výsledkem průzkumu jsou radarogramy čtyř podélných profilů. Jsou to geologicko-geofyzikální řezy, na kterých jsou jasně patrné nebo vyznačené jevy jako povrch terénu, armování v betonu, spodní hranice betonu a povrch podložních hornin, rozhraní betonu spodní desky a klenby, vrstvy v betonu a hornině a detekované anomálie. Byly detekovány anomální odrazy, které mohou být způsobeny dutinou, kavernou či nakypřeným nebo propustným materiálem za ostěním tunelu. Nakonec byla vytypována vhodná místa pro ověřovací vrty do hloubky 1 až 2 m.

Závěrem lze říci, že ostění ve výšce 2 m na stěnách tunelu (Obr. 38) je armováno silnější výztuží. Mocnosti a homogenity betonu i rozhraní mezi betonem a horninou mají průběhy konstantnější a pod ostěním se vyskytuje malé množství anomálií. Naproti tomu bylo u dna tunelu u profilů ve výšce 0,5 m (Obr. 39) zjištěno více anomálií, především v nejnižších vrstvách betonu. Proto bylo doporučeno podrobněji geofyzikálně prozkoumat dolní část tunelových těles.

3.6 Odborný posudek geotechnika

Odborný posudek technického stavu pravého tunelu byl poskytnut jako podklad [6] firmou Stream.

Na základě osobní prohlídky lokality a podkladů [4] a [5] byl proveden odhad způsobu výstavby tunelu. Ražba pravděpodobně probíhala pomocí nemechanizovaného razícího štítu. Nejprve se provedlo zajištění horní klenby, dále bylo vybudováno vnitřní bednění a prostor byl vybetonován. Jakmile se tímto způsobem provedlo 6 m ostění, bednění se posunulo a tím vznikly příčné spáry (Obr. 40). V ojedinělých případech byly v horní části klenby dodatečně vyplňovány prostory za ostěním tamponáží přes vývrty. Kolem staničení cca 250 m bylo provedeno dodatečné injektování, zřejmě kvůli tlakovým projevům. Jakmile se vyrazila a zajistila horní část klenby, byla následně provedena betonáž spodní klenby litým betonem. Proto došlo ke vzniku podélné pracovní spáry ve výšce přibližně 1 m, která je zároveň největším nebezpečím možných průsaků.

Po vizuální prohlídce lze konstatovat, že se tunel jeví být ve velmi uspokojivém stavu. Nebyla zjištěna žádná viditelná degradace ostění, které bylo na poklep vysoce odolné, pevné a tvrdé. Betonové dno je také v solidním stavu, nicméně na mnoha místech lze pozorovat viditelné průsaky, hlavně u podélné pracovní spáry.

Byly provedeny sondy v místě podélné spáry pomocí sbíjecího kladiva a bylo z nich zjištěno, že převážně v prostoru horní klenby ostění vykazuje vysokou pevnost a odolnost a téměř není degradováno. Mocnost ostění je proměnlivá a nebyly nalezeny žádné výztužné prvky betonu. Dále pak nebyly za ostěním zjištěny žádné volné nevyplněné prostory. Nakonec byla jednoznačně potvrzena existence podélné pracovní spáry mezi dolní a horní klenbou.

Na základě podkladu [4] bylo provedeno statické posouzení tunelového ostění. Byl využit matematický model dle principu metody konečných prvků. Posouzení zjistilo, že mocnost betonu se zdá být nadsazena, hlavně v místech zesíleného boku dna a byla potvrzena celkově dobrá stabilní charakteristika tunelu.

Z výsledků geofyzikálního měření pravého tunelu [5] je patrné, že je potenciální mírný výskyt anomálií, které však nebyly potvrzeny ve více rovinách měření. Dále byla provedena pasportizace tunelu, jejíž výsledky jsou shrnuty v tabulce Tab. 6. Ve většině případů se jednalo o defekty povrchové a často související s pracovními spárami tunelu.

Závěrem bylo doporučeno provést otryskání problémových míst, použití reprofilační hmoty a injektáže v místech větších průsaků.

Tab. 6 – Přehled vad zjištěných při pasportizaci

Vada	Počet případů
Hnízda v ostění	≈ 150
Bodové drobné průsaky	≈ 300
Liniové drobné průsaky	≈ 150
Prorýsované příčné konstrukční spáry	≈ 150
Drobné plošné průsaky	≈ 30

3.7 Zpráva o technickém stavu betonu pravého tunelu

Údaje ze zprávy o technickém stavu betonu byly převzaty z podkladu [7] poskytnutého firmou Stream.

Na základě předchozích průzkumů [4], [5] a [6] bylo provedeno akustické trasování v pravém tunelu a rovněž byly vyhodnoceny odebrané vzorky podzemní vody.

Úkolem akustického trasování je rozpoznat dosud viditelně neoddělené krycí vrstvy betonu. Princip metody spočívá ve smýkání ocelové kuličky o průměru 40 mm po hodnoceném povrchu. Sluchem lze zřetelně rozpoznat zvuk vydávaný hodnoceným povrchem. Pokud jsou vrstvy betonu nesoudržné, je vydávaný zvuk akustickým trasovačem hlubší a dutý. Stejným principem lze identifikovat dutiny.

Po vyhodnocení místního šetření bylo upozorněno na skutečnost, že zejména mezi staničením 800 až 1150 m je vrchní betonová vrstva rozpěrné desky sice pevná a neporušená, ale pod ní, v hloubce od 30 mm, je beton silně narušen. Dále byly v tomto úseku, v dobetonávce dna, zjištěny kaverny do hloubky až 100 mm, kde se nachází beton rozpadlý a drolivý.

Příčina zmíněných problémů byla stanovena na základě analýzy odebraných vzorků z průsaků podzemní vody. Díky skutečnosti, že vzorky obsahovaly větší množství síranů, se lze domnívat, že zde dochází k vnější síranové korozi betonu vlivem působení síranů z vnějšího prostředí. Síraný jsou obsaženy v okolní vodě či zemině a pronikají do betonových konstrukcí tunelu. Nejčastějším zdrojem síranů jsou právě podzemní vody, kde se nejběžněji vyskytují v kombinaci s kationty alkalických kovů nebo kationty vápníku. Síranovou korozi způsobuje expanzivní charakter ettringitu, vznikající působením vnějších síranů. Dodatečná tvorba ettringitu způsobuje lokalizovanou expanzi ve ztvrdlém betonu. Následně tak dochází k tvorbě trhlinek, odlupování betonu a ke ztrátě pevnosti betonu.

4 Nové technické řešení

4.1 Účel a popis stavby

Předcházející kapitoly popisovaly podklady poskytnuté firmou Stream. V následující části práce budou prezentovány nové návrhy, vypracované v rámci této bakalářské práce.

Hlavním účelem provedení stavby MVE Ejpovice je využití hydroenergetického potenciálu toku Klabava k výrobě elektrické energie. Její výstavbou a následným odběrem vody z koryta se také omezí přítok znečištění do vodní nádrže Ejpovice, čímž se omezí růst sinic. To pomůže jejímu čištění a revitalizaci nádrže. Stavba MVE má proto i enviromentální přínos.

Jedná se o průtočnou beztlakovo-tlakovou derivační malou vodní elektrárnu s navrženým instalovaným výkonem 300 kW. Dle ČSN 75 0128 ji lze klasifikovat jako vodní mini elektrárnu (rozmezí instalovaného výkonu od 100 do 1000 kW) nízkotlakou (spád do 20 m).

Obecná situace zájmového území s vyznačením hlavních částí stavby je součástí výkresové přílohy č.5.

Na toku Klabava v úseku mezi obcemi Klabava a vodní nádrží Ejpovice bude nad stávajícím zpevněným brodem postaven pevný betonový jez, který bude vytvářet vzduť hladiny povrchové vody a bude od něj odváděna voda otevřeným korytem do propustku pod stávající cestou.

Pro hydroenergetické účely je povoleno od jezu odebírat maximální návrhový průtok $Q_N = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$. V korytě toku Klabavy musí být zachován minimální hygienický průtok $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Na základě přímého požadavku investora bude vodní cesta navržena na návrhový průtok $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Investor také striktně požaduje provést výpočet výroby energie na návrhový průtok $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ na stranu bezpečnosti.

Propustkem bude voda přiváděna do beztlakového derivačního kanálu. Tento náhon je tvořen stávající hrází a morfologií stávajícího terénu. Kvůli optimalizaci průtokových poměrů bude koryto upraveno a stávající hráz navýšena na bezpečnou výšku, aby při povodňových průtocích nehrozilo její přelití. Náhonem je voda odváděna až do části vtoku do tunelů.

Nejvýznamnějším rysem MVE je využití jednoho ze dvou stávajících tunelů Ejpovického lomu jako tlakové části derivace. Na vtoku do pravého tunelu bude vybudován vtokový objekt. Jde o oplocený betonový objekt, vybavený automaticky stíranými jemnými česlemi. Pro umístění kontejnerů na shrabky bude část pravého břehu zpevněna, oplocena a napojena na stávající cestu. Na konci vtokového objektu voda vstupuje do pravého tunelu.

Projekt také musí brát zřetel na to, aby vždy minimálně jeden z tunelů zůstal nezatopen, jelikož tunely jsou zimovištěm netopýrů, a proto bylo povoleno využívat pouze jeden z nich. Levý tunel bude tedy zahrazen proti vniku vody.

Stávající pravý tunel, kterým bude proudit voda v tlakovém režimu, bude muset být správně sanován, jelikož jeho nynější technický stav dle podkladů [4] a [5] toto použití neumožňuje. Bude proto navržena vhodná sanace betonových ploch. Délka obou tunelů je přibližně 1550 m o podkovovitém průřezu výšky 3,6 m a šířky 4 m.

U výtoku vody z pravého tunelu bude umístěn výtokový objekt tvořený masivní betonovou zátkou tunelu, ze které bude voda pomocí ocelového potrubí odváděna k turbíně umístěné ve strojovně. Ve strojovně bude také osazeno obtokové potrubí DN300 se synchronním ventilem, sloužícím pro zmírnění průběhu vodního rázu, který vzniká při zavření turbíny a dochází při něm k velkému namáhání tunelu. Výtok ze sávky bude vyústěn do odpadního koryta, napojeného na stávající koryto řeky Klabavy. Pravý břeh u strojovny bude zpevněn a bude k němu přivedena přístupová cesta. Nově vzniklý prostor u strojovny bude oplocen a bude sloužit pro umístění venkovního transformátoru. Rovněž bude sloužit jako obratiště osobních a nákladních automobilů. Transformátor bude napojen na stávající elektrickou síť.

Před samotnou realizací stavebních objektů bude potřeba odstranit náletové dřeviny rostoucí na ploše plánovaného umístění stavby.

Variantní návrh bude uvažovat jiné řešení převodu vody v pravém tunelu. Do pravého tunelu bude do betonového lože instalováno sklolaminátové potrubí o průměru 1,4 m, kterým bude tlakově vedena voda k turbíně a nedojde tedy k zatopení ani jednoho z tunelů. Potrubí bude kotveno ocelovou objímkou. Vtokový i výtokový objekt bude muset být u tohoto návrhu také vyřešen jiným způsobem. Zátka tunelu nebude umístěna na výtoku, ale již na vtoku do tunelu. Tunel v této variantě nebude třeba sanovat.

V zásadě lze projekt rozdělit na čtyři hlavní stavební části:

1. Jez, propustek, náhon - beztlaková derivace
2. Vtokový objekt
3. Tunel - tlaková derivace
4. Výtokový objekt – zátka tunelu, strojovna, obratiště a příjezd

4.2 Členění stavby

Navržené řešení MVE Ejpovice si vyžádá realizaci 6 stavebních objektů a 2 provozních souborů.

Stavební objekty:

- SO 1 – Jez
- SO 2 – Propustek
- SO 3 – Náhon
- SO 4 – Vtokový objekt
- SO 5 – Sanace tunelu
- SO 6 – Strojovna

Provozní soubory:

- PS 1 – Strojně-technologická část
- PS 2 – Elektro-technická část

5 Stavební objekty

5.1 SO 1 – Jez

Pevný jez bude tvořen betonovým monolitickým tělesem o celkové délce 28 m se zavázáním do levého břehu řeky Klabavy. Osa jezu bude vůči ose toku natočena o 15° z důvodu zachování stávajícího zpevněného brodu pod jezem. Změny oproti původní dokumentaci z roku 2008 [1] jsou shrnuty v tabulce Tab. 7. Do desky jezu bude zakotvena podzemní stěna z trapézového plechu, která bude dosahovat hloubky 3 m pod základovou deskou jezu. U pravého břehu bude umístěna jezová propust, sloužící k odstranění usazenin z jezové zdrže. Propust bude oddělena dělicím pilířem šířky 0,8 m a hrazena pomocí dřevěného stavidla o šířce 2 m. Pevná koruna jezu je navržena v nadmořské výšce 333,96 m n. m. Koruna jezu bude navýšena seříznutými dřevěnými trámky na výšku 334,20 m n. m. Přelivná hrana jezu o délce 25,2 m bude tedy tvořena ostrohranným přelivem. Při minimálním zůstatkovém průtoku v toku $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ byla stanovena výška přepadového paprsku na hodnotu 0,04 m. Na jezovou propust z pravé strany navazuje betonový bezpečnostní přeliv o délce 30 m a s přelivnou hranou v nadmořské výšce 334,50 m n. m. Bezpečnostní přeliv převádí povodňové průtoky přes jez. Vlastní manipulace bude prováděna pomocí osazených stavidel v jezové propusti a propusti pod stávající cestou. V případě, že by hrozilo přelití jezu, budou stavidla na propustku i jezu zahrazeny. Ovládání i přístup ke stavidlu propustku budou umístěny nad hladinou Q_{100} .

Na jezu bude umístěn na kótě 334,24 m n. m. vodočetný znak pro kontrolu výšky přepadajícího paprsku přes přelivnou hranu jezu. Na kótě 332,70 m n. m. bude umístěn práh před vtokem do propustku pod cestou a jeho dno. Dno koryta pod jezem bude opevněno těžkým kamenným záhozem. Proti posunu bude také spolupůsobit stávající zpevněný brod. Po skončení působnosti stávající obslužné cesty bude brod zneprůjezdněn instalací velkého balvanu. Tím bude brod průjezdný pouze pro kola a jednostopá vozidla.

Technické řešení je zpracováno ve výkresové části příloh, konkrétně v přílohách č. 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5, 1.1.6 a 1.1.7. Na výkrese č. 6.1 je vypracována katastrální situace jezu, příjezdu a brodu, dále pak je na výkrese č. 6.2 znázorněna katastrální situace zahrnující i velkou část náhonu.

Podrobný popis regulace hladiny jezu i ověření kapacity přepadu jezu jsou uvedeny v příloze č. B.1.1 výpočtové části příloh.

5.2 SO 2 – Propustek

Za bezpečnostním přelivem na jezu navazuje nový železobetonový propustek, kterým bude voda převáděna prouděním o volné hladině od jezu pod cestou do náhonu. Propustek má obdélníkový průřez s výškou 2 m a šířkou 3 m. Délka propustku činí 8 m. Propustek bude budován do otevřeného výkopu a bude na něm položena nová vozovka, aby byla obnovena funkce stávající příjezdové cesty. Mocnost stěn činí 0,4 m a je uvažováno s přejezdem nákladních automobilů. Před propustí bude osazeno stavidlo, hladinová sonda a vodočetná lať s vodočecným vyznačením provozní hladiny. Dle hladinové sondy, umístěné na pravé straně nátoky do propusti, bude regulována turbína. Provozní hladina v propustku se nachází na kótě 334,24 m n. m. Změny oproti původnímu projektu [1] jsou přehledně zpracovány v tabulce Tab. 7.

Technické řešení je zpracováno ve výkresové části příloh, konkrétně v přílohách č. 1.1.1, 1.1.2, 1.1.6 a 1.1.7. Katastrální situace je označena pod číslem 6.1 a 6.2. Ověření kapacity je provedeno v příloze B.1.2.

Tab. 7 – Porovnání parametrů jezu a propustku s původním projektem [1].

Parametr	Projekt 2008	Nové řešení
Kóta pevné koruny jezu	334,20 m n. m.	334,20 m n. m.
Délka přelivné hrany jezu	25,2 m	25,2 m
Šířka dělícího pilíře	0,8 m	0,8 m
Šířka proplachovacího stavidla	2,0 m	2,0 m
Celková délka jezového tělesa	28,0 m	28,0 m
Délka bočního přelivu	30,0 m	30,0 m
Kóta přelivu	334,60 m n. m.	334,50 m n. m. ¹⁾
Hrubé česle	ano	ne
Stavidlo před propustí	ano	ano
Světlá šířka a výška propustku	4,4 x 2,2 m	3,0 x 2,0 m
Délka zastropené části propustku	17,0 m	8,0 m
Poznámky a vysvětlivky: 1) Zlepšení převedení povodňových průtoků. 2) Natočení osy přelivné hrany jezu vůči stávající variantě je 15°.		

5.3 SO 3 – Náhon

Z propustku bude voda vedena beztlakovým derivačním korytem. Původní protipovodňová hráz řeky Klabavy bude využita jako levý břeh náhonu. Na základě inženýrsko-geologického průzkumu [4] nebude třeba hráz těsnit, jelikož je hráz vysoce hlinitá a nepropustná. Budou provedeny pouze lokální vysprávkky. Rovněž bude přibližně od staničení 115 m až do staničení 275 m provedeno navýšení hráze na bezpečnou kótu 335,50 m n. m. Materiál na zvýšení hráze bude získán odtěžením zeminy při úpravě koryta (nejvíce ze staničení 195 až 255 m).

Hlavní funkcí náhonu bude převádět vodu z propustku do vtokového objektu, ale také bude sloužit jako sedimentační nádrž, čímž bude chránit turbínu před poškozením.

Náhon je dlouhý přibližně 315 m lichoběžníkového průřezu s šířkou dna od cca 5,7 m do 24,7 m. Nové svahy jsou navrženy ve sklonu 1 : 2,5. Drsnost koryta byla charakterizována stupněm drsnosti n dle Manninga [12] na hodnotu 0,022.

Situace a příčné řezy stávajícím korytem s navrženým novým průřezem náhonu jsou zpracovány ve výkresové části příloh, konkrétně ve výkresech č. 1.1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5 a 1.2.6. Výkres katastrální situace se nachází v příloze č. 6.3. Ověření, že je náhon dostatečně kapacitní pro převod návrhového průtoku $Q_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, je umístěno v příloze B.1.2.

5.4 SO 4 – Vtokový objekt

Nátok do levého tunelu bude zahrazen dřevěnými hranoly, které budou dosypány zeminou do náspů do výšky 335,50 m n. m. Tím bude zabráněno vtoku vody. Dále pak budou na vstupu i výstupu levého tunelu instalována mřížová vrata. Mříž bude kotvena trny do ostění tunelu. Technický návrh je součástí výkresové přílohy č. 2.5.

Za účelem mechanického předčištění vody bude před vstupem do pravého tunelu realizován vtokový objekt, jehož součástí jsou jemné česle zasazené ve vtokovém prahu na kótě 331,30 m n. m. ve sklonu 60°. Česle jsou automaticky stírané čistícím strojem a shrabky jsou pomocí pásového dopravníku přiváděny do kontejneru. Celková šířka česlí činí 2,85 m s délkou česlic 3,35 m. Česlice šířky 6 mm jsou hranatého tvaru s roztečí 20 mm. Česlicové pole je podepřeno podpurným nosníkem výšky 0,15 m. Pro umístění kontejnerů a umožnění příjezdu k objektu byla na pravém břehu navržena obslužná komunikace se zpevněným povrchem pomocí geobuněk MULTICELL vyplněných štěrkem nebo škvárou. Obslužná komunikace bude napojena na stávající komunikaci. Celý objekt bude oplocen a u příjezdu bude instalována vstupní brána.

Původní dno tunelu za česlemi se nachází na kótě 330,56 m n. m. Otvor mezi obslužnou lávkou česlí a ostěním tunelu bude zakryt pochozím plechem a bude v něm rovněž umístěn revizní vlez 0,8 x 0,8 m. Původní stěny vtokového koryta budou dobetonovány na kótu 335,50 m n. m.

Technický návrh vtokového objektu je zpracován ve výkresových přílohách č. 1.1.1, 2.1, 2.2, 2.3, a 2.5. Příloha č. 2.4 obsahuje katastrální situaci. V příloze č. B.2 je proveden výpočet ztráty na česlích. Parametry česlí byly dodány jako podklad firmou Stream.

