

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra hydrotechniky**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**STUDIE PROVEDITELNOSTI PŘEHRADY V OBLASTI  
ODERSKÝCH VRCHŮ**

**FEASIBILITY STUDY OF A DAM IN THE AREA OF ODRA  
MOUNTAINS**

**Studijní program: Stavební inženýrství**

**Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Květen 2023**

**doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.**

**Daniel Homola**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Homola	Jméno: Daniel	Osobní číslo: 494112
Zadávací katedra: Katedra hydrotechniky		
Studijní program: Stavební Inženýrství		
Studijní obor/specializace: Vodní hospodářství a vodní stavby		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie proveditelnosti přehrady v oblasti Oderských vrchů	
Název bakalářské práce anglicky: Feasibility study of a dam in the area of Odra mountains	
Pokyny pro vypracování: V rámci bakalářské práce zpracujte základní analýzu oblasti Oderských vrchů, geologických, geomorfologických a hydrologických charakteristik včetně podmínek územního rozvoje. Navrhněte varianty koncepčního řešení přehradní konstrukce v oblasti Oderských vrchů a posuďte vhodnost a možnosti využití.	
Seznam doporučené literatury: Skriptum Navrhování přehrad, V. Broža, L. Satrapa., 1996 Patera, A., Nacházel, K., Fošumpaur, P. Nádrže a vodohospodářské soustavy 10, vydavatelství ČVUT, Praha 2002. ISBN: 80-01-02620-5 Broža, V. Metodické návody k vodohospodářským řešením nádrží, vydavatelství ČVUT., Praha 1983 Broža, V. a kol.: Přehrady, SNTL/Alfa, Praha 1987.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.	
Datum zadání bakalářské práce: 27.2.2023	Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém výřádku příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

27.2.2023

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze, dne 22.5.2023

\_\_\_\_\_  
Místo zpracování, datum

\_\_\_\_\_  
Daniel Homola

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Ladislavu Satrapovi, CSc., jehož přednášky v předchozích semestrech mě zaujaly a motivovaly k volbě psaní této práce na katedře hydrotechniky. S mými nejasnostmi a otázkami mi vždy pomohl a vyšel vstříc. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu svým spolužákům a přátelům, kteří mi svým vlivem zpříjemnili ty 4 roky studia.

## **ABSTRAKT**

Předmětem této bakalářské práce je studie proveditelnosti přehrady v oblasti Oderských vrchů. Práce si bere za cíl navrhnout několik variant koncepčního řešení. V práci je popsán současný stav oblasti a je provedena analýza poměrů zájmového území. Na základě těchto informací jsou navrženy čtyři varianty koncepčního řešení hráze na potoce Jezernice. Navrhují se vhodná umístění hráze a jednotlivých objektů a stanovuje se funkce nádrže. Jsou vyhotoveny výkresové dokumentace a hydrotechnické výpočty. Jednotlivé varianty jsou vzájemně porovnány a je navrženo vhodné řešení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Studie proveditelnosti, přehrada, Oderské vrchy, Jezernice, koncepční řešení, hráz z místních materiálů, nádrž, sdružený objekt, přeliv

## **ABSTRACT**

The subject of this bachelor thesis is a feasibility study of a dam in the Odra mountains region. The aim of the thesis is to propose several alternative conceptual solutions. The current state of the area is described in the thesis, and an analysis of the existing conditions of the area of interest is realized. Based on this information, four variants of conceptual dam solutions on the Jezernice stream are proposed. Suitable locations for the dam and its individual components are suggested, and their functions are determined. Detailed drawings and hydraulic calculations are made for each variant. The different options are compared, and an appropriate solution is proposed.

## **KEY WORDS**

Feasibility study, dam, Odra mountains, Jezernice, conceptual solution, local source material dam, reservoir, associated object, spillway

# Obsah

1. Úvod .....	4
2. Podklady a vstupní údaje .....	5
2.1 Poloha a popis území .....	5
2.2 Morfologické poměry .....	6
2.3 Přehled geologických a půdních poměrů .....	7
2.3.1 Přehled geologických poměrů.....	7
2.3.2 Přehled půdních poměrů .....	9
2.4 Hydrologické poměry .....	9
2.5 Klimatické poměry .....	11
2.6 Osídlení.....	12
2.7 Územní rozvoj oblasti.....	12
2.8 Kulturní a přírodní památky .....	13
3. Základní údaje navržené koncepce.....	15
3.1 Vývoj návrhu vodního díla v oblasti.....	15
3.2 Účel přehrady .....	15
3.2.1 Vodárenské účely .....	16
3.2.2 Protipovodňová ochrana .....	16
3.2.3 Využití vodní energie.....	16
3.3 Kategorie vodního díla.....	17
3.4 Vliv přehrady na životní prostředí a okolí.....	18
4. Koncepční řešení .....	19
4.1 Varianta 1 – Samostatná přehrada .....	19
4.1.1 Účel.....	19
4.1.2 Umístění .....	20
4.1.3 Majetkoprávní vztahy .....	21

4.1.4	Typ hráze .....	22
4.1.5	Těleso hráze .....	23
4.1.6	Rozmístění prostor v nádrži .....	25
4.1.7	Povodňová vlna .....	26
4.1.8	Funkční objekty .....	27
4.1.9	Převýšení koruny hráze.....	32
4.1.10	Doba plnění nádrže.....	32
4.2	Varianta 2 – Propojená soustava.....	33
4.2.1	Účel.....	33
4.2.2	Umístění .....	34
4.2.3	Majetkoprávní vztahy .....	35
4.2.4	Zhodnocení návrhu.....	36
4.3	Varianta 3 – Přečerpávací vodní elektrárna .....	37
4.3.1	Účel.....	37
4.3.2	Dolní nádrž.....	37
4.3.3	Rozdělení objemů v dolní nádrži .....	38
4.3.4	Umístění horní nádrže .....	39
4.3.5	Majetkoprávní vztahy .....	40
4.3.6	Těleso hráze horní nádrže .....	40
4.3.7	Objem horní nádrže .....	42
4.3.8	Převýšení koruny horní hráze .....	42
4.3.9	PVE .....	43
4.3.10	Produkce elektrické energie .....	44
4.4	Varianta 4 – Víceúčelová nádrž.....	45
4.4.1	Účel.....	45
4.4.2	Umístění .....	45
4.4.3	Majetkoprávní vztahy .....	46

4.4.4	Těleso dolní.....	46
4.4.5	Rozmístění prostor v dolní nádrži .....	47
4.4.6	Povodňová vlna .....	48
4.4.7	Funkční objekty dolní hráze .....	48
4.4.8	Převýšení koruny dolní hráze .....	50
4.4.9	Doba plnění dolní nádrže .....	50
4.4.10	Parametry horní nádrže .....	50
4.4.11	Produkce elektrické energie .....	50
5.	Závěr .....	52
6.	Seznamy zdrojů .....	54
6.1	Seznam tabulek .....	59
6.2	Seznam obrázků .....	59
7.	Fotodokumentace .....	61
8.	Přílohy .....	68
9.	Výkresový dokumentace .....	68



# 1. Úvod

Voda je nenahraditelným prvkem na této planetě, bez něhož by nebyl život. Člověk vodu od jakživa využívá ke konzumaci, k závlahám, převedení potenciální energie vody na mechanickou a v posledním století pro tvorbu elektrické energie. Voda je mnohdy považována za jakousi samozřejmost a v minulosti tomu určitým způsobem bylo, vody bylo v přepočtu na tehdejší populaci dostatek a její kvalita byla vyhovující. S rostoucím počtem populace a s čím dál větší produkcí znečištění však využitelných zdrojů vody ubývá a je potřeba jí zajistit dostatek jak v kvantitě, tak v kvalitě.

Česká republika tvoří jakousi střechu Evropy, kde veškerá voda odtéká z území pryč a jediná voda, která se vrací zpět, je v podobě deště. Je tedy strategickým postojem tuto vodu zadržovat a nadále s ní hospodařit. Pro lepší zadržení vody slouží uměle vytvořené nádrže, v jejichž budování má Česko dloholeté bohaté zkušenosti. Výstavba rybníků na našem území započala již ve 13. století s velkým rozmachem ve stoletím 15. a 16. S novějšími technologiemi se zlepšovala i konstrukční řešení budovaných hrází a byly využívány vhodnější profily. Ve 20. století se hojně budovaly nové přehrady a hráze. V poslední době, se složitějšími majetkoprávními řízeními a často větší snahou o finanční hospodárnost, tendence budování přehrad upadá, čemuž také napomáhá fakt, že většina vhodných profilů pro umístění hráze je již obsazená. S ohledem na globální oteplování a nejistotu vztahující se k budoucím klimatickým podmínkám je zřejmá potřeba využití nových vodních zdrojů, která je motivována jednak potřebou přizpůsobit se změnám v klimatu a jednak zvýšeným důrazem na energetickou soběstačnost České republiky a využívání obnovitelných zdrojů energie.

Předmětem této bakalářské práce je studie proveditelnosti přehrady v Oderských vrších, kde zdejší krajina poskytuje mnoho potenciálních údolí pro umístění hráze, a to především díky vojenskému újezdu Libavá a malé zástavbě. Konstrukce přehrady znamená významný zásah do krajiny, proto je zohledněna potřeba výstavby i možný dopad na okolí. Zvážení této potřeby nového vodního díla je předmětem více disciplinární studie budoucích potřeb vody vycházejících z klimatických změn a vývoje. V této práci je zkoumána proveditelnost výstavby hráze z technického hlediska v souvislosti s lokálními podmínkami. Inspirací pro zvolení lokality Oderských vrchů je dopis pana inženýra Šalého panu docentovi Satrapovi, obsahující ideu víceúčelové nádrže (viz příloha č. 1).

## 2. Podklady a vstupní údaje

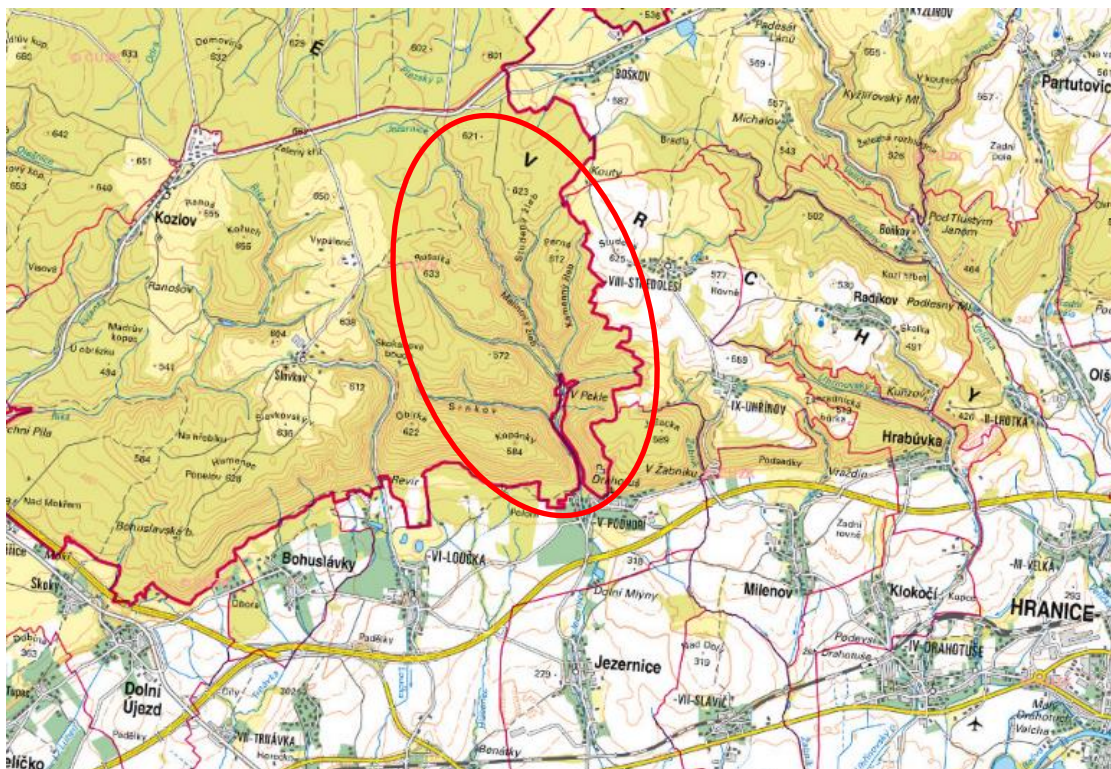
### 2.1 Poloha a popis území

Zájmové území této práce se nachází na jihovýchodě Olomouckého kraje, na hranici okresů Přerov a Olomouc. Rozprostírá se zde oblast Oderských vrchů, která je součástí geomorfologického celku Nízký Jeseník.

Území Nízkého Jeseníku lze charakterizovat jako členitou vrchovinu, kterou prochází linie rozvodí mezi Odrou a Moravou. Krajina je tvořena z 61 % lesní pokrývkou a z 38 % plochami zemědělskými. Zbytek je zastoupen urbanizovanými oblastmi. [37]

Zájmové území se nachází v oblasti, kde Oderské vrchy zlomovým svahem přechází v nížinu Moravské brány, tvořící pásmo Západních Vněkarpatských sníženin. [14] Výrazným prvkem v této krajině je Vojenský újezd Libavá, který se rozprostírá v severozápadní části Oderských vrchů. Kvůli zákazu vstupu do tohoto prostoru je zde velká absence dopravní infrastruktury a urbanizovaných ploch.

Přechod Oderských vrchů v Moravskou bránu je tvořen údolími hloubenými toky Trnávky, Jezernice, Žabníku, Milenovce nebo Uhřínovského potoka. Ze jmenovaných právě údolí Jezernice je nejvýraznější s největší plochou. Je ohraničeno obcemi Podhoří z jihu, Středolesí z východu a Kozlov s místní částí Slavkov ze západu. Ze severu je lemováno Vojenským újezdem Libavá a silnicí II/441, spojující Potštát s Velkým Újezdem na západě. V současné době je údolí pokryto především lesnatými porosty a přírodní krajinou a bývá nazýváno Peklo podle zdejší osady. V historii se Peklo nacházelo v území Vojenského újezdu Libavá, dnes je již území újezdu zredukováno a oblast je přístupná veřejnosti. [15][16]



Obrázek č. 1: Lokalita zájmového území [2]

## 2.2 Morfologické poměry

Chování morfologie je při projektování přehrady rozhodujícím faktorem. V místech umístění přehrady je vhodnější úzké údolí se strmými svahy, zatímco v oblasti nádrže proti toku řeky by se ideálně mělo rozevírat a poskytnout tak velký objem akumulované vody.

Krajina Oderských vrchů poskytuje mnoho vhodných oblastí tohoto charakteru. Je tvořena širokými zaoblenými plošinami a hřbety, mezi kterými se působením prudkých potoků hloubí četná, hluboko zaříznutá údolí ve tvaru V. Nadmořská výška vrcholů se nachází okolo 500-600 m n.m. (Bpv), zatímco dna údolí se pohybují v rozmezí 300-400 m n.m. [38][37]

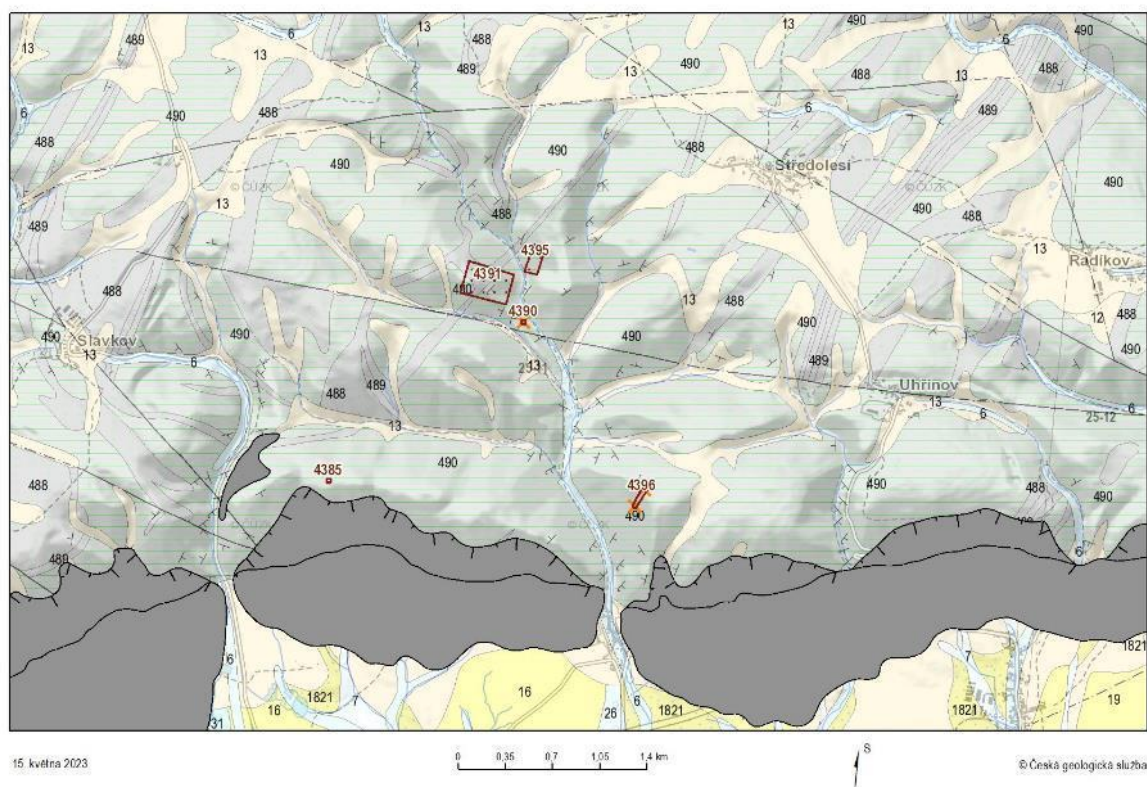
Údolí Peklo vzniklo erozní činností toku Jezernice a jeho přítoků. [15] Počátek údolí u obce Podhoří lemují dva velké vrcholy, Kopánky (584 m n.m.) ze západu a Juřacka (589 m n.m.) z východu. Dno údolí, se pohybuje v nadmořské výšce okolo 325 m n.m. a postupně stoupá směrem k severu, kde se pak dále větví na údolí Srnkov, Kaní důl, Kamenný žleb, Máchova Debřa, Malinový žleb a Studený žleb. Zdejší vrcholy přesahují nadmořskou výšku 600 m n.m.

