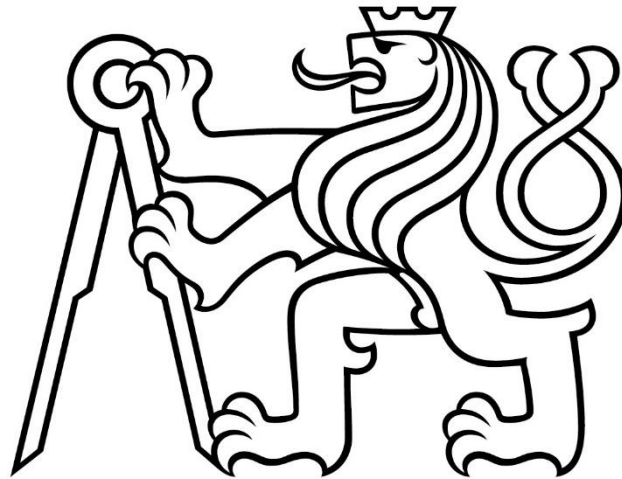


České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební  
Katedra hydrotechniky



Bakalářská práce

**Využití retenčních objemů pro  
protipovodňovou ochranu na Tiché Orlici**

Using retention volumes for flood protection on  
the river Tiché Orlice

Vypracoval: Přemysl Janda

Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

květen 2019



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Janda	Jméno: Přemysl	Osobní číslo: 458686
Zadávací katedra: Katedra hydrotechniky		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Využití retenčních objemů pro protipovodňovou ochranu na Tiché Orlici	
Název bakalářské práce anglicky: Using retention volumes for flood protection on the Tichá Orlice river	
Pokyny pro vypracování: Zhodnocení efektů současných opatření protipovodňové ochrany na Tiché Orlici. Návrh nových prvků do systému do protipovodňové ochrany na Tiché Orlici. Kvantifikace vlivu nových retenčních objemů.	
Seznam doporučené literatury: Studie FLAMOR	
Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.	
Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2019	Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2019 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu 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“.*

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou 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“.

.....

**datum**

.....

**jméno a příjmení**

**Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této bakalářské práce panu do. Ing. Ladislavu Satrapovi, CSc. za odbornou spolupráci, rady, připomínky při konzultacích a tvoření práce.

# Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout poldr v lokalitě Letohrad-Jankovice. Teoretická část popisuje povodí Tiché Orlice, historické povodně, druhy protipovodňových opatření, základy návrhu poldru a suchých nádrží a významná opatření v povodí. V rámci studie jsou navrženy variantní řešení funkčních objektů s výpočtem jejich kapacit a základních rozměrů. Na závěr je zvoleno nejvhodnější řešení a vyhodnocen jeho účinek v protipovodňové ochraně.

## Klíčová slova

Tichá Orlice, povodeň, transformace povodňové vlny, ochrana před povodněmi, suchá nádrž, návrh poldru

## Abstract

The goal of this bachelor thesis is designing of polder in the locality Letohrad-Jankovice. The teoretical part describes basin of Tichá Orlice, historical floods, types of flood control measures, basics of polder design and retarding basin and significant measures in basin. Within the study are design alternativ solutions of function objects with calculation of their capacity and dimensions. Finally, the most suitable solution is chosen and its effect in flood protection is evaluated.

## Key Words

Tichá Orlice, flood, flood transformation, flood control, retarding basin, polder design

## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Charakteristika povodí.....	10
3. Charakteristika toku.....	12
4. Povodně na Tiché Orlici .....	13
4.1. Povodeň 1997 .....	13
4.1.1. 1. Vlna 6.7-11.7.....	13
4.1.2. 2.Vlna 18.7-22.7.....	14
4.2. Povodeň 2006 .....	15
5. Protipovodňová opatření .....	15
5.1. Technická protipovodňová opatření .....	16
5.1.1. Opatření v ploše povodí.....	16
5.1.2. Opatření na tocích.....	17
5.2. Netechnická protipovodňová opatření .....	19
5.3. Přírodě blízká protipovodňová opatření .....	20
6. Protipovodňová opatření na Tiché Orlici .....	21
6.1. Soustavy retenčních nádrží .....	21
6.1.1. Soustava retenčních nádrží v povodí Tiché Orlice .....	21
6.1.2. Soustava retenčních nádrží v povodí Třebovky .....	22
6.1.3. Posouzení účinku retenčních soustav .....	24
6.2. Ochrana sídel .....	25
6.2.1. Dokončená opatření .....	25
6.2.2. Plánovaná opatření .....	26
7. Návrh poldrů a suchých nádrží .....	26
7.1. Podklady .....	26
7.1.1. Předpisy a normy .....	26

7.1.2.	Mapové a geodetické podklady .....	27
7.1.3.	Hydrologické a klimatologické podklady .....	27
7.1.4.	Geologické, hydrogeologické a pedologické podklady.....	27
7.1.5.	Ostatní podklady.....	28
7.2.	Návrh prvků .....	28
7.2.1.	Stanovení retenčního prostoru .....	28
7.2.2.	Hydraulický návrh spodní výpusti.....	28
7.2.3.	Hydraulický návrh bezpečnostního a nouzového přelivu.....	29
7.2.4.	Návrh hráze.....	30
8.	Návrh poldru v zájmové lokalitě .....	31
8.1.	Seznam vstupních podkladů .....	31
8.2.	Popis území stavby .....	31
8.2.1.	Popis území .....	31
8.2.2.	Dotčené parcely .....	31
8.2.3.	Soulad s územním plánem.....	32
8.2.4.	Ochrana území.....	32
8.2.5.	Napojení na technickou a dopravní infrastrukturu .....	32
8.2.6.	Zábory.....	32
8.2.7.	Asanace, demolice, kácení dřevin .....	32
8.3.	Provedené průzkumy a data .....	33
8.3.1.	Inženýrsko-geologický průzkum .....	33
8.3.2.	Hydrologická data.....	34
8.4.	Vliv stavby na životní prostředí.....	35
8.5.	Bezpečnost při užívání stavby .....	35
8.6.	Bezbariérový přístup a požární bezpečnost .....	35
8.7.	Ochrana stavby před nepříznivými vlivy .....	35
8.8.	Konstrukční prvky .....	36