5.5 SO 5 – Sanace tunelu

Pro umožnění převádění vody pravým tunelem v tlakovém režimu jej bude potřeba vhodně sanovat, aby byla zaručena nepropustnost konstrukce.

Na základě inženýrsko-geologického průzkumu lokality [4], georadarového průzkumu geofyzikálních vlastností pravého tunelu [5], odborného posudku geotechnika [6] a také zprávy o technickém stavu původního betonu pravého tunelu [7] byly po konzultacích s Ing. Karlem Kramlem, ředitelem společnosti Stream, stanoveny vhodné metody sanace všech zjištěných problémů.

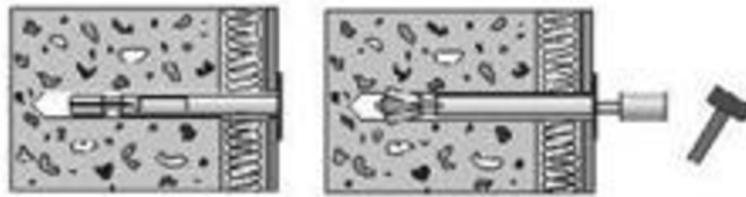
Podélné konstrukční spáry tunelu, dělicí horní a dolní betonové ostění, musejí být sanovány v celé délce. Na začátku je bude třeba očistit mechanicky a poté dočistit tlakovou vodou. Tím se připraví povrch pro reprofilování opravnou a ochrannou maltou typu „Ombran MHP“. Na již vyrovnaný povrch bude poté nanášena tenká vrstva stěrkové hmoty BOTAMENT RD 2 The Green 1, do které bude následně vložen hydroizolační pás BOTAMENT SB 78. Vše bude nakonec pečlivě přestěrkováno tenkou vrstvou hmoty BOTAMENT RD 2 The Green 1. Tento postup je také vyznačen ve výkresové příloze č. 3.

Příčné pracovní spáry a praskliny, které viditelně prosakují nebo jinak vykazují netěsnosti budou sanovány stejným postupem, jako spáry podélné.

V úseku od staničení 800 m až 1150 m (uvažováno od vtoku do tunelu) se nachází větší množství bodových průsaků. Ty budou sanovány dílčí injektáží dvousložkovými pryskyřicemi na polyuretanové bázi. Nejprve pro utěsnění průsaků injektujeme pryskyřici s rychlým napěněním. V zápětí provádíme injektáž zajišťující definitivní zatěsnění. Pro injektáž budou použity pryskyřice MC- Injekt 2033, MC- Injekt 2300 top nebo MC- Injekt 2700.

Musí být vyřešena netěsnost nekvalitního betonu rozpěrné desky mezi staničením 800 až 1150 m vlivem síranové koroze betonu [7]. Jedním z možných řešení je nahradit desku novým vodostavebným betonem, dostatečně odolným proti síranům. Toto řešení by ale bylo příliš nákladné, takže přistoupíme k alternativnímu řešení, které sice korozi zastavit nedokáže, ale spolehlivě zaručí

nepropustnost. Do tunelu bude instalována fólie, která bude ukotvena do dna a stěn nad úroveň podélné spáry. Pásky fólie budou svařovány po 5 m a kotveny po 25 m. Kotvení bude provedeno pomocí rozpěrných nýtů do betonu (Obr. 5).



Obr. 5 – Katalogové schéma kotvení fólie

5.6 SO 6 – Strojovna

Výtok z pravého tunelu bude zaslepen masivní zátkou. Zátka je 1,4 m široká a skládá se z plechového ztraceného bednění a železobetonové dobetonávky. Tlakové zatížení působící na zátku bude vlastní vahou zátky přenášeno do podloží a kvůli špatnému technickému stavu tunelu bude také přenášeno pomocí 4 ocelových rozpěr na spodní stavbu strojovny. V zátce se také bude nacházet revizní vstup, tvořený ocelovou troubou o průměru 0,8 m. Voda bude skrze zátku převáděna ocelovým potrubím se zúženým průměrem ze 2 na 1 m. Potrubí bude odvádět vodu k turbíně, umístěné ve strojovně.

Před samotnou realizací stavby bude potřeba odstranit krom náletových dřevin i stávající betonové konstrukce, které se nacházejí v plánovaném umístění strojovny.

Strojovna je navržena obdélníkového průřezu šířky 6 m a délky 9,4 m. Bude mít dvě patra, přičemž podlaha horní podesty je projektována na kótě 322,39 m n. m. a podlaha dolního podlaží na kótě 317,97 m n. m. Obě podlaží budou propojena točitým schodištěm o průměru 1,6 m. Přístup do strojovny na horní podlaží bude umožněn venkovními dvoukřídlými ocelovými vraty o rozměrech 2 x 2,75 m. Horní podesta bude opatřena zábradlím s manipulační otevíravou brankou. Pro manipulaci s těžkými předměty bude ve strojovně na HEB nosnících umístěn ruční kladkostroj. Pro případné rekonstrukce je navržena část ploché střechy strojovny odnímatelná.

Na dolním podlaží bude umístěna kaplanova turbína vertikálního typu (Tab. 8), ke které bude ocelovým svařovaným potrubím přiváděna voda z tunelu. Na potrubí bude instalována montážní vložka a uzávěr turbíny. Podlaha bude vyspádována sklonem 1,5 % do jímky pro prosáklou vodu o rozměrech 1 x 0,5 x 0,5 m. Jímka bude vybavena čerpadlem, jehož výúst bude až nad hladinu $Q_{100} = 322,04$ m n. m. V místě osazení turbíny bude podlaha vyvýšena na kótu 318,16 m n. m. Rozvaděče budou umístěny na betonových bločcích nad dolní podlahou, aby byly ochráněny proti případným průsakům. Na dolním podlaží je

rovněž navržen i hydraulický agregát. Bude zde také umístěn synchronní ventil na obtokovém potrubí turbíny, který bude sloužit pro zmírnění průběhu vodního rázu a tím bude snižovat namáhání tunelu při uzavírání turbíny. Pomocí savky bude voda odváděna do odpadního koryta. Navržené zanoření horní hrany vyústění savky je v bezpečné hloubce 0,375 m pod minimální hladinou dolní vody. Výrobce turbíny, dle podkladů od firmy Stream, deklaruje, že nedojde ke kavitaci, pokud rozdíl dolní vody a osy oběžného kola nebude větší než 2 m, což je v návrhu zohledněno a dodrženo. Savka je zakotvena a následně obetonována výplňovým betonem.

Základová spára je projektována lomená a spodní stavba bude postavena z vodostavebního železobetonu C30/37 XA-2. Betonáž bude probíhat ve 3 fázích. V první fázi bude realizována podkladová vrstva betonu, dále pak bude vybetonována základová deska a stěny dolní stavby. Po osazení a ukotvení savky bude savka zalita výplňovým betonem. Následně bude vystavěna horní stavba ze ztraceného bednění vyplněného betonem. V horní stavbě bude rovněž osazeno kruhové okno o průměru 2,5 m.

Strojovna bude také vybavena odvětráním pomocí prostupů v horní stavbě a venkovního ventilátoru. Bude v ní rovněž instalováno osvětlení.

Prostor na pravém břehu u strojovny bude zpevněn pomocí geobuněk MULTICELL, vyplněných štěrkem či škvárou. Bude zde umístěna oplocená trafostanice, vybavená jímkou pro olej o objemu 270 l a bude také provedeno uzemnění transformátoru. Prostor také bude sloužit jako obratiště osobních i nákladních automobilů. Ke strojovně bude vybudována obslužná komunikace, napojená na komunikaci stávající.

Technické řešení výtokového objektu je podrobně řešeno v přílohách výkresové části č. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 a 4.9. Vyvedení výkonu z MVE a napojení na přenosovou soustavu je znázorněno v příloze č. 4.10. Katastrální situace území je zpracována v přílohách č. 4.8, 6.4 a 6.5.

6 Technické a technologické zařízení

6.1 PS 1 – Strojně-technologická část

Před propustkem a na jezové propusti budou osazeny drážky pro instalaci stavidla. V rámci vtokového objektu budou osazeny jemné česle automaticky stírané pomocí čistícího stroje. Pomocí pásového dopravníku budou shrabky přepravovány do kontejneru. Vtok bude hrazen pomocí stavidla před propustkem. Ve strojovně bude umístěno turbostrojí, skládající se z kaplanovy turbíny (Tab. 8) a generátoru (Tab. 9).

Na ocelovém vtokovém potrubí k turbíně bude instalována montážní vložka společně s klapkou fungující jako provozní uzávěr. Rovněž bude ve strojovně umístěn synchronní ventil na obtokovém potrubí, který bude mít účinky zmírnění hydraulického rázu, aby ochránil tunel před nadměrnou tlakovou zátěží. V podlaze bude umístěna jímka prosáklé vody vybavena čerpadlem a výustí nad hladinu Q_{100} . Pro manipulaci s těžkými břemeny bude ve strojovně osazen na HEB nosících ruční kladkostroj. Za výtokem ze savky budou instalovány drážky provizorního hrazení.

Tab. 8 – Hlavní parametry turbíny

Typ turbíny	Kaplan vertical	
Průměr oběžného kola	650	mm
Hltnost	2.4	m ³ /s
Minimální průtok	0.24	m ³ /s
Maximální výkon	341	kW
Návrhový čistý spád	16.07	m
Synchronní otáčky	600	min ⁻¹
Maximální průběžné otáčky	900	min ⁻¹
Variantní návrh		
Maximální výkon	309	kW
Návrhový čistý spád	14.59	m

6.2 PS 2 – Elektro-technická část

Provoz turbostrojů bude plně automatický, ovládaný pomocí řídicího systému, který zabezpečí správné najetí soustrojí, automatické odstavení soustrojí, signalizaci provozních a poruchových stavů, výpis poruch a možnost přepnutí do režimu ručního ovládnutí a naopak. Pro účely řízení průtoků bude u jezu umístěna hladinová sonda. Veškeré zařízení elektročásti a řídicího systému bude instalováno do rozvaděčových polí, umístěných na dolní podestě strojovny. Strojovna bude vybavena umělým osvětlením a odvětráváním venkovním ventilátorem. Pro vyvedení výkonu z MVE bude u strojovny umístěna oplocená trafostanice, ze které bude realizována přípojka k elektrizační soustavě.

Výpočet výroby elektrické energie je umístěn v příloze B.4.

Tab. 9 – Hlavní parametry generátoru

Typ generátoru	Hitzinger synchronní	
Maximální výkon	324	kW
Návrhové napětí	400	V
Frekvence	50	Hz
Otáčky	600	min ⁻¹
Variantní návrh		
Maximální výkon	294	kW

7 Alternativní návrh

Variantní řešení spočívá v jiném způsobu převedení vody v tlakové části derivace. Nedojde k zatopení ani jednoho ze stávajících tunelů, ale do pravého tunelu bude instalováno sklolaminátové potrubí o průměru 1,4 m. Potrubí bude osazeno do betonového lože, do kterého bude pomocí ocelové objímky i kotveno.

Při tomto řešení nebude zahrazen tunel u výtoku z tunelu, ale zátka bude realizována již na vtoku. Zátka bude betonová, tloušťky 0,5 m a bude vyplňovat celý průřez tunelu. Do tunelu bude umožněn revizní vstup skrze zátku pomocí ocelové trouby o průměru 1 m. U výtoku z tunelu bude sklolaminátové potrubí napojeno na ocelové svařované potrubí o průměru 1 m. Průměrný sklon potrubí činí 0,78 %.

Velkou výhodou je, že při tomto řešení nebude potřeba tunel sanovat, nicméně bude potřeba vyčlenit finance na pořízení potrubí.

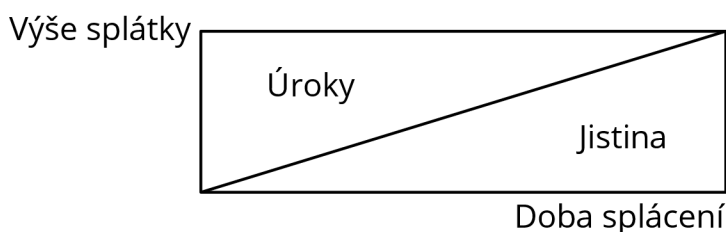
Přehledně je technické řešení zpracováno ve výkresové příloze č. 7. Výpočet tlakové ztráty v potrubí je zpracován v příloze č. B.4.2.

8 Ekonomická analýza

Na základě výpočtu vyrobené elektrické energie byla provedena ekonomická analýza obou variant. Analýza byla vypracována po konzultaci s Ing. Karlem Kramlem a daňovým poradcem. Rozpočet stavby a provozní náklady byly určeny firmou Stream. Pro prezentaci analýzy byly použity parametry míra výnosnosti (IRR) a čistá současná hodnota výnosu (NPV). Výpočty jsou provedeny pro diskontované i nediskontované ceny, takže výsledky jedné varianty nejsou poníženy o míru inflace (čistě pro přehlednost). Z tohoto důvodu byla míra inflace stanovena na 2 %.

V případě varianty se zatopeným tunelem byl celkový rozpočet stavby stanoven na 26 744 000 Kč. Stavební práce byly vyčísleny na 16 140 000 Kč, cena technologií na 7 604 000 Kč, pořizovací náklady na 300 000 Kč a zbylých 2,7 milionu na mzdy pracovníků, vedení projektu a samotný návrh (Tab. 32) (Obr. 24). Daňovým poradcem byla stanovena metoda zrychlených odpisů. Odepisování v tomto případě probíhá způsobem, že je v prvním roce odepsáno větší procento celkové hodnoty, které se poté snižuje. Z celkového zisku po odečtení odpisů a úroku je stanovena daň.

Průměrné roční provozní náklady byly vyčísleny na 319 189 Kč. Do projektu bude vložen vlastní vklad ve výši 7 220 880 Kč. Vlastní vklad (ekvita) byla bankou stanovena na hodnotu 27 % z celkového rozpočtu projektu tak, aby půjčka nepřesahovala 20 milionů Kč. Při úroku 4 % a splatnosti 15 let celková roční splátka činí přibližně 1,8 milionu korun (Tab. 33). 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 4 %. 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. 6.



Obr. 6 – 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 930 592 kWh za průměrný hydrologický rok. Výkupní sazba vyrobené energie činí 2,75 Kč/kWh s valorizací 2 %. Valorizace je dána energetickým zákonem a vyjadřuje každoroční navýšení tarifu. Platnost tarifu je stanovena na 30 let, což je zároveň doba životnosti stavby. Nediskontovaná doba návratnosti vlastní investice činí 11 let. Diskontovaná (ponížená) míra výnosnosti vlastního vkladu po 20 letech činí 8,5 %, což hodnotíme jako velice slušné zhodnocení (Tab. 34).

U alternativního řešení projektu se sklolaminátovým potrubím byl celkový rozpočet stavby vyčíslen na hodnotu 29 744 000 Kč. Sklolaminátové potrubí bylo naceněno na 4 000 000 Kč a stavební práce na 15 140 000 Kč. Ceny ostatních položek a provozní náklady byly uvažovány stejné jako u první varianty (Tab. 39) (Obr. 25). Kvůli vyššímu rozpočtu projektu byla ekvita nastavena na hodnotu 30 % z rozpočtu a vlastní vklad tedy činí 8 923 200 Kč. Roční splátka činí 1 871 336 Kč. I přes větší vlastní vklad nebude dosaženo rezervy splatnosti úvěru 1,2, nicméně banka bude hodnotu 1,11 akceptovat. Výkupní cena energie zůstává stejná, ale výše roční průměrné vyrobené energie bude pouze 904 986 kWh (Tab. 40). Na základě uvedených skutečností je jasné, že ekonomičtější řešení bude varianta bez pořízení sklolaminátového přivaděče. Tuto skutečnost potvrzuje doba návratnosti ekvity 16 let, tedy o 5 let více než u první varianty. Diskontovaná míra zhodnocení po 20 letech činí pouze 4,9 % (Tab. 41).

Pro obě varianty byla také stanovena doba využití instalovaného výkonu, která nabývá nižších hodnot cca 3100 hodin. Je to důsledek přímého zadání investora, využít pro výpočet energie hltnost 2,4 m³/s, což přibližně odpovídá 60dennímu průtoku. Výpočet je zpracován v příloze B.4.

Výpočet čisté současné hodnoty výnosu (NPV) byl proveden způsobem dle [14]:

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

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 [14]:

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

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

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

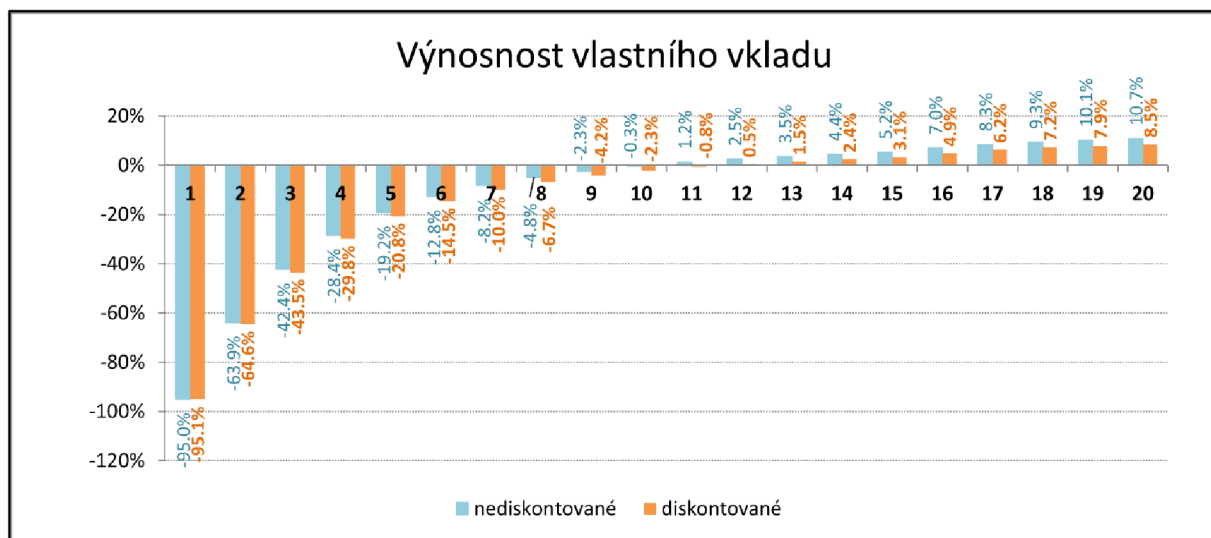
kde: T_{DS} diskontovaná doba návratnosti
 IN ekvita (vlastní vklad)
 DCF diskontované roční peněžní toky

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

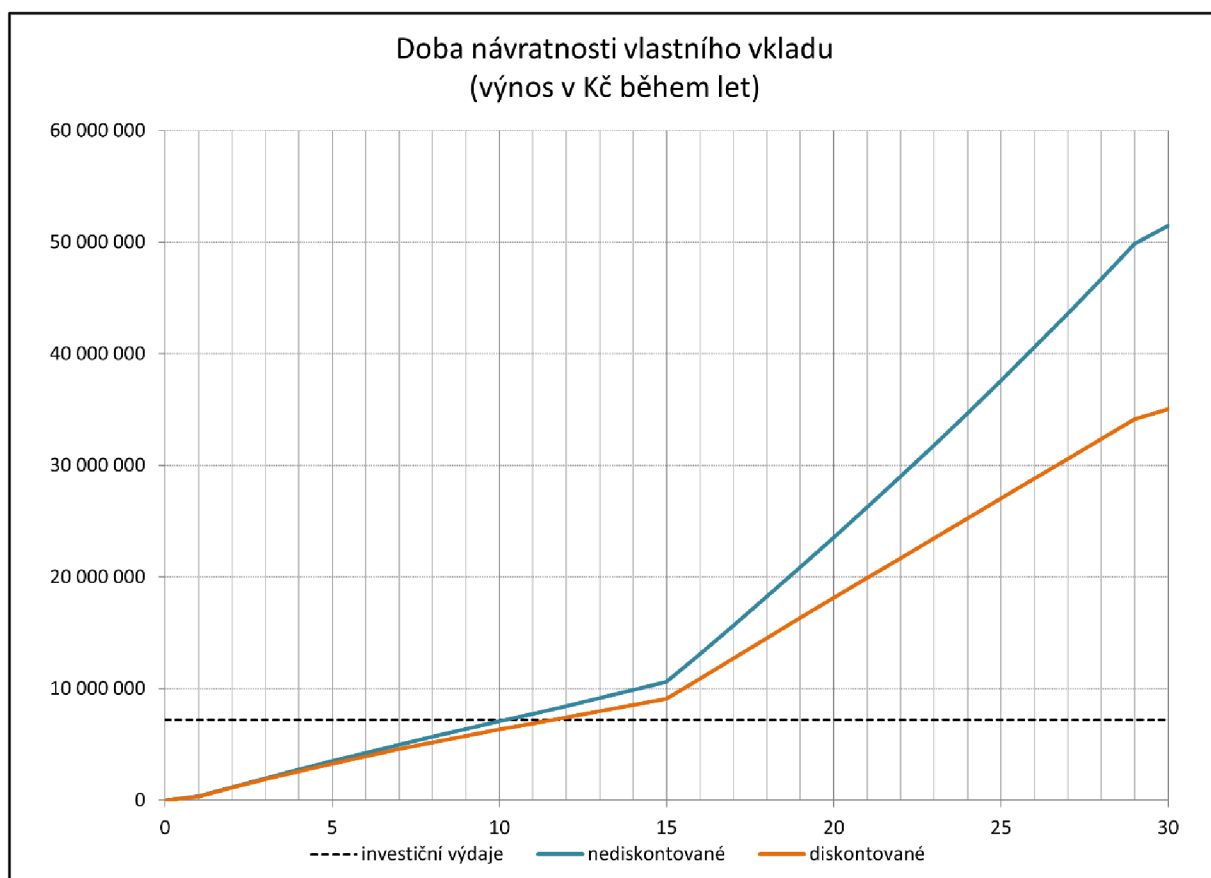
kde: CF roční peněžní tok (cash flow)
 t vyšetřovaný rok
 r inflace (diskontovaná sazba)

Výpočty byly provedeny na dobu životnosti stavby 30 let a jsou umístěny v příloze č. B.5.