## 2.3 Přehled geologických a půdních poměrů

### 2.3.1 Přehled geologických poměrů

Správné geologické podmínky jsou klíčové pro stavbu hráze a často jsou rozhodujícím faktorem, proč i zdánlivě ideální profil není vhodný pro výstavbu přehrady, zejména pokud se jedná o hráz gravitačního typu.

V zájmové oblasti se dle geovědních map spravovaných Českou geologickou službou nevyskytuje žádná vrtná prozkoumanost, pro potřeby této práce byly tedy informace o geologických poměrech získány přehledným průzkumem geologické mapy 1:50 000 a z okolních geologických vrtů. [18]



Obrázek č. 2: Geovědní mapa 1:50 000 oblasti údolí peklo [19]

Tabulka č. 1: Horninové zastoupení oblasti údolí Peklo [19]

Legenda ID	Hornina
490	jílovité břidlice, prachovce, droby
489	slepence
488	droby
13	kamenitý až hlinito-kamenitý sediment
6	nivní sediment
7	smíšený sediment
4390	štola U Můstku
4396	štola Špirutka

Geologie Oderských vrchů tvoří součást soustavy Českého masivu, stejně jako většina území České republiky. Jedná se především o kulmské horniny Nízkého Jeseníku. Z Obrázku č. 2 lze vyčíst, že v celé oblasti Pekla jsou dominantní horniny jílovitých břidlic, prachovců a drob. Dále se vyskytují slepence. Výše zmíněné horniny vznikly v době Paleozoika v periodě karbonu a jsou typu sedimentů zpevněných. Jsou tvořeny deskovitými a lavicovitými texturami a jejich vrstevnatostí se mohou vyskytovat praskliny či pukliny. [18]

Další zastoupené horniny jsou typu sedimentů nezpevněných, mezi které patří kamenitý až hlinito-kamenitý sediment a nivní sediment, vyskytující se převážně v okolí koryta toku. Smíšený sediment se vyskytuje na přechodu Oderských vrchů a Moravské brány a do zájmové oblasti tak nezasahuje. [18]

V historii se v údolí Peklo těžila břidlice pro pokrývačské účely a oblast je poseta mnoha štolami. [37] Obrázek č. 2 ukazuje, že zde existují 3 poddolovaná území a 2 označená důlní díla, konkrétně štola U Můstku a Špirutka. Na přechodu Oderských vrchů a Moravské brány se vyskytuje svahová nestabilita a sesuvy přírodního původu. [18] Údolí je obohaceno skalními útvary, jako jsou např. skalní věže Čertovy kazatelny, vyskytující se v severní části údolí v blízkosti toku. [38]

Vzhledem k významnosti znalostí geologických poměrů pro stavbu vodního díla je zřejmé, že bude potřeba provést podrobný geologický průzkum.



### 2.3.2 Přehled půdních poměrů

V zájmové oblasti převažuje půdní jednotka kambizem, která se dále dělí na subtypy: dystrickou, mesobazickou, oglejenou a rankerovou. V bezprostřední blízkosti toku Jezernice se nachází glej a fluvizem. [20] Z geologických vrtů v okolí údolí lze analogií získat přibližné chování geologie, především hloubky kvartérní vrstvy, která dosahuje necelých 2 m, a nezávětralé skalní podloží se pak nalézá v 5 m.

## 2.4 Hydrologické poměry

Oblast spadá do povodí řeky Bečvy, která vzniká spojením Bečvy Vsetínské a Rožnovské a protéká Moravskou bránou směrem na západ, až se vlévá do řeky Moravy a tvoří tak její největší levostranný přítok na ř. km. 210,6. [38] Na Bečvě se nalézá několik hlásných stanic ČHMÚ, nejrelevantnější pro tuto práci jsou hlásné stanice v Teplicích nad Bečvou (Bečva) a v Hranicích na Moravě (Velička).

Tabulka č. 2: Hydrologické údaje Bečvy v profilu nad obcí Jezernice [21]

Bečva – Jezernice							
[m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>a</sub>
	227.95	330.3	473.3	584	852.4	975.1	15.414

Údolím Peklo protéká tok Jezernice, který pramení východně od Kozlova v Oderských vrších v nadmořské výšce 646 m, poblíž vrcholu Zelený kříž. Odtéká na východ podél hranic Vojenského újezdu Libavá. Zhruba po 1,5 km se odklání směrem na jih a protéká Peklem. Po asi zhruba 8 km se dostává mimo zalesněné území, kříží obec Podhoří a Jezernice a ústí do řeky Bečvy mezi Lipníkem nad Bečvou a Hranicemi na Moravě, kde tvoří její pravostranný přítok na ř. km. 31,1 v nadmořské výšce 232 m. Jezernice spadá do hydrologického povodí 4. řádu. [22] Tok měří 13,1 km a má několik drobných přítoků, jako např. potok Srnkov, Černý potok a další bezejmenné přítoky. Celková plocha povodí činí 20,76 km<sup>2</sup>. Objekty na toku v obci Podhoří tvoří malý pevný jez a jižně od Podhoří v osadě Dolní mlýny soukromý chovný rybník (významná vodní nádrž IV kategorie). [39] [17][42]

Správcem toku je státní podnik Povodí Moravy. Podle Vyhlášky č. 178/2012 Sb. tok spadá mezi významné vodní toky. [23]

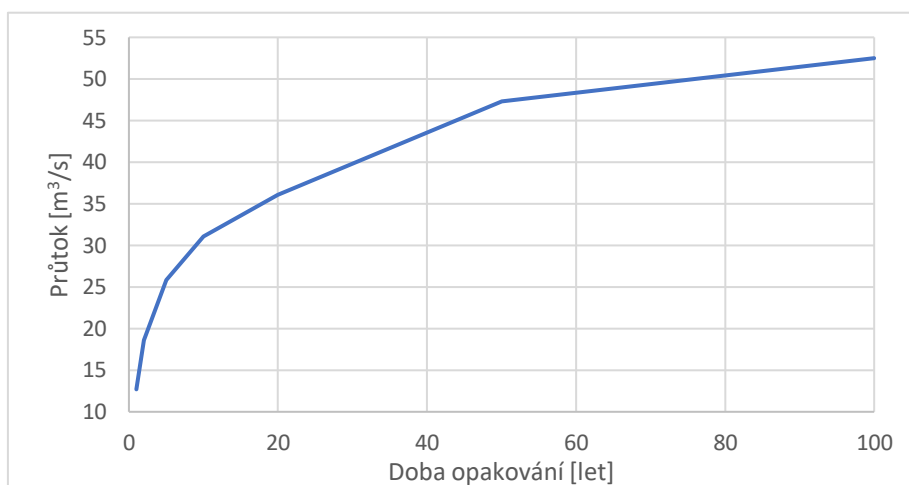
Kvůli nížinnému charakteru morfologie spodní části toku je pro účely studie přehrady relevantní pouze část toku nad obcí Podhoří, kde Jezernice opouští Oderské vrchy. Plocha povodí zde činí 15.86 km<sup>2</sup> a tok je dlouhý 6,9 km. Jezernice přijímá nad tímto úsekem stále téměř všechny své přítoky, takže nedochází k významné ztrátě vodnosti.

Tabulka č. 3: Hydrologické údaje Jezernice v profilu nad obcí Podhoří [6][7][21]

Název toku	Jezernice					
Profil	Nad obcí Podhoří					
Číslo hydrologického pořadí	4-11-02-0510					
Roční úhrn srážek	660					
Odtokový součinitel	0.32					
Plocha povodí	15.86					
Průměrný roční průtok $Q_a$	0.11					
Minimální zůstatkový průtok MZP	0.03					
$Q_n$	0.097					
$Q_{neš}$	12.7					
m-denní průtoky						
$Q_{30}$	$Q_{90}$	$Q_{180}$	$Q_{270}$	$Q_{330}$	$Q_{355}$	$Q_{364}$
0.30	0.12	0.09	0.04	0.02	0.01	0.08
N-leté průtoky						
$Q_1$	$Q_2$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
12.7	18.6	25.8	31.1	36.1	47.3	52.5

Údaje o N-letých průtocích a ploše povodí byly získány od podniku Povodí Moravy a pochází z roku 2007. Data o m-denních průtocích, odtokovým součiniteli a průměrných ročních úhrnech srážek jsou převzaty z atlasu „Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, díl III.“ a interpolovány tak, aby odpovídaly profilu nad obcí Podhoří. Průměrný roční průtok  $Q_a$  a nadlepený odtok  $Q_n$  je převzat ze „Směrného vodohospodářského plánu ČSR“, kde je

profil uveden jako výhledový, evidovaný a nehájený. Neškodný průtok byl získán analogií ze sousedního toku Velička obdobných rozměrů a významu. [6][7]



Obrázek č. 3: Čára opakování průtoků Jezernice v profilu nad obcí Podhoří [7]

Pro účely posouzení přehrady, která s velkou pravděpodobností spadá do kategorie II. nebo I., je nezbytné určit hodnotu extrémního povodňového průtoků  $Q_{10\,000}$ . Tato hodnota následně slouží k dimenzování funkčních objektů a posouzení bezpečnosti tohoto díla. Pro odvození  $Q_{10\,000}$  byla použita metoda logaritmické extrapolace kulminačních N-letých průtoků při zachování polynomického trendu. Hodnota  $Q_{10\,000}$  byla stanovena na  $80,6\text{ m}^3/\text{s}$ .

Na území Pekla se vyskytují ochranná pásma podzemních vodních zdrojů, v oblasti se odebírá voda pro spotřebu obce Podhoří. [22] V intravilánu obce Jezernice se nachází několik problémových mostů a propustků, u kterých hrozí ucpání erozním materiálem při vydatném dešti, které by znamenalo rozlítí toku. [16]

## 2.5 Klimatické poměry

Zájmové území se nachází v mírném podnebném pásmu. Dlouhodobý průměr 1991–2020 teploty se pohybuje okolo  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  a průměrný roční srážkový úhrn činí 660 mm. [21][13]

Podle Quittovy klasifikace klimatu spadá okolí obce Podhoří převážně do klimatické podoblasti MT7 na základě klimatických parametrů. [17]



Tabulka č. 4: Klimatické poměry údolí Pekla dle Evžena Quitta [17]

Oblast	MT7
Počet letních dní	30-40
Počet dní s prům. teplotou 10°C a více	140-160
Počet dní s mrazem	110-130
Počet ledových dní	40-50
Prům. lednová teplota	-2 až -3
Prům. červencová teplota	16-17
Prům. dubnová teplota	6-7
Prům. říjnová teplota	7-8
Prům. počet dní se srážkami 1 mm a více	100-120
Suma srážek ve vegetačním období	400-450
Suma srážek v zimním období	250-300
Suma srážek celkem	650-750
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60-80
Počet zatažených dní	120-150
Počet jasných dní	40-50

## 2.6 Osídlení

Oblast Oderských vrchů patří mezi nejméně obydlené v České republice, především kvůli velkému rozsahu a vlivu vojenského újezdu Libavá na dostupnost a dojezdové vzdálenosti, ale také z důvodu celkové odlehlosti oblasti. [38]

Jižním směrem od údolí Peklo, v oblasti Moravské brány, se však zástavba výrazně zvětšuje. Již v historii se jednalo o oblast s hustým obydlím a nížina byla využívána pro kupecké cesty propojující Evropu. [40] Dnes se zde nachází železniční a dálniční tahy a v blízkosti dvě ORP Lipník nad Bečvou a Hranice na Moravě. Půda je zemědělsky využívána a rozvinutý je i průmysl (cihelna Wienerberger s.r.o., Jezernice).

## 2.7 Územní rozvoj oblasti

Dle Politiky územního rozvoje ČR se údolí Moravské brány počítá mezi rozvojovou osu OS10. Je zde plánovaná výstavba vysokorychlostní železniční trati ŽD5. Nachází se zde již postavená dálnice D1. Údolí Peklo je však mimo trasu těchto tahů a nezasahuje do ochranného pásma dálnice. [11]

Oblast spadá mezi katastrální území Podhoří na Moravě (ORP Lipník nad Bečvou), Uhřínov u hranic a Kozlov u Velkého Újezdu (ORP Olomouc).

Z územního plánu města Kozlov zájmové území může potenciálně zasáhnout do Ptačí oblasti Libavá Natura 2000, která se rozprostírá především v oblasti vojenského újezdu. Dále je vyznačeno zájmové území ministerstva obrany pro nadzemní stavby 50–100 m nad terénem. Nachází se zde také vodovodní síť a vodní zdroj podzemních vod společně s úpravnou. Údolím prochází dopravní infrastruktura (cyklotrasa). [8]

ÚP Podhoří v Pekle vymezuje 4 zastavěné plochy typu bydlení venkovské. Nachází se zde cyklotrasa a zahrádkářská osada. Jedná se o migračně významné území. Zbytek plochy je krajinná zeleň nebo plocha lesů, malá část plochy zemědělské. [9]

ÚP Hranice většinu plochy vyznačuje jako veřejnou zeleň nebo plochy lesní. Také se zde nachází lokální biocentrum. Vymezuje se zde zájmové území ministerstva obrany pro nadzemní stavby. [10]

Všechny výše zmíněné územní plány mají v zájmovém územím velkým významem vyznačenou oblast Nadregionálního biocentra Jezernice (viz. kapitola 2.8).

## **2.8 Kulturní a přírodní památky**

Zájmové území zasahuje do Nadregionálního biocentra Jezernice, které má jako cílové skupiny mezofilní bučinné. Právě bučinné a suťové lesy tvoří údolí toku Jezernice. [42] Na území se vyskytují vzácné floristické druhy. [38] Mezi ohrožené živočichy údolí patří orel skalní, čolek horský nebo různé druhy netopýrů a obojživelníků. [15] Významný podíl krajiny má i velký výskyt měkkýšů. [25]

Je tedy zřejmé, že z hlediska ochrany přírody dochází ke konfliktu. U tak velkého díla, jako je přehrada, se v dalších stupních dokumentace zpravidla provádí průzkum posuzování vlivů na životní prostředí EIA, který posoudí význam oblasti a dopady na ekosystémy.

Nachází se zde i kulturní památka České republiky, zříceniny hradu Drahotuš. Ten pochází z druhé poloviny 13. století. Jeho pozůstatky se nachází na západním svahu kopce Juřacka. Vzhledem k lokaci památky a zájmového území se konflikt nepředpokládá. [15]

## 3. Základní údaje navržené koncepce

### 3.1 Vývoj návrhu vodního díla v oblasti

Povodně v roce 1997 drtivě zasáhly oblasti Moravy a Slezska. Zemřelo tehdy 50 lidí a škody se odhadují na více jak 60 miliard korun. [26] Tyto události zapříčinily velkou snahu vytvoření protipovodňových opatření, která by podobným katastrofám předešla.

Jedno z takových opatření je plánované vodní dílo Skalička. Studie tohoto díla byla prováděna pro několik variant a na multikriteriální analýze se podílel i pan docent Satrapa. Během práce na VD Skalička jej kontaktoval pan inženýr Šalý a sdělil mu jeho ideu vodní nádrže.

Návrh pana inženýra Šalého popisuje přečerpávací soustavu v profilu Oderských vrchů. Ta využívá vysokou vodnost nadprůměrných průtoků řeky Bečvy, která se několikrát ročně rozlije mimo své koryto v oblasti mezi Lipníkem nad Bečvou a Hranicemi na Moravě. Tuto přebytečnou vodu by zachycovala suchá nádrž na řece Bečvě, která by ve spolupráci s VD Skalička tvořila protipovodňovou ochranu obcí Hranice, Lipník a kritických Troubek. Voda, která by se zachytila v této suché nádrži, by se následně čerpadla do horní nádrže v údolí Jezernice. Tato přehrada by plnila funkci hydroenergetickou, kdy právě malá vodoteč toku Jezernice by byla posílena přečerpanou vodou z Bečvy, případně gravitačním přivaděčem z toku Velička.

Námět na lokalizaci vhodného profilu pro výstavbu přehrady bylo inspirací pro tuto bakalářskou práci (viz *příloha č. 1*).

### 3.2 Účel přehrady

Přehrada může plnit několik základních funkcí: zásobní – sloužící pro zadržení vody a zajištění odběrů pro pozdější nakládání, ochrannou, využití pro energetické účely a jiné. Ty se určují na základě potřeb širšího okolí.

### **3.2.1 Vodárenské účely**

Vodovodní síť v okolí Pekla se skládá z několika vodovodů a různých odběrů vody. Obec Kozlov u Velkého Újezdu má svůj podzemní zdroj, totéž platí pro obec Slavkov. Obce Středolesí a Uhřínov jsou součástí skupinového vodovodu Potštátsko s prameništěm Lhotka. Obec Jezernice je součástí skupinového vodovodu Běloutín – Hranice na Moravě – Lipník nad Bečvou. Pouze obec Podhoří má samostatný vodovod, který je zásobován prameništěm Peklo a zdejší úpravnou vody. [27][28]

Podle demografické studie se nepředpokládá nárůst obyvatel v oblastech Olomouckého kraje. [41] Počítá se však s poklesem množství a vydatnosti podzemních i povrchových zdrojů na území Olomouckého kraje [12]. Tato skutečnost je podnětem k zvážení potřeby výstavby nového budoucího vodního zdroje. Podobný záměr zahrnuje Generel Ministerstva zemědělství 2020 ve výhledové vodním díle Podlesný mlýn. [5]

### **3.2.2 Protipovodňová ochrana**

Přítomnost toků Jezernice a Bečvy představuje v oblasti riziko povodní. Jako dílo plnicí protipovodňovou ochranu v okolí je v Generelu vymezena již výše zmíněná přehrada Podlesný mlýn, jako další dílo je dlouze plánovaná Skalička. O potřebě výstavby nové protipovodňové ochrany svědčí i povodně z roku 1997, které způsobily velké škody.