8.8.1. Hráze:.....	36
8.8.2. Retenční prostor a zátopa .....	39
8.8.3. Sdruženého objektu .....	40
8.8.4. Nátokový objekt .....	42
8.8.5. OSTATNÍ OBJETY .....	44
8.9. Zhodnocení .....	44
9. Závěr.....	45
10. Literatura a zdroje informací .....	47
Seznam Obrázků.....	51
Seznam Tabulek .....	51
Seznam příloh.....	52



# 1. Úvod

Tématem této bakalářské práce je Využití retenčních objemů pro protipovodňovou ochranu na Tiché Orlici. Bakalářská práce je strukturovaná následovně:

- Charakter vybraného území s poukázáním na přírodní a antropogenní vlivy působícími na vznik a průběh povodně.
- Identifikace a popis významných povodňových situací, které měly vliv na následný vývoj protipovodňové ochrany v povodí.
- Rozdělení jednotlivých typů opatření s poukázáním na vzájemné vazby mezi nimi.
- Základní informace týkající se návrhu suchých nádrží a poldrů.

Významná část je věnována již existujícím nebo plánovaným technickým opatřením, jejich technickému popisu a účinku v celé soustavě opatření v povodí.

Cílem této bakalářské práce je vypracovat studii poldru v lokalitě Letohrad-Jankovice.

- Určení objemu ochranného prostoru.
- Návrh variant jednotlivých funkčních prvků.
- Dimenzování funkčních prvků.

Na závěr je vybráno nejvhodnější řešení a kvantifikován jeho efekt v součinnosti s dalšími prvky protipovodňové ochrany v povodí.

## 2. Charakteristika povodí

Povodí Tiché Orlice se nachází v Pardubickém a Královehradeckém kraji, na území okresů Ústí nad Orlicí, Svitavy a Rychnov nad Kněžnou. Východní částí sousedí s Polskou republikou. V povodí se nachází málo významnějších sídel. Jedná se o Králíky, Letohrad, Ústí nad Orlicí, Českou Třebovou, Choceň a Týniště nad Orlicí. Území je součástí mezinárodního povodí Labe a spadá do úmoří Severního moře. Sdílí orografickou rozvodnici s povodími Divoké Orlice, Orlice, Labe, Loučné, Svitavy, Moravské Sázavy a Moravy [1].

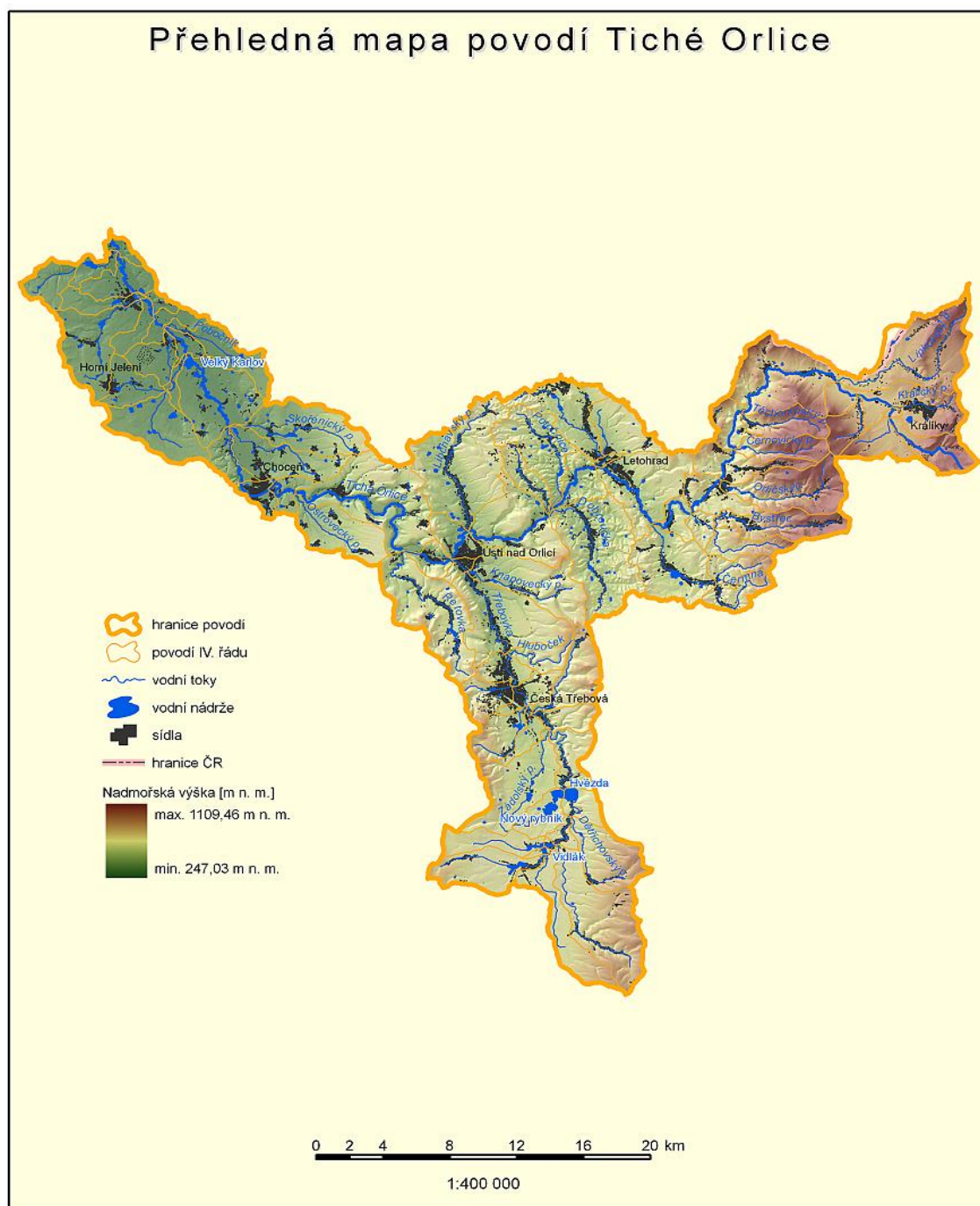
Povodí Tiché Orlice je členité. Na východě je ohraničeno Hanušovickou vrchovinou a masivem Kralického Sněžníku. Západně od Králík prochází řeka výběžkem Kladské kotliny. Východní část území křížuje výběžek Podorlické pahorkatiny. Mezi Chocní, Českou Třebovou a Letohradem se nachází Svitavská pahorkatina, která směrem na západ přechází v Orlickou tabuli.