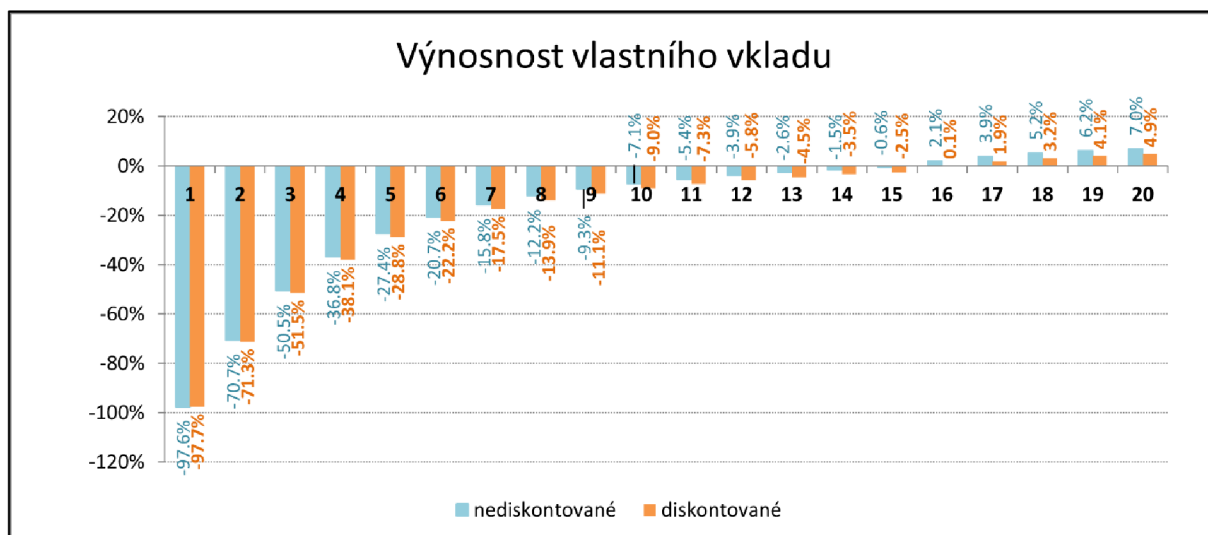
Pro přehlednost byla pro první variantu nediskontovaná a diskontovaná výnosnost vlastního vkladu znázorněna do grafu na obrázku Obr. 7. Na obrázku Obr. 8 je vykreslen diskontovaný a nediskontovaný výnos během let, což názorně reprezentuje dobu návratnosti. Na křivce můžeme sledovat rapidní růst od 15. roku, kdy bude splacen úvěr. Variantní řešení je znázorněno na obrázku Obr. 9 a Obr. 10.



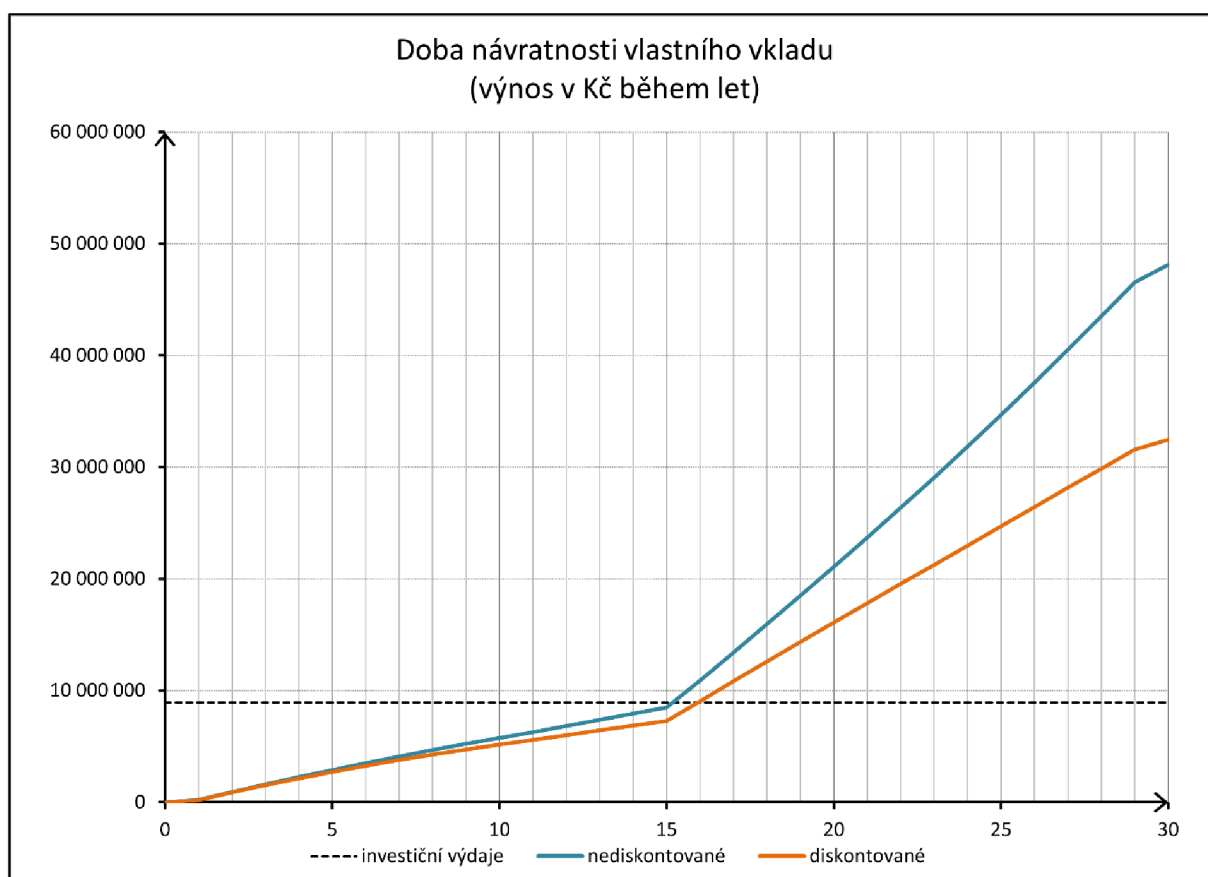
Obr. 7 - Míra výnosnosti vlastního vkladu během 20 let provozu MVE



Obr. 8 - Přehledná charakteristika doby návratnosti



Obr. 9 - Míra výnosnosti vlastního vkladu během 20 let provozu MVE – variantní řešení



Obr. 10 - Přehledná charakteristika doby návratnosti – variantní řešení

9 Závěr

Oba prezentované návrhy řešení MVE Ejpovice jsou navrženy tak, aby i přes některé specifické nároky investora a dodržení původních parametrů z povolení [1] byl co nejefektivněji využit hydroenergetický potenciál dané oblasti. Rovněž byla snaha o co nejekonomičtější návrh stavby. Některé stavební objekty byly i kvůli tomu účelově zjednodušeny.

Ačkoliv se tunel při prvních šetřeních zdál být ve velmi dobrém stavu, při dalších průzkumech se ukázalo, že je především dno napadeno síranovou korozi betonu a výměna za odolnější beton by vyšla příliš draho. Statika tunelu byla vyhodnocena dle průzkumů jako vyhovující a hlavním problémem jsou tak průsaky vody z tunelu při jeho tlakovém využití. Proto raději volíme těsnění pomocí svařované fólie, při kterém nebude korozi zamezeno, ale alespoň spolehlivě zaručíme jeho voděodolnost. Přestože je to řešení z ekonomického hlediska velmi výhodné, v delším časovém horizontu může hrozit zhoršení situace a vzniku potřeby tunel znovu sanovat. Pro posouzení výhodnosti tohoto návrhu bylo zpracováno variantní řešení, které neuvažuje s tlakovým prouděním vody tunelem, a tak není potřeba sanaci vůbec řešit. V případě tohoto variantního řešení se nám nabízí výrazné zjednodušení technologie provádění, nicméně je třeba do rozpočtu zahrnout prostředky na pořízení sklolaminátového potrubí, kterým bude voda vedena k turbíně. Rovněž bude třeba vyřešit jeho kotvení ke dnu tunelu.

Přestože se může zdát, že při absenci veškerých složitých sanačních prací vyjde doba návratnosti oproti prvnímu návrhu kratší, opak je pravdou. Řešení se zatopeným tunelem disponuje dobou návratnosti 11 let, což je o 5 let méně, než návrh variantní. Je to bezpochyby způsobeno vysokou pořizovací cenou potrubí, a také horšími hydraulickými poměry, které se následně odráží na menším množství vyrobené energie.

Na základě výše zmíněných skutečností je po ekonomické stránce jednoznačně výhodnější volit řešení uvažující se sanacemi tunelu a jeho tlakovým využitím. Na druhou stranu je alternativní návrh, díky absenci složitých sanačních prací, mnohem snazší realizovat. Také se při něm eliminuje nebezpečí dalšího zhoršování technického stavu tunelu, které při jeho tlakovém využívání hrozí.

Závěrem lze tedy říci, že projekty nelze vyhodnocovat pouze po stránce ekonomické, ale je důležité ke každému z nich přistupovat jednotlivě a vždy vyhodnotit všechny aspekty, které by mohly jeho realizaci nastat.

10 Seznam příloh

A) Výkresová část

Číslo přílohy	Název přílohy
1.1.1	Situační výkres jezu, propustku, náhonu a vtokového objektu
1.1.2	Situační výkres jezu a propustku
1.1.3	Jez - půdorys - část 1
1.1.4	Jez - půdorys - část 2
1.1.5	Jez - řez 1-1
1.1.6	Jez - řez 2-2
1.1.7	Jez - řez 3-3
1.2.1	Situační výkres - vyznačení řezů náhonem
1.2.2	Příčné řezy náhonem - část 1
1.2.3	Příčné řezy náhonem - část 2
1.2.4	Příčné řezy náhonem - část 3
1.2.5	Příčné řezy náhonem - část 4
1.2.6	Příčné řezy náhonem - část 5
2.1	Situace vtokového objektu
2.2	Situace - detail u čistícího stroje
2.3	Vtokový objekt - půdorys a řezy
2.4	Vtokový objekt - katastrální situace
2.5	Vstup do levého tunelu - mřížová vrata
3	Sanace tunelu - řezy
4.1	Výtokový objekt - situace A
4.2	Strojovna - situace A
4.3	Strojovna - situace B
4.4	Strojovna - podélný řez A-A'
4.5	Strojovna - příčný řez B-B'
4.6	Strojovna - příčný řez C-C'
4.7	Strojovna - příčný řez D-D'
4.8	Výtokový objekt - katastrální situace
4.9	Strojovna horní stavba - pohledy
4.10	Návrh trasy elektro-přípojky - situace
5	Obecná situace
6.1	Katastrální situace - jez, příjezd
6.2	Katastrální situace - jez, náhon
6.3	Katastrální situace - náhon, vtokový objekt
6.4	Katastrální situace - výtokový objekt - strojovna
6.5	Katastrální situace - výtokový objekt - příjezd
7	Alternativní návrh

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

B) Výpočtová část

B.1 Beztlaková část derivace

B.1.1 Jez a regulace průtoku

B.1.1.1 Přepad po úroveň koruny bezpečnostního přelivu

B.1.1.2 Přepad nad úrovní koruny bezpečnostního přelivu

B.1.1.3 Konsumpční křivka koryta pod jezem

B.1.2 Propustek pod cestou a náhon

B.2 Výpočet ztrát na česlích

B.3 Výpočet celkových ztrát vodní cesty

B.3.1 Varianta 1 se zatopeným tunelem

B.3.2 Varianta 2 se sklolaminátovým potrubím

B.4 Výpočet výroby energie

B.4.1 Varianta 1 se zatopeným tunelem

B.4.2 Varianta 2 se sklolaminátovým potrubím

B.5 Ekonomická analýza

B.5.1 Varianta 1 se zatopeným tunelem

B.5.2 Varianta 2 se sklolaminátovým potrubím

Výpočty byly provedeny pomocí programu Excel a HEC-RAS.

C) Fotodokumentace

B.1 Beztlaková část derivace

B.1.1 Jez a regulace průtoku

Návrh a ověření kapacity jezu byl proveden na základě konzultací s Ing. Karlem Kramlem, ředitelem společnosti Stream. Z předchozího vodoprávního povolení [1] byla stanovena provozní hladina jezu v nadmořské výšce 334,24 m n. m. a výška přelivné hrany samotného jezu na kótě 334,20 m n. m. Tím pádem přepadová výška vodního paprsku činí 4 cm. Tyto parametry bylo třeba dodržet, ale zároveň musel být návrh jezu proveden tak, aby zvládnul převést minimální hygienický průtok $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, který byl stanoven pro koryto dolní vody. Na základě těchto skutečností a ekonomických důvodů byla účelově zjednodušena konstrukce jezu a bylo provedeno ověření, že je jez dostatečně kapacitní. Kvůli zadané velmi malé výšce přepadového paprsku při provozní hladině je přelivná hrana tvořena seříznutými fošnami tak, aby bylo možné použít přepadový součinitel dle Bazina a tím zaručit převedení minimálního zůstatkového průtoku $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Provozní hladina 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 hltlost turbíny, bude MVE odstavena úplně. Jestliže by docházelo ke zvýšení hladiny na jezu, turbína se bude postupně otevírat, až do dosažení hltlosti turbíny $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Jakmile by byl průtok vyšší, než je hltlost turbíny, MVE bude stále odebírat pouze $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ a přes jez tak začne přepadat vyšší průtok, čímž se bude také postupně zvyšovat hladina vody na jezu.

Kvůli převádění povodňových průtoků byl na jezu vybudován bezpečnostní přeliv s přepadovou hranou ve výšce 334,50 m n. m. Pokud voda vystoupá nad tuto kótu, bude voda přepadat jak přes přeliv jezu, tak i přes bezpečnostní přeliv o délce 30 m. Celková délka přepadu v tomto případě bude tedy 55,2 m.

Kvůli výše zmíněným důvodům byl výpočet přepadového množství rozdělen na dvě části. V prvním případě byl proveden po úroveň bezpečnostního přelivu a v druhé nad úroveň přelivu. Dále byla sestrojena konsumpční křivka koryta pod jezem.

B.1.1.1 Přepad po úroveň koruny bezpečnostního přelivu

Výpočty a grafy byly provedeny pomocí programu EXCEL. Pro stanovení průtoku byl použit iterační postup a hladina dolní vody byla získána regresí z konsumpční křivky dolní vody. Byla ověřena schopnost jezu převést minimální hygienický průtok při provozní hladině.

Hodnoty přepadového součinitele, součinitele zatopení a použité vztahy byly převzaty z [12]:

$$Q = \sigma_{zat} \cdot m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}} \quad (1.6)$$

kde: Q..... přepadový průtok
 σ_{zat}součinitel zatopení
m.....přepadový součinitel
 b_0účinná šířka přelivu
g..... gravitační zrychlení
 h_0přepadová výška zvýšená o rychlostní výšku

$$h_0 = h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2 \cdot g} \quad (1.7)$$

kde: h.....výška přepadového paprsku
 α Coriolisovo číslo
 v_0 rychlost na přítoku

$$v_0 = \frac{Q}{A} \quad (1.8)$$

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

$$b_0 = B - 0,1 \cdot C_p \cdot n \cdot h_0 \quad (1.9)$$

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

Tab. 10 – Přepad po bezpečnostní přeliv – výchozí hodnoty

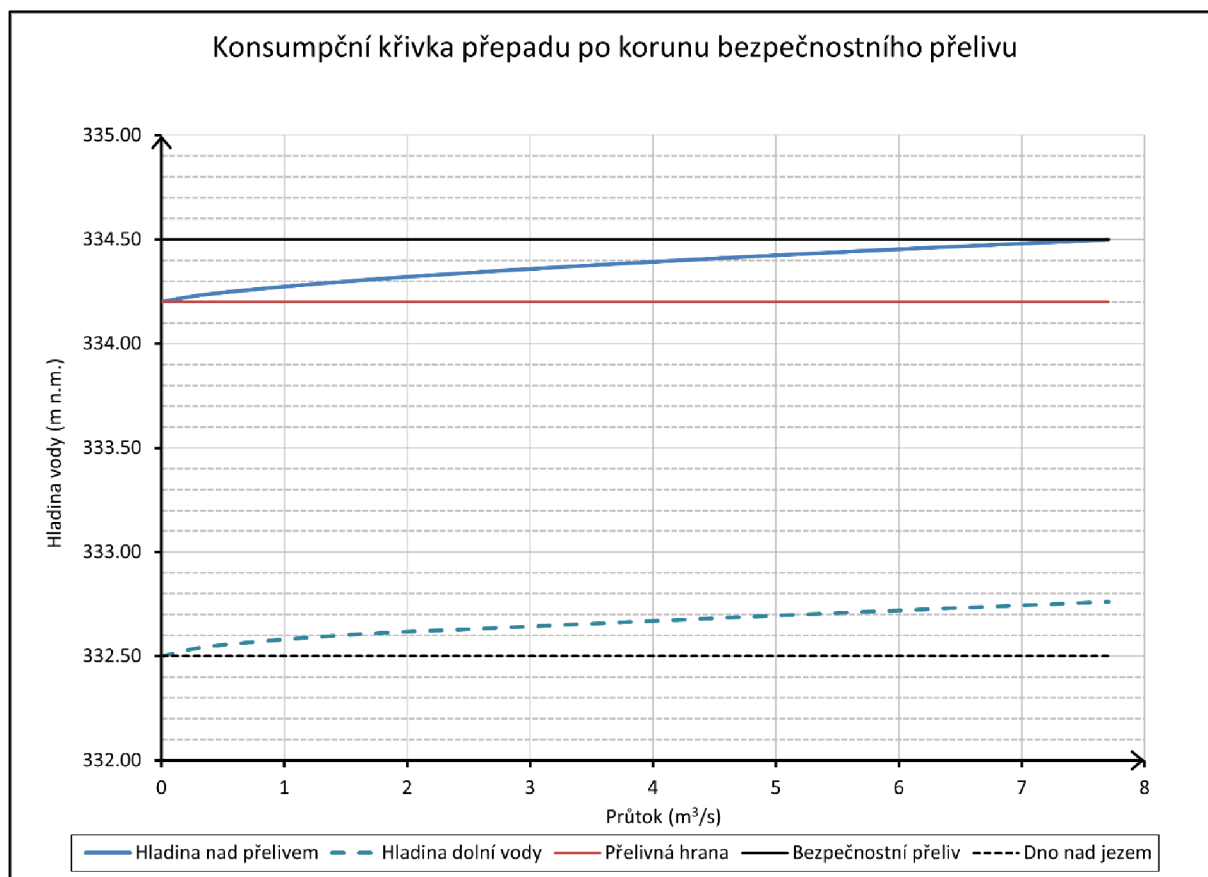
Koruna přelivu	H_k	334.20	m n. m.
Délka přelivu (koruny)	B	25.2	m
Počet obtékaných bočních hran pilířů	n	2	počet
Součinitel tvaru obtékaných hran	C_p	1	-
Kóta dna před jezem (přelivem)	H_d	332.50	m n. m.
Šířka toku před přelivem	B_t	28	m