Dle povodňového plánu Lipníku nad Bečvou je již při pětiletém průtoku Bečvy ohroženo 47 budov, při  $Q_{100}$  to již činí 300. V obci Podhoří je ohroženo tokem Jezernice celkem 22 objektů a v obci Jezernice 174. Poskytnuté zpomalení či úplná retence kulminační vlny povodně může zamezit ztrátám na majetku i na životech a je jedním z potřebných funkcí výhledového díla. [17]

### **3.2.3 Využití vodní energie**

Funkce využití vody za účelem tvorby elektrické energie vyžaduje dostatečný spád a průtok. V České republice, přestože se jedná o hornatou krajinu, často představuje výzvu dosáhnout požadovaný spád. Je možné jej však zajistit uměle konstrukcí přehrad nebo soustav přečerpávacích nádrží.

Oblast Jezernice vyniká svým hluboce zahloubeným údolím, které poskytuje dobré převýšení na krátké vzdálenosti, která by napomohla snížení ztrát v přivaděči. Spády mezi vrcholy a dnem údolí se pohybují okolo 200–250 m, existuje tedy možnost tohoto spádu využít pro vybudování přečerpávací soustavy.

### 3.3 Kategorie vodního díla

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) stanovuje nebezpečí na území na toku pod vodním dílem, které vyplývá ze samotné existence díla a technického stavu a pravděpodobnosti jeho protržení, které by způsobilo zvláštní povodeň. Proto každé dílo má speciální požadavky na zajištění jeho bezpečnosti, které se odvíjí od potenciálního množství škod způsobených zvláštní povodní, a to na lidských životech, na samotném díle, na toku a území pod dílem a ztráty užitku vyřazením díla z provozu. Kategorie se určuje podle bodové hodnoty potenciálu škod P. Návrh kategorie je obsahem odborného posudku. [36]

Kritérium a)	Počet bodů
Klíčová vodní díla s celostátním významem	3
Vodní díla s oblastním významem	2
Vodní díla lokálního významu	1
Kritérium b)	Počet bodů
Výška hráze nad 20 m nebo objem hráze nad 170 000 m <sup>3</sup>	3
Výška hráze 10 m až 20 m nebo objem hráze 30 000 m <sup>3</sup> až 170 000 m <sup>3</sup>	2
Výška hráze do 10 m nebo objem hráze do 30 000 m <sup>3</sup>	1
Kritérium c)	Počet bodů
Mimořádně obtížné geologické podmínky	3
Obtížné geologické podmínky	2
Dobré geologické podmínky	1

Obrázek č. 4: Tabulka bodového hodnocení hrází [33]

Třída	Součet bodů
I.	7 až 9
II.	5 až 6
III.	4 až 5

Obrázek č. 5: Tabulka tříd hrází [33]

V této práci byla kategorie určena dle normy ČSN 75 2310. Zatřídění hrází do kategorií se určuje dle kritérií: důležitost vodního díla, výška hráze a geologické podmínky. [33]

Přehrada bude na úrovni oblastního až celostátního významu, z *obrázku č. 4* vyplývá, že v této kategorii dostane 2-3 body. Výška hráze je více jak 20 m a objem nádrže nad 170 000 m<sup>3</sup>, zde obdrží 3 body. Geologické podmínky vzhledem k přítomnosti sesuvů v okolí a malé prozkoumanosti oblasti se zařadí mezi obtížné, což se rovná 2 bodům. Celkově získá 7–8 bodů a jedná se o vodní dílo I. kategorie.

Výše uvedený postup dle normy ČSN 75 2310 platí pouze pro potřeby dané normy a pouze pro sypané hráze. Pro zjednodušení byla použita v této práci, neboť získaná kategorie často odpovídá kategorii TBD stanovené normou ČSN 75 2935, pro kterou je potřeba odborný posudek. [36]

### **3.4 Vliv přehrady na životní prostředí a okolí**

Výstavba přehrady představuje ve velkém rozsahu zásah do okolí již při samotné stavbě, kdy se produkuje nadměrné zvukové, prachové a jiné znečištění a zvýšená koncentrace dopravy těžké techniky. Samotné dílo pak zcela změní tvář krajiny.

Nepředpokládá se významný vliv na sídla v okolí. V údolí se nachází pouze 6 zastavěných ploch, jedna účelová komunikace a vodovodní přivaděč do obce Podhoří. Zbytek území je lesní plocha. Protože se obec Podhoří nachází v bezprostřední blízkosti, byla by nejvíce negativně ovlivněna stavbou.

Předpokládá se významný vliv na životní prostředí. Jak již bylo zmíněno v *kapitole 2.8*, kvůli Nadregionálnímu biocentru Jezernice dochází ke konfliktu a dopad by byl velkého měřítká. Výstavba vodní plochy může narušit migrační koridory a habitaty živočichů a chráněných rostlin, může však i napomoci biodiverzitě a lepšímu klimatu v okolí. Dopady na životní prostředí podrobně posuzuje průzkum vlivů na životní prostředí EIA.

## 4. Koncepční řešení

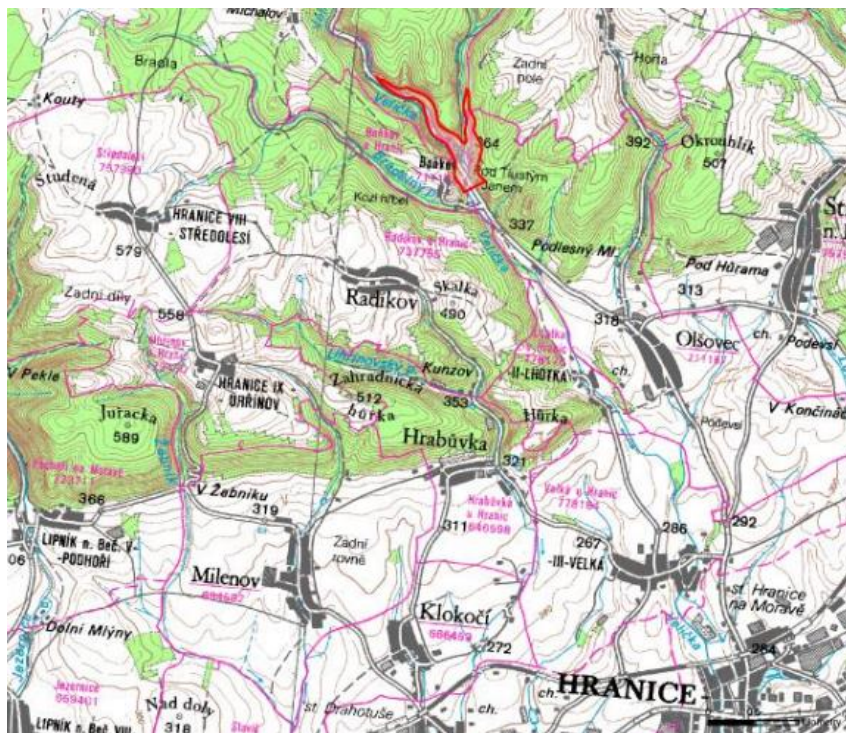
Práce se dále věnuje posouzení koncepčních variant řešení nádrže v oblasti údolí Peklo. Provede se návrh umístění hráze a konstrukční řešení včetně určení funkčních objektů. Celkově jsou navrženy 4 varianty řešení: varianta 1 – samostatná nádrž, varianta 2 – propojená soustava Bečva – Jezernice, varianta 3 – přečerpávací soustava, varianta 4 – víceúčelová nádrž.

### 4.1 Varianta 1 – Samostatná přehrada

Varianta vychází ze Směrného vodohospodářského plánu ČSR, kde je profil Podhoří zaznamenán a jsou pro něj stanoveny i některé parametry, jako je zásobní objem, ovladatelný objem nebo výška hráze. Nádrž je uvedena jako výhledová, evidovaná, avšak nehájená. V Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod, vydaném Ministerstvem zemědělství, s tímto profilem již nepočítají. [6][5]

#### 4.1.1 Účel

Ve Směrném vodohospodářském plánu ČSR u hráze Podhoří není zmíněn účel. V Generelu ministerstva zemědělství z roku 2020 je uvedena jiná, velice blízka nádrž Podlesný mlýn na toku Velička, jejíž účel je určen jako víceúčelové využití, především jako lokální protipovodňová ochrana zastavěného území podél dolního úseku Veličky a v městě Hranice.



Obrázek č. 6: Umístění výhledové nádrže Podlesný mlýn [5]



Možné je i využití jako zásobní vodárenský zdroj pro město Hranice a jeho okolí. [5] Vzhledem k tomu, že obě hráze jsou jak parametry nádrží, tak i významností a velikostí toku velice podobné, je možné předpokládat stejné funkce i pro tuto hráz. Navíc při budování hráze Podlesný mlýn by došlo k výrazné kolizi se silnicí II/440 spojující Potštát a Hranice, v údolí Jezernice k takové kolize nedojde.

Z hlediska potřeby funkce v okolí převažuje funkce protipovodňová, jak je zmíněno v kapitole 3.2.2. Vzhledem ke klimatickému vývoji je třeba zajistit i zásobní vodárenská zdroj (viz kapitola 3.2.1). Funkce samostatné nádrže v údolí Peklo je navržena jako víceúčelová, především pak lokální protipovodňová ochrana zastavěného území podél dolního úseku Jezernice a v městě Lipník. Dále by bylo možné nádrž využít jako zásobní vodárenský zdroj pro město Lipník nad Bečvou, který je s městem Hranice propojen skupinovým vodovodem Běloutín – Hranice – Lipník. Nádrž může také plnit funkci rekreační nebo chovnou.

#### **4.1.2 Umístění**

V oblasti Oderských vrchů se nachází několik využitelných údolí pro umístění hráze, ze kterých se jeví jako vhodné údolí Peklo. Morfologie tvaru V umožňuje umístění hráze s teoretickou výškou až do 200 metrů. Geologické poměry umožňují vhodné základové podmínky a případné poskytnutí materiálu pro konstrukci kamenné hráze. Co se týče hydrologie, Jezernice společně s Veličkou poskytují největší vodnost ze zdejších toků.

V samotném údolí Peklo se ideální profil nachází těsně nad obcí Podhoří. Údolí je zde dostatečně sevřené a plocha povodí nad profilem obsahuje veškeré přítoky, které tak napomohou plnění funkce nádrže. V oblasti zátopy je minimální osídlení a není třeba velké vysídlení obyvatelstva. Celkové umístění objektu je vyznačeno ve **výkresu č. 02**.

### 4.1.3 Majetkoprávní vztahy

Tabulka č. 5: Dotčené území [29]

Kraj	Olomoucký	
Okres	Olomouc	Přerov
Obec s rozšířenou působností	Olomouc	Lipník nad Bečvou
Katastrální území	Kozlov u Velkého Újezdu	Podhoří na Moravě

Umístění hráze je výhodné z pohledu majetkoprávních vztahů. Vzhledem k tomu, že se oblast nachází v prostoru bývalého Vojenského újezdu Libavá, je zde omezená zástavba a malé osídlení. Prostory hráze a zátohy zasahují dle *tabulky č. 5* do dvou katastrálních území – Kozlov u Velkého Újezdu a Podhoří na Moravě.

Tabulka č. 6: Vlastníci dotčených pozemků, Varianta 1 [29]

Vlastník	Počet zasažených pozemků
Česká republika	55
Město Lipník	11
VaK Přerov	2
Soukromý vlastník	6
Suma	74

Výstavbou hráze a vznikem zátohy bude dotčeno na 74 pozemků, z nichž většinu vlastní Česká republika (Vojenské lesy a statky ČR) nebo město Lipník nad Bečvou (viz *tabulka č. 6*). Pozemky z hlediska využívání jsou porovnány v *tabulce č. 7*. Jak je patrné, většina pozemků jsou lesního charakteru nebo místní komunikace s cyklostezkou.

Tabulka č. 7: Druhy dotčených pozemků, Varianta 1 [29]

Využití pozemku	Počet zasažených pozemků
Lesní pozemek	22
Vodní plocha	4
Ostatní plocha, ostatní komunikace	17
Ostatní plocha, sportoviště a rekreační plocha	11
Ostatní plocha, jiná plocha	11
Zastavěná plocha a nádvoří	6
Trvalý travnatý porost + zahrada	3

V oblasti dochází ke střetu s elektrickým vedením, které spojuje osadu Peklo s obcí Podhoří, a také s vodovodním přivaděčem do obce Podhoří spolu s úpravnou vody. V důsledku toho je nezbytné zajistit alternativní zdroj pitné vody pro obec Podhoří.

#### 4.1.4 Typ hráze

Konstrukční řešení hráze je významným prvkem koncepčního návrhu. Jeho podoba je ovlivněna morfologií údolí, geologickým podložím a potřebnou hloubkou výkopu pro dosažení neztvrdlého skalního podloží.

Pro získání dobrých znalostí o geologickém podloží v profilu hráze je nezbytné provést podrobný geologický průzkum. Tento průzkum určí složení hornin a hloubku jejich výskytu. V údolí nejsou žádné již existující geologické vrty. Při postupech této práce jsou využity informace z geovědních map a z okolních vrtů. Předpokládá se, že podobné vlastnosti podloží budou přítomny i v oblasti hráze.

Jak z kapitoly 2.3.1 vyplývá, v dané oblasti převažuje horninové složení tvořené jílovitými břidlicemi a droby. Tento druh podloží je obecně považován za vhodný pro stavbu tížné přehrady. Pro dosažení zdravé až slabě zvětralé horniny je potřeba provést výkopy o hloubce přibližně 5 metrů. Právě hloubka výkopu na zdravé skalní podloží je pro betonovou tížnou přehradu podstatná, neboť úměrně s ní rostou náklady. Vzhledem k akceptovatelnému složení podloží a nepřiliš velkému výkopu lze uvažovat o betonové tížní přehradě jako jedné z možných variant. Nevýhodou by byl vysoký nárok na prostor staveniště při použití technologie válcovaných betonů. [1]

Mezi další varianty patří výstavba hráze z místních materiálů, nejlépe z oblasti zátopy. Zemní sypaná hráz by však nebyla proveditelná z důvodu nedostatku materiálu v oblasti zátopy ani v širším okolí. V této oblasti se kvartérní pokryvy vyskytují do hloubky přibližně 1 m, což není dostatečné pro získání potřebného materiálu. [1]

Další možnou variantou je výstavba zemní kamenité hráze. Jak již bylo zmíněno, v oblasti zátopy se nacházejí břidlice a droby, které by mohly být odtěženy a použity jako konstrukční materiál pro hráz, čímž by se zároveň zvýšil objem zatopeného prostoru. Alternativou je také dovážet kamenivo z nedalekého kamenolomu Hrabůvka, který se nachází zhruba 5 km od místa profilu hráze a nabízí různé frakce moravské droby. Jako těsnění lze využít střední či návodní, a to umělé asfaltobetonové či zemní. [1]

Konstrukce klenbové přehrady je možností vzhledem ke zúženému tvaru údolí V, nicméně, pro ni jsou potřeba vynikající geologické podmínky, které zde nejsou splněny. Z tohoto důvodu je tato možnost vyloučena. Totéž platí pro pilířovou přehradu. [1]

Pro hráz v údolí Peklo je navržen jako nejvhodnější typ sypaná kamenná hráz s asfaltobetonovým návodním těsněním.

#### 4.1.5 Těleso hráze

U volby materiálu stabilizační části hráze je třeba brát zřetel na kvalitu materiálu a jeho vlastnosti, jako jsou trvanlivost, odolnost proti klimatickým vlivům nebo vhodný tvar, ideální jsou např. žuly a bazalty. Je ale zapotřebí zohlednit určitou hospodárnost návrhu a co nejvíce zvýšit úspory na dopravě materiálu a jeho samotné ceně. V současné době se klade důraz především na hospodárnější a efektivnější využívání prostředků a na minimalizaci dopravních vzdáleností. V ideálním případě se těžba provádí přímo na místě, které bude následně zatopeno, čímž se zvyšuje objem zátopy. [1]

Podobný princip platí i při návrhu materiálu pro tuto práci. Je možné otevřít lom v oblasti zátopy, kde se vyskytují břidlice a droby, obecně vhodný stabilizační materiál. Je potřeba udělat detailní průzkum vlastností kameniva v laboratoři. Pokud by tyto vlastnosti neodpovídaly požadovaným parametrům, je možné využít nedalekého kamenolomu Hrabůvky, které poskytují široký sortiment frakcí moravské droby. Vysoká hydraulická vodivost stabilizační části přehrady způsobuje velké zaklesnutí hladiny prosakující vody, která dále nevstupuje na povrch vzdušního svahu a je tak možné vypustit drenážní opatření a zařízení pro sledování depresní křivky. Svahy návodního i vzdušního líce jsou provedeny ve sklonu 1:1,75 a výška hráze v nejnižším bodě údolí činí 56,8 m (388,49 m n.m.). Svou podstatou kamenná hráz poskytuje dostatečnou zrnitost lomového kameniva pro zajištění stability svahu, proto není nutné zvláštní opevnění. Výhodou kamenitých přehrad je celkově malá citlivost k deformacím. Ve *výkresech č. 04* a *č. 05* jsou zobrazeny příčné řezy hráze. [1]

Sypané hráze, především zemní, jsou obecně nejméně náročné na vlastnosti podloží. Kamenné hráze vyžadují vhodnější vlastnosti a sedání podloží se u nich nepříznivě projevuje především při tuhém těsnícím prvku. Z průzkumných geologických prací se stanovuje hloubka založení, postup výkopových prací a úpravy základové spáry včetně opatření ke zlepšení vlastností

podloží. Z průzkumových prací je důležité získat prostorovou představivost o geologických poměrech, především o rozsahu a poloze ploch nespojitosti, které negativně ovlivňují stabilitu a průsakové poměry. Vzhledem k charakteru deskovité textury zpevněných sedimentů břidlic je důležité věnovat zvýšenou pozornost predestinované puklinové propustnosti a průsakovým cestám. Základní vlastnosti únosnosti podloží se určují z výsledků zatěžovacích zkoušek. U návrhu této práce je zvoleno založení na neskálním podloží. Základová spára se očistí od nevhodných předmětů a sejme se povrchová humózní vrstva do hloubky 30 cm, následně se urovná a na povrchu pečlivě zhutní.