Z pohledu regionální geologie můžeme povodí Tiché Orlice zařadit do oblasti Českého masivu. Podstatná část dolního a středního toku leží v oblasti Orlicko-žďárského vývoje České křídové pánve s převažujícími jemnozrnnými pískovci. Pro horní tok je významná oblast Orlicko-sněžnického krystalinika, tvořená metamorfovanými horninami, především převážně ortorulového a svorového charakteru [2] [3].

Klimatické poměry povodí se mění především v závislosti na nadmořské výšce a daly by se rozdělit na tři oblasti. Oblast horního toku na východě v okolí Králík je charakteristická vysokým srážkovým úhrnem 800-1000 mm/rok a průměrnou roční teplotou 6-7 °C. Oblast středního toku mezi Letohradem a Chocní a povodí Třebovky je v průměru o 1 °C teplejší než oblast horního toku a průměrný úhrn srážek je 700-800 mm/rok. Teplota oblasti spodního toku od Chocně po soutok s Divokou Orlicí se pohybuje v rozmezí 8-9 °C a srážkový úhrn mezi 600-700 mm/rok [4].

Z hlediska ochrany přírody je v zájmovém území nejvýznamnější přírodní park (PP) Orlice, který se táhne podél toku od Jablonného n. O. až k soutoku s Divokou Orlicí. Na PP Orlice navazuje PP Suchý vrch-Buková hora. V pramenné části se nachází PP Kralický Sněžník a PP Jeřáb. Do zájmového území nezasahuje žádný národní park ani CHKO [5].

V současné době jsou v povodí vystavěny jen dvě významnější vodní plochy. Vodní nádrž Hvězda na Třebovce s objemem 1,6 mil. m<sup>3</sup> a plochou zátopy 79 ha a malá vodní nádrž Velký Karlov s plochou 16,8 ha. Ministerstvo životního prostředí vydalo dokument „Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území“, ve kterém se do budoucna uvažuje s výstavbou vodní nádrže Písečná na pravostranném přítoku Tiché Orlice Potočnici s předpokládaným objemem 4,9 mil. m<sup>3</sup> a zatopenou plochou 63,1 ha.



Obrázek 1: Mapa povodí Tiché [6]

### 3. Charakteristika toku

- Hydrologické pořadí 1-02-02
- Plocha povodí [km<sup>2</sup>] 755,4
- Délka Toků [km] 107,5
- Průměrný průtok nad soutokem [m<sup>3</sup>/s] 7,4

Řeka Tichá Orlice pramení ve výšce 815 m. n. m. na západním svahu hory Jeřáb ležící v Hanušovické vrchovině. Teče severozápadním směrem k městu Králíky, kde vtéká do Kladské kotliny. Mezi Lichkovem a Těchonínem zatáčí na jihozápad a odděluje Bukovohorskou hornatinu od hlavního masivu Orlických hor. Zhruba mezi Jablonným nad Orlicí a Letohradem protéká Podorlickou pahorkatinou, kde dvakrát výrazně mění směr. Nejdříve na severozápad a potom zpět na jihozápad. Po soutoku s Třebovkou, v Ústí nad Orlicí, směřuje tok západním směrem. V Chocni mění naposledy výrazně svůj směr na severozápad a vtéká do rovinatého území Orlické tabule. V Týništi nad Orlicí se stéká s Divokou Orlicí. Tím vzniká tok Orlice, který se vlévá do Labe v Hradci Králové.

Údolí Tiché Orlice a části jejích přítoků (Třebovka), je velmi hustě zastavěno rodinnými a rekreačními domy, ale i výrobními objekty. Významným prvkem říční nivy je železniční trať, kopírující tvar toku, která je vyprojektována s ohledem na nebezpečí povodně [7].

Nejvýznamnějším přítokem je Třebovka. Jedná se o levostranný přítok dlouhý 41 km, pramenící u obce Koclířov. Třebovka se do Tiché Orlice vlévá u Ústí nad Orlicí na 48,2 ř. km. Další významnější přítoky jsou Lipkovský potok, Libchavský potok, Dobroučka a toky pramenící na západním svahu Orličského hřbetu, ležícího v Bukovohorské hornatině.