Tab. 11 – Přepad po bezpečnostní přeliv – výpočet přepadového množství

HHV	v_0	h	m	h_0	B_0	Q	σ_{zat}	HDV
[m n. m.]	[m/s]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m ³ /s]	[-]	[m n. m.]
334.20	0.00	0.00	0.000	0.000	25.20	0.000	1.000	332.50
334.24	0.01	0.04	0.480	0.040	25.19	0.429	1.000	332.55
334.30	0.03	0.10	0.436	0.100	25.18	1.538	1.000	332.60
334.35	0.05	0.15	0.427	0.150	25.17	2.767	1.000	332.64
334.40	0.08	0.20	0.423	0.200	25.16	4.222	1.000	332.67
334.45	0.11	0.25	0.421	0.251	25.15	5.880	1.000	332.72
334.50	0.14	0.30	0.420	0.301	25.14	7.725	1.000	332.76

kde: HHV..... kóta hladiny horní vody

HDV..... kóta hladiny dolní vody



Obr. 11 - Konsumpční křivka přepadu po korunu bezpečnostního přelivu

B.1.1.2 Přepad nad úrovní koruny bezpečnostního přelivu

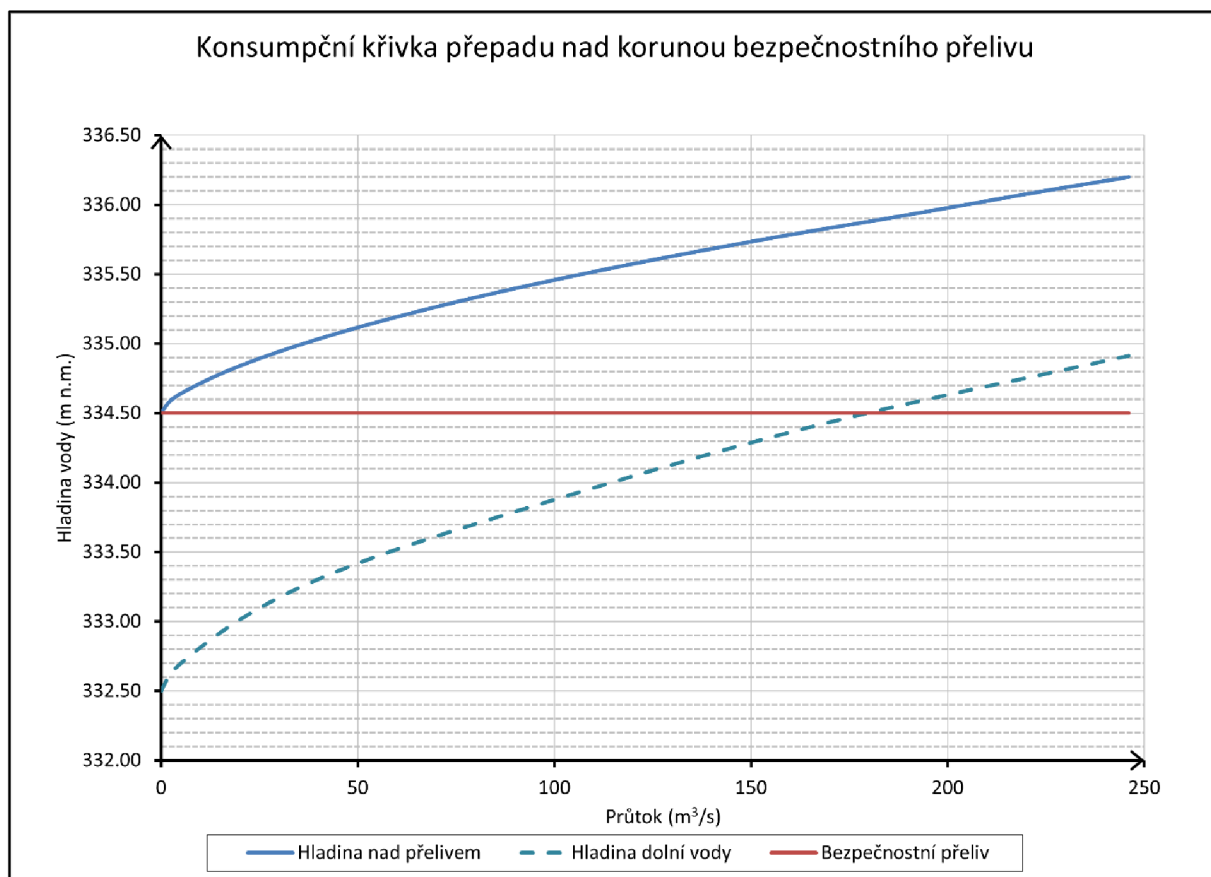
Výpočet byl proveden stejným způsobem jako v předchozím případě. Byla ověřena schopnost jezu převést $Q_{100} = 233 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tab. 12 – Přepad nad úrovní bezpečnostního přelivu – výchozí hodnoty

Koruna přelivu	H_k	334.50	m n. m.
Délka přelivu (koruny)	B	55.2	m
Počet obtékaných bočních hran pilířů	n	2	počet
Součinitel tvaru obtékaných hran	C_p	1	-
Kóta dna před jezem (přelivem)	H_d	332.70	m n. m.
Šířka toku před přelivem	B_t	40	m

Tab. 13 - Přepad nad bezpečnostním přelivem – výpočet přepadového množství

HHV	v_0	h	m	h_0	B_0	Q	σ_{zat}	HDV
[m n. m.]	[m/s]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m ³ /s]	[-]	[m n. m.]
334.50	0.00	0.00	0.000	0.000	55.20	0.000	1.000	332.50
334.60	0.04	0.10	0.370	0.100	55.18	2.863	1.000	332.64
334.70	0.11	0.20	0.410	0.201	55.16	9.003	1.000	332.79
334.80	0.20	0.30	0.410	0.302	55.14	16.619	1.000	332.95
334.90	0.29	0.40	0.410	0.404	55.12	25.739	1.000	333.11
335.00	0.39	0.50	0.410	0.508	55.10	36.219	1.000	333.26
335.10	0.50	0.60	0.410	0.613	55.08	47.974	1.000	333.40
335.20	0.61	0.70	0.410	0.719	55.06	60.950	1.000	333.53
335.30	0.72	0.80	0.410	0.827	55.03	75.111	1.000	333.66
335.40	0.84	0.90	0.410	0.936	55.01	90.433	1.000	333.79
335.50	0.95	1.00	0.410	1.046	54.99	106.903	1.000	333.94
335.60	1.07	1.10	0.410	1.159	54.97	124.513	1.000	334.08
335.70	1.19	1.20	0.410	1.273	54.95	143.260	1.000	334.24
335.80	1.32	1.30	0.410	1.388	54.92	163.145	1.000	334.39
335.90	1.44	1.40	0.410	1.506	54.90	184.172	1.000	334.53
336.00	1.55	1.50	0.410	1.622	54.88	204.462	0.993	334.66
336.10	1.65	1.60	0.410	1.739	54.85	224.595	0.983	334.78
336.20	1.76	1.70	0.410	1.857	54.83	246.033	0.976	334.91



Obr. 12 - Konsumpční křivka přepadu nad úrovní bezpečnostního přelivu

B.1.1.3 Konsumpční křivka koryta pod jezem

Pro výpočet hladiny dolní vody bylo uvažováno s lichoběžníkovým korytem a byly využity tyto vztahy dle [12]:

$$S = b \cdot h + \frac{m_1 \cdot h^2}{2} + \frac{m_2 \cdot h^2}{2} \quad (1.10)$$

$$O = b + h \cdot \sqrt{1 + m_1^2} + h \cdot \sqrt{1 + m_2^2} \quad (1.11)$$

$$R = \frac{S}{O} \quad (1.12)$$

$$n = \frac{\sum O_i \cdot n_i}{O} \quad (1.13)$$

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n} \quad (1.14)$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (1.15)$$

$$Q = S \cdot v \quad (1.16)$$

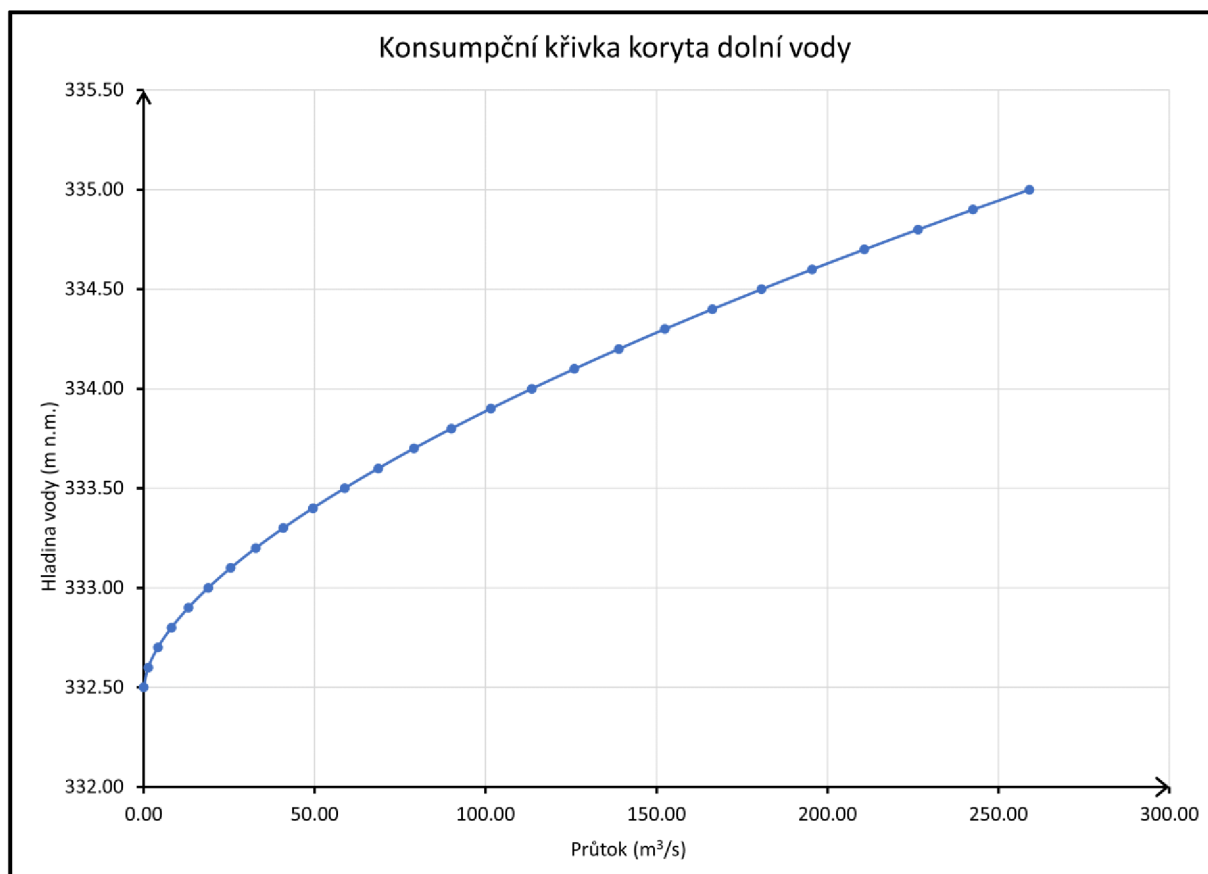
kde: S..... průtočná plocha koryta
b..... šířka dna koryta
m..... sklon svahu
h..... výška hladiny vody
O..... omočený obvod
R..... hydraulický poloměr
n..... drsnost dna
C..... Chézyho rychlostní součinitel
i..... sklon
Q..... průtok

Tab. 14 – Konsumpční křivka koryta pod jezem – výchozí hodnoty

Šířka dna	b	20	m
Sklon svahů (1 : m)	m	1	-
Podélný sklon	i	0.005	-
Drsnost dna (Manning) [12]	n_b	0.023	-
Drsnost svahů (Manning) [12]	n_s	0.033	-
Nadmořská výška dna	H_{dno}	332.50	m n. m.

Tab. 15 – Konsumpční křivka koryta pod jezem - výpočet

Hladina vody [m n. m.]	h [m]	S [m ²]	O [m]	R [m]	n [-]	C [m ^{0.5} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
332.50	0.00	0.000	20.00	0.00	0.023	0.00	0.00	0.00
332.60	0.10	2.010	20.28	0.10	0.023	29.45	0.66	1.32
332.70	0.20	4.040	20.57	0.20	0.023	32.87	1.03	4.16
332.80	0.30	6.090	20.85	0.29	0.023	34.97	1.34	8.14
332.90	0.40	8.160	21.13	0.39	0.023	36.49	1.60	13.08
333.00	0.50	10.250	21.41	0.48	0.023	37.67	1.84	18.89
333.10	0.60	12.360	21.70	0.57	0.024	38.64	2.06	25.49
333.20	0.70	14.490	21.98	0.66	0.024	39.44	2.26	32.81
333.30	0.80	16.640	22.26	0.75	0.024	40.13	2.45	40.82
333.40	0.90	18.810	22.55	0.83	0.024	40.72	2.63	49.47
333.50	1.00	21.000	22.83	0.92	0.024	41.25	2.80	58.74
333.60	1.10	23.210	23.11	1.00	0.024	41.71	2.96	68.60
333.70	1.20	25.440	23.39	1.09	0.024	42.13	3.11	79.03
333.80	1.30	27.690	23.68	1.17	0.024	42.50	3.25	89.99
333.90	1.40	29.960	23.96	1.25	0.024	42.84	3.39	101.49
334.00	1.50	32.250	24.24	1.33	0.024	43.15	3.52	113.49
334.10	1.60	34.560	24.53	1.41	0.024	43.43	3.65	125.99
334.20	1.70	36.890	24.81	1.49	0.024	43.69	3.77	138.97
334.30	1.80	39.240	25.09	1.56	0.025	43.93	3.88	152.43
334.40	1.90	41.610	25.37	1.64	0.025	44.15	4.00	166.35
334.50	2.00	44.000	25.66	1.71	0.025	44.35	4.11	180.71
334.60	2.10	46.410	25.94	1.79	0.025	44.54	4.21	195.53
334.70	2.20	48.840	26.22	1.86	0.025	44.72	4.32	210.77
334.80	2.30	51.290	26.51	1.94	0.025	44.89	4.42	226.45
334.90	2.40	53.760	26.79	2.01	0.025	45.04	4.51	242.55
335.00	2.50	56.250	27.07	2.08	0.025	45.19	4.61	259.07



Obr. 13 - Konsumpční křivka koryta pod jezem

B.1.2 Propustek pod cestou a náhon

Povolený odběr z toku od jezu činí $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Investor si ale výslovně vyžádal, aby byla vodní cesta navrhována na návrhový průtok $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Na základě této skutečnosti byl také prováděn návrh.

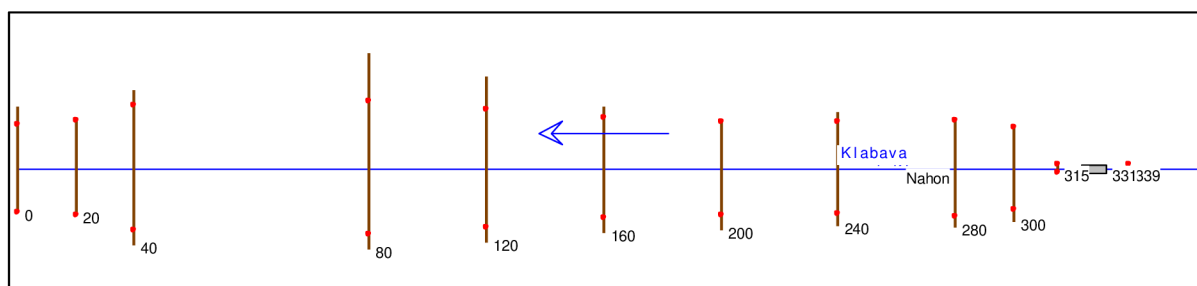
Beztlaková část přivaděče od jezu až po konec náhonu, včetně propustku, byla posouzena pomocí programu HEC-RAS. Nejdříve byla do programu zadána geometrická data (Obr. 14). Data byla zadána na základě geometrického zaměření a vlastního návrhu náhonu, zpracovaném ve výkresové části příloh s označením 1.2.1 až 1.2.6. Drsnost byla stanovena dle [12]. Do programu byly rovněž vloženy parametry propustku, aby se ověřila jeho kapacita. Poté byl nastaven návrhový průtok $Q_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a stanovena podmínka na známou provozní hladinu na vstupu do tunelu, která činí $334,24 \text{ m n. m.}$ Poté jsme již nechali program zpracovat výsledky, které jsou uvedeny v tabulce Tab. 16. Z výsledků je patrné, že nedojde k úplnému zaplavení propustku a také nedojde k přelití vody z navržené vodní cesty, čímž je kapacita obou objektů úspěšně ověřena. Hladina vody před nátokem do propustku oproti hladině na jezu mírně klesne, jelikož se zvýší rychlost, a tím i rychlostní výška. Naopak u výstupu z propustku rychlostní výška klesne, a tím

dojde ke zvýšení polohy hladiny. Rovněž je z výsledků patrná ztráta, kterou získáme z rozdílu výšek na začátku a na konci úseku. Přehledně jsou výsledky znázorněny na obrázcích Obr. 15 a Obr. 16.

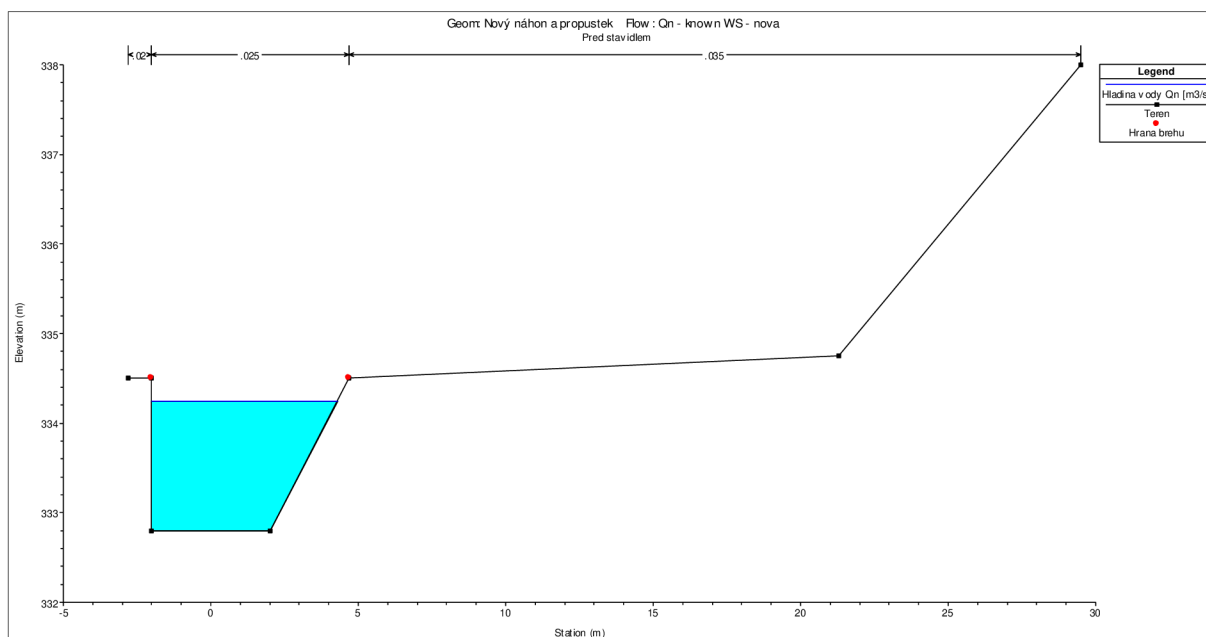
Tab. 16 – Výsledné hodnoty z programu HEC-RAS