Pro zlepšování vlastností základové půdy je možné provést různé metody pro zajištění větší únosnosti, rychlejší konsolidaci a zvýšení smykové pevnosti, jako je výměna nevhodných zemin, hloubkové zhutňování vibrací, předběžné zatížení, injektování zeminy a jiné. [1]

Zemní těsnění je vhodnou volbou tam, kde je dostatečně množství zemin v blízkosti staveniště. V údolí Peklo dosahují kvartérní pokryvy pouze hloubky 1-2 m a neposkytují tak mnoho vhodného materiálu. Při volbě zemního těsnění je navíc u kamenitých přehrad nutná dobrá funkce filtračních prvků a s tím rostou i náklady. [1]

Je navrženo návodní těsnění asfaltobetonovým pláštěm. To umožňuje jednoduchou technologii výstavby celého profilu najednou, tvoří současně opevnění návodního líce a je snadno opravovatelné. Díky své vysoké nepropustnosti je možné ve stabilizační části použít i méně vhodný materiál a tím preferovat větší hospodárnost díla. Eliminují se náročné filtry nezbytné pro zemní těsnění. Návodní asfaltobetonové těsnění se snadno přizpůsobuje deformacím přehradního tělesa v důsledku kolísání hladiny v nádržích. Těsnění je navrženo jako jednovrstvé, z vodostavebního asfaltového betonu hutného, s tloušťkou vrstvy 100 mm, pod kterým se nachází drenážní vrstva z vodostavebního asfaltového betonu mezerovitého s mocností 120 mm. Stabilizační část odděluje vyrovnávací/podkladní vrstva s drenážním účinkem s tloušťkou 250 mm. Jednotlivé vrstvy jsou spojeny asfaltovou emulzí pro lepší soudržnost. Povrch těsnění je upraven ochrannou vrstvou asfaltového mastixu, který chrání především před klimatickými vlivy a UV zářením. Těsnění je zavázáno na jednom konci s komunikací na koruně hráze a na druhém s injekční clonou propojenou se skálním podložím. Tím se zajistí souvislé těsnění po celém návodním líci. Podrobnější popis navázání na injekční chodbu je k nalezení ve *výkrese č. 05*. [1]

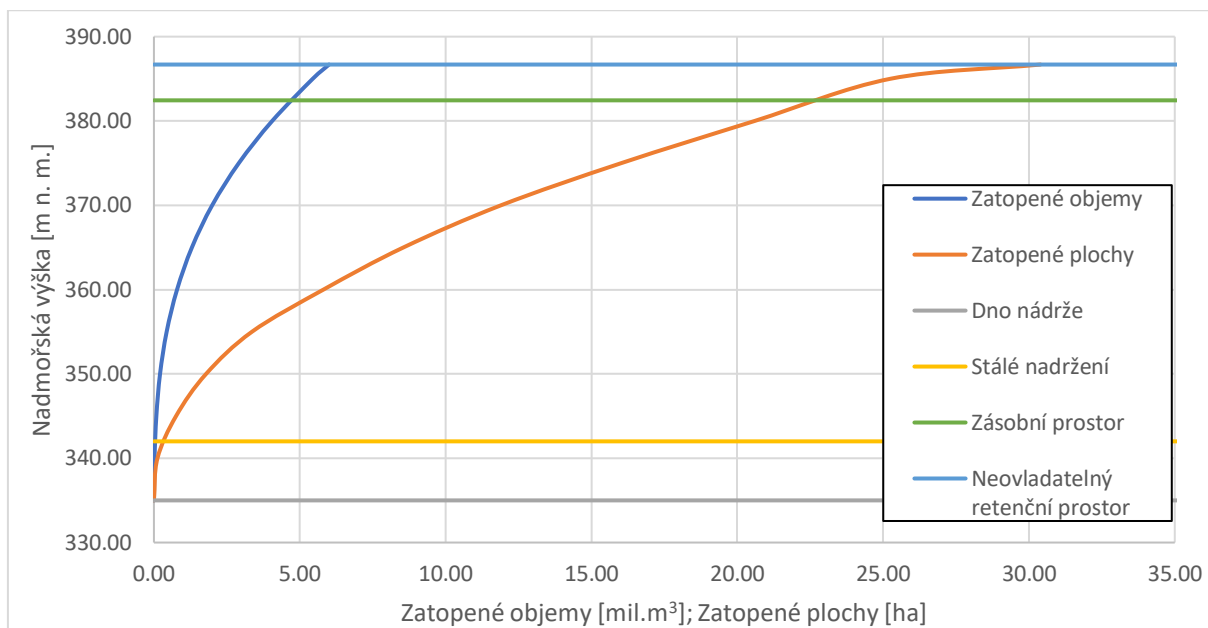
## 4.1.6 Rozmístění prostor v nádrži

Tabulka č. 8: Rozdělení prostorů v nádrži, Varianta 1 [4]

Rozdělení prostorů v nádrži				Úroveň hladiny [m n.m.]	zatopená plocha [ha]	Zatopené objemy	
						celkem [mil.m <sup>3</sup> ]	[mil.m <sup>3</sup> ]
V <sub>c</sub>	V <sub>neovl</sub>	V <sub>r</sub>	Neovladatelný ochranný prostor	386.69	32.32	6.005	0.365
			Ovladatelný ochranný prostor	385.59	31.07	5.640	0.906
	V <sub>ovl</sub>	V <sub>z</sub>	Zásobní prostor	382.44	27.76	4.734	4.688
			Stálé nadržení	342.00	1.17	0.046	0.044
	V <sub>m</sub>	V <sub>s</sub>	Mrtvý prostor	337.00	0.12	0.001	0.001
			Dno nádrže	335.00	-	-	-

Prostory v nádrži určují dostupný objem využitelný pro odběry nebo retenci povodňové vlny. Jako vstupní údaj pro rozmístění objemů v nádrži posloužil Směrný vodohospodářský plán ČSR, kde byl zásobní objem nádrže Podhoří určen na 4,64 mil.m<sup>3</sup> a celkový ovladatelný objem na 4,71 mil.m<sup>3</sup>. Retenční ovladatelný objem byl tedy stanoven na pouhých 70 000 m<sup>3</sup>. Jako další zdroj pro stanovení objemů bylo výhledové dílo Podlesný mlýn, které je zmíněné v generelu Ministerstva zemědělství, u kterého byl potenciální objem stanoven na 5,5 mil.m<sup>3</sup>. [5][6]

Po umístění profilu byly určeny průběhy zatopených objemů a ploch (viz *obrázek č. 7*) Stanovení mrtvého prostoru závisí na poloze vtoku spodních výpustí a s tímto objemem není možné dále manipulovat ani vypouštět. Osazení spodních výpustí je k vidění ve *výkrese č. 04*. Prostor stálého nadržení byl stanoven na 5 m nad spodními výpustmi. Součástí spodních výpustí není turbína malé vodní elektrárny, proto vtahování vzduchu výpustí a možná kavitace nemá velký vliv na hloubku stálého nadržení. Objem zásobního prostoru byl stanoven tak, aby se přiblížil objemu stanoveného SVP a činí 4,7 mil.m<sup>3</sup>. Retenční ovladatelný prostor 70 000 m<sup>3</sup> se jeví jako nedostatečný pro nádrž s funkcí ochrannou, proto byl navýšen na objem 0,906 mil.m<sup>3</sup> vyplývající z ochrany území pod hrází před povodňovou vlnou (viz. *kapitola 4.1.7*). Neovladatelný retenční prostor vychází z přepadové výšky bezpečnostního přelivu stanoveného v *kapitole 4.1.8*.



Obrázek č. 7: *Zatopené objemy a plochy, Varianta 1 [4]*

#### 4.1.7 Povodňová vlna

Pro výpočty této práce nebyla dostupná data průběhů hydrogramů povodňových vln, a tedy nebylo možné provést jejich transformace a návrh retenčního prostoru. Objem retenčního prostoru byl stanoven úvahou, jak velkou povodňovou vlnu je retenční prostor schopný zadržet, aniž by se převrhla jeho kapacita. Doba trvání povodňové vlny byla odhadnuta analogií povodňových vln jiných povodí na zhruba 8 hodin. Celkový objem vlny byl stanoven integrací trojúhelníku s výškou  $Q_{\max}$  kopírující hydrogram vlny.

Tabulka č. 9: *Objemy povodňové vlny*

Q5		Q10	
$Q_{\max}$ [m <sup>3</sup> /s] =	25.80	$Q_{\max}$ [m <sup>3</sup> /s] =	31.10
t [hod] =	7.9	t [hod] =	8.1
$V_{\max}$ [m <sup>3</sup> ] =	733 752	$V_{\max}$ [m <sup>3</sup> ] =	906 876

Q20		Q50	
$Q_{\max}$ [m <sup>3</sup> /s] =	36.10	$Q_{\max}$ [m <sup>3</sup> /s] =	47.30
t [hod] =	8.1	t [hod] =	8.3
$V_{\max}$ [m <sup>3</sup> ] =	1 052 676	$V_{\max}$ [m <sup>3</sup> ] =	1 413 324

Pro 5, 10, 20 a 50leté průtoky byl stanoven návrhový objem povodňové vlny. Pro návrh retenčního prostoru byl použit průtok s 10letou dobou opakování, při němž objem povodňové vlny činí 906 876 m<sup>3</sup>. Tento objem je retenční prostor schopen zadržet při nadlepšeném odtoku

z nádrže  $Q_n$ , aniž by byla převršena její kapacita. Při transformaci vlny a včasném zahájení vypouštění neškodného průtoku z nádrže by objem retence mohl být i větší.

#### 4.1.8 Funkční objekty

##### Bezpečnostní přeliv

U kamenných hrází jsou funkční objekty problémové především z důvodu rozdílné konsolidace zeminy pod tělesem hráze a pod betonovým objektem. Z toho důvodu se nepoužívají korunové bezpečnostní přelivy. Nejčastější variantou bývají boční bezpečnostní přelivy nebo šachtové bezpečnostní přelivy. [1]

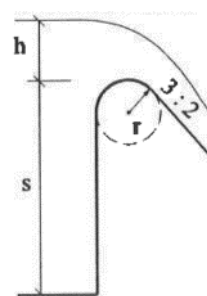
Návrh bočního bezpečnostního přelivu musí zohlednit morfologii území. Ve *výkresu č. 03* je situačně navržený nehrazený boční bezpečnostní přeliv s konstantní úrovní přelivné hrany na pravém navázání hráze. Ústí do spadiště, které následně navazuje na skluz, který se poté napojuje na odpadní koryto pod hrázi. Hrana přelivu leží ve výšce 385,59 m n.m. a má délku 30,0 m. Přeliv má hydraulicky výhodně zaoblenou hranu, s poloměrem zaoblení 0,5 m a následným sklonem stěny 3:2, pro který Rehbock uvádí tvar rovnice součinitele přepadu:

$$\mu_p = 0,312 + \sqrt{0,3 - 0,01 \left(5 - \frac{h}{r}\right)^2 + 0,09 \frac{h}{s}}$$

$$\text{pro } 0,02 < r < s \quad h \leq r \left(6 - \frac{20r}{s+3r}\right)$$

kde:

- $\mu_p$  ... součinitel přepadu,
- $h$  ... přepadová výška,
- $r$  ... poloměr zaoblení přepadové hrany,
- $s$  ... hloubka vody před přepadem.



Obrázek č. 8: Řez přelivnou hranou [43]

S výškou přepadového paprsku 1,1 m přeliv převede průtok  $84,44 \text{ m}^3/\text{s}$  a je tak dostatečně kapacitní pro převedení  $Q_{10\,000}$ . Pro odvození kapacity přelivu byla použita základní rovnice přepadu:



$$Q = \frac{2}{3} \mu_p b_0 \sqrt{2g} h_0^{\frac{3}{2}}$$

kde:

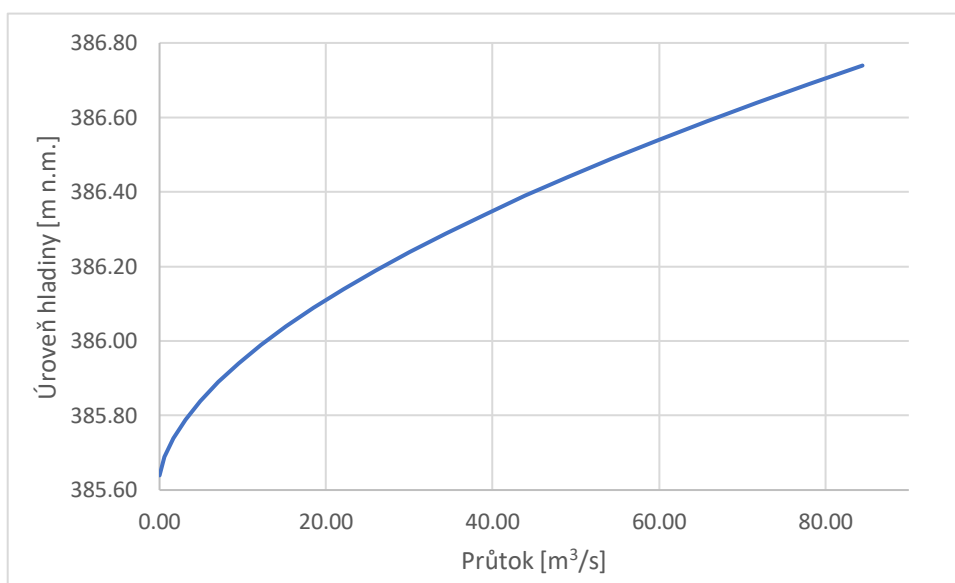
Q ... návrhový průtok,

$\mu_p$  ... součinitel přepadu,

$b_0$  ... účinná šířka přelivu,

g ... gravitační zrychlení,

h ... přepadová výška.



Obrázek č. 9: Konsumční křivka bočního bezpečnostního přelivu, Varianta 1

Byl proveden i návrh šachtového bezpečnostního přelivu, který tvoří součást sdruženého věžového objektu spodních výpustí, odběrů a přelivu. Tento objekt se nachází na návodní straně hráze ve vzdálenosti 82,5 m od koruny (viz **výkres č. 03**). Hrana přelivu se nachází ve výšce 385,59 m n.m. Průměr kruhové hrany přelivu činí 11,52 m a jeho celková délka je 36,2 m. Samotná šachta je kapacitní již s průměrem menším jak 3 m, norma ČSN 75 2340 však stanovuje minimální průměr šachty 3 m. [32] Kapacita šachtového bezpečnostního přelivu byla stanovena rovnicí:

$$Q = mb_0\sqrt{2gh_0^{\frac{3}{2}}}$$

kde:

- Q ... návrhový průtok
- m ... součinitel přepadu,
- b<sub>0</sub> ... účinná šířka přelivu,
- g ... gravitační zrychlení,
- h ... přepadová výška.

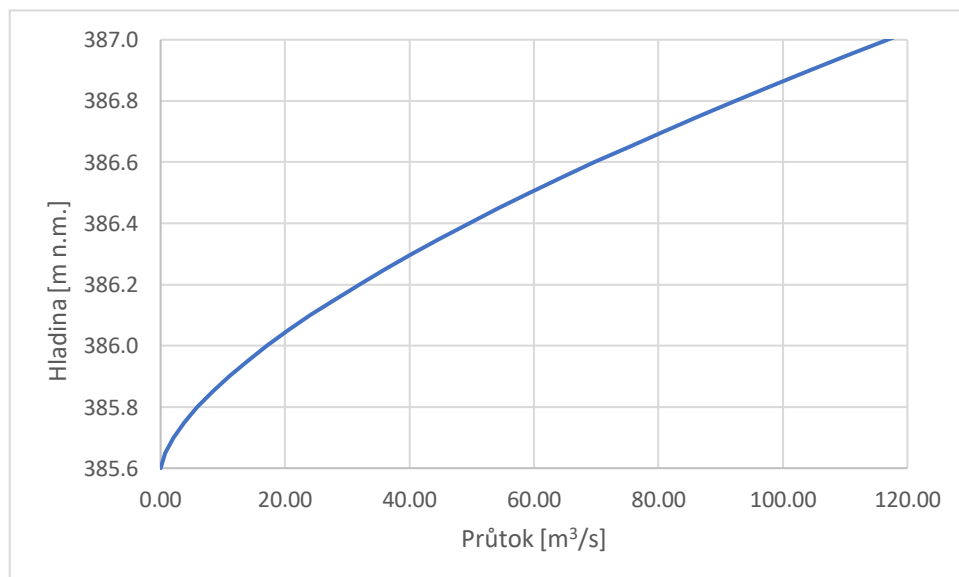
Pro součinitel přepadu Haindl udává vztah:

$$m = 0,461 \left(\frac{h}{r}\right)^{0,033}$$

kde:

- h ... přepadová výška,
- r ... poloměr koruny přelivu.

Při návrhu šachtového přelivu je nezbytné zajistit, aby nedocházelo k zahlcení vtoku, při kterém nastává změna hydraulického jevu přepadu na výtok otvorem, u kterého s rostoucím průtokem roste mnohem rychleji výška přepadu a je tak méně efektivní.



Obrázek č. 10: Konsumční křivka šachtového bezpečnostního přelivu, Varianta 1

Z výpočtů uvedených v **příloze č. 2** vyplývá, že pro dosažení stejné kapacity a přepadové výšky, jako u boční přelivu, vyžaduje šachtový přeliv větší přelivnou délku, a to kvůli menší hodnotě součinitele přepadu. Nicméně přepadové výšce 1,1 m je schopný převést 80,75 m<sup>3</sup>/s, a tedy i Q<sub>10 000</sub>. Z důvodu většího součinitele přepadu preferovaný boční bezpečnostní přeliv. Šachtový přeliv by byl výhodný v případě, kdy by byla dána prioritou konstrukci pouze jednoho bloku funkčních objektů.

### **Sdružený objekt spodních výpustí a odběrů**

Je navržen sdružený objekt, který kombinuje spodní výpusti a odběrný objekt. Tento objekt je vyznačen ve **výkresu č. 04**. Odběry probíhají ve věžovém objektu ve formě etáží, které jsou součástí celkového vodohospodářského řešení. V souladu s normou ČSN 75 2340 byly navrženy dvě spodní výpusti. [32] Přestože by menší průměr výpustí byl dostatečně kapacitní pro neškodný průtok, je zvolen průměr DN800 kvůli běžnější nabídce dodavatelů s většími průměry po 200 mm (viz **příloha č. 2**). Výpusti jsou vystrojeny celkem 3 uzávěry přístupnými z komory uzávěrů, z toho 2 provozní a 1 revizní. Revizní uzávěr je proveden ve formě klínového uzávěru, stejně jako druhý provozní uzávěr. Třetí a poslední uzávěr je navržen jako rozstříkovací. K určení kapacity spodních výpustí je použita rovnice:

$$Q = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \xi + \lambda \frac{l}{d}}}$$

kde:

- g ... gravitační zrychlení,
- H ... výška hladiny,
- ξ ... součinitel místních ztrát,
- λ ... součinitel ztrát třením,
- l ... délka potrubí,
- d ... průměr potrubí.