Hydrologické poměry Tiché Orlice jsou ovlivněny především umístěním povodí na rozvodnici hlavních českých povodí Labe a Moravy. Pro poměry v pramenné části toku je významný masiv Kralického sněžníku a Hanušovické vrchoviny.

Tabulka 1: Hlásné profily na Tiché Orlici a Třebovce [8]

Název stanice	Staničení	Plocha povodí	Q <sub>a</sub>	Q <sub>355</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
-	[ř. km]	[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
Lichkov	92,80	65,75	1,09	0,216	16,8	86,5	104
Dolní Libchavy	51,30	304,06	4,33	0,932	43,9	175	205
Čermná nad Orlicí	11,00	693,30	7,34	1,920	51	206	242
Třebovce	23,00	84,21	0,445	0,080	5,83	48,1	62
Ústí nad Orlicí	3,40	174,16	1,090	0,215	8,98	73,1	94,1

## 4. Povodně na Tiché Orlici

Zákon č. 254/2001 Sb., §64 odst. 1, Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) definuje povodeň jako: „(...) přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod. Povodeň může být způsobena přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů (přirozená povodeň), nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havárii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).“ [9]

Pro rozvoj protipovodňové ochrany na Tiché Orlici, ale i na celém území České republiky, byla zásadní série povodní na přelomu 20. a 21. století. Pro povodí Tiché Orlice byly určující především povodně v červenci 1997 a na jaře 2006.

### 4.1. Povodeň 1997

Červencové povodně v roce 1997 se vyskytly nad celým severovýchodním územím České republiky a zasáhly velkou část horního a středního Labe ve dvou po sobě jdoucích vlnách (1. vlna-6.7. až 11.7., 2. vlna 18.7. až 22.7.).

#### 4.1.1. 1. Vlna 6.7-11.7.

Začátkem července se nad území Moravy a později Slezska a Polska z jihu přesunula tlaková níže, která způsobila 4-denní vydatné deště především v oblasti Beskyd, Jeseníků,

Kralického Sněžníku a Orlických hor. V oblasti severovýchodních Čech se srážkový úhrn pohyboval okolo 150-260 mm. Vydatnost srážek směrem na západ klesala.

Pro celkový vývoj hydrologické situace v povodí horního a středního Labe mělo velký význam nerovnoměrné regionální rozdělení srážek. Největších N-letých průtoků bylo dosaženo v horských oblastech, kde toky pramení. Prakticky v celém povodí Tiché Orlice a jejího přítoku Třebovky bylo dosaženo průtoků rovnajících se  $Q_{100}$ .

Průběh povodně v povodí Tiché Orlice je třeba označit za katastrofální, především pak na řece Třebovce. I přes funkční suchou nádrž nad Lichkovem byl horní tok silně zasažen. Závažná situace vznikla mezi Lichkovem a Těchonínem a v Jablonném nad Orlicí, Ústí nad Orlicí, Brandýse nad Orlicí a Chocní. Během povodně byly poničeny stovky rodinných domů, vznikly škody na zařízeních výrobních podniků, komunikacích, vedení elektrické energie atd. Nejrozsáhlejší škody v celém povodí Labe byly zaznamenány v údolí řeky Třebovky. Záslouhou včasného vyhrazení stavidel bezpečnostního přelivu nádrže Hvězda, kde hrozilo prolomení tělesa hráze, nedošlo ke vzniku dodatečné zvláštní povodně.

#### **4.1.2. 2.Vlna 18.7-22.7.**

Meteorologická situace pro 2. vlnu byla obdobná jako v prvním případě. V povodí Labe byly srážky nejintenzivnější v Krkonoších a Jizerských horách. Na labské boudě bylo po 2-denním srážkovém úhrnu naměřeno 239 mm, v Peci pod Sněžkou 170 mm, na VD Bedřichov 114 mm a VD Souš 114 mm. V Orlických horách a Českomoravské vrchovině již srážkový úhrn nepřekročil 100 mm. V nižších oblastech povodí Labe byly srážky nižší a jen ojediněle překročily 2-denní úhrn 50 mm.

Výše popsané úhrny vyvolaly v uceleném povodí Labe povodňové stavy odpovídající různým stupňům povodňové aktivity. Významný vliv na velikost povodňových průtoků měl zvýšený povrchový odtok z povodí, způsobený vysokým nasycením půdy z počátku července. Nejtěžší byla situace na horním Labi ve Špindlerově Mlýně, kde průtok dosáhl až hodnoty  $Q_{100}$ . Významně bylo také zasaženo povodí Jizery. Povodí Tiché Orlice bylo druhou vlnou zasaženo velmi málo. [10]

## 4.2. Povodeň 2006

Jarní povodeň 2006 probíhala zhruba od 26. 3 do 8.4. Zima 2005/2006 byla ve střední Evropě velmi bohatá na sněhové srážky. V nejvyšších horských oblastech Čech (Krkonoše, Šumava, Jeseníky, Krušné hory) dosáhla vrstva sněhové pokrývky výšky 160 až 220 cm, v nižších polohách 10 až 30 cm. V druhé polovině března pronikl na naše území teplý a vlhký vzduch ze západu. K němu se mezi 25. a 31. březnem přidaly vydatné srážky. I díky těmto srážkám spadlo na území České republiky až 200% dlouhodobého březnového úhrnu. V lokalitě Ústí nad Orlicí bylo v březnu 2006 naměřeno 76,6 mm srážek, průměrný březnový úhrn je 47 mm [11]. Vlivem teplého vzduchu a vysokých srážek došlo k rychlému tání sněhové pokrývky ve všech výškových polohách.