Úsek	Staničení	Průtok	Q	h_{max}	H_{dno}	$H_{hladina}$	$H_{břeh,l}$	$H_{břeh,p}$	v	S
	[m]		[m ³ /s]	[m]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m/s]	[m ²]
Jez	364	Q_N	2.5	1.45	332.80	334.25	334.50	334.50	0.33	7.49
Jez	339	Q_N	2.5	1.54	332.70	334.24	335.50	335.50	0.54	4.62
Propustek	331	Q_N	2.5	1.53	332.70	334.23	335.50	335.50	0.54	4.59
	315	Q_N								
Náhon	300	Q_N	2.5	1.65	332.59	334.24	336.77	338.11	0.15	16.58
Náhon	280	Q_N	2.5	1.75	332.49	334.24	336.86	338.11	0.10	23.98
Náhon	240	Q_N	2.5	1.93	332.31	334.24	336.38	337.52	0.10	25.91
Náhon	200	Q_N	2.5	2.12	332.12	334.24	335.50	342.30	0.12	21.57
Náhon	160	Q_N	2.5	2.31	331.93	334.24	335.50	339.71	0.08	32.48
Náhon	120	Q_N	2.5	2.50	331.74	334.24	335.50	337.44	0.04	60.28
Náhon	80	Q_N	2.5	2.69	331.55	334.24	335.50	336.25	0.03	77.08
Náhon	40	Q_N	2.5	2.88	331.36	334.24	335.50	335.95	0.03	79.65
Náhon	20	Q_N	2.5	2.97	331.27	334.24	336.07	335.90	0.06	42.18
Náhon	0	Q_N	2.5	3.07	331.17	334.24	336.24	336.29	0.05	48.65

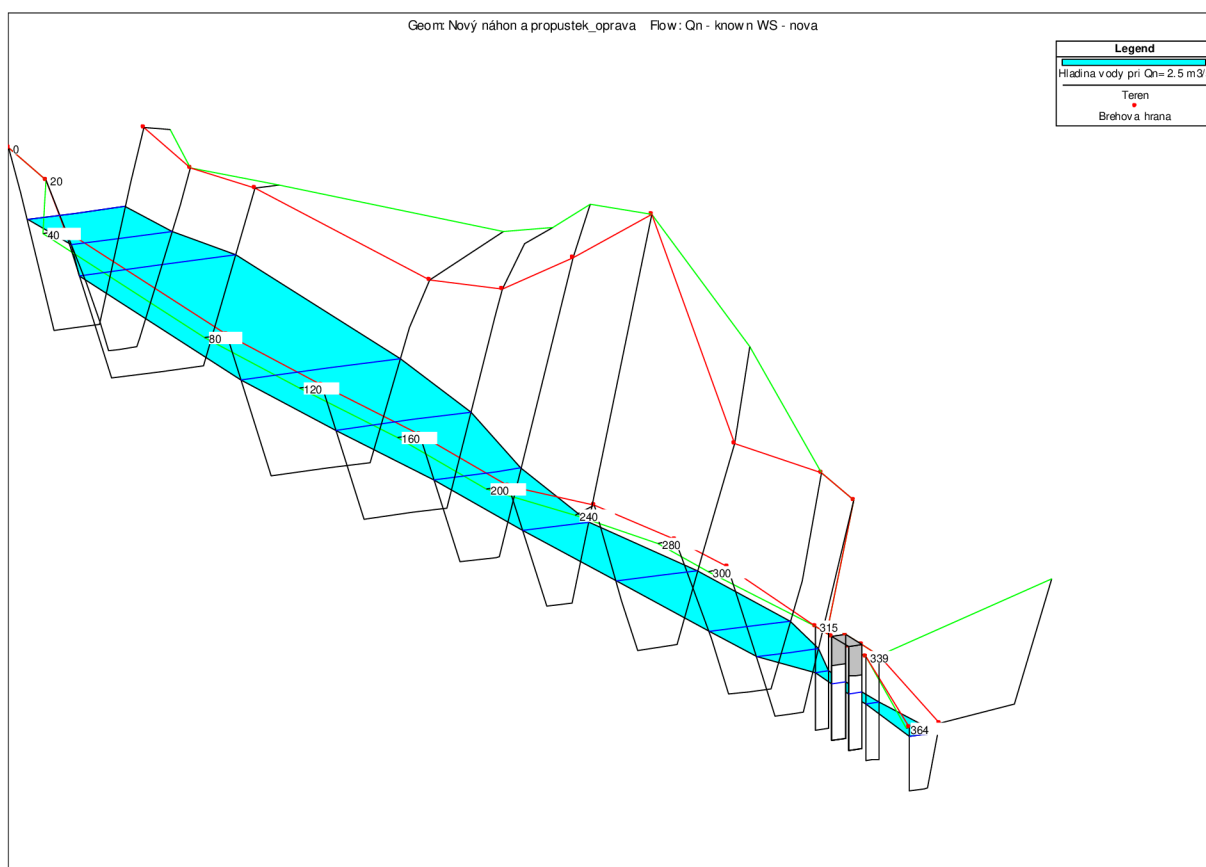
kde: Q..... průtok
 h_{max} výška hladiny
 H_{dno} kóta dna koryta
 $H_{hladina}$ kóta hladiny vody
 $H_{břeh,l}$ kóta levého břehu
 $H_{břeh,p}$ kóta pravého břehu
v..... rychlost vody v korytě
S..... průtočná plocha koryta



Obr. 14 – Schéma situace geometrie propustku a náhonu dle programu HEC-RAS



Obr. 15 – Schéma zatopení koryta před propustkem při průtoku $Q_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$



Obr. 16 - Prostorové schéma zaplavení koryta před vtokem do propustku po konec náhonu při průtoku $Q_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$

B.2 Výpočet ztrát na česlích

Pro výpočet byla použita Kirschmerova metoda [13] později upravená Holatou [15]. Metoda byla ještě upravena po konzultaci s Ing. Karlem Kramlem na základě zkušenosti tak, že nebylo počítáno s celkovým průřezem koryta, ale pouze s čistou plochou otvorů mezi česlicemi.

Tvarový součinitel β česlic byl stanoven pro obdélníkový průřez dle obrázku Obr. 17. 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.

$$d_z = \beta \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{Q^2}{((F_n \cdot (1-p) - h' \cdot B)^2 \cdot 2 \cdot g) \cdot k_p \cdot k_\delta} \quad (1.17)$$

$$b' = B - \frac{B \cdot s}{b + s} \quad (1.18)$$

$$v_0 = \frac{Q}{F_n} \quad (1.19)$$

$$v = \frac{Q}{B \cdot h} \quad (1.20)$$

$$F = B \cdot h \quad (1.21)$$

$$F_n = b' \cdot h \cdot (1-p) - h' \cdot b' \quad (1.22)$$

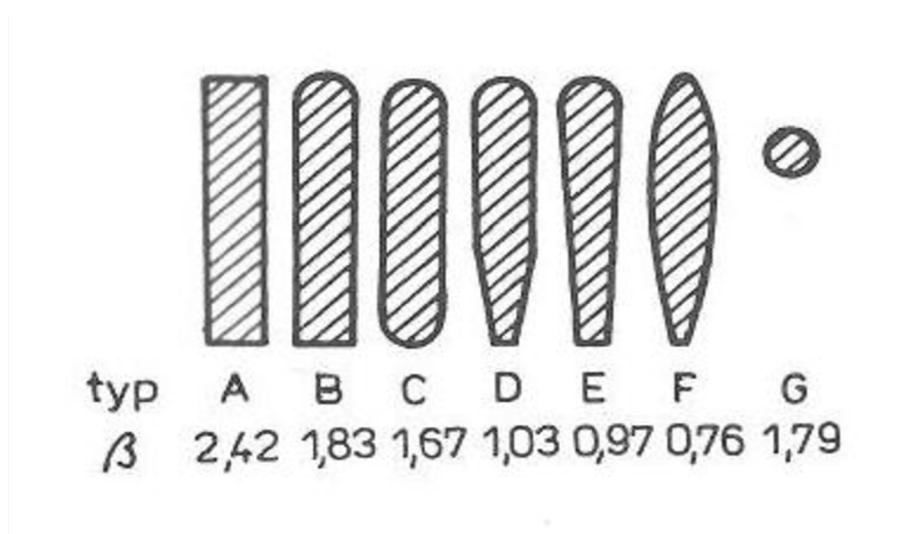
$$h = \frac{h_d}{\sin \alpha} \quad (1.23)$$

Tab. 17 – Ztráty na česlích – výchozí hodnoty

Rozteč mezi česlicemi	b	0.020	m
Šířka česlic	s	0.006	m
Tvar česlic	β	2.42	-
Úhel se dnem	α	60	°
Úhel se dnem	α	1.0472	rad
Vliv podpůrných nosníků [15]	k_p	1.10	-
Vliv směru obtékání česlic [15]	k_δ	4	-
Průtok	Q	2.500	m ³ /s
Ucpaná část plochy česlí splaveninami	p	10%	-
Celková šířka česlí	B	2.85	m
Hloubka vody	h_d	2.90	m
Výška podpůrného nosníku	h'	0.15	m

Tab. 18 – Ztráty na česlích - výpočet

Celková čistá šířka mezer mezi česlicemi	b'	2.19	m
Rychlost mezi česlicemi	v_o	0.40	m/s
Rychlost před česlemi	v	0.26	m/s
Plocha rámu česlí	F	9.54	m ²
Plocha mezi česlicemi celková	F_n	6.278	m ²
Délka česlic	h	3.35	m
Místní ztráta	d_z	2.50	cm



Obr. 17 – Tvarové součinitele β česlic různých profilů [13]

B.3 Výpočet celkových ztrát vodní cesty

B.3.1 Varianta 1 se zatopeným tunelem

Pro výpočet výroby energie bylo nutné stanovit celkové ztráty od vtokového koryta až po výtok ze savky. Na pokyn investora byl návrhový průtok uvažován pro maximální hltnost turbíny 2,4 m³/s, přestože povolené množství odběru činí 2,3 m³/s.

Ztráty vtokového koryta byly na základě konzultace s Ing. Karlem Kramlem, uvažovány na stranu bezpečnosti 10 cm. Ztráty vtokového koryta, tedy beztlakové části derivace, byly stanoveny pomocí programu HEC-RAS v příloze B.1.2. Ztrátové součinitele a použité vzorce byly převzaty z [12]:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1.24)$$

$$h_m = \xi \cdot n \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (1.25)$$

$$h_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (1.26)$$

Pro výpočet součinitele tření byla použita Moodyho rovnice [12] a bylo ověřeno, že turbulentní proudění se nachází v přechodové oblasti.

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left(1 + \left(2 \cdot 10^4 \cdot \frac{k}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \quad (1.27)$$

$$\text{pro: } Re \geq 4 \cdot 10^3$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (1.28)$$

$$h_z = h_m + h_t \quad (1.29)$$

$$K = \frac{\Sigma h_z}{Q^2} \quad (1.30)$$

Tab. 19 – Celkové ztráty, varianta 1 - obecné vstupní údaje

Návrhový průtok	$Q_N =$	2.4	m ³ /s
Coriolisovo číslo	$\alpha =$	1.05	-
Gravitační zrychlení	$g =$	9.81	m/s ²
Kinematická viskozita vody	$\nu =$	0.000001307	m ² /s

Tab. 20 - Celkové ztráty, varianta 1 – výpočet 1. úseku

1) Úsek č.1

Tunel

Průměr	DN ₁	3.6	m
Průřezová plocha	A ₁	10.179	m ²
Délka	L ₁	1560	m
Rychlost	v ₁	0.236	m/s
Absolutní drsnost	k ₁	2.000	mm

Místní ztráty	Σ h_{m1}	0.11	m
Dílčí místní ztráty	ξ [-]	počet	h _m [m]
Ztráty vtokového koryta	3.36	1	0.01
Česle	33.61	1	0.1

Ztráty třením	h_{t1}	0.024	m
Reynoldsovo kritérium	Re	649446	-
	$Re \geq 4 \cdot 10^3$	Moody platí	
Součinitel tření	λ ₁	0.0183	-

Režim turbulentního proudění:			
Tloušťka mezní vrstvy	δ	0.0014	m
Hydraulicky hladké potrubí	δ > 5k	NE	
Kvadratická oblast	$Re > \frac{191D}{\sqrt{\lambda} \cdot \Delta}$	NE	
Přechodová oblast		ANO	

Celkové ztráty	h_{z1}	0.134	m
-----------------------	-----------------------	--------------	----------

Tab. 21 - Celkové ztráty, varianta 1 – výpočet 2. úseku

2) Úsek č.2

Vtokové potrubí

Průměr	DN ₂	1	m
Průřezová plocha	A ₂	0.785	m ²
Délka	L ₂	10	m
Rychlost	v ₂	3.056	m/s
Absolutní drsnost	k ₂	0.100	mm

Místní ztráty	Σ h_{m2}	0.660	m
Dílčí místní ztráty	ξ [-]	počet	h _m [m]
Vtok potrubí	0.50	1	0.250
Koleno 15°	0.06	2	0.060
Montážní vložka	0.08	1	0.040
Uzávěr turbíny	0.50	1	0.250
Savka	0.12	1	0.060

Ztráty třením	h_{t2}	0.064	m
Reynoldsovo kritérium	Re	2338007	-
	$Re \geq 4 \cdot 10^3$	Platnost potvrzena	
Součinitel tření	λ ₂	0.0129	-

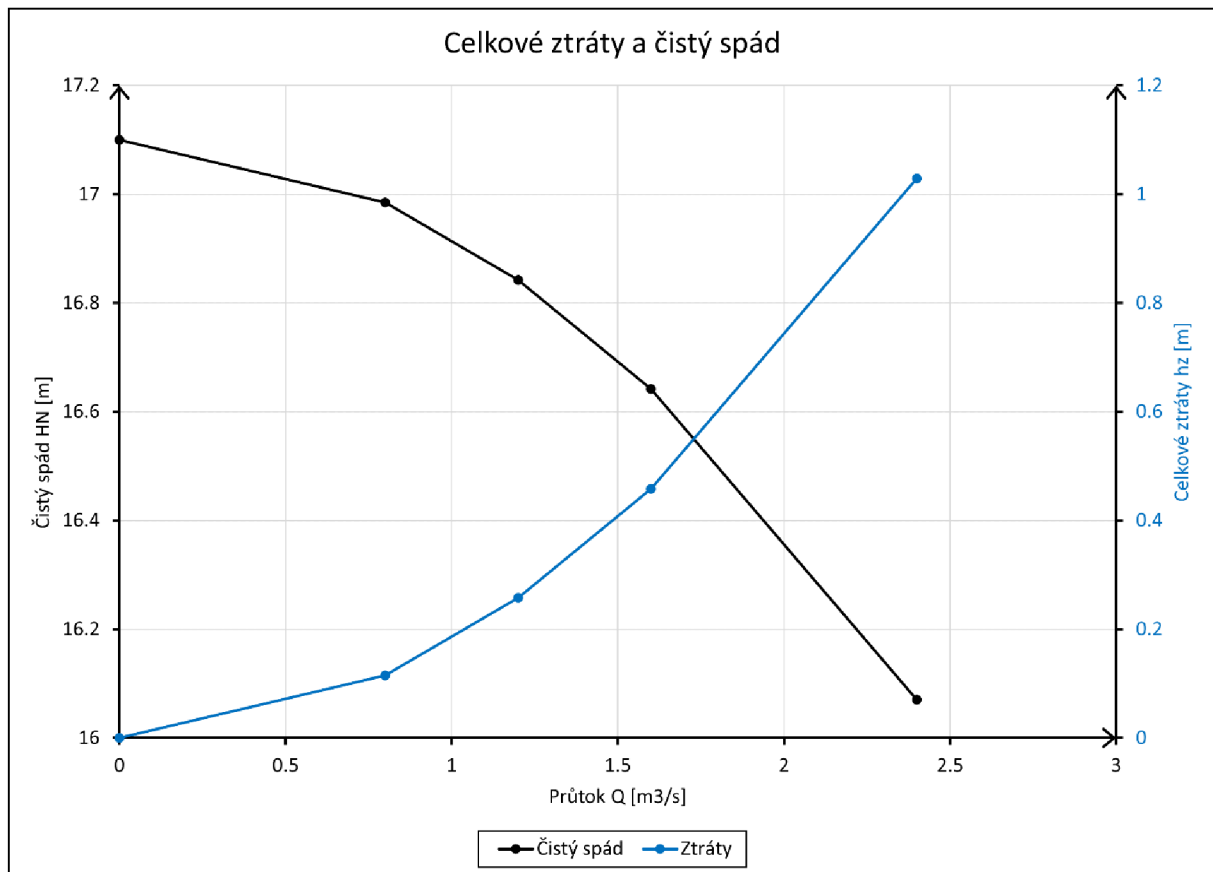
Režim turbulentního proudění:			
Plouščka mezní vrstvy	δ	0.0001	m
Hydraulicky hladké potrubí	$\delta > 5k$	NE	
Kvadratická oblast	$Re > \frac{191D}{\sqrt{\lambda} \cdot \Delta}$	NE	
Přechodová oblast		ANO	

Celkové ztráty	h_{z2}	0.724	m
-----------------------	-----------------------	--------------	----------

Tab. 22 - Celkové ztráty, varianta 1 – výsledné hodnoty

3) Celkové ztráty

Nadm. výška horní vody	H_H	334.20	m n. m.
Nadm. výška dolní vody	H_D	317.10	m n. m.
Hrubý spád	H_B	17.1	m
Čistý spád	H_N	16.071	m
Celkové místní ztráty	Σh_m	0.770	m
Celkové ztráty třením	Σh_t	0.088	m
Celkové ztráty	Σh_z	0.858	m
Rezerva		20	%
Celkové ztráty při Q_N	Σh_z	1.029	m
Ztrátový koeficient	K	0.1787	-



Obr. 18 - Celkové ztráty, varianta 1 – závislost ztrát a spádu na průtoku

B.3.2 Varianta 2 se sklolaminátovým potrubím

Výpočet byl proveden stejným způsobem jako u varianty 1. Po konzultaci s Ing. Karlem Kramlem byla určena drsnost sklolaminátového potrubí $k = 0,1$ mm, do níž byly zobrazeny sváry potrubí, opotřebení, zanesení a nestabilita ovality.

Tab. 23 - Celkové ztráty, varianta 2 - obecné vstupní údaje

Návrhový průtok	Q_N	2.4	m^3/s
Coriolisovo číslo	α	1.05	-
Gravitační zrychlení	g	9.81	m/s^2
Kinematická viskozita vody	ν	0.000001307	m^2/s

Tab. 24 - Celkové ztráty, varianta 2 - výpočet

Přivaděč

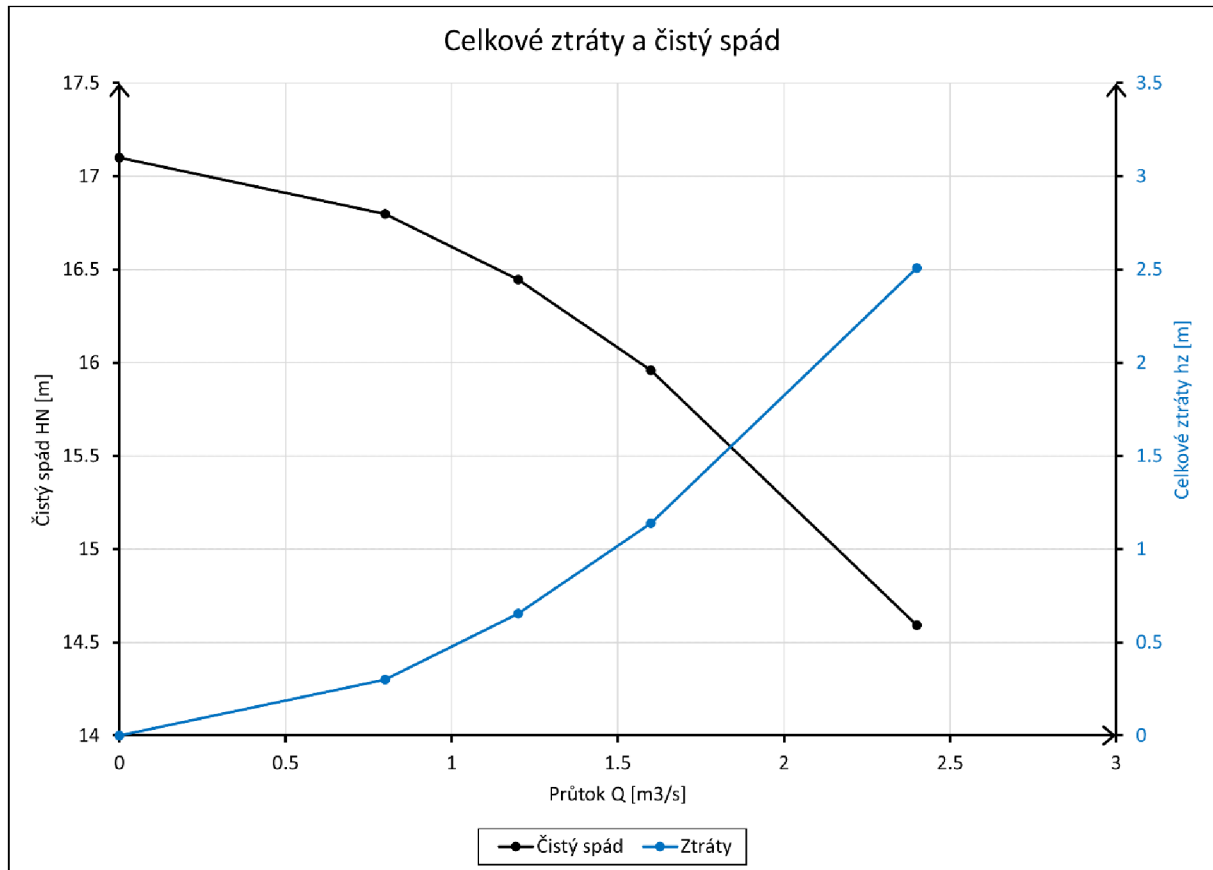
Průměr	DN	1.4	m
Průřezová plocha	A	1.539	m^2
Délka	L	1570	m
Rychlost	v	1.559	m/s
Absolutní drsnost	k	0.100	mm