Potrubí spodních výpustí o délce 15 m je vyústěno do odpadní chodby, která má rozměry 3 x 1,3 m, podélný sklon je 2,7 % a disponuje dostatečnou kapacitou pro převedení neškodného průtoku. U vtoku je chodba zavzdušněna a souběžně s ní vede komunikační chodba, která má rozměry 3 x 2,5 m a vede do komory uzávěrů. Komunikační chodba je vybavena vodárenským potrubím a kolejnicemi pro přepravu těžké techniky. Obě chodby jsou vyústěny na vzdušném líci hráze. Komunikační chodba přímo navazuje na manipulační plochu, zatímco odpadní

chodba ústí do zpevněného koryta. K dimenzování odpadní chodby je použita Chézyho rovnice a je dostatečně kapacitní pro převedení neškodného průtoku (viz *příloha č. 2*). Tato rovnice je tvaru:

$$Q = C * S * \sqrt{R * i}$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

$$R = \frac{S}{O}$$

kde:

C ... rychlostní součinitel,

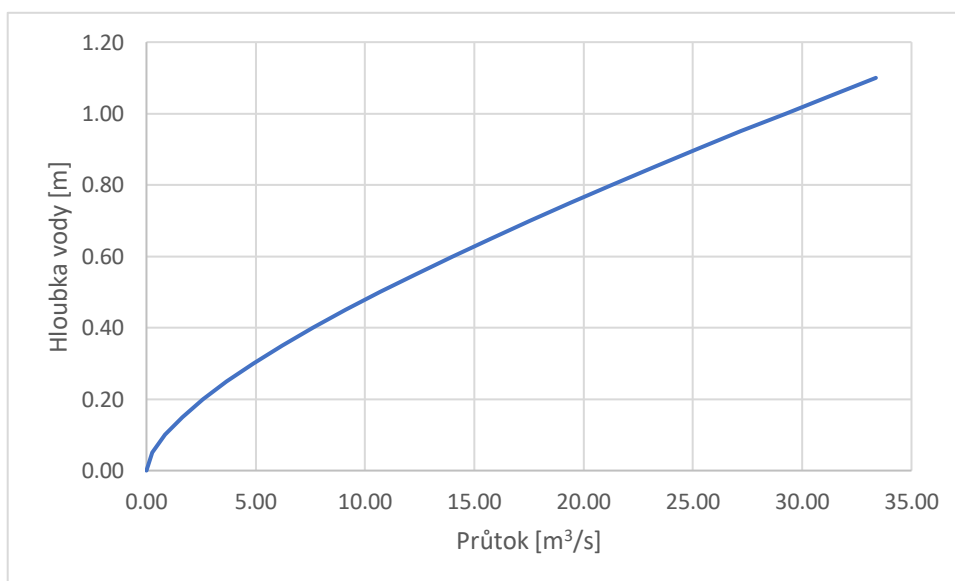
S ... průtočná plocha,

R ... hydraulický poloměr,

i ... sklon ,

n ... drsnostní součinitel,

O ... omočený obvod.



Obrázek č. 11: Konsumční křivka odpadní chodby, Varianta 1

#### 4.1.9 Převýšení koruny hráze

Pro kamenitou hráz je převýšení koruny podstatné z hlediska bezpečnosti celého díla. Přelití koruny vodou by mohlo vést k erozi stabilizační části hráze a způsobit kolaps konstrukce. Stanovení převýšení koruny vychází z analýzy výběhu větrové vlny, která je stanovena podle normy ČSN 75 0255. Zahrnuje efektivní délky rozběhu vlny  $L_{ef}$  závislé na půdorysném tvaru hladiny vody způsobené morfologií.

Z výsledků výpočtů v **příloze č. 2** byl výběh vlny s pravděpodobností výskytu 13 % stanoven na 1,7 m nad maximální hladinu. Bezpečnostní rezerva převýšení byla navržena na 10 cm nad výběh vlny, celkové převýšení tedy činí 1,8m.

#### 4.1.10 Doba plnění nádrže

Doba plnění nádrže vychází z rovnice roční bilance nádrže, která má tvar:

$$V_{bil} = V_p - V_o - V_{pr} - V_v$$

kde:

$V_p$  ... objem celkového ročního přítoku

$V_o$  ... objem celkového ročního odtoku

$V_{pr}$  ... objem celkového ročního průsaku hrází

$V_v$  .... objem celkového ročního výparu

Objem celkového ročního přítoku je stanoven z dlouhodobého průměrného průtoku  $Q_a$  na toku Jezernice v řešeném profilu. Objem celkového ročního odtoku vychází z minimálního zůstatkového průtoku v toku pod hrází. Roční průsak vychází z vlastností návodního asfaltobetonového těsnění a rozměrů návodního líce a výpočet je uveden v **příloze č. 2**. Výparná výška v dané lokalitě je stanovena dle normy ČSN 25 2410 a přepočtena na objem výparu vztaženého k zatopené ploše zásobního prostoru. Tyto hodnoty jsou uvedeny v **tabulce č. 10**.

Tabulka č. 10: Doba plnění nádrže, Varianta 1

$V_p$ [m <sup>3</sup> /rok]	3 468 960
$V_o$ [m <sup>3</sup> /rok]	946 080
$V_{pr}$ [m <sup>3</sup> /rok]	384
$h_v$ [mm/rok]	770
$V_v$ [m <sup>3</sup> /rok]	213 778
$V_{bil}$ [m <sup>3</sup> /rok]	2 308 717
$t$ [rok]	2.05
$t$ [dny]	748

Nádrž se bude plnit celkově 748 dnů, tedy lehce přes 2 roky.

## 4.2 Varianta 2 – Propojená soustava

Návrh varianty 2 vychází z již dříve zmíněného dopisu pana inženýra Šalého, který je uveden v *příloze č. 1*. Tato varianta se skládá ze soustavy dvou nádrží, které jsou propojeny přivaděčem. První nádrž se nachází na řece Bečvě a jedná se o suchou nádrž, která využívá nadprůměrné průtoky, které se vyskytují několikrát do roka, kdy dochází k rozlití vody mimo koryto Bečvy. Tato voda je poté zachycena v suché nádrži a je přivaděčem převedena do horní nádrže, umístěné na řece Jezernici v údolí Peklo. Horní nádrž pak akumuluje vodu společně s přítokem z Jezernice a přivaděčem z Veličky, a to s cílem využít ji pro špičkovou výrobu energie.

### 4.2.1 Účel

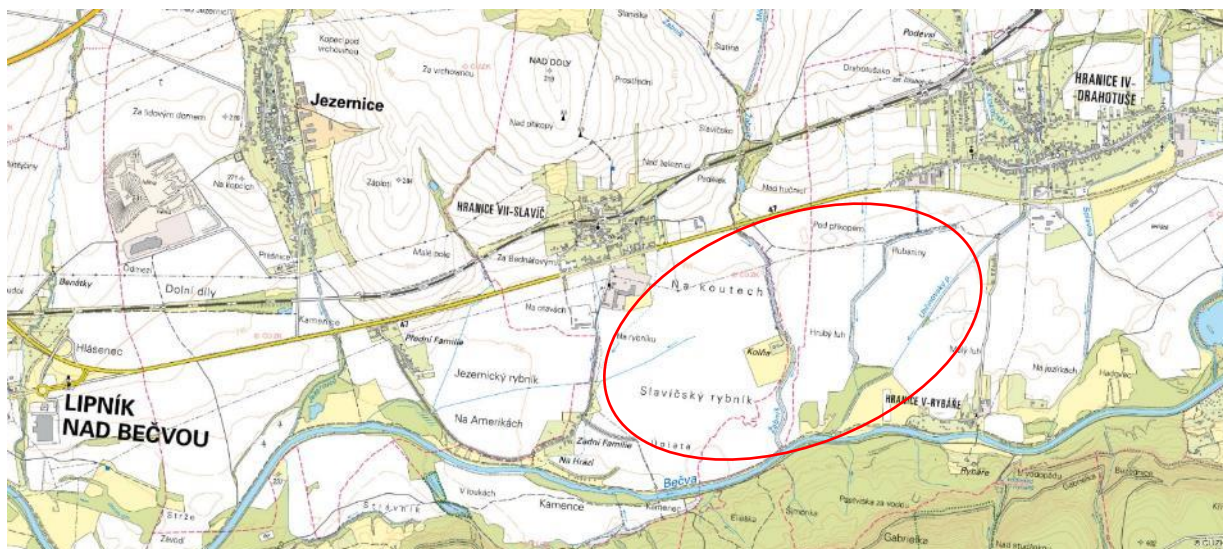
Právě kvůli riziku povodní na řece Bečvě je nezbytná protipovodňová ochrana oblasti. Tou se zabývá i návrh suché nádrže Skalička v oblasti nad Hranicemi na Moravě. Pro posílení jejího účinku by navržená dolní suchá nádrž přebírala část zadržené vody z nádrže Skalička, čímž by se zvýšil možný objem retence a snížil dopad kulminační vlny. Funkce dolní nádrže je tedy protipovodňová ochrana oblasti Lipníku nad Bečvou, Přerova a Troubek.

Akumulovaná voda, která je následně přečerpána do horní nádrže, získává potenciální energii. Tuto energii má za úkol využít horní přehrada, která ji převádí přes turbínu umístěnou v hrázi. Tímto způsobem lze využít vodní energii pro výrobu elektrické energie.

Celá soustava je pak navržena jako víceúčelová, s prioritní funkcí protipovodňové ochrany a produkce elektrické energie.

## 4.2.2 Umístění

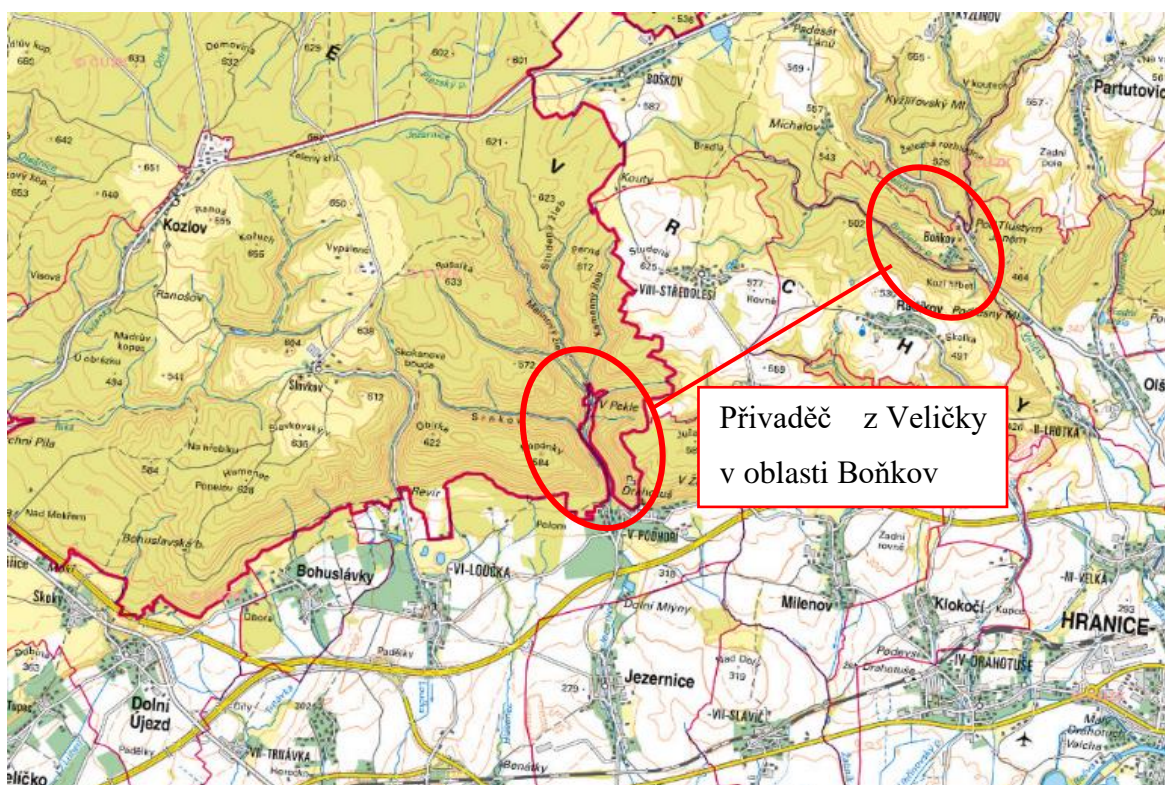
Dolní suchá nádrž se nachází na řece Bečvě mezi městem Lipník nad Bečvou a Hranice na Moravě, konkrétně mezi osadami Rybáře a Zadní Familie. Rozkládá se zde plocha o rozloze necelých 3 km<sup>2</sup>. [4] Tato plocha má malou zástavbu, nachází se zde pouze jedna zastavěná plocha a zbytek jsou plochy zemědělské.



Obrázek č. 12: Umístění dolní hráže, Varianta 2 [4]

Horní hráz se nachází v údolí Peklo. Pro zjednodušení se pro umístění uvažuje profil varianty 1, který je hydrologicky i morfologicky výhodný (viz kapitola 4.1.2). Pro posílení průtoků toku Jezernice, které by pro funkci špičkové vodní elektrárny nemusely být dostačující, je navržen přivaděč z toku Velička z oblasti jižně od Potštátu, jako je vyznačeno v **příloze č. 1**. Přivaděč je navržen jako gravitační, neboť nadmořská výška v profilu odběru z Veličky se pohybuje okolo 400 m a v profilu Podhoří činí 335 m.





Obrázek č. 13: Umístění přivaděče z toku Velička, Varianta 2 [1]

#### 4.2.3 Majetkoprávní vztahy

Při umístění dolní i horní nádrže dojde k dotčení mnoha pozemků většinou v soukromém vlastnictví. U dolní nádrže se jedná o pozemky druhu orná půda, trvalý travnatý porost a jiné, u horní se vyskytují převážně lesní pozemky (viz kapitola 4.1.3).

Nádrže jsou od sebe vzdálené necelých 5,5 km, mezi které je potřeba osadit přivaděč. Tato trasa však bude přecházet přes mnoho pozemků v soukromém vlastnictví, včetně křížení s významným železničním koridorem směřujícím na Ostravu a dálnicí D1. Přivaděč bude procházet kolem obcí Slavič a Podhoří. Je zjevné, že majetkoprávní vztahy budou představovat problematický aspekt této varianty, protože dojde k dotčení mnoha pozemků a strategických dopravních tahů.

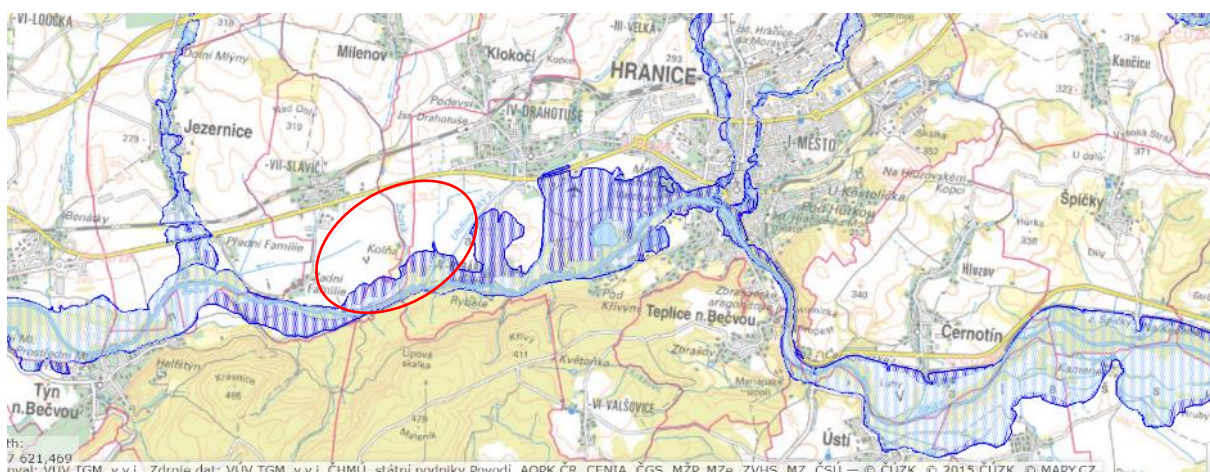


#### 4.2.4 Zhodnocení návrhu

Při zhodnocení této varianty je třeba zvážit poměr mezi požadovanými výsledky a náklady. Dále je nutné určit celkovou proveditelnost díla.

Prvním hlediskem, které je třeba zhodnotit, jsou náklady spojené s umístěním přivaděče a překážkami v souvislosti s dotčenými pozemky. Je nutné zvážit finanční náročnost, potenciální komplikace s majetkoprávními vztahy a náklady na vyjednávání a kompenzace vlastníkům.

Dalším faktorem je nepravidelnost nadprůměrných průtoků v řece Bečvě. Pokud produkce elektrické energie závisí na přečerpávání vody z dolní nádrže, nepravidelnost dostupnosti této vody znamená nestabilní využití a je třeba zvážit, zda je tato varianta ekonomicky a energeticky efektivní. Právě pro špičkovou elektrárnu je spolehlivost a pravidelná dostupnost vody klíčovou.



Obrázek č. 14: Záplavová území  $Q_{20}$  řeky Bečvy v oblasti Hranic [22]

Další nevýhodou je rozliv vody při nadprůměrném průtoku již před profilem hráze, což ukazuje obrázek č. 14. Tento rozliv vzniká na území Hranic na Moravě, Teplic nad Bečvou a Drahotuší. V případě spolupůsobení s VD Skalička by tato oblast byla chráněna. Avšak v případě samostatné koncepce této varianty nastává situace, kdy oblast, která by měla být chráněna, není dostatečně zabezpečena. Je tedy důležité vzít v úvahu, že samostatná koncepce této varianty není schopna poskytnout dostatečnou ochranu pro danou oblast. Z tohoto důvodu je spolupráce s VD Skalička potřebná pro zajištění ochrany před rozlivem celé oblasti v případě nadprůměrných průtoků.