Pro průběh povodně bylo zásadní množství sněhu v nadmořských výškách do 700 m. n. m. Jelikož je tato nadmořská výška v povodí Tiché Orlice překročena jen v nejvyšších polohách Kralického Sněžníku, Hanušovické vrchoviny a Orličského, hřbetu došlo na většině povodí k intenzivnímu úbytku vodní hodnoty sněhu. Povodeň kulminovala od 31.3 do 1.4. s dobou opakování v rozmezí 1 až 50 let. [12]

## 5. Protipovodňová opatření



Obrázek 2: Rozdělení protipovodňových opatření [13]

Protipovodňová opatření mají za účel snížit dopad extrémních průtoků a jimi způsobené množství škod. V intravilánu je jejich úkolem co nejrychleji provést povodeň. V nezastavěném území se kombinací opatření snažíme o co největší zpomalení a oddálení

kulminace. Protipovodňová opatření můžeme rozdělit na technická a netechnická nebo technická a přírodě blízká. Nelze říci, který druh opatření je nejlepší. Nejvyšší účinnosti protipovodňové ochrany je docíleno účelným kombinováním jednotlivých opatření v celé ploše povodí. [13]

## **5.1. Technická protipovodňová opatření**

Technická protipovodňová opatření je možno dále dělit na opatření uplatňovaná pro ochranu proti vodě v ploše povodí a na ochranu proti vodě na vodním toku.

### **5.1.1. Opatření v ploše povodí**

Jejich cílem je co největší zvýšení vsaku dešťových srážek nebo tajícího sněhu a zpomalení povrchového odtoku v povodí. Jedná se o úpravu druhové a věkové skladby lesních porostů, změna zemědělských postupů a zřízení protierozních a retenčních opatření. Ve své podstatě by se dala označit jako přírodě blízká opatření.

Lesní porosty mohou velkou měrou ovlivnit velikost a rychlost povrchového odtoku z plochy povodí. Retenční schopnost lesa závisí na geologické a geomorfologické charakteristice, způsobu hospodaření a samotné skladbě lesního porostu. Zvýšení retenční schopnosti lze dosáhnout změnou skladby pro konkrétní lokalitu nebo omezením holosečí. [13][14]

Retenční schopnost zemědělské půdy závisí z velké míry na obsahu humusu, pórovitosti nebo struktuře. Tato schopnost je většinou snižována vlivy souvisejícími s hospodářskou činností. Nejvíce jsou postižena pole a nezpevněné cesty. Špatnými agrotechnickými postupy se snižuje obsah humusu v půdě a pojezdem techniky dochází ke zhutnění podorničí, což snižuje množství zasakované vody. V kombinaci s nepříznivými morfologickými podmínkami dochází k vysokým rychlostem povrchového odtoku, který dále snižuje množství kvalitní půdy. Vhodným opatřením je změna osevních postupů a plodin. [13][14]

Mezi protierozní a retenční opatření patří průleh, příkop, zasakovací pás, přehrážka nebo mez. Ty snižují rychlost povrchového odtoku a zároveň intenzitu eroze. [15]



V dubnu 2018 vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka na popud Ministerstva životního prostředí publikaci Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině. Jedná se o metodickou pomůcku pro návrh těchto opatření.

### **5.1.2. Opatření na tocích**

Jejich cílem je snížení povodňových průtoků a jejich bezpečné provedení říční nivou. Jedná se o zkapacitnění koryta a jeho stabilizaci v exponovaných místech, výstavbu ochranných hrází a zřízení retenčních prostorů.

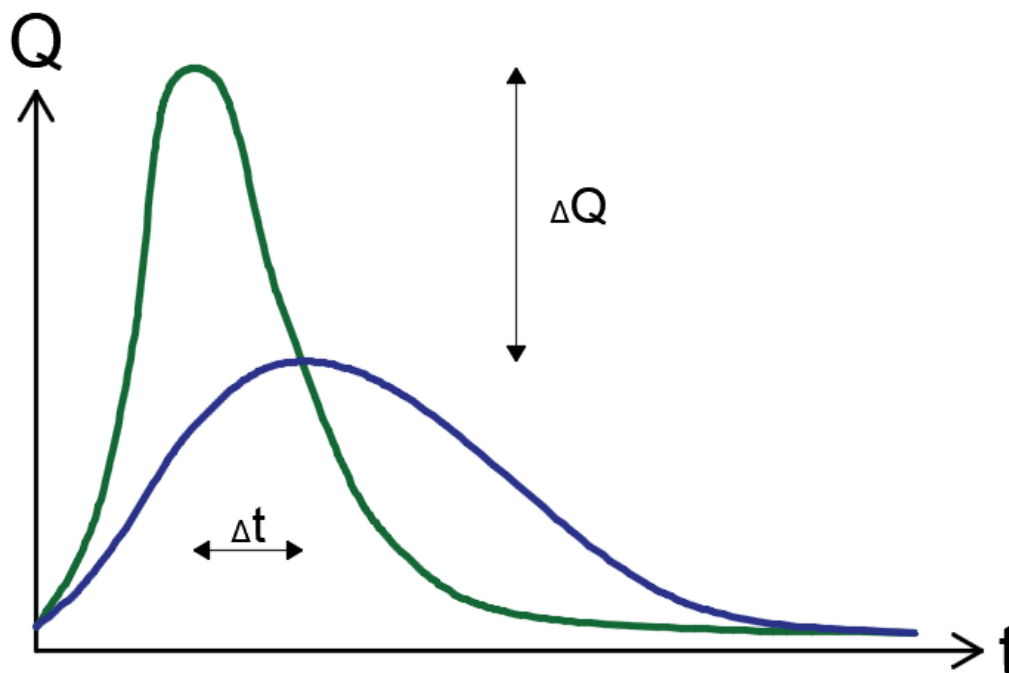
Smyslem ochranných hrází je usměrnit povodňové průtoky do prostoru mezihrází. Tím je docíleno ochrany zahrází před povodní až do výše návrhového průtoku. Zřizují se tam, kde není možno z jiných důvodů docílit požadované kapacity koryta. Nejčastěji se používají sypané ochranné hráze, které se umísťují podél vodních toků. V hustě zastavěném prostoru se užívá protipovodňových zdí či mobilního hrazení. Z ekonomických důvodů není možné vybudování takových ochranných hrází, které by zaručily úplnou ochranu obyvatelstva. [13] [16]