Místní ztráty	Σh_m	0.272	m
Díličí místní ztráty	$\xi [-]$	počet	$h_m [m]$
Ztráty vtokového koryta	0.08	1	0.01
Česle	0.77	1	0.1
Vtok do potrubí	0.13	1	0.017
Zúžení profilu	0.30	1	0.039
Koleno 15°	0.06	2	0.016
Montážní vložka	0.08	1	0.010
Uzávěr turbíny	0.50	1	0.065
Savka	0.12	1	0.016

Ztráty třením	h_t	1.818	m
Reynoldsovo kritérium	Re	1670005	-
	$Re \geq 4 \cdot 10^3$	Platnost potvrzena	
Součinitel tření	λ	0.0125	-
Režim turbulentního proudění:			
Kvadratická oblast	$Re > \frac{191D}{\sqrt{\lambda} \cdot \Delta}$	NE	
Přechodová oblast		ANO	
Celkové ztráty	h_z	2.090	m

Tab. 25 - Celkové ztráty, varianta 2 – výsledné hodnoty

Nadm. výška horní vody	H_H	334.20	m n. m.
Nadm. výška dolní vody	H_D	317.10	m n. m.
Hrubý spád	H_B	17.1	m
Čistý spád	H_N	14.592	m
Celkové místní ztráty	Σh_m	0.272	m
Celkové ztráty třením	Σh_t	1.818	m
Celkové ztráty	Σh_z	2.090	m
Rezerva		20	%
Celkové ztráty při Q_N	Σh_z	2.508	m
Ztrátový koeficient	K	0.4354	-



Obr. 19 - Celkové ztráty, varianta 2 – závislost ztrát a spádu na průtoku

B.4 Výpočet výroby energie

B.4.1 Varianta 1 se zatopeným tunelem

Výpočet výroby energie byl vypracován s ohledem na striktní požadavek investora, aby hlnost turbíny činila 2,4 m³/s. Ztráty byly vyjádřeny pomocí ztrátového součinitele K, který byl stanoven v příloze B.3. Účinnosti turbíny a generátoru byly převzaty přímo od výrobců z podkladů dodaných firmou Stream. Na turbostrojí nebude instalována převodovka, tudíž uvažujeme s účinností 100 %. Maximální povolený výkon MVE činí 300 kW, proto bude případně instalován i omezovač výkonu.

Průtoky budou regulovány pomocí hladinové regulace. U jezu bude pomocí turbíny udržována provozní hladina 334,24 m n. m. a na výtoku ze savky je hladina na kótě 317,10 m n. m. Pokud průtok překročí hlnost 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 335,20 m n. m. Tyto změny byly nařízeny z důvodu rezervy pro zabezpečení deklarované výroby energie. Výrobce garantuje, že pokud nebude rozdíl dolní hladiny a osy oběžného kola větší než 2 m, ke kavitaci vůbec nedojde. To bylo zohledněno v technickém návrhu strojovny.

Pro výpočet byly použity tyto vztahy dle [13]:

$$H_B = H_H - H_D \quad (1.31)$$

$$H_N = H_B - K \cdot Q^2 \quad (1.32)$$

$$P = \mu_T \cdot \mu_P \cdot \mu_G \cdot H_N \cdot Q_t \cdot g \cdot \rho \quad (1.33)$$

$$E = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot t \quad (1.34)$$

Byla také stanovena doba využití instalovaného výkonu dle [13]:

$$\sigma = \frac{E_{rok}}{P_{inst}} \quad (1.35)$$

kde: E_{rok} průměrná roční výroba energie

P_{inst} instalovaný výkon

Tab. 26 – Výroba energie, varianta 1 – vstupní hodnoty

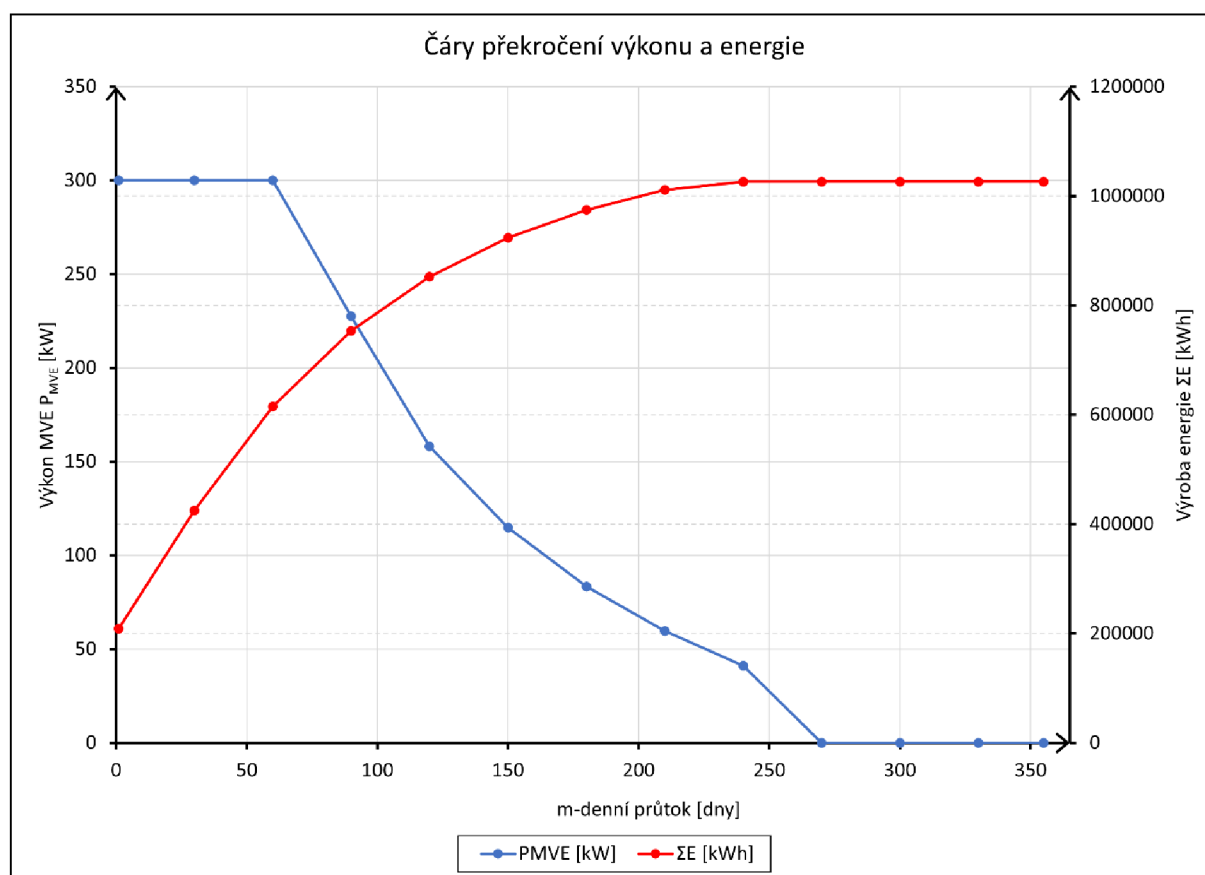
Návrhový průtok (hltnost turbíny)	Q_N	2.4	m ³ /s
Minimální hygienický průtok v řece	Q_{hyg}	0.4	m ³ /s
Hladina horní vody	H_H	334.20	m n. m.
Hladina dolní vody	H_D	317.10	m n. m.
Ztrátový koeficient	K	0.1787	-
Gravitační zrychlení	g	9.81	m/s ²
Typ turbíny	Kaplan vertical		
Hltnost	Q_{MAX}	2.4	m ³ /s
Minimální hltnost	Q_{MIN}	0.24	m ³ /s
Účinnost převodovky	μ_P	1.00	-
Maximální povolený výkon MVE	P_{MVE}	300	kW

Tab. 27 - Výroba energie, varianta 1 – výpočet

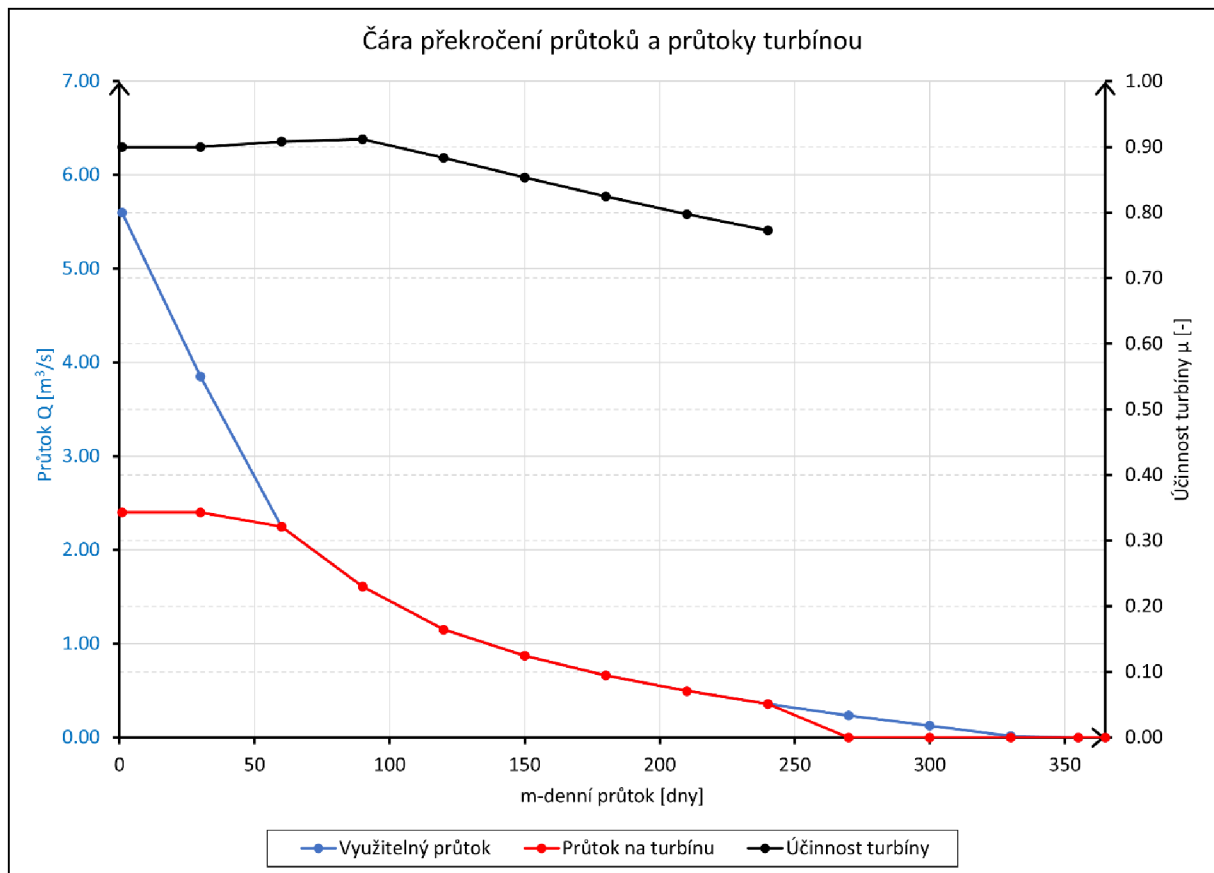
m-denní průtok	Průtok v toku	Využitelný průtok	Průtok na turbínu	Hrubý spád	Čistý spád	Účinnost turbíny	Účinnost generátoru	Výkon turbíny	Výkon generátoru	Výkon MVE	Výroba energie MVE	Celková výroba energie
m	Q_m	$Q_{využ}$	Q_t	H_B	H_N	μ_T	μ_G	P_T	P_G	P_{MVE}	E	ΣE
[dny]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh]	[kWh]
1	6.000	5.60	2.40	17.10	16.07	0.90	0.95	341	324	300	208800	208800
30	4.250	3.85	2.40	17.10	16.07	0.90	0.95	341	324	300	216000	424800
60	2.650	2.25	2.25	17.10	16.20	0.91	0.95	325	309	300	189939	614739
90	2.010	1.61	1.61	17.10	16.64	0.91	0.95	240	228	228	138898	753637
120	1.550	1.15	1.15	17.10	16.86	0.88	0.94	168	158	158	98324	851961
150	1.270	0.87	0.87	17.10	16.96	0.85	0.93	124	115	115	71364	923325
180	1.060	0.66	0.66	17.10	17.02	0.82	0.92	91	83	83	51509	974834
210	0.895	0.50	0.50	17.10	17.06	0.80	0.90	66	60	60	36343	1011177
240	0.757	0.36	0.36	17.10	17.08	0.77	0.89	46	41	41	14834	1026011
270	0.634	0.23	0.00	17.10	17.10	0.00	0.85	0	0	0	0	1026011
300	0.525	0.13	0.00	17.10	17.10	0.00	0.85	0	0	0	0	1026011
330	0.415	0.02	0.00	17.10	17.10	0.00	0.85	0	0	0	0	1026011
355	0.290	0.00	0.00	17.10	17.10	0.00	0.85	0	0	0	0	1026011
365	0.146	0.00	0.00	17.10	17.10	0.00	0.85	0	0	0	-	-

Tab. 28 - Výroba energie, varianta 1 – výsledné hodnoty

Maximální výkon turbíny	$P_{T,max}$	341	kW
Maximální výkon generátoru	$P_{G,max}$	324	kW
Maximální výkon MVE	P_{MVE}	300	kW
Celková výroba energie MVE			
Průměrná roční výroba energie	ΣE	1026011	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	-
Průměrná roční výroba energie	ΣE	930592	kWh
Doba využití instalovaného výkonu	σ	3102	h



Obr. 20 - Výroba energie, varianta 1 – čáry překročení výkonu a energie



Obr. 21 - Výroba energie, varianta 1 – čáry překročení průtoků, účinnost a průtoky turbínou

B.4.2 Varianta 2 se sklaminátovým potrubím

Výpočet byl proveden stejným postupem, jako varianta 1 [13].

Tab. 29 - Výroba energie, varianta 2 - vstupní hodnoty

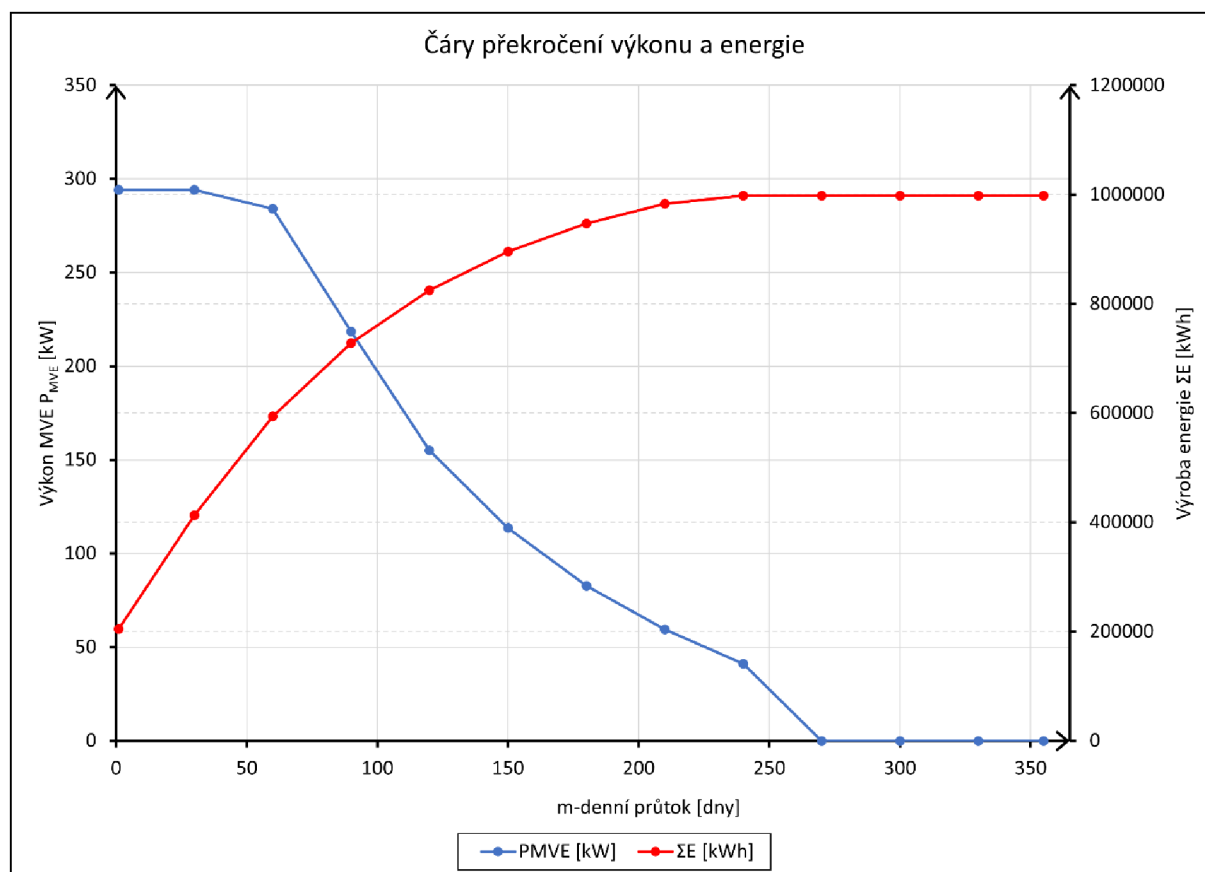
Návrhový průtok (hltnost turbíny)	Q_N	2.4	m ³ /s
Minimální hygienický průtok v řece	Q_{hyg}	0.4	m ³ /s
Hladina horní vody	H_H	334.20	m n. m.
Hladina dolní vody	H_D	317.10	m n. m.
Ztrátový koeficient	K	0.4354	-
Typ turbíny	Kaplan vertical		
Hltnost	Q_{MAX}	2.4	m ³ /s
Minimální hltnost	Q_{MIN}	0.24	m ³ /s
Účinnost převodovky	μ_P	1.00	-
Maximální povolený výkon MVE	P_{MVE}	300	kW