Jednou z hlavních nevýhod této varianty je skutečnost, že přivaděč spojující dolní a horní nádrž je dlouhý zhruba 5,5 km. S ohledem na náklady spojené s ražbou, nákupem potrubí, záborami pozemků a dalšími faktory je třeba zvážit ekonomickou výnosnost.

Při celkovém hodnocení je tedy nutné vzít v úvahu jak náklady, tak i spolehlivost a využitelnost povodňových průtoků pro energetickou produkci, abychom mohli posoudit celkovou proveditelnost této varianty.

### **4.3 Varianta 3 – Přečerpávací vodní elektrárna**

Variantu 3 tvoří přečerpávací vodní elektrárna. Ta je umístěna v údolí Peklo a využívá tak morfologie Oderských vrchů, kde se spád produkuje již na malé vzdálenosti. Skládá se ze dvou nádrží, mezi kterými je pomocí reverzní turbíny přečerpávána voda, která následně roztáčí turbínu a produkuje elektrickou energii.

#### **4.3.1 Účel**

Princip přečerpávací vodní elektrárny spočívá v přečerpání vody do výše položeného místa za použití nadbytečné elektrické energie v síti. Tím se vytvoří potřebný spád, který se v době nedostatku energie v síti využije pro turbínovou produkci elektrické energie. Tato funkce se nazývá statická. Přečerpávací vodní elektrárna přímo neprodukuje elektrickou energii, pouze ji uchovává ve formě potenciální a funguje jako baterie.

Mezi další funkce přečerpávací vodní elektrárny patří dynamická a kompenzační. Dynamickou funkcí přečerpávací elektrárny se rozumí tvoření výkonové rezervy systému, výroba regulačního výkonu a podílení se na řízení kmitočtu soustavy. Kompenzační funkce slouží k regulaci napětí v soustavě. [44]

Výše zmíněné funkce může navržená PVE splňovat podle aktuální a budoucí potřeby v elektrické síti.

#### **4.3.2 Dolní nádrž**

Funkce dolní nádrže spočívá v akumulaci vody na toku Jezernice, která je následně přečerpána do horní nádrže. Uvažuje se stejné umístění hráze jako u varianty 1, společně se všemi vlastnostmi, které jsou uvedeny v kapitole 4.1.5). Jedná se tedy o kamennou hráz

s asfaltobetonovým návodním těsněním. Sklon svahů je 1:1,75. Je vybavena injekční chodbou, bočním bezpečnostním přelivem, který ústí do spadiště a následně navazuje skluz, či šachtovým bezpečnostním přelivem, který je součástí sdruženého objektu (viz. **výkres č. 03**). Dále jsou navrženy spodní výpusti, není však přítomen odběrný objekt pro vodárenské účely. Rozměry funkčních objektů jsou shodné s výpočty stanovenými v kapitole 4.1.8.

Důležitým aspektem je návodní asfaltobetonové těsnění. V důsledku denního vypouštění a napouštění způsobeného funkcí PVE dochází k výraznému kolísání hladiny, které může negativně ovlivnit těsnění zemního typu. Návodní asfaltobetonové těsnění je vůči deformacím vyvolanými kolísáním hladiny vody odolné.

Při přebytku odtěženého materiálu, například z horní nádrže nebo materiálu vytěženého při výstavbě přivaděčů a kaverny PVE, je možné tento materiál využít pro násyp stabilizační části dolní nádrže. Tímto způsobem lze snížit náklady za nákup a dodávku materiálu a přispět k větší hospodárnosti celého projektu.

### 4.3.3 Rozdělení objemů v dolní nádrži

Je provedena modifikace rozdělení objemů v dolní nádrži. Protože horní nádrž nemá vlastní přítok, veškerá voda účinkující v plnění funkcí PVE pochází ze zásobního prostoru dolní nádrže.

Další funkcí dolní nádrže zůstává i lokální protipovodňová ochrana, zachovává se tedy stejný retenční prostor, jako u varianty 1 (viz kapitola 4.1.6)

Tabulka č. 11: Rozdělení prostor v dolní nádrži, Varianta 3

Rozdělení prostorů v nádrži				Úroveň hladiny [m n.m.]	zatopená plocha [ha]	Zatopené objemy	
						celkem [mil.m3]	[mil.m3]
V <sub>c</sub>	V <sub>neovl</sub>	V <sub>r</sub>	Neovladatelný ochranný prostor	386.69	32.32	6.005	0.365
			Ovladatelný ochranný prostor	385.59	31.07	5.640	0.906
	V <sub>ovl</sub>	V <sub>z</sub>	Zásobní prostor	382.44	27.76	4.734	2.736
			Stálé nadržení	370.00	16.03	1.998	1.997
	V <sub>m</sub>	V <sub>s</sub>	Mrtvý prostor	337.00	0.12	0.001	0.001
			Dno nádrže	335.00	-	-	-

Jak je z *tabulky č. 11* patrné, byl navýšen objem stálého nadržení. Je to z důvodu zajištění potřebné hloubky u vtoku na odpadní chodbu čerpadla, který následně čerpá vodu do horní nádrže. Pro zamezení vtahování vzduchu a možné kavitace byla hloubka vody nad tímto vtokem s ohledem na výkon a průtok čerpadla navýšena na 20 m. Kóta stálého nadržení je také ovlivněna dispozičním umístěním vtoku PVE, jejíž vtok se nenachází bezprostředně u hráze, ale v prostoru nádrže ve výšce 350 m n.m. (viz *výkres č. 06*).

#### **4.3.4 Umístění horní nádrže**

Pro umístění horní nádrže v blízkosti dolní nádrže v údolí Peklo je zvažováno několik vhodných míst. Mezi těmito možnostmi se vyskytují kopce Kopánky a Juřacka. Kvůli svahovým nestabilitám na jižním svahu těchto vrcholů tyto lokality nejsou vhodné z hlediska stability a bezpečnosti.

Dalším potenciálním místem pro umístění nádrže je plošina severně od vrcholu Juřacka, západně od obce Uhřínov. Toto místo nabízí dostatečný prostor pro umístění požadovaného objemu nádrže a je usazené dostatečně vysoko, což umožňuje vytvoření potřebného spádu pro správný provoz. Dalším potenciálním místem je vrchol Vypálené severozápadně nad údolím Peklo. Ten má podobnou rozlohu a výškové parametry jako předchozí varianta. Mezi další vrchol může být zohledněn kopec Rusalka, který je z uvedených variant nejvýše usazený, je však nejvíce vzdálený od dolní nádrže. Tím by vznikly větší náklady na usazení přivaděče a velký délka přivaděče by způsobovala velké ztráty třením. V návrhu s ním nebude uvažováno.

Je nezbytné brát v úvahu faktory jako geologické podmínky, svahové stability a bezpečnost při výběru místa pro umístění hráze horní nádrže, ale také majetkoprávní vztahy v oblasti. Pro určení vhodnosti geologického podloží je za potřebí podrobný geologický průzkum. Jak je zmíněno v *kapitole 2.3.1*, v obou oblastech převažují jílovité břidlice, droby a v malé míře slepence. Ve *výkresu č. 06* můžeme vidět umístění obou variant Juřacka a Vypálené.

### 4.3.5 Majetkoprávní vztahy horní nádrže

Vzhledem k zachování dolní hráze z varianty 1 zde zůstávají stejné majetkoprávní poměry a dotčené pozemky, které jsou uvedené v kapitole 4.1.3. V tabulkách č. 12 a 13 jsou popsány majetkoprávní vztahy horních nádrží.

Tabulka č. 12: Vlastníci dotčených pozemků, Varianta 3 [29]

	Vlastník	Počet zasažených pozemků
Juřacka	Česká republika	5
	Město Hranice	2
	Soukromý vlastník	30
Vypálené	Česká republika	2

Tabulka č. 13: Druhy dotčených pozemků, Varianta 3 [29]

	Využití pozemku	Počet zasažených pozemků
Juřacka	Lesní pozemek	21
	Ostatní plocha, ostatní komunikace	3
	Trvalý travnatý porost	11
	Orná půda	1
	Ostatní plocha, neplodná půda	1
Vypálené	Ostatní plocha, ostatní komunikace	1
	Lesní pozemek	1

Jak ukazuje tabulka č. 12, při umístění horní nádrže v lokalitě Juřacka dojde k dotčení více pozemků, než je tomu na vrcholu Vypálené. Pozemky jsou v této oblasti často v soukromém vlastnictví, zatímco jediné dva dotčené pozemky u varianty vrcholu Vypálené jsou ve vlastnictví České republiky. Majetkoprávně je výhodnější umístění na vrchol Vypálené.

### 4.3.6 Těleso hráze horní nádrže

Hráz horní nádrže je navržena jako kamenná a využívá principu výkopů a násypu, Tento postup zahrnuje seříznutí kopce, čímž se získá velké množství materiálu, které je následně použito pro stabilizační část samotné hráze, která má v půdorysu oválný tvar a kopíruje vrstevnice terénu. Svah návodního lince je ve sklonu 1:1,75 zatímco vzdušní líc má sklon 1:1,7. Koruna hráze je umístěna ve výšce 572,00 m nad mořem a je od dna nádrže vzdálená 30 metrů.

Podobně jako u varianty 1 je nezbytné provést laboratorní zkoušky k posouzení vlastností materiálu (viz kapitola 4.1.5). Metoda výkopů a násypu je z hlediska dopravy materiálu nejvýhodnější a minimalizuje dopravní vzdálenosti a tím i náklady. Tímto způsobem je materiál ihned využit, a není potřeba hledat místo pro jeho odložení, což přispívá k hospodárnosti návrhu.

Pro správné určení způsobu založení a získání dobré znalosti o podloží je nezbytný podrobný geologický průzkum oblasti. Tento průzkum by měl zahrnovat sběr geologických vzorků a jejich následnou analýzu. Založení násypu stabilizační části hráze se v této práci navrhuje na neskálním podloží, jehož vlastnosti je možné nadále upravit a zvýšit tak jeho únosnost, jako je popsáno v kapitole 4.1.5. Stejně jako u varianty 1 se předpokládá i v této oblasti hloubka kvartérních pokryvů 1–2 m. Provede se sejmutí humózní vrstvy do hloubky 30 cm.

U horní nádrže přečerpávací elektrárny se volí návodní asfaltobetonové těsnění. Nádrž nemá žádný vlastní přirozený přítok, a proto je na těsnění kladen velký důraz, aby se zamezilo vysokým ztrátám vody průsakem. U návodního asfaltobetonového těsnění je možné dosáhnout vysoké nepropustnosti. Je také velice odolné vůči kolísání hladiny v nádrži, ke kterému bude docházet na denní bázi kvůli působení PVE. Návodním těsněním se zjednoduší výstavba celé hráze a také je snadno opravitelné. Skládá se ze 100 mm tlusté vrstvy asfaltového betonu vodostavebního hutného, na který navazuje vrstva drenážní z asfaltového vodostavebního betonu mezerovitého. Vespod těsnění je uložena vyrovnávací vrstva. Jednotlivé vrstvy jsou spojeny asfaltovou emulzí a povrch těsnění je ošetřen asfaltovým mastixem, který jej chrání před poškozením UV zářením a klimatickými vlivy. Těsnění je zavázáno v koruně hráze s komunikací a u dna přechází v horizontální asfaltobetonové těsnění, které se rozprostírá po celém dnu nádrže. Drenážní vrstva je zaústěna v obvodové chodbě, kde se provádí měření průsaků hrází. Detail zaústění drenáže do obvodové chodby je možné vidět ve *výkresu č. 08*.

### 4.3.7 Objem horní nádrže

Veškerý objem nádrže tvoří přečerpaná voda dostupná ze zásobního prostoru dolní nádrže. Navýšení tohoto objemu o 10 % vytváří celkový objem horní nádrže.

Tabulka č. 14: Rozdělení prostorů horní nádrže, Varianta 3

Rozdělení prostorů v nádrži		Úroveň hladiny [m n.m.]	zatopená plocha [ha]	Zatopené objemy		
				celkem [mil.m3]	[mil.m3]	
V <sub>c</sub>	V <sub>z</sub>	Zásobní prostor	570.00	14.32	2.951	2.806
	V <sub>s</sub>	Stálé nadržení	544.00	7.50	0.145	0.145
		Dno nádrže	542.00	-	-	-

Prostor stálého nadržení se nachází 2 m nad dnem, aby se zamezilo tvorbě vírů a vtahování vzduchu do přivaděče. Dno je vybaveno vtokovým objektem, ve kterém už je tento jev ještě více zohledněn a je zahloben o 15 m pod dno. Je navržen zásobní objem na 2.806 mil.m<sup>3</sup> a je tedy schopen pojmout veškerý dostupný objem dolní nádrže a převést nejvyšší možný průtok přes turbínu a tím maximalizovat výkon. Tento prostor se bude každý den naplňovat a vyplňovat ve vztahu funkce čerpadla a turbíny. Retenční prostor nebyl navrhnutý, protože nádrž nemá mimo přivaděč PVE vlastní přítok.

### 4.3.8 Převýšení koruny horní hráze

U kamenné hráze je převýšení koruny podstatné z hlediska bezpečnosti díla. Přelití koruny by mohlo znamenat erozní účinky na vzdušním líci hráze a tím i prolomení. Na rozdíl od dolní hráze nehrozí převršení koruny účinkem povodňové vlny, pouze výběhem větrových vln, které ve vyšší nadmořské výšce na vrcholu mohou představovat větší riziko. Stanovení převýšení koruny vychází z analýzy průběhu větrové vlny, která je stanovena podle normy ČSN 75 0255 a zahrnuje efektivní délky rozběhu vlny  $L_{ef}$  závislé na půdorysném tvaru hladiny vody.

Z výsledků výpočtů uvedené v **příloze č. 2** je výběh hladiny s pravděpodobností výskytu 13 % stanoven na 1,8 m nad maximální hladinu, bezpečnostní rezerva převýšení je navrhnutá na 20 cm nad výběh vlny, celkové převýšení koruny hráze tedy činí 2,0 m.

### 4.3.9 PVE

Samotná dimenze přivaděče PVE je navržena s ohledem na využitelný objem vody a navrženou dobu turbínování. Princip PVE vychází z denního kolísání cen elektrické energie. Obecně platí, že cena elektrické energie je v nočních hodinách levnější než v průběhu dne, kdy nastávají špičky spotřeby. To je způsobeno koncentrací aktivit, které vyžadují elektrickou energii (lidé se vrací z práce apod.). V dnešní době se většinou tento princip nedodrží a provoz se odvíjí od aktuální ceny elektrické energie na burze. Pro zjednodušení této práce se uvažuje pravidelná denní doba turbínování, která je navržena na 8 hodin rozdělených do dvou fází po 4 hodinách, které mají za úkol pokrýt ranní a odpolední špičky spotřeby energie.

Objem přečerpané vody je stanoven na maximální dostupný z dolní nádrže. Je ale možné, že potřebný objem nebude zdaleka tak velký, v závislosti na požadovaném výkonu v soustavě. V této práci je snaha maximalizovat výsledný výkon, a proto se uvažuje celkový zásobní objem.

Jsou navrženy dva přivaděče o průměru 3,5 m. Ty začínají vtokovým objektem v horní nádrži a jsou situovány na kótě 528,00 m n.m. Objekt je vybaven česlemi. Přivaděč má 2 uzávěry a odpadní chodba, navazující na kavernu PVE, pak ještě jeden uzávěr. Prvním uzávěrem je revizní stavidlová tabule. Ta se po vypuštění nádrže zahradí a díky vodě akumulované v revizní zdrži se propláchnou česle (viz *výkres č. 08 – poznámka 5*). Druhý uzávěr je kulový provozní. Je součástí věžového objektu v tělese hráze a přístup k němu je možný pomocí manipulační šachty, kterou je možné mostovým jeřábem manipulovat s uzávěrem v případě revizí. Celková délka přivaděče do kaverny turbín je 1 150 m a je možné zvolit ze 2 tras znázorněné ve *výkresu č. 09*. Souběžně s přivaděčem vede komunikační chodba, která se po 200 metrech ústí na povrchu.

Soustrojí turbín se skládá ze 2 Francisových reverzních turbín s instalovaným výkonem 2 x 69,2 MW a hltností 2 x 47,5 m<sup>3</sup>/s. Ty se nalézají v kaverně PVE, do které je přístup komunikačním tunelem. Za kavernou PVE následuje odpadní chodba s dalším kulovým uzávěrem, která ústí do vtokového objektu v dolní nádrži v nadmořské výšce 335,00 m n.m.



### 4.3.10 Produkce elektrické energie

Výpočet produkce elektrické energie je proveden na základě znalostí dostupného objemu vody možného pro turbínový režim, doby trvání turbínové fáze, délky přivaděče a rozdílů hladin horní a dolní nádrže.

Ztráty na přivaděči byly stanoveny ze vztahu:

$$z = \left( \lambda \frac{L}{D} + \xi \right) \frac{Q^2}{S^2 2g}$$

kde:

- z ... ztrátová výška,
- $\lambda$  ... součinitel ztrát třením,
- L ... délka potrubí,
- D ... průměr potrubí,
- $\xi$  ... součinitel místních ztrát,
- Q ... průtok,
- S ... plocha potrubí,
- g ... gravitační zrychlení.

Pro výpočet výkonu byla použita rovnice:

$$P = Q * \rho * g * H_N * \eta$$

kde:

- P ... výkon turbíny/čerpadla,
- $\rho$  ... hustota tekutiny,
- $H_N$  ... čistý spád,
- $\eta$  ... účinnost.

Celý výpočet je uveden v **příloze č. 2**. Ztrátová výška na přivaděči je ve vztahu k průměru potrubí, jeho délce, průtoku a ztrátovým součinitelům potrubí vyčíslena na 8,07 m. Čistý spád je pro turbínový režim vyjádřen jako rozdíl spádu hrubého a ztrátové výšky a rovná se 172,71 m, pro čerpadlový provoz je vyjádřen jako součet těchto výšek a je roven 188,85 m. V rovnici figuruje parametr účinnosti turbíny/čerpadla. Ta je stanovena výrobcem stroje a může dosahovat až 93 %. [45] Pro účely této práce byla stanovena účinnost turbíny i čerpadla 90 %.