Cílem zkapacitnění koryta je rychlé provedení povodně zájmovým územím. Pro zajištění požadované kapacity je třeba pravidelná údržba koryta, okolní vegetace, odstraňování nánosů a dalších faktorů. Stabilizaci koryta je možné řešit lokálně nebo ve větších úsecích. K tomu slouží různé druhy opevnění břehů i dna koryta, spádové objekty nebo předefinování parametrů koryta (trasování, příčný řez, podélný sklon). [13]

#### **5.1.2.1. Retenční prostory ve vodních nádržích**

Hlavní funkcí retenčních nádrží nebo nádrží s retenčním prostorem je zcela nebo částečně zachytit povodňovou vlnu a do toku pod nádrží vypustit průtok, který by nezpůsobil škody, tzv. neškodný průtok. Povodňová vlna se v prostoru nádrže transformuje tak, že se sníží kulminační průtok o hodnotu  $\Delta Q$  a čas jejího průběhu se oddálí o  $\Delta t$  (obr 3).

Retenční prostor je takový prostor nádrže, který je plněn pouze za povodňových stavů. Dále je možné ho dělit na ovladatelný a neovladatelný. Ovladatelným retenčním prostorem se rozumí prostor od horní hladiny zásobního prostoru po okraj bezpečnostního přelivu (příp. po hranu hradící konstrukce). Výška neovladatelného retenčního prostoru je určena výškou přepadového paprsku při návrhovém průtoku.



Obrázek 3: Schéma transformace povodňové vlny

Z provozního a technického hlediska lze nádrže s ochrannou funkcí dělit do několika skupin:

- Přehradní nádrže s vymezeným retenčním prostorem.
- Nádrže rybničního typu, které mají vymezený malý retenční prostor v poměru k celkovému objemu nádrže.
- Ochranné nádrže s přesně definovaným velkým ochranným prostorem pro zachycení povodňového průtoku a s malým akumulací prostorem pro různé účely.
- Suché ochranné nádrže, jejichž účelem je krátkodobě zadržet povodňový průtok a při snížení průtoků postupně vypustit prostor zátopy. [17]

Mezi poslední dvě skupiny můžeme řadit suché nebo polosuché nádrže a poldry. Tyto pojmy se často zaměňují a je tedy nutné si je definovat:

Poldr je vodní nádrž, do které je přiváděna část průtoku z vodního toku a mezipovodí příslušejícímu nádrži.

Suchá nádrž je protékaná vodní nádrž, plní se po překročení neškodného odtoku, na který je dimenzován výpustní objekt.

Odvětvová technická norma TNV 75 2415 definuje oba pojmy jako: „*Vodní nádrž určená k ochraně před účinky povodní, ve které je celkový objem nádrže téměř shodný se součtem ovladatelného a neovladatelného ochranného prostoru; plní retenční funkci a snižuje povodňový průtok ve vodním toku; může mít v poměru k celkovému objemu zanedbatelné stálé nadržení, které plní krajinnotvornou či ekologickou funkci.*“ [18]

## 5.2. Netechnická protipovodňová opatření

Netechnická protipovodňová opatření nemohou povodni zabránit, ale jen zmírnit následky povodně. Jejich účelem je docílit co nejnižších škod tím, že předem informují o možnosti vzniku povodňové situaci nebo administrativně vymezují území, která jsou významně ohrožena. Řadí se mezi ně výchova veřejnosti (tzv. povodňová paměť), předpovědní a varovné systémy a definování záplavových zón.

Výchova a osvěta veřejnosti spočívá v informování o povodňových rizicích, zásadách chování v době ohrožení nebo způsobech, jak riziku předcházet. [13]

Předpovědní a varovný systém se skládá z několika důležitých prvků. Předpovědní povodňovou službu zajišťuje ČHMU ve spolupráci se správci toků. Povodňovým orgánům a dalším složkám činným v ochraně před povodněmi jsou dále poskytovány informace o riziku vzniku, vzniku, vývoji povodně na toku a hydrometeorologických prvcích provázejících povodně. Hlásnou povodňovou službu zřizují povodňové orgány. Jejím úkolem je sběr veškerých informací nutných pro varování obyvatelstva. Pro vyjádření míry nebezpečí se užívá stupnice povodňové aktivity (SPA). Jsou nejčastěji definovány limitními hodnotami průtoku nebo vodního stavu. K určení stupně povodňové aktivity slouží hlásné profily na tocích. [19]

Záplavová území jsou definována zákonem č. 254/2001 Sb., §66 odst. 1, Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) jako „*(...) administrativně určená území, která mohou být při výskytu přirozené povodně zaplavena vodou (...)*“. Jejich rozsah stanoví na základě návrhu správce toku příslušný vodoprávní úřad. Jedná se o území se zvýšenou mírou povodňového nebezpečí. V aktivních záplavových zónách je zakázána

výstavba s výjimkou vodních děl. V další ploše jsou stanoveny omezení individuálně, podle výše povodňového nebezpečí. [9]

### **5.3. Přírodě blízká protipovodňová opatření**

Přírodě blízká protipovodňová opatření kladou nároky na ekologickou stabilitu říčních niv. Jejich hlavním cílem je snížení postupových rychlostí. Nelze je vnímat jako opak technických opatření, naopak by se tyto dva postupy měly vhodně kombinovat pro co největší efektivitu ochrany.