Tab. 30 - Výroba energie, varianta 2 - výpočet

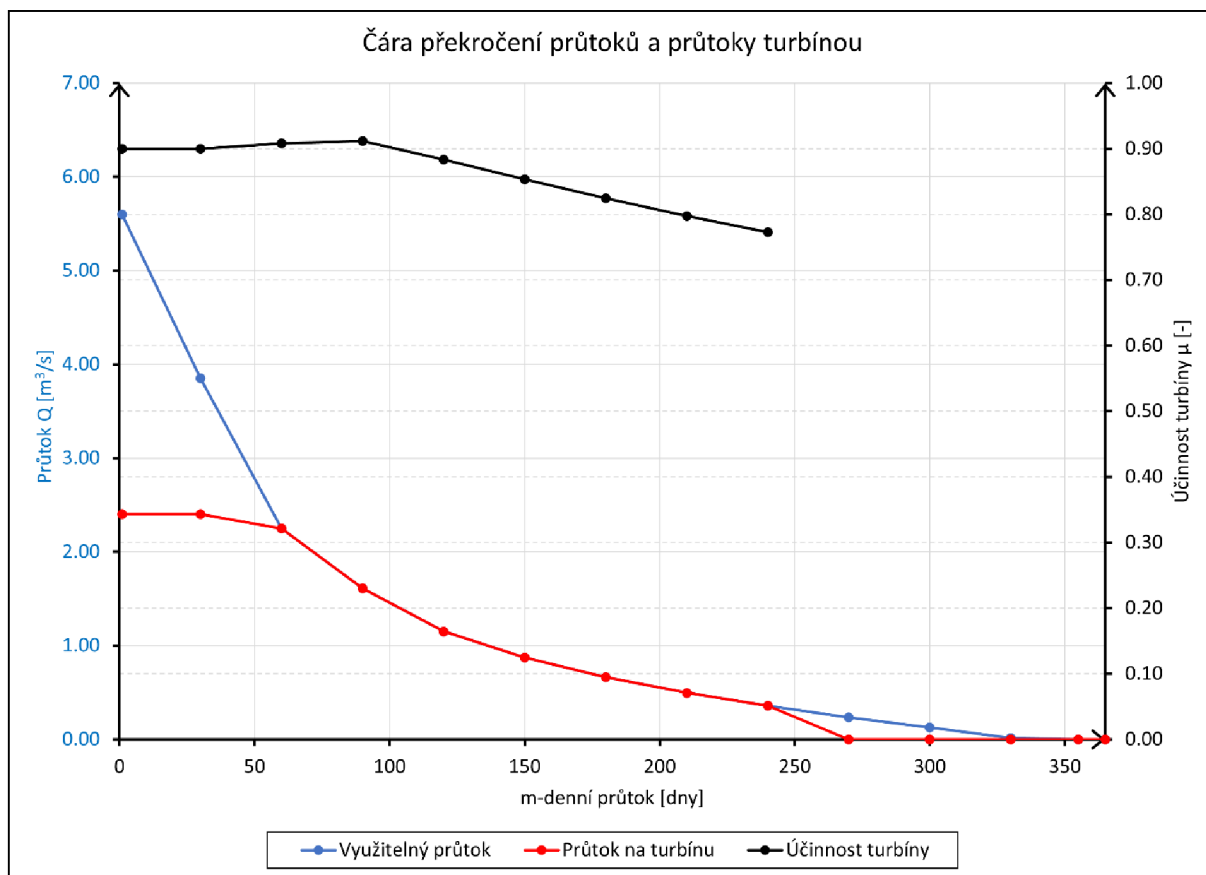
m-denní průtok	Průtok v toku	Využitelný průtok	Průtok na turbínu	Hrubý spád	Čistý spád	Účinnost turbíny	Účinnost převodovky	Účinnost generátoru	Výkon turbíny	Výkon generátoru	Výkon MVE	Výroba MVE	Celková výroba energie
m	Q_m	Q_{vyuz}	Q_t	H_B	H_N	μ_T	μ_P	μ_G	P_T	P_G	P_{MVE}	E	ΣE
[dny]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh]	[kWh]
1	6.000	5.60	2.40	17.10	14.59	0.90	1.00	0.95	309	294	294	204659	204659
30	4.250	3.85	2.40	17.10	14.59	0.90	1.00	0.95	309	294	294	208087	412745
60	2.650	2.25	2.25	17.10	14.90	0.91	1.00	0.95	299	284	284	180890	593635
90	2.010	1.61	1.61	17.10	15.97	0.91	1.00	0.95	230	219	219	134474	728110
120	1.550	1.15	1.15	17.10	16.52	0.88	1.00	0.94	165	155	155	96703	824813
150	1.270	0.87	0.87	17.10	16.77	0.85	1.00	0.93	122	114	114	70693	895506
180	1.060	0.66	0.66	17.10	16.91	0.82	1.00	0.92	90	83	83	51233	946739
210	0.895	0.50	0.50	17.10	16.99	0.80	1.00	0.90	66	60	60	36235	982974
240	0.757	0.36	0.36	17.10	17.04	0.77	1.00	0.89	46	41	41	14805	997779
270	0.634	0.23	0.00	17.10	17.10	0.00	1.00	0.85	0	0	0	0	997779
300	0.525	0.13	0.00	17.10	17.10	0.00	1.00	0.85	0	0	0	0	997779
330	0.415	0.02	0.00	17.10	17.10	0.00	1.00	0.85	0	0	0	0	997779
355	0.290	0.00	0.00	17.10	17.10	0.00	1.00	0.85	0	0	0	0	997779
365	0.146	0.00	0.00	17.10	17.10	0.00	1.00	0.85	0	0	0	-	-

Tab. 31 - Výroba energie, varianta 2 – výsledné hodnoty

Maximální výkon turbíny	$P_{T,max}$	309	kW
Maximální výkon generátoru	$P_{G,max}$	294	kW
Maximální výkon MVE	P_{MVE}	294	kW
Celková výroba energie MVE			
Průměrná roční výroba energie	ΣE	997779	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	-
Průměrná roční výroba energie	ΣE	904986	kWh
Doba využití instalovaného výkonu	σ	3078	h



Obr. 22 - Výroba energie, varianta 2 – čáry překročení výkonu a energie



Obr. 23 - Výroba energie, varianta 2 – čáry překročení průtoků, účinnost a průtoky turbínou

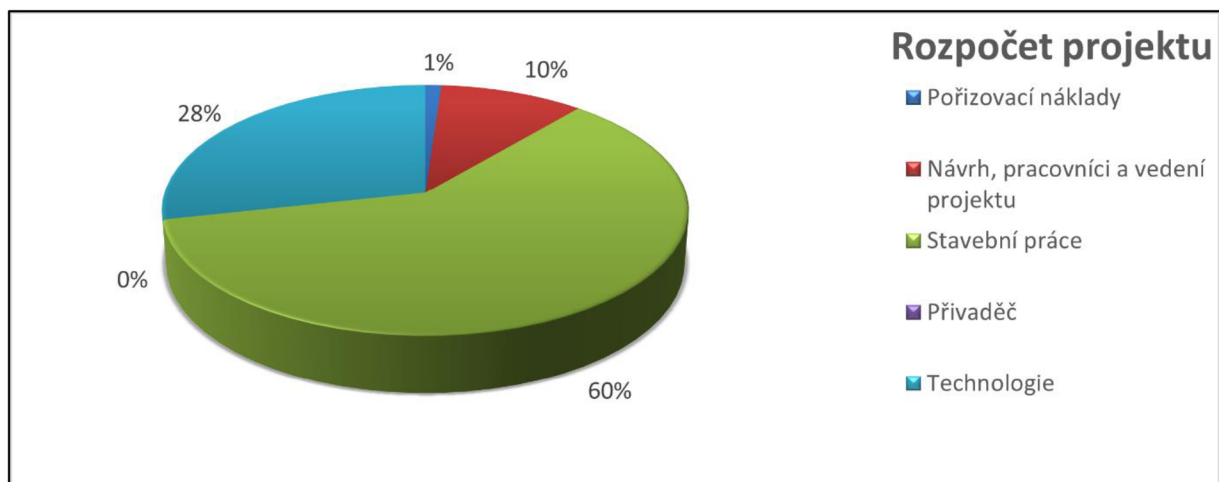
B.5 Ekonomická analýza

B.5.1 Varianta 1 se zatopeným tunelem

Ekonomická analýza byla provedena na základě konzultace s Ing. Karlem Kramlem a vztahů z podkladu [14]. Daňovým poradcem byla nastavena forma zkrácených odpisů. Podrobný postup společně s použitými vzorci je obsahem kapitoly 8 textové části. V této kapitole jsou také uvedeny přehledné grafy s výstupy analýzy.

Tab. 32 – Ekonomická analýza, varianta 1 – rozpočet projektu

Rozpočet projektu			Odpisy
I.	Požizovací náklady	300 000 Kč	0
II.	Návrh, pracovníci a vedení projektu	2 700 000 Kč	0 (služby nejsou odpisovány)
III.	Stavební práce	16 140 000 Kč	20 (běžná hodnota 20 - 30 let)
IV.	Přivaděč	0 Kč	
V.	Technologie	7 604 000 Kč	10 (běžná hodnota 10 let)
VI.	Celkem	26 744 000 Kč	



Obr. 24 - Ekonomická analýza, varianta 1 – rozpočet projektu

Tab. 33 - Ekonomická analýza, varianta 1 – vstupní údaje a bankovní půjčka

Vstupy		
Průměrná výroba energie	930 592	kWh
Nákupní sazba energie	2.75	Kč/kWh
Valorizace tarifu	2.0	%
Platnost tarifu	30	let
Inflace	2.0	%
Rozpočet (CAPEX)	26 744 000	Kč
Provozní náklady (OPEX)	319 189	Kč
OPEX valorizace	2.0	%
Korporátní daň	19.0	%
Daňové úlevy	0	let
Bankovní půjčka		
Vlastní vklad (ekvita)	27.0	%
Půjčka	19 523 120	Kč
Vlastní vklad (ekvita)	7 220 880	Kč
Bankovní úrok	4.0	%
Splatnost	15	let
Roční splátka	1 754 703	Kč
Rezerva pro splatnost úvěru DSCR	1.20	-

Tab. 34 - Ekonomická analýza, varianta 1 – doba návratnosti T_s , přehled výnosnosti vlastního vkladu a projektu bez a včetně ovlivnění inflací

Ekvita (vlastní vklad)		
Doba návratnosti nediskontovaná	11	let
Ekvitní parametry	Diskontované	Nediskontované
Míra výnosnosti IRR (10 let)	-2.3%	-0.3%
Míra výnosnosti IRR (15 let)	3.1%	5.2%
Míra výnosnosti IRR (20 let)	8.5%	10.7%
Čistá současná míra výnosu NPV (10 let)	-874 673	-138 861
Čistá současná míra výnosu NPV (15 let)	1 862 130	3 403 733
Čistá současná míra výnosu NPV (20 let)	10 920 523	16 345 389
Parametry projektu	Diskontované	Nediskontované
Míra výnosnosti IRR (10 let)	-3.4%	-1.5%
Míra výnosnosti IRR (15 let)	2.3%	4.3%
Míra výnosnosti IRR (20 let)	4.7%	6.7%
Čistá současná míra výnosu NPV (10 let)	-4 636 021	-2 114 948
Čistá současná míra výnosu NPV (15 let)	4 885 655	10 201 163
Čistá současná míra výnosu NPV (20 let)	13 944 048	23 142 819

Tab. 35 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 1

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Roky	0	1	2	3	4	5	6
Inflace		2%	2%	2%	2%	2%	2%
Výroba energie		930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592
Tarif		2.7500	2.8050	2.8611	2.9183	2.9767	3.0362
Roční výdělek		2 559 128	2 610 311	2 662 517	2 715 767	2 770 082	2 825 484
OPEX		319 189	325 573	332 084	338 726	345 500	352 410
EBITDA		2 239 939	2 284 738	2 330 433	2 377 041	2 424 582	2 473 074
Odpisy		791 467	3 030 307	2 784 846	2 539 385	2 293 924	2 048 463
EBIT		1 448 472	-745 569	-454 413	-162 344	130 658	424 611
Úrok		778 972	740 041	699 556	657 455	613 675	568 148
EBT		669 500	-1 485 610	-1 153 969	-819 799	-483 017	-143 537
Daň		127 205	-282 266	-219 254	-155 762	-91 773	-27 272
Čisté příjmy CF	-26 744 000	2 112 734	2 567 004	2 549 687	2 532 803	2 516 355	2 500 346
Celkové CF	-26 744 000	-24 631 266	-22 064 262	-19 514 576	-16 981 773	-14 465 417	-11 965 072
Diskontované příjmy DCF	-26 744 000	2 071 308	2 467 324	2 402 627	2 339 918	2 279 140	2 220 235
Celkové DCF	-26 744 000	-24 672 692	-22 205 368	-19 802 742	-17 462 823	-15 183 683	-12 963 447
Ekvita							
Čisté příjmy CF	-7 220 880	358 031	812 300	794 983	778 100	761 652	745 642
Celkové CF	-7 220 880	-6 862 849	-6 050 549	-5 255 566	-4 477 466	-3 715 814	-2 970 172
Diskontované příjmy DCF	-7 220 880	351 011	780 758	749 131	718 844	689 852	662 109
Celkové DCF	-7 220 880	-6 869 869	-6 089 112	-5 339 981	-4 621 137	-3 931 286	-3 269 177
Půjčka							
Splátka		1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703
Úrok		778 972	740 041	699 556	657 455	613 675	568 148
Jistina		975 731	1 014 662	1 055 148	1 097 248	1 141 028	1 186 555
DSCR		1.20	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42
Dluh	19 523 120	18 547 389	17 532 727	16 477 579	15 380 331	14 239 303	13 052 748



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. 36 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 2

2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
7	8	9	10	11	12	13	14
2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592
3.0969	3.1589	3.2221	3.2865	3.3522	3.4193	3.4877	3.5574
2 881 994	2 939 634	2 998 426	3 058 395	3 119 563	3 181 954	3 245 593	3 310 505
359 459	366 648	373 981	381 460	389 090	396 871	404 809	412 905
2 522 535	2 572 986	2 624 446	2 676 934	2 730 473	2 785 083	2 840 784	2 897 600
1 803 002	1 557 541	1 312 080	1 066 619	821 158	739 042	656 926	574 811
719 533	1 015 445	1 312 366	1 610 316	1 909 315	2 046 040	2 183 858	2 322 789
520 805	471 572	420 375	367 135	311 772	254 199	194 328	132 069
198 729	543 873	891 991	1 243 180	1 597 544	1 791 842	1 989 530	2 190 720
37 758	103 336	169 478	236 204	303 533	340 450	378 011	416 237
2 484 777	2 469 650	2 454 967	2 440 730	2 426 940	2 444 633	2 462 774	2 481 363
-9 480 295	-7 010 645	-4 555 678	-2 114 948	311 992	2 756 625	5 219 399	7 700 762
2 163 148	2 107 822	2 054 207	2 002 249	1 951 898	1 927 576	1 903 804	1 880 563
-10 800 300	-8 692 477	-6 638 270	-4 636 021	-2 684 123	-756 547	1 147 257	3 027 820
730 073	714 947	700 264	686 027	672 237	689 929	708 070	726 660
-2 240 098	-1 525 152	-824 887	-138 861	533 376	1 223 305	1 931 376	2 658 036
635 573	610 200	585 950	562 781	540 655	544 005	547 361	550 717
-2 633 604	-2 023 404	-1 437 454	-874 673	-334 018	209 987	757 348	1 308 065
1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703	1 754 703
520 805	471 572	420 375	367 135	311 772	254 199	194 328	132 069
1 233 899	1 283 131	1 334 328	1 387 568	1 442 932	1 500 505	1 560 375	1 622 634
1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.39	1.40	1.41
11 818 849	10 535 718	9 201 390	7 813 822	6 370 891	4 870 386	3 310 011	1 687 377



Tab. 37 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 3

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
15	16	17	18	19	20	21	22
2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592
3.6286	3.7011	3.7752	3.8507	3.9277	4.0062	4.0864	4.1681
3 376 715	3 444 249	3 513 134	3 583 397	3 655 065	3 728 166	3 802 730	3 878 784
421 163	429 586	438 178	446 942	455 880	464 998	474 298	483 784
2 955 552	3 014 663	3 074 956	3 136 455	3 199 184	3 263 168	3 328 432	3 395 000
492 695	117 308	445 771	334 329	222 886	111 443	0	0
2 462 857	2 897 355	2 629 185	2 802 127	2 976 299	3 151 725	3 328 432	3 395 000
67 326	0	0	0	0	0	0	0
2 395 531	2 897 355	2 629 185	2 802 127	2 976 299	3 151 725	3 328 432	3 395 000
455 151	550 497	499 545	532 404	565 497	598 828	632 402	645 050
2 500 401	2 464 166	2 575 411	2 604 051	2 633 688	2 664 340	2 696 030	2 749 950
10 201 163	12 665 328	15 240 740	17 844 791	20 478 478	23 142 819	25 838 848	28 588 798
1 857 835	1 795 011	1 839 262	1 823 251	1 807 844	1 793 025	1 778 775	1 778 775
4 885 655	6 680 666	8 519 928	10 343 179	12 151 023	13 944 048	15 722 823	17 501 598
745 698	2 464 166	2 575 411	2 604 051	2 633 688	2 664 340	2 696 030	2 749 950
3 403 733	5 867 899	8 443 310	11 047 361	13 681 049	16 345 389	19 041 419	21 791 369
554 064	1 795 011	1 839 262	1 823 251	1 807 844	1 793 025	1 778 775	1 778 775
1 862 130	3 657 141	5 496 403	7 319 654	9 127 498	10 920 523	12 699 298	14 478 073
1 754 703	0	0	0	0	0	0	0
67 326	0	0	0	0	0	0	0
1 687 377	0	0	0	0	0	0	0
1.42	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0



Tab. 38 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 4

2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
23	24	25	26	27	28	29	30
2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592	930 592
4.2514	4.3365	4.4232	4.5117	4.6019	4.6939	4.7878	2.7500
3 956 360	4 035 487	4 116 197	4 198 521	4 282 491	4 368 141	4 455 504	2 559 128
493 460	503 329	513 395	523 663	534 137	544 819	555 716	566 830
3 462 900	3 532 158	3 602 801	3 674 857	3 748 354	3 823 322	3 899 788	1 992 298
0	0	0	0	0	0	0	0
3 462 900	3 532 158	3 602 801	3 674 857	3 748 354	3 823 322	3 899 788	1 992 298
0	0	0	0	0	0	0	0
3 462 900	3 532 158	3 602 801	3 674 857	3 748 354	3 823 322	3 899 788	1 992 298
657 951	671 110	684 532	698 223	712 187	726 431	740 960	378 537
2 804 949	2 861 048	2 918 269	2 976 634	3 036 167	3 096 890	3 158 828	1 613 761
31 393 748	34 254 796	37 173 065	40 149 699	43 185 866	46 282 757	49 441 585	51 055 346
1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	890 911
19 280 373	21 059 148	22 837 923	24 616 698	26 395 474	28 174 249	29 953 024	30 843 934
2 804 949	2 861 048	2 918 269	2 976 634	3 036 167	3 096 890	3 158 828	1 613 761
24 596 318	27 457 366	30 375 635	33 352 270	36 388 437	39 485 327	42 644 156	44 257 917
1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	1 778 775	890 911
16 256 848	18 035 623	19 814 398	21 593 173	23 371 948	25 150 724	26 929 499	27 820 409
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

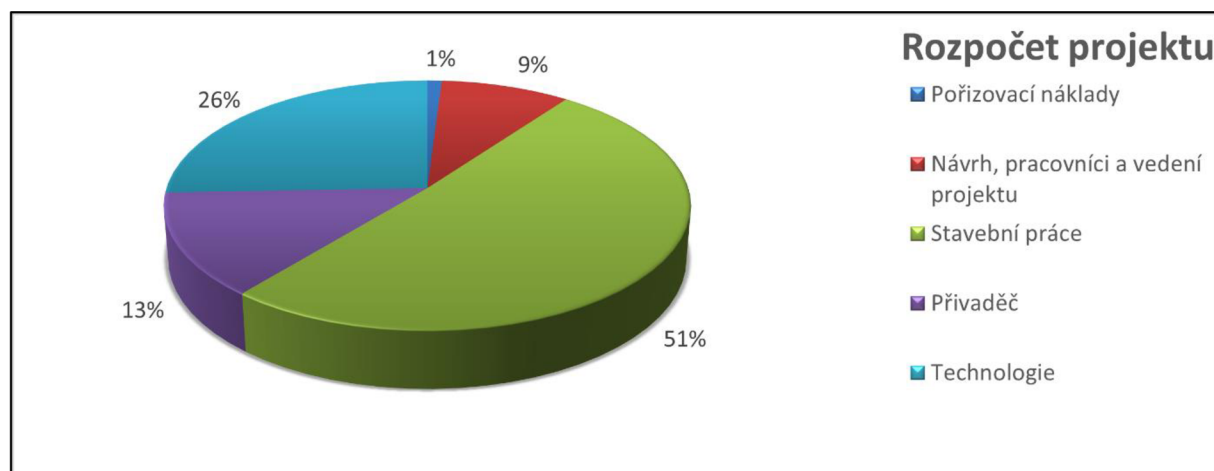


B.5.2 Varianta 2 se sklolinátovým potrubím

Výpočet byl proveden stejným způsobem jako u varianty 1.