Průtok byl vyjádřen ze známé denní doby turbínové fáze a dostupného objemu vody. Ten se rovná 47,5 m<sup>3</sup>/s a tvoří požadovanou hltlost jedné turbíny.

Celkový výkon turbín je vypočten na 2 x 69,20 MW a výkon čerpadla na 2 x 102,35 MW. Při započítání turbínové fáze v době energetického deficitu a čerpání v době energetického přebytku, kdy cena energií se může lišit o několik korun za kWh, se předpokládá ziskovost. Cena energií se neustále mění a je ovlivněna mnoha faktory, jak ukázaly nedávné změny. Proto je obtížné tuto cenu odhadnout do budoucnosti. Nicméně pomocí zjednodušeného předpokladu ceny špičkové energie 4 Kč/kWh a ceny noční energie 2 Kč/kWh je denní zisk roven 1,15 mil.Kč. Návratnost potom závisí na celkových nákladech projektu.

#### **4.4 Varianta 4 – Víceúčelová nádrž**

Varianta číslo 4, která kombinuje návrhy variant 3 a 1, představuje přečerpávací soustavu s víceúčelovým využitím. Skládá se ze dvou nádrží, které jsou propojeny přivaděčem. Tímto propojením se vytváří systém, který umožňuje přečerpávání vody z jedné nádrže do druhé pro energetické účely, a zároveň poskytuje možnost akumulace vody pro vodárenské odběry.

##### **4.4.1 Účel**

Tato varianta kombinuje funkce varianty 1, která se zaměřuje na protipovodňová opatření a akumulaci vody, a varianty 3, která využívá přečerpávací elektrárnu k produkci elektrické energie. Výsledkem je víceúčelová nádrž, která slouží jako protipovodňová ochrana pro zastavěné území podél dolního úseku toku Jezernice a města Lipník, zároveň akumuluje vodu pro potřeby vodárenské účely a umožňuje využití potenciální energie vody pro generování elektrické energie.

##### **4.4.2 Umístění**

Umístění dolní nádrže je navrženo ve stejném profilu v údolí Peklo jako u varianty 1. Konkrétně se nachází u obce Podhoří, a podrobnější informace o umístění jsou dostupné v kapitole 4.1.2.

Horní nádrž využívá stejné lokace jako varianta č. 3, tedy vrchol Vypálené severozápadně od údolí Peklo. Důvody pro osazení v této lokaci jsou podrobněji popsány v kapitole 4.3.4.

Obě nádrže jsou propojeny komunikací, která spojuje jejich hráze, a přivaděčem, který slouží k plnění funkce přečerpávací elektrárny. Celkový návrh umístění je zobrazen ve **výkresu č. 10**.

#### **4.4.3 Majetkoprávní vztahy**

V oblasti majetkoprávních vztahů nedochází ke změně oproti předchozím návrhům. Přestože kvůli zajištění potřebného objemu byla hráz dolní nádrže navýšena a tím se i zvýšil půdorysný zábor, dotčené pozemky zůstávají stejné a nedochází ke změně. Dotčené pozemky tedy odpovídají těm uvedeným v *tabulce č. 6*.

Totéž platí u horní nádrže, která rozlohou zůstává stejná a její zábor se nemění. Dotčené pozemky tedy odpovídají těm uvedeným v *tabulce č. 12* na kopci Vypálené.

#### **4.4.4 Těleso dolní hráze**

Těleso dolní hráze je podobné tomu popsánému v *kapitole 4.1.5*. Jedná se o kamennou hráz s návodním asfaltobetonovým těsněním. Sklon svahů je 1:1,75. Rozdíl mezi variantou 1 a 4 je výška hráze. Pro zajištění objemů, které zahrnují jak zásobní prostor pro vodárenské odběry, tak pro přečerpávací elektrárnu, je hráz navýšena a kóta koruny hráze se nachází ve 400,90 m n.m., výška hráze v nejnižším bodě údolí činí 69,29 m. Na koruně je osazena komunikace, délka koruny činí 248,98 m a je široká 8,37 m.

Vzhledem k většímu objemu materiálu použitého na stabilizační část je třeba posoudit způsob založení. Ten vyplývá z podrobného geologického průzkumu oblasti a určuje, jestli má podloží dostatečnou únosnost pro posazení této hráze. Nárok na únosnost bude větší než u varianty 1, a to proto, že tíha hráze bude výrazně vyšší. V této práci se uvažuje se založením na neskálním podloží a sejmutím povrchové humózní vrstvy do hloubky 30 cm a následným urovnáním a zhutněním. Pro zlepšení vlastností základové půdy je možné provést různé metody pro zajištění větší únosnosti, rychlejší konsolidaci a zvýšení smykové pevnosti, jako je výměna nevhodných zemin, hloubkové zhutňování vibrací, předběžné zatížení, injektování zeminy a jiné. [1]

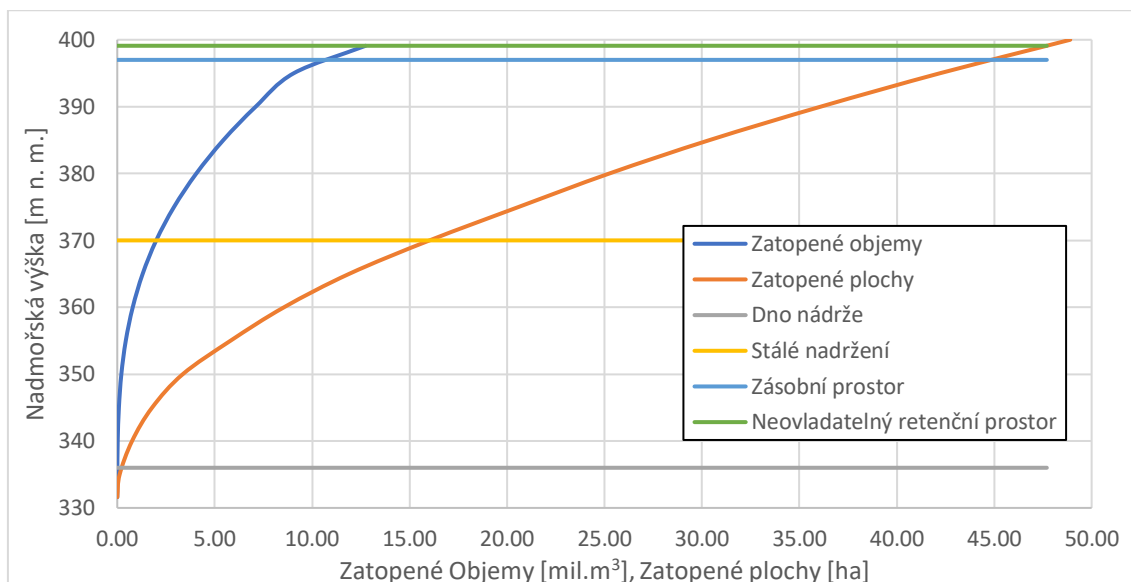
Je navrženo návodní asfaltobetonové těsnění. U této varianty se nejvíce projeví dobrá odolnost těsnění vůči kolísání hladiny, které se působením PVE bude často projevovat. Těsnění je navrženo stejným způsobem, jako je tomu u varianty 1 (viz *kapitola 4.1.5*). Podrobnější popis navázání těsnění na injekční chodbu je k nalezení ve **výkresu č. 13**.

#### 4.4.5 Rozmístění prostor v dolní nádrži

Tabulka č. 15: Rozmístění hladiny v dolní nádrži, Varianta 4

Rozdělení prostorů v nádrži				Úroveň hladiny [m n.m.]	zatopená plocha [ha]	Zatopené objemy	
						celkem [mil.m3]	[mil.m3]
Vc	Vneovl	Vr	Neovladatelný ochranný prostor	399.10	47.70	10.927	0.501
	Vovl		Ovladatelný ochranný prostor	398.00	46.23	10.427	0.906
		Vz	Zásobní prostor	396.01	43.58	9.521	7.523
		Vm	Vs	Stálé nadržení	370.00	16.03	1.998
	Mrtvý prostor			337.00	0.12	0.001	0.001
			Dno nádrže	336.00	-	-	-

Pro určení dostupných objemů vody v nádrži se určí rozmístění hladin v nádrži. To zohledňuje potřeby odběrů pro vodárenské účely, provz přečerpávací elektrárny a také zajištění retenčního prostoru pro protipovodňovou ochranu. V tabulce č. 15 je uvedeno rozdělení prostorů v nádrži. Kóta dna nádrže se od varianty 1 liší o 1 m vlivem širší základové spáry způsobené větší výškou hráze. Mrtvý prostor je umístěn 1 metr pod spodními výpustmi. Stálé nadržení je navýšeno o 20 metrů nad vtokovým objektem čerpadla přečerpávací elektrárny, který se nachází v nadmořské výšce 350,00 m. Zásobní prostor je oproti variantě 1 navýšen na hodnotu 7,523 mil.m<sup>3</sup>. Z tohoto objemu je potřeba zaručit dostatečné zásoby pro odběry vodárenské a provoz PVE. Návrh rozmístění hladin v nádrži podle priorit konkrétních odběrů je součástí dalšího vodohospodářského řešení. V této práci se vychází z návrhu prostorů varianty 1 a 3 a pro zajištění potřebných objemů je zásobní prostor navržen na součet objemů z varianty 1 a 3. Retenční prostor je navržen tak, aby dokázal zadržet povodňovou vlnu, která je popsána u varianty 1 v kapitole 4.1.7.



Obrázek č. 15: Zatopené objemy a plochy dolní nádrže, Varianta 4

#### 4.4.6 Povodňová vlna

Pro výpočty této práce nebyla dostupná data průběhu hydrogramů povodňových vln, a tedy nebylo možné provést jejich transformaci a objem retenčního prostoru. Ten byl určen na stejném principu, jako u varianty 1. Výpočty jsou uvedeny v kapitole 4.1.7. Pro zachycení povodňového průtoku  $Q_{10}$  byl ovladatelný retenční prostor navržen na  $906\,876\text{ m}^3$ . Retenční prostor je schopen zadržet povodňovou vlnu  $Q_{10}$  při nadlepšeném odtoku z nádrže  $Q_n$ , aniž by byla převršena kapacita nádrže. Při transformaci vlny a včasném zahájení vypouštění neškodného průtoku z nádrže by objem retence mohl být i větší.

#### 4.4.7 Funkční objekty dolní hráže

##### Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přelivy u kamenných hrází hrají významnou roli. Pokud se nezajistí jejich požadovaná kapacita, může dojít během extrémních povodní k přelivu koruny hráže a erozi vzdušního líce. Stejně jako u varianty 1 jsou navrženy 2 varianty bezpečnostního přelivu.

Návrh bočního bezpečnostního přelivu zohledňuje morfologii území. Ve výkresu č. 11 je situačně navržený nehrazený boční bezpečnostní přeliv s konstantní úrovní přelivné hrany na pravém navázání hráže. Stejně jako u varianty 1 ústí do spadiště, který následně navazuje na skluz, který se poté napojuje na odpadní koryto pod hrází. Hrana přelivu leží ve výšce 398,00 m n.m. a má délku 30,0 m. Přeliv má hydraulicky výhodně zaoblenou hranu, s poloměrem

zaoblení 0,5 m a následným sklonem stěny 3:2. Rovnice výpočtu kapacity bočního bezpečnostního přelivu je uvedena v kapitole 4.1.8 a v **příloze č. 2**. Výška přepadového paprsku odpovídá 1,1 m, při kterém přeliv převede průtok 84,44 m<sup>3</sup>/s a je tak dostatečně kapacitní pro převedení  $Q_{10\,000}$ .

Dále je navržen šachtový bezpečnostní přeliv, který tvoří součást sdruženého věžového objektu spodních výpustí, odběrů a přelivu. Tento objekt se nachází na návodní straně hráze ve vzdálenosti 102 m od koruny. Hrana přelivu se nachází ve výšce 398,00 m n.m. Průměr kruhové hrany přelivu činí 11,52 m a jeho celková délka je 36,2 m, stejně tomu je i u varianty 1. Průměr samotné šachty je stanoven na 3 m. [32] Kapacita šachtového bezpečnostního přelivu je stanovena za pomoci výpočtů uvedených v kapitole 4.1.8 a v **příloze č. 2**. Je třeba zohlednit možné zahlcení šachtového přelivu, které způsobí snížení kapacity přelivu, a této situaci předejít vhodným dimenzováním přelivu.

Stejně, jako je tomu u předchozích návrhů, je boční bezpečnostní přeliv více kapacitní než šachtový, a to z důvodu vyššího součinitele přepadu. Dále je počítáno s bočním bezpečnostním přelivem. Šachtový přeliv by byl výhodný v případě, kdy by byla dána priorita konstrukci pouze jednoho bloku funkčních objektů.

### **Sdružený objekt spodních výpustí**

Je navržen sdružený objekt kombinující spodní výpusti a odběrný objekt. Návrh je shodný s tím uvedeným v kapitole 4.1.8, a uvažuje 2 spodní výpusti DN800 dlouhé 15 m s 3 uzávěry přístupnými z uzávěrové komory. První uzávěr je revizní klínový, druhý je provozní klínový a třetí provozní rozstříkovací. Pro určení kapacity spodních výpustí byla použita rovnice z kapitoly 4.1.8 a výpočty jsou uvedeny v **příloze č. 2**.

Potrubí spodních výpustí ústí do odpadní chodby, která má rozměry 3 x 1,3 m a podélný sklon 2,7 %. Dle výpočtů Chézyho rovnice, uvedené v kapitole 4.1.8, bylo uvěřeno, že odpadní chodba je dostatečně kapacitní pro převedení neškodného průtoku (viz **příloha č. 2**).

#### 4.4.8 Převýšení koruny dolní hráze

Účinek výběhu větrové vlny odpovídá tomu vypočtenému v kapitole 4.1.9, stanovenému v souladu s normou ČSN 75 0255. Výběh vlny s pravděpodobností výskytu 13 % je stanoven na 1,7 m nad maximální hladinu a bezpečnostní rezerva převýšení je stanovena na 10 cm nad výběh vlny, tedy celkové převýšení čítí 1,8 m (viz příloha č. 2).

#### 4.4.9 Doba plnění dolní nádrže

Doba plnění nádrže vychází z rovnice roční bilance, která je uvedena v kapitole 4.1.10. Objem ročního přítoku a odtoku zůstává stejný, jako u varianty 1. V důsledku větší plochy návodního líce hráze, který je ve styku s vodou, se zvětší objem ročních průsaků, který je určen v příloze č. 2. Větší zatopená plocha způsobí i větší objem ročního výparu.

Tabulka č. 16: Doba plnění nádrže, Varianta 4

$V_p$ [m <sup>3</sup> /rok]	3 468 960
$V_o$ [m <sup>3</sup> /rok]	946 080
$V_{pr}$ [m <sup>3</sup> /rok]	636
$h_v$ [mm/rok]	770
$V_v$ [m <sup>3</sup> /rok]	345 631
$V_{bil}$ [m <sup>3</sup> /rok]	2 176 613
$t$ [rok]	4.99
$t$ [dny]	1820

Z tabulky č. 16 lze vyčíst, že nádrž se bude plnit 1820 dní, tedy téměř 5 let.

#### 4.4.10 Parametry horní nádrže

Horní nádrž přejímá veškeré parametry navržené pro horní nádrž varianty 3. Tyto parametry jsou podrobně popsány v kapitolách 4.3.4 až 4.3.9.

#### 4.4.11 Produkce elektrické energie

Výpočet produkce elektrické energie vychází ze vztahů uvedených v kapitole 4.3.10. Byla stanovena hodnota výkonu při turbínovém a čerpadlovém režimu. U této varianty figuruje rozdílná hodnota spádu, kterou ovlivňuje vyšší postavení hladiny zásobního prostoru dolní nádrže. Ztráty na přivaděči jsou totožné s předchozí variantou a rovnají se 8,07 m. Čistý spád činí 165,43 m pro turbínový a 181,58 pro čerpadlová režim.

Celkový výkon turbín je stanoven na 2 x 66,15 MW a čerpadla na 98,60 MW. Při zjednodušeném předpokladu cen za elektrickou energii, jako je předpokládáno u varianty č. 3, vychází denní ziskovost na 1,08 mil.Kč za den. Výpočty jsou uvedeny v *příloze č. 2*.



## 5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést studii proveditelnosti pro koncepční řešení přehrady v oblasti Oderských vrchů. Práce vycházela z dostupných informací o možném výhledovém profilu vyskytujícíím se v této oblasti, kterými jsou Směrný vodohospodářský plán ČSR a dopis pana inženýra Šalého s návrhovou ideou přehrady.

V první části práce byla sestavena přehledná analýza hydrologických, morfologických, geologických, klimatických a sídelních poměrů v oblasti Oderských vrchů, konkrétně v údolí Peklo na toku Jezernice. K získání informací byla několikrát uskutečněna návštěva oblasti, terénní průzkum a pořízena patřičná fotodokumentace. Použitá data byla čerpána především z veřejně dostupných zdrojů. Výsledky této analýzy byly následně použity při návrhu variant koncepčního řešení.

V druhé části práce byly navrženy 4 varianty koncepčního řešení přehrady v údolí Peklo, z toho jedna byla klasifikována jako neproveditelná. Navrhnuté varianty jsou:

- Varianta 1 – Samostatná přehrada.
  - Funkce: protipovodňová ochrana a akumulace vody pro vodárenské odběry
  - Zásobní prostor – 4,688 mil.m<sup>3</sup> – 382,44 m n.m.
  - Maximální výška hráze: 56,88 m
- Varianta 2 – Propojená soustava nádrží Bečva – Jezernice
  - Funkce: protipovodňová ochrana a výroba elektrické energie
  - Klasifikováno jako neproveditelná
- Varianta 3 – Přečerpávací vodní elektrárna
  - Funkce: výroba elektrické energie a protipovodňová ochrana
  - Zásobní prostor – 2,736 mil.m<sup>3</sup> – 382,44 m n.m.
  - Maximální výška hráze: 56,88 m
- Varianta 4 – Víceúčelová přehrada
  - Funkce: výroba elektrické energie, protipovodňová ochrana a akumulace vody pro vodárenské odběry
  - Zásobní prostor – 7,523 mil.m<sup>3</sup> – 396,01 m n.m.