Kapacitní, hydraulicky hladká koryta s velkým podélným sklonem umožňují rychlý postup vody a jejich zvýšenou koncentraci. V tomto případě jsou nahrazena přírodě blízkými koryty s poměrně malou kapacitou a velkou členitostí. Po překročení kapacity dojde k rozlivu do nivy a retardaci odtoku. Toto opatření může mít významný vliv především v malých povodích, kde vzniká riziko bleskových povodní.

Obnova původní šíře přirozených povodňových perimetrů vodních toků spočívá v odsazení dříve postavených ochranných hrází do větší vzdálenosti od toku. Tím se zvýší retenční schopnost mezihrází.

Smysl odlehčovacích a ochranných koryt spočívá v odvedení povodňových vod mimo chráněná území. Využití nalézají především v osídlených nivách toků.

Přírodě blízké povodňové retenční prostory v nivách mohou být vytvořeny z jam vzniklých po těžbě říčního štěrku a písku. Vhodnou revitalizací těchto prohlubní je možné zvýšit retenční schopnost říční nivy.

Výstavba poldrů, suchých a polosuchých povodňových nádrží s přírodě blízkými prvky se liší od technického pojetí suchých nádrží tím, že plocha jejich zátopy není hospodářsky využívána. Místo toho je tento prostor využit pro přirozený vývoj toku a jeho nivy. Toto řešení přináší vyšší investiční náklady spojené s nutností výkupu pozemků, ale v průběhu životnosti není třeba řešit náhrady vlastníkům pozemků v ploše zátopy. [13] [20]

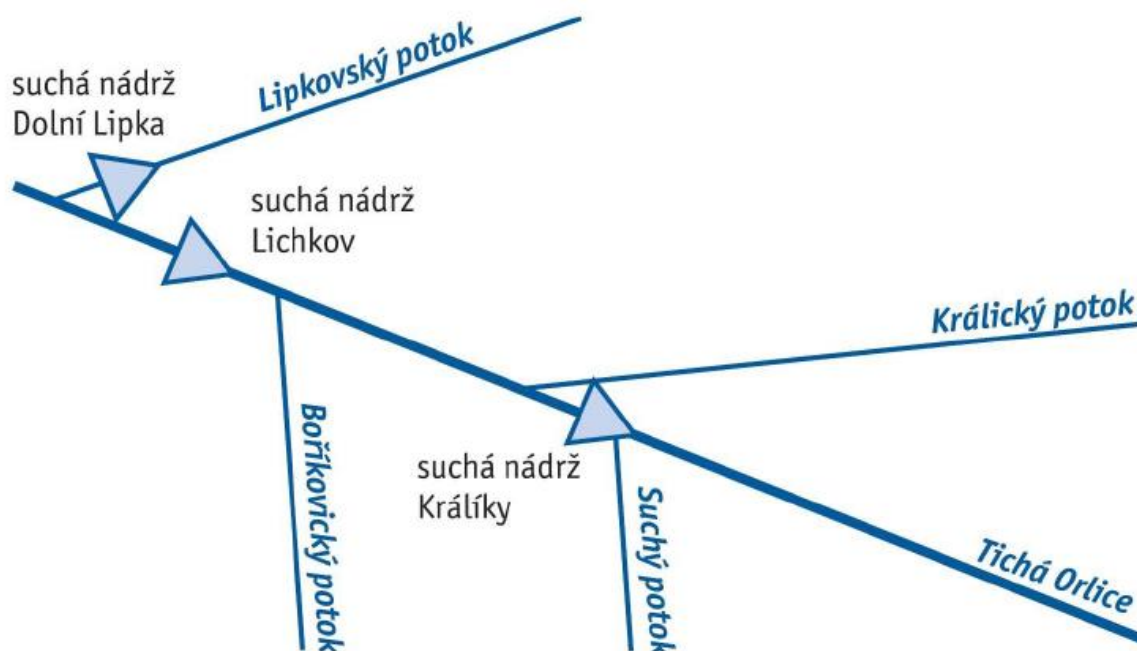
## 6. Protipovodňová opatření na Tiché Orlici

V této kapitole budou zmíněna jen opatření na tocích pro ochranu významnějších sídel nebo opatření důležitá pro ochranu větší plochy povodí, vybudovaných nebo plánovaných na období 1999-2019, jelikož není možné v této práci obsáhnout veškerá opatření na tak velké ploše.

### 6.1. Soustavy retenčních nádrží

#### 6.1.1. Soustava retenčních nádrží v povodí Tiché Orlice

První poldr byl postaven v lokalitě Lichkov na Tiché Orlici již v 70. letech 20. století na ochranu horního toku Tiché Orlice. Po povodni v roce 1997 se začalo uvažovat o výstavbě dalších retenčních nádrží. V rámci programu Podpora prevence před povodněmi I. byly v roce 2007 dostavěny nové poldry. Dolní Lipka na Lipkovském potoce a Králíky na Tiché Orlici nad soutokem s Králickým potokem. Celkový retenční prostor vzniklý výstavbou nádrží je 3,277 mil. m<sup>3</sup>. Z hlediska technickobezpečnostního dohledu nad vodními díly je hráz suché nádrže Králíky řazena do kategorie III. a suché nádrže Dolní Lipka a Lichkov do kategorie IV.



Obrázek 4: Schéma umístění poldrů na horním toku Tiché Orlice [21]

Všechny tři poldry byly řešeny jako průtočné suché nádrže se zemní sypanou hrází. Hráz poldrů Lichkov je řešena jako homogenní. Všechny funkční objekty jsou spojeny do sdruženého objektu. Pro převedení běžných průtoků slouží otvor 1,5x1,5 m. Na návodní straně objektu je umístěn bezpečnostní přeliv s celkovou účinnou délkou 65 m. V levé části hráze je umístěn nouzový přeliv délky 34 m.

Hráz poldru Králíky je řešena jako heterogenní, se středním těsnícím jádrem tloušťky 2 m, poldru Dolní Lipka jako homogenní. Z hlediska funkčních objektů jsou obě nádrže navrženy obdobně. V místě pravostranného zavázání hrází jsou umístěny bezpečnostní přelivy délky 70 m. Spodní výpustní objekty jsou umístěny v ose toku. Návodní část začíná sedimentační částí, navazují česle a škrťací deska. Pro převedení běžných průtoků je hrází provedeno potrubí DN 1500. Na vzdušné straně je objekt ukončen tlumící deskou a vývarem. [21]

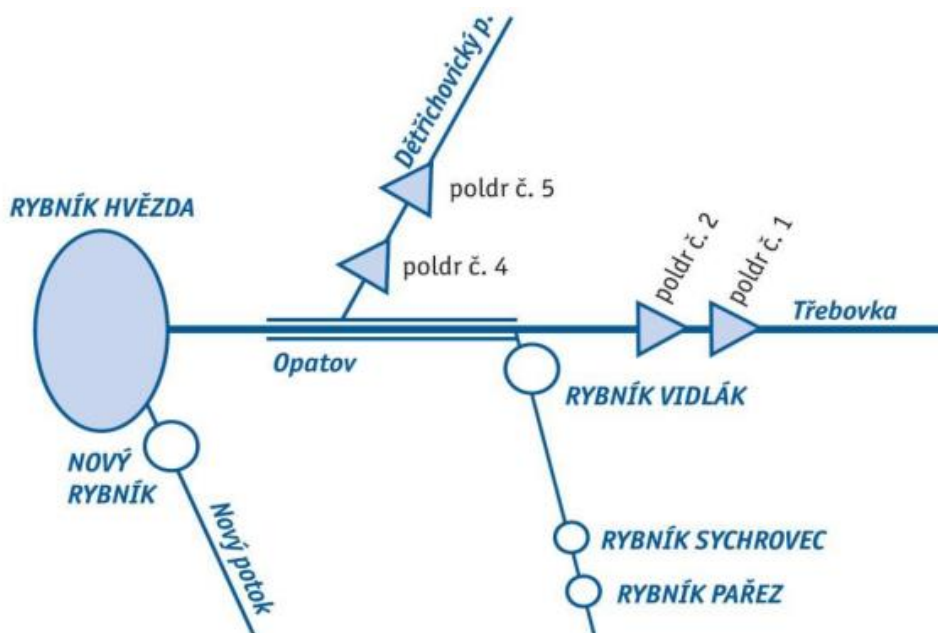
Tabulka 2: Parametry soustavy poldrů v povodí Tiché Orlice [21]

Soustava retenčních nádrží v povodí Tiché Orlice			
PARAMETR	Poldr Lichkov	Poldr Králíky	Poldr Dolní Lipka
Výška koruny poldru nad terénem (m)	4,5	7	8
Délka koruny hráze (m)	250	553	524
Kóta koruny hráze* (m n. m.)	532,5	546,25	535
Sklon návodního svahu	1:3,5	1:3	1:3
Sklon vzdušního svahu	1:2	1:2	1:2
Maximální přítok do nádrže (m <sup>3</sup> /s)	48,1	53	63,5
Celkový objem nádrže (tis. m <sup>3</sup> )	865	1034	1378
Maximální zatopená plocha (ha)	4,5	47,3	52,5

### 6.1.2. Soustava retenčních nádrží v povodí Třebovky

Po roce 1997 byla stejně jako na Tiché Orlici zahájena příprava výstavby soustavy retenčních nádrží, které by doplnily již existující soustavu rybníků. Podle studií provedených na přelomu tisíciletí (Doležal, 2001; Starý, 2002) je možné ovlivnit rozsah a četnost rozlivů v hustě urbanizovaném údolí Třebovky technickými opatřeními v horní části povodí Třebovky. V rámci přechodného programu v letech 1999-2001, určeného na výstavbu protipovodňových opatření, byly na Třebovce vybudovány poldry č. 1 a č. 2 a na Dětrichovském potoce poldr č. 5. V navazujícím programu byl postaven poldr č. 4 na Dětrichovském potoce a v letech 2004-2005 byla realizována opatření pro zvýšení ochranné funkce rybníku Hvězda. Z hlediska technickobezpečnostního dohledu nad vodními díly je

hráz rybníku Hvězda řazena do II. kategorie, hráz suché nádrže č.1 a 2 do kategorie III. a suché nádrže č.4 a 5 do kategorie IV.



Obrázek 5: Schéma umístění nádrží v povodí Třebovky [22]

Pro výstavbu všech čtyř poldrů bylo zvoleno shodné řešení. Hráže poldrů byly vybudovány jako homogenní zemní sypané s osou hráže kolmou k toku. Nehrazené bezpečnostní přelivy se nachází v místě levobřežního zavázání s délkou 8 m (č.1 a č.2) nebo 9 m (č.4 a č.5). Převádění vody pod hráz je uskutečňováno jednou spodní výpustí DN 1000 (č.1) nebo D 800 (č.2, č.4, č.5) umístěnou v manipulačním objektu. [22]

Tabulka 3: Parametry soustavy poldrů a rybníku Hvězda v povodí Třebovky [22]

Soustava