Tab. 39 - Ekonomická analýza, varianta 2 – rozpočet projektu

Rozpočet projektu			Odpisy
I.	Požizovací náklady	300 000 Kč	0
II.	Návrh, pracovníci a vedení projektu	2 700 000 Kč	0 (služby nejsou odpisovány)
III.	Stavební práce	15 140 000 Kč	20 (běžná hodnota 20 - 30 let)
IV.	Přivaděč	4 000 000 Kč	20 (běžná hodnota 10 - 20 let)
V.	Technologie	7 604 000 Kč	10 (běžná hodnota 10 let)
VI.	Celkem	29 744 000 Kč	



Obr. 25 - Ekonomická analýza, varianta 2 – rozpočet projektu

Tab. 40 - Ekonomická analýza, varianta 2 – vstupní údaje a bankovní půjčka

Vstupy		
Průměrná výroba energie	904 986	kWh
Nákupní sazba energie	2.75	Kč/kWh
Valorizace tarifu	2.0%	%
Platnost tarifu	30	let
Inflace	2.0%	%
Rozpočet (CAPEX)	29 744 000	Kč
Provozní náklady (OPEX)	319 189	Kč
OPEX valorizace	2.0%	%
Korporátní daň	19.0%	%
Daňové úlevy	0	let
Bankovní půjčka		
Vlastní vklad (ekvita)	30.0%	%
Půjčka	20 820 800	Kč
Vlastní vklad (ekvita)	8 923 200	Kč
Bankovní úrok	4.0%	%
Splatnost	15	let
Roční splátka	1 871 336	Kč
Rezerva pro splatnost úvěru DSCR	1.11	-

Tab. 41 - Ekonomická analýza, varianta 2 – doba návratnosti T_s , přehled výnosnosti vlastního vkladu a projektu bez a včetně ovlivnění inflací

Ekvita (vlastní vklad)		
Doba návratnosti nediskontovaná	16	let
Ekvitní parametry	Diskontované	Nediskontované
Míra výnosnosti IRR (10 let)	-9.0%	-7.1%
Míra výnosnosti IRR (15 let)	-2.5%	-0.6%
Míra výnosnosti IRR (20 let)	4.9%	7.0%
Čistá současná míra výnosu NPV (10 let)	-3 746 996	-3 147 830
Čistá současná míra výnosu NPV (15 let)	-1 641 129	-422 110
Čistá současná míra výnosu NPV (20 let)	7 168 637	12 163 559
Parametry projektu	Diskontované	Nediskontované
Míra výnosnosti IRR (10 let)	-5.3%	-3.4%
Míra výnosnosti IRR (15 let)	0.7%	2.7%
Míra výnosnosti IRR (20 let)	3.2%	5.3%
Čistá současná míra výnosu NPV (10 let)	-7 758 357	-5 255 265
Čistá současná míra výnosu NPV (15 let)	1 583 366	6 827 137
Čistá současná míra výnosu NPV (20 let)	10 393 133	19 412 806

Tab. 42 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 1

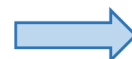
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Roky	0	1	2	3	4	5	6
Inflace		2%	2%	2%	2%	2%	2%
Výroba energie		904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986
Tarif		2.7500	2.8050	2.8611	2.9183	2.9767	3.0362
Roční výdělek		2 488 712	2 538 486	2 589 255	2 641 041	2 693 861	2 747 739
OPEX		319 189	325 573	332 084	338 726	345 500	352 410
EBITDA		2 169 523	2 212 913	2 257 171	2 302 315	2 348 361	2 395 328
Odpisy		891 467	3 320 307	3 059 583	2 798 858	2 538 134	2 277 410
EBIT		1 278 056	-1 107 394	-802 411	-496 544	-189 773	117 918
Úrok		830 750	789 231	746 054	701 156	654 466	605 912
EBT		447 306	-1 896 624	-1 548 466	-1 197 700	-844 239	-487 994
Daň		84 988	-360 359	-294 209	-227 563	-160 405	-92 719
Čisté příjmy CF	-29 744 000	2 084 534	2 573 272	2 551 380	2 529 878	2 508 766	2 488 047
Celkové CF	-29 744 000	-27 659 466	-25 086 194	-22 534 814	-20 004 937	-17 496 171	-15 008 123
Diskontované příjmy DCF	-29 744 000	2 043 661	2 473 348	2 404 222	2 337 216	2 272 267	2 209 315
Celkové DCF	-29 744 000	-27 700 339	-25 226 991	-22 822 768	-20 485 553	-18 213 286	-16 003 971
Ekvita							
Čisté příjmy CF	-8 923 200	213 198	701 935	680 043	658 541	637 430	616 711
Celkové CF	-8 923 200	-8 710 002	-8 008 067	-7 328 024	-6 669 483	-6 032 053	-5 415 342
Diskontované příjmy DCF	-8 923 200	209 018	674 678	640 820	608 390	577 340	547 621
Celkové DCF	-8 923 200	-8 714 182	-8 039 504	-7 398 684	-6 790 294	-6 212 954	-5 665 333
Půjčka							
Splátka		1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336
Úrok		830 750	789 231	746 054	701 156	654 466	605 912
Jistina		1 040 587	1 082 106	1 125 282	1 170 181	1 216 871	1 265 424
DSCR		1.11	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33
Dluh	20 820 800	19 780 213	18 698 107	17 572 826	16 402 645	15 185 774	13 920 350



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

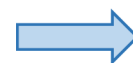
Tab. 43 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 2

2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
7	8	9	10	11	12	13	14
2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986
3.0969	3.1589	3.2221	3.2865	3.3522	3.4193	3.4877	3.5574
2 802 693	2 858 747	2 915 922	2 974 241	3 033 725	3 094 400	3 156 288	3 219 414
359 459	366 648	373 981	381 460	389 090	396 871	404 809	412 905
2 443 235	2 492 099	2 541 941	2 592 780	2 644 636	2 697 529	2 751 479	2 806 509
2 016 686	1 755 962	1 495 238	1 234 514	973 789	876 411	779 032	681 653
426 549	736 138	1 046 704	1 358 267	1 670 846	1 821 118	1 972 448	2 124 856
555 422	502 917	448 317	391 539	332 495	271 095	207 245	140 848
-128 873	233 221	598 387	966 728	1 338 352	1 550 023	1 765 202	1 984 008
-24 486	44 312	113 693	183 678	254 287	294 504	335 388	376 962
2 467 721	2 447 787	2 428 248	2 409 102	2 390 349	2 403 024	2 416 091	2 429 547
-12 540 403	-10 092 615	-7 664 367	-5 255 265	-2 864 917	-461 892	1 954 198	4 383 745
2 148 299	2 089 163	2 031 849	1 976 303	1 922 469	1 894 768	1 867 717	1 841 293
-13 855 672	-11 766 509	-9 734 660	-7 758 357	-5 835 888	-3 941 119	-2 073 403	-232 110
596 384	576 451	556 911	537 765	519 013	531 688	544 754	558 211
-4 818 958	-4 242 507	-3 685 596	-3 147 830	-2 628 818	-2 097 130	-1 552 376	-994 165
519 188	491 995	465 999	441 155	417 423	419 232	421 113	423 054
-5 146 145	-4 654 149	-4 188 151	-3 746 996	-3 329 573	-2 910 341	-2 489 228	-2 066 175
1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336	1 871 336
555 422	502 917	448 317	391 539	332 495	271 095	207 245	140 848
1 315 915	1 368 420	1 423 019	1 479 798	1 538 842	1 600 242	1 664 091	1 730 489
1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.29	1.30
12 604 435	11 236 016	9 812 996	8 333 198	6 794 356	5 194 115	3 530 024	1 799 535



Tab. 44 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 3

2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
15	16	17	18	19	20	21	22
2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986
3.6286	3.7011	3.7752	3.8507	3.9277	4.0062	4.0864	4.1681
3 283 802	3 349 478	3 416 468	3 484 797	3 554 493	3 625 583	3 698 094	3 772 056
421 163	429 586	438 178	446 942	455 880	464 998	474 298	483 784
2 862 639	2 919 892	2 978 289	3 037 855	3 098 612	3 160 585	3 223 796	3 288 272
584 274	211 794	499 556	374 667	249 778	124 889	0	0
2 278 365	2 708 097	2 478 734	2 663 188	2 848 834	3 035 696	3 223 796	3 288 272
71 801	0	0	0	0	0	0	0
2 206 564	2 708 097	2 478 734	2 663 188	2 848 834	3 035 696	3 223 796	3 288 272
419 247	514 538	470 959	506 006	541 279	576 782	612 521	624 772
2 443 392	2 405 353	2 507 330	2 531 849	2 557 334	2 583 802	2 611 275	2 663 501
6 827 137	9 232 490	11 739 820	14 271 670	16 829 004	19 412 806	22 024 081	24 687 582
1 815 476	1 752 169	1 790 641	1 772 698	1 755 433	1 738 825	1 722 856	1 722 856
1 583 366	3 335 536	5 126 177	6 898 875	8 654 308	10 393 133	12 115 989	13 838 845
572 055	2 405 353	2 507 330	2 531 849	2 557 334	2 583 802	2 611 275	2 663 501
-422 110	1 983 243	4 490 573	7 022 423	9 579 757	12 163 559	14 774 834	17 438 335
425 046	1 752 169	1 790 641	1 772 698	1 755 433	1 738 825	1 722 856	1 722 856
-1 641 129	111 040	1 901 682	3 674 380	5 429 812	7 168 637	8 891 494	10 614 350
1 871 336	0	0	0	0	0	0	0
71 801	0	0	0	0	0	0	0
1 799 535	0	0	0	0	0	0	0
1.31	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0



Tab. 45 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 4

2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
23	24	25	26	27	28	29	30
2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986	904 986
4.2514	4.3365	4.4232	4.5117	4.6019	4.6939	4.7878	2.7500
3 847 497	3 924 447	4 002 936	4 082 995	4 164 655	4 247 948	4 332 907	2 488 712
493 460	503 329	513 395	523 663	534 137	544 819	555 716	566 830
3 354 038	3 421 118	3 489 541	3 559 332	3 630 518	3 703 129	3 777 191	1 921 881
0	0	0	0	0	0	0	0
3 354 038	3 421 118	3 489 541	3 559 332	3 630 518	3 703 129	3 777 191	1 921 881
0	0	0	0	0	0	0	0
3 354 038	3 421 118	3 489 541	3 559 332	3 630 518	3 703 129	3 777 191	1 921 881
637 267	650 013	663 013	676 273	689 798	703 594	717 666	365 157
2 716 771	2 771 106	2 826 528	2 883 059	2 940 720	2 999 534	3 059 525	1 556 724
27 404 352	30 175 458	33 001 986	35 885 045	38 825 765	41 825 299	44 884 824	46 441 548
1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	859 422
15 561 701	17 284 557	19 007 413	20 730 270	22 453 126	24 175 982	25 898 838	26 758 260

2 716 771	2 771 106	2 826 528	2 883 059	2 940 720	2 999 534	3 059 525	1 556 724
20 155 105	22 926 211	25 752 739	28 635 798	31 576 518	34 576 052	37 635 577	39 192 301
1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	1 722 856	859 422
12 337 206	14 060 062	15 782 918	17 505 774	19 228 630	20 951 486	22 674 342	23 533 764

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

Fotografie poskytnuty firmou Stream při osobní prohlídce lokality [8].



Obr. 26 – Koryto řeky Klabavy mezi jezem a vodní nádrží Ejpovice



Obr. 27 – Vodní nádrž Ejpovice



Obr. 28 – Zpevněný brod pod místem navrženého jezu



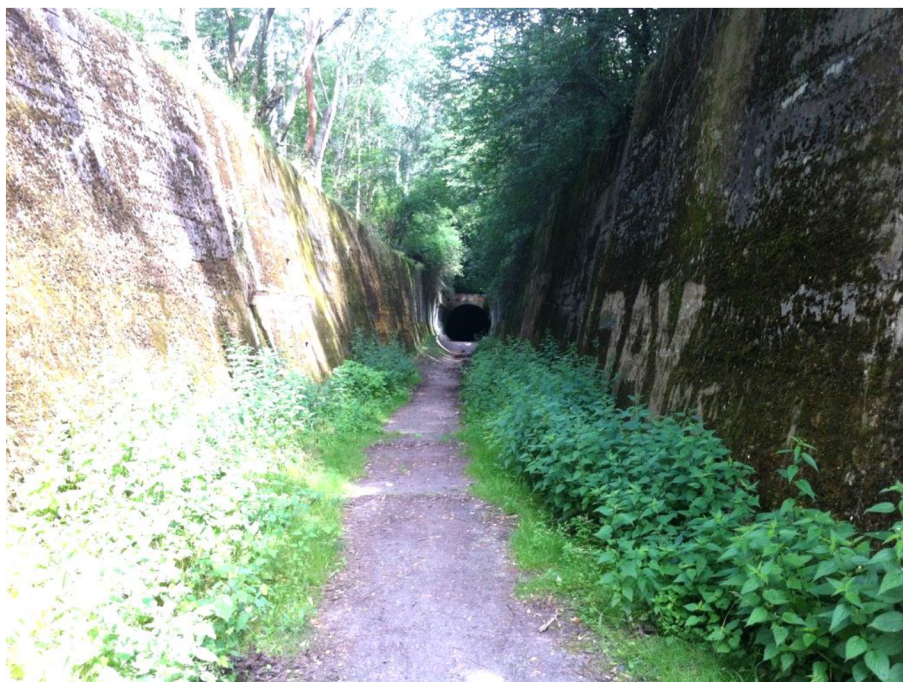
Obr. 29 – Stávající hráz a část příjezdové cesty k jezu



Obr. 30 – Stávající hráz a úpatí svahu, tvořící otevřené koryto náhonu



Obr. 31 – Vtokový pilíř, dělící levý a pravý tunel



Obr. 32 – Vtok do levého tunelu



Obr. 33 – Vtok do pravého tunelu



Obr. 34 – Plánované umístění vtokového objektu



Obr. 35 – Výtok z pravého tunelu a předpokládané umístění strojovny



Obr. 36 – Předpokládané umístění strojovny, obratiště a příjezdové cesty



Obr. 37 – Příjezdová cesta



Obr. 38 – Měření metodou GPR na stěnách tunelu



Obr. 39 – Měření metodou GPR u dna tunelu



Obr. 40 – Podélné a příčné pracovní spáry v tunelu

11 Seznam tabulek

Tab. 1 - M-denní průtoky Q_{Md}	7
Tab. 2 - N-leté průtoky Q_N	7
Tab. 3 – Přehled parametrů vyhloubených sond	10
Tab. 4 – Geologické vrstvy v lokalitě „jez“ dle Sondy S1	10
Tab. 5 – Geologické vrstvy v lokalitě „tunel“ dle provedených vrtů	10
Tab. 6 – Přehled vad zjištěných při pasportizaci	14
Tab. 7 – Porovnání parametrů jezu a propustku s původním projektem [1].	19
Tab. 8 – Hlavní parametry turbíny	24
Tab. 9 – Hlavní parametry generátoru	25
Tab. 10 – Přepad po bezpečnostní přeliv – výchozí hodnoty	36
Tab. 11 – Přepad po bezpečnostní přeliv – výpočet přepadového množství	36
Tab. 12 – Přepad nad úrovní bezpečnostního přelivu – výchozí hodnoty	37
Tab. 13 - Přepad nad bezpečnostním přelivem – výpočet přepadového množství	38
Tab. 14 – Konsumpční křivka koryta pod jezem – výchozí hodnoty	41
Tab. 15 – Konsumpční křivka koryta pod jezem - výpočet	41
Tab. 16 – Výsledné hodnoty z programu HEC-RAS	43
Tab. 17 – Ztráty na česlích – výchozí hodnoty.....	45
Tab. 18 – Ztráty na česlích - výpočet.....	46
Tab. 19 – Celkové ztráty, varianta 1 - obecné vstupní údaje	47
Tab. 20 - Celkové ztráty, varianta 1 – výpočet 1. úseku	48
Tab. 21 - Celkové ztráty, varianta 1 – výpočet 2. úseku	49
Tab. 22 - Celkové ztráty, varianta 1 – výsledné hodnoty	50
Tab. 23 - Celkové ztráty, varianta 2 - obecné vstupní údaje.....	51
Tab. 24 - Celkové ztráty, varianta 2 - výpočet	51
Tab. 25 - Celkové ztráty, varianta 2 – výsledné hodnoty	52
Tab. 26 – Výroba energie, varianta 1 – vstupní hodnoty	54

Tab. 27 - Výroba energie, varianta 1 – výpočet.....	54
Tab. 28 - Výroba energie, varianta 1 – výsledné hodnoty.....	55
Tab. 29 - Výroba energie, varianta 2 – vstupní hodnoty	57
Tab. 30 - Výroba energie, varianta 2 – výpočet.....	57
Tab. 31 - Výroba energie, varianta 2 – výsledné hodnoty.....	58
Tab. 32 – Ekonomická analýza, varianta 1 – rozpočet projektu	60
Tab. 33 - Ekonomická analýza, varianta 1 – vstupní údaje a bankovní půjčka	61
Tab. 34 - Ekonomická analýza, varianta 1 – doba návratnosti T_s , přehled výnosnosti vlastního vkladu a projektu bez a včetně ovlivnění inflací.....	61
Tab. 35 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 1	62
Tab. 36 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 2	63
Tab. 37 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 3	64
Tab. 38 - Ekonomická analýza, varianta 1 – výpočet, část 4	65
Tab. 39 - Ekonomická analýza, varianta 2 – rozpočet projektu.....	66
Tab. 40 - Ekonomická analýza, varianta 2 – vstupní údaje a bankovní půjčka	67
Tab. 41 - Ekonomická analýza, varianta 2 – doba návratnosti T_s , přehled výnosnosti vlastního vkladu a projektu bez a včetně ovlivnění inflací.....	67
Tab. 42 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 1	68
Tab. 43 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 2	69
Tab. 44 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 3	70
Tab. 45 - Ekonomická analýza, varianta 2 – výpočet, část 4	71

12 Seznam obrázků

Obr. 1 – Obecná mapa ČR s vyznačením projektovaného umístění MVE Ejpovice [9]	5
Obr. 2 – Obecná situace zájmového území [9]	6
Obr. 3 – Schéma umístění Sondy S1 u jezu.....	11
Obr. 4 – Schéma s vyznačením vrtů v řezu výtoku z tunelu	11
Obr. 5 – Katalogové schéma kotvení fólie.....	22
Obr. 6 – Schematické znázornění anuitního splácení.....	26
Obr. 7 - Míra výnosnosti vlastního vkladu během 20 let provozu MVE	29
Obr. 8 - Přehledná charakteristika doby návratnosti.....	29
Obr. 9 - Míra výnosnosti vlastního vkladu během 20 let provozu MVE – variantní řešení.....	30
Obr. 10 - Přehledná charakteristika doby návratnosti – variantní řešení.....	30
Obr. 11 - Konsumpční křivka přepadu po korunu bezpečnostního přelivu	37
Obr. 12 - Konsumpční křivka přepadu nad úroveň bezpečnostního přelivu	39
Obr. 13 - Konsumpční křivka koryta pod jezem	42
Obr. 14 – Schéma situace geometrie propustku a náhonu dle programu HEC-RAS	43
Obr. 15 – Schéma zatopení koryta před propustkem při průtoku $Q_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. 44	
Obr. 16 - Prostorové schéma zaplavení koryta před vtokem do propustku po konec náhonu při průtoku $Q_N = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$	44
Obr. 17 – Tvarové součinitele β česlic různých profilů [13].....	46
Obr. 18 - Celkové ztráty, varianta 1 – závislost ztrát a spádu na průtoku	50
Obr. 19 - Celkové ztráty, varianta 2 – závislost ztrát a spádu na průtoku	52
Obr. 20 - Výroba energie, varianta 1 – čáry překročení výkonu a energie.....	55
Obr. 21 - Výroba energie, varianta 1 – čáry překročení průtoků, účinnost a průtoky turbínou	56
Obr. 22 - Výroba energie, varianta 2 – čáry překročení výkonu a energie.....	58

Obr. 23 - Výroba energie, varianta 2 – čáry překročení průtoků, účinnost a průtoky turbínou	59
Obr. 24 - Ekonomická analýza, varianta 1 – rozpočet projektu	60
Obr. 25 - Ekonomická analýza, varianta 2 – rozpočet projektu	66
Obr. 26 – Koryto řeky Klabavy mezi jezem a vodní nádrží Ejpovice	72
Obr. 27 – Vodní nádrž Ejpovice	72
Obr. 28 – Zpevněný brod pod místem navrženého jezu	73
Obr. 29 – Stávající hráz a část příjezdové cesty k jezu	73
Obr. 30 – Stávající hráz a úpatí svahu, tvořící otevřené koryto náhonu	74
Obr. 31 – Vtokový pilíř, dělící levý a pravý tunel	74
Obr. 32 – Vtok do levého tunelu	75
Obr. 33 – Vtok do pravého tunelu.....	75
Obr. 34 – Plánované umístění vtokového objektu	76
Obr. 35 – Výtok z pravého tunelu a předpokládané umístění strojovny	76
Obr. 36 – Předpokládané umístění strojovny, obratiště a příjezdové cesty	77
Obr. 37 – Příjezdová cesta	77
Obr. 38 – Měření metodou GPR na stěnách tunelu	78
Obr. 39 – Měření metodou GPR u dna tunelu	78
Obr. 40 – Podélné a příčné pracovní spáry v tunelu	79