V rámci jednotlivých variant byl proveden návrh umístění tělesa hráze, základní konstrukční řešení, dispoziční umístění funkčních objektů a stanovení funkce nádrže. Pro každou variantu byly provedeny hydrotechnické výpočty, které jsou uvedeny v příloze č. 2. Kromě toho byla vypracována výkresová dokumentace.

Na základě provedené studie doporučuji jako nejvhodnější koncepční řešení **variantu 3 s přečerpávací vodní elektrárnou**. Tato varianta se vyznačuje schopností podporovat energetickou soběstačnost České republiky s potenciálním propojením s dalšími obnovitelnými zdroji, jako je fotovoltaika nebo větrné elektrárny. Svou statickou, dynamickou a kompenzační funkcí může přinést významný přínos do elektrické přenosové soustavy. V případě zjištění potřeby nového vodního zdroje v oblasti je vhodné také zvážit variantu 4 s víceúčelovou přehradou. Tato varianta by plnila funkci využití vodní energie, ale také by poskytovala vodní zdroj pro vodárenské účely. Pro vyhodnocení nejvhodnější varianty by však bylo nutné provést multikriteriální analýzu, která by zohlednila další podrobnější technicko – ekonomická posouzení.

## 6. Seznamy zdrojů

- [1] BROŽA, V. a kol.: *Přehrady*. Praha: SNTL/ALFA, Praha 1987.
- [2] *Základní mapa České republiky 1:50 000 (ZM 50)*
- [3] *Digitální model reliéfu DMR4G*
- [4] *Analýzy výškopisu*. [online]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av>
- [5] MZe a MŽP. *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*; Praha, 2020.
- [6] MLVH. *Směrný vodohospodářský plán ČSR – Vodní nádrže*. Publikace SVP č. 34; Praha, 1988.
- [7] ČHÚ. *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky: Díl III*. Praha, 1970.
- [8] VLS ČR. *Územní plán vojenského újezdu Libavá: Koordinační výkres. 1:25000*. 2014.
- [9] INTEGRAPLAN. *Územní plán Lipník nad Bečvou: Hlavní výkres. 1:5000. Úplné znění po vydání změny č.11 (vč. změny č.10)*. Lipník nad Bečvou, 2022.
- [10] URBANISTICKÉ STŘEDISKO OSTRAVA. *Územní plán Hranice na Moravě: Hlavní výkres. 1:5000. Úplné znění po změně č. 2, 3, 1, 4 a 6*. Ostrava, 2022.
- [11] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR. *Politika územního rozvoje České republiky: (Úplné znění závazné od 1. 9. 2021)*. Praha, 2021.
- [12] ÚP a ATREGIA. *Adaptační strategie Olomouckého kraje na změnu klimatu pro období 2023–2030: Analýza zranitelnosti*. Olomouc, 2022.
- [13] GEOTEST. *Plán pro zvládnutí sucha a stavu nedostatku vody na území Olomouckého kraje: Mapa zdrojů vody včetně záložních, úpraven vody, vodojemů a vodovodů. 1:230000*. Praha, 2022.

- [14] HRUBAN, Robert. *Západní Vněkarpatské sníženiny*. Moravské-Karpaty.cz [online]. 2014 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geomorfologie/zapadni-vnekarpatске-snizeniny/>
- [15] ZEMKOVÁ, Jana. *Údolím pojmenovaným Peklo v Oderských vrších dojdete až ke zřícenině hradu Drahotuš*. Český rozhlas [online]. 2021 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://region.rozhlas.cz/udolim-pojmenovanim-peklo-v-oderskych-vrsich-dojdete-az-ke-zricenine-hradu-8493693>
- [16] *Povodňový plán obce Jezernice* [online]. Jezernice [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.edpp.cz/povodnovy-plan/jezernice/>
- [17] *Povodňový plán ORP Lipník nad Bečvou* [online]. Lipník nad Bečvou, 2013 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: [http://olomoucky.dppcr.cz/web\\_7104/](http://olomoucky.dppcr.cz/web_7104/)
- [18] *Geologická mapa 1 : 50 000* [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace#>
- [19] *Svahové nestability, Poddolovaná území, Důlní díla, Geologická mapa 1 : 50 000 - indexy, Geologická mapa 1 : 50 000 - doplňky, Geologická mapa 1 : 50 000, Klad listů ZM50*. In: *Geovědní mapy 1 : 50 000* [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [20] *Půdní mapa 1 : 50 000, Klad listů ZM50*. In: *Půdní mapa 1 : 50 000* [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>
- [21] ČHMÚ [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
- [22] *HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM* [online]. Praha [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>
- [23] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 178/2012 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků*. In: . 2012, 62/2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-178>

- [24] LÖW & spol. Územní systém ekologické stability Moravskoslezského kraje - plán regionálního ÚSES MSK: ÚZEMNÍ STUDIE. Brno, 2019.
- [25] MYŠÁK, Jan. Malakofauna navrhované NPR Obírka-Kopánky a okolí. Česká Třebová, 2017. ISSN 1336-6939.
- [26] Povodeň 1997 den po dni. In: Deník.cz [online]. 23.7.2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: [https://www.denik.cz/z\\_domova/povodne-1997-2002-vyroci-den-po-dni-zaplavy-23-cervenec.html](https://www.denik.cz/z_domova/povodne-1997-2002-vyroci-den-po-dni-zaplavy-23-cervenec.html)
- [27] VaK Přerov [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.vakprerov.cz>
- [28] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací: Aktualizace 2017 [online]. Hranice, 2004 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://prvk.olkraj.cz/prvk/karty/nahled/315>
- [29] ČÚZK: Nahlížení do katastru nemovitostí [online]. 2023 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://nahlizenidokn.cuzk.cz/>
- [30] Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. [Online] 1998. [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [31] PUNČOCHÁŘ, Pavel. Zákon o vodách č. 254/2001 Sb.: v úplném znění k lednu 2004 s rozšířeným komentářem. Praha: Soudy, 2004. ISBN 80-86846-00-8.
- [32] ČSN 75 2340 Navrhování přehrad - Hlavní parametry a vybavení. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [33] ČSN 75 2310 Sypané hráze. 9/06. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [34] ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [35] ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích. Praha: Český normalizační institut, 1987.
- [36] ČSN 75 2935: Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. 1/14. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

- [37] POLÁŠEK, Rudolf. *Návrh cílových charakteristik krajiny pro jižní část Olomouckého kraje [online]. Olomouc, 2017 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/luu0rs/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Peter Mackovčin, Ph.D.*
- [38] ČEKANOVÁ, Michaela. *Terénní výuka v oblasti Oderských vrchů [online]. Olomouc, 2019 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/cyzq5l/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Jan Hercik, Ph.D.*
- [39] HLÁVKA, Vladimír. *ANTROPOGENNÍ OVLIVNĚNÍ ŘÍČNÍCH KORYT NA ÚZEMÍ MĚSTA LIPNÍK NAD BEČVOU [online]. Olomouc, 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/wz22wa/>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Kristýna Křištofová.*
- [40] HAŠOVÁ, Marta. *Ochrana povrchových tekoucích vod na území obce Jezernice [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/96784>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.*
- [41] HULÍNOVÁ, Michaela. *Olomoucký kraj – prognóza budoucího vývoje počtu obyvatel a jejich věkové struktury [online]. Brno, 2009 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/8ltbcd/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Daniel Seidenglanz, Ph.D.*
- [42] *Bečva (spojená). Moravské-Karpaty.cz [online]. 2015, 29. 9. 2015 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/tag/vsetinska-becva/>*
- [42] *AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČR. Nadregionální biocentra ČR: Aktualizováno v lednu 2018. Praha.*
- [43] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. *Hydraulika 20: Příklady. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02355-9.*
- [44] *Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně. Skupina ČEZ [online]. Praha [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/dlouhe-strane-58155>*

[45] CERVANTES, Michel J. a kol. *Experimental and numerical studies for a high head francis turbine at several operating points. Norskø, 2013. NTNU*

## 6.1 Seznam tabulek

<i>Tabulka č. 1: Horninové zastoupení oblasti údolí Peklo [19] .....</i>	<i>8</i>
<i>Tabulka č. 2: Hydrologické údaje Bečvy v profilu nad obcí Jezernice [21] .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka č. 3: Hydrologické údaje Jezernice v profilu nad obcí Podhoří [6][7][21] .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabulka č. 4: Klimatické poměry údolí Pekla dle Evžena Quitta [17] .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka č. 5: Dotčené území [29] .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka č. 6: Vlastníci dotčených pozemků, Varianta 1 [29] .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka č. 7: Druhy dotčených pozemků, Varianta 1 [29] .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka č. 8: Rozdělení prostorů v nádrži, Varianta 1 [4] .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka č. 9: Objemy povodňové vlny .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka č. 10: Doba plnění nádrže, Varianta 1 .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka č. 11: Rozdělení prostor v dolní nádrži, Varianta 3 .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka č. 12: Vlastníci dotčených pozemků, Varianta 3 [29] .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka č. 13: Druhy dotčených pozemků, Varianta 3 [29] .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka č. 14: Rozdělení prostorů horní nádrže, Varianta 3 .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka č. 15: Rozmístění hladiny v dolní nádrži, Varianta 4 .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka č. 16: Doba plnění nádrže, Varianta 4 .....</i>	<i>50</i>

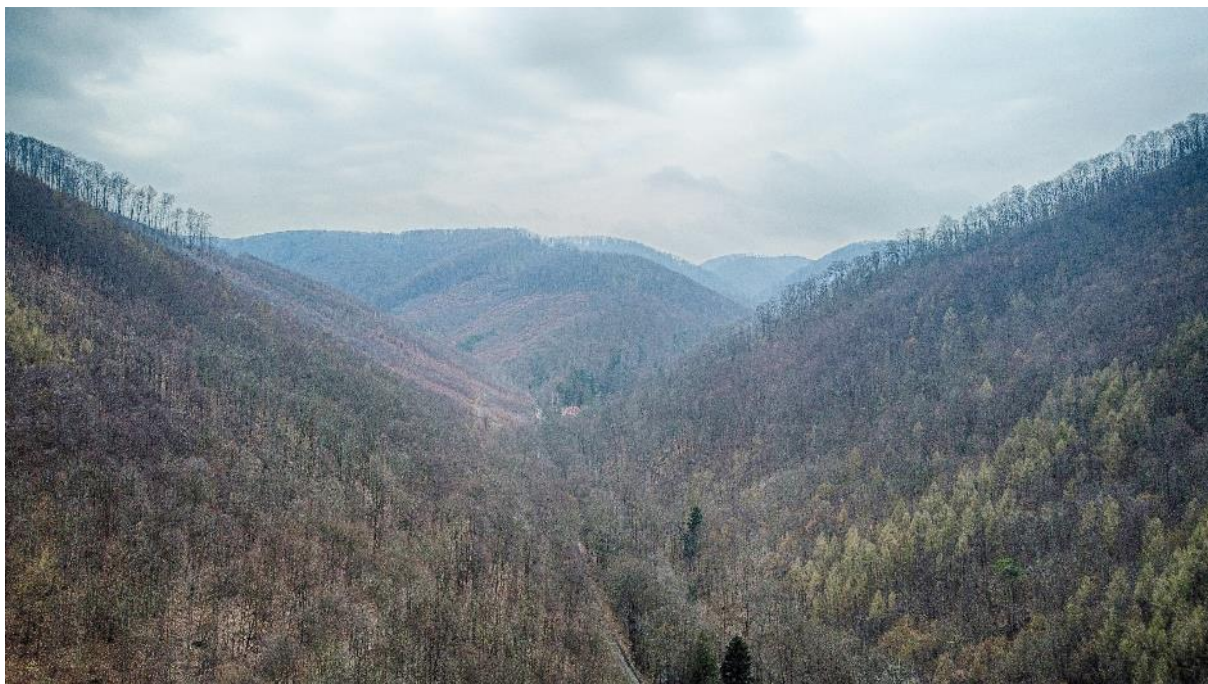
## 6.2 Seznam obrázků

<i>Obrázek č. 1: Lokalita zájmového území [2] .....</i>	<i>6</i>
<i>Obrázek č. 2: Geovědní mapa 1:50 000 oblasti údolí peklo [19] .....</i>	<i>7</i>
<i>Obrázek č. 3: Čára opakování průtoků Jezernice v profilu nad obcí Podhoří [7] .....</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek č. 4: Tabulka bodového hodnocení hrází [33] .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek č. 5: Tabulka tříd hrází [33] .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek č. 6: Umístění výhledové nádrže Podlesný mlýn [5] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek č. 7: Zatopené objemy a plochy, Varianta 1 [4] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek č. 8: Řez přelivnou hranou [43] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek č. 9: Konsumční křivka bočního bezpečnostního přelivu, Varianta 1 .....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek č. 10: Konsumční křivka šachtového bezpečnostního přelivu, Varianta 1 .....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek č. 11: Konsumční křivka odpadní chodby, Varianta 1 .....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek č. 12: Umístění dolní hráze, Varianta 2 [4] .....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek č. 13: Umístění přivaděče z toku Velička, Varianta 2 [1] .....</i>	<i>35</i>



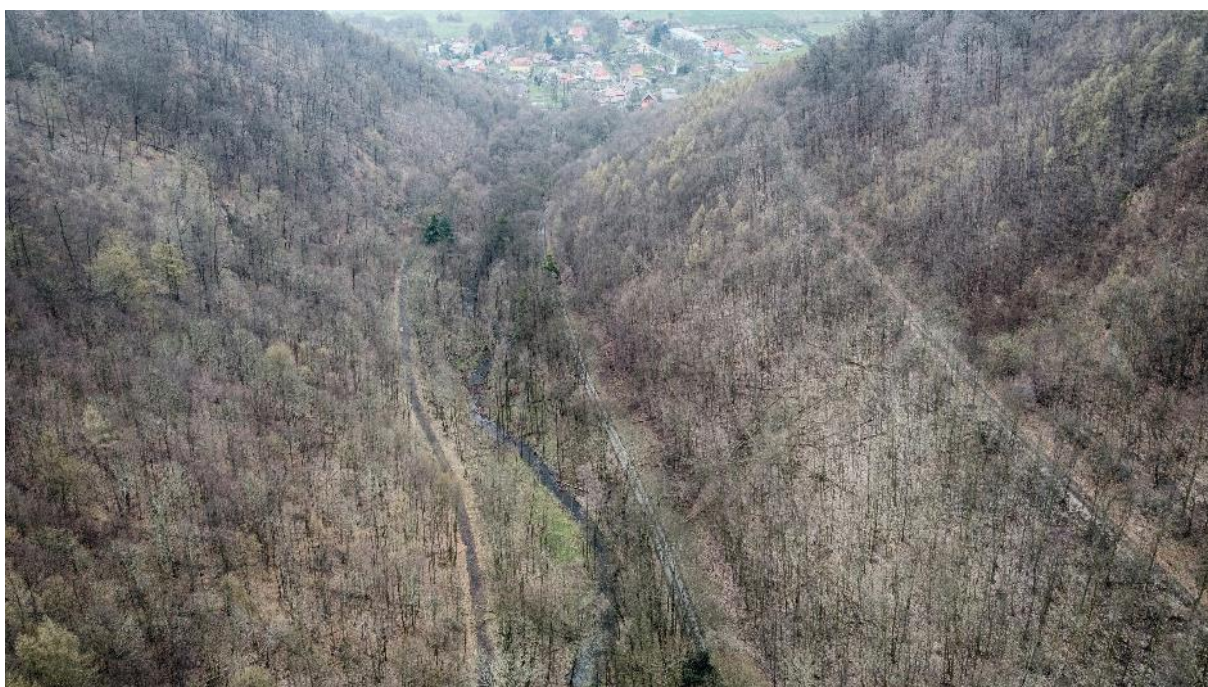
<i>Obrázek č. 14: Záplavová území <math>Q_{20}</math> řeky Bečvy v oblasti Hranic [22].....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek č. 15: Zatopené objemy a plochy dolní nádrže, Varianta 4 .....</i>	<i>48</i>

## 7. Fotodokumentace



*Fotografie č. 1: Údolí Peklo – pohled od obce Podhoří*

*Zdroj: autor*



*Fotografie č. 2: Tok Jezernice z vrchu*

*Zdroj: autor*





*Fotografie č. 3: Obec Podhoří – pohled z údolí Peklo*

*Zdroj: autor*



*Fotografie č. 4: Údolí Peklo se zástavbou*

*Zdroj: autor*





*Fotografie č. 5: Oblast předpokládaného profilu hráze*

*Zdroj: autor*



*Fotografie č. 6: Tok Jezernice*

*Zdroj: autor*





*Fotografie č. 7: Tok Jezernice ústící do obce Podhoří*

*Zdroj: autor*



*Fotografie č. 8: Tok Jezernice a účelová komunikace*

*Zdroj: autor*





*Fotografie č. 9: Účelová komunikace a el. vedení spojující údolí Peklo      Zdroj: autor*



*Fotografie č. 10: Dotčený pozemek se zástavbou č. 1      Zdroj: autor*





*Fotografie č. 11: Dotčený pozemek se zástavbou č. 2*

*Zdroj: autor*



*Fotografie č. 12: Dotčený pozemek se zástavbou č. 3*

*Zdroj: autor*



*Fotografie č. 13: Dotčený pozemek se zástavbou č. 4*

*Zdroj: autor*



## 8. Přílohy

*Příloha č. 1 – Dopis pana inženýra Šalého s ideovým návrhem přehrady v Oderských vrších*

*Příloha č. 2 – Tabulky k hydrotechnickým výpočtům*

*Příloha č. 3 – Výkresový dokumentace*

## 9. Výkresový dokumentace

*01 – Situace širších vztahů*

*02 – Varianta 1 – přehledná situace*

*03 – Varianta 1 – situace*

*04 – Varianta 1 – příčný řez A*

*05 – Varianta 1 – příčný řez B*

*06 – Varianta 3 – přehledná situace*

*07 – Varianta 3 - situace*

*08 – Varianta 3 – příčný řez*

*09 – Varianta 3 – schéma PVE*

*10 – Varianta 4 – přehledná situace*

*11 – Varianta 4 - situace*

*12 – Varianta 4 – příčný řez A*

*13 – Varianta 4 – příčný řez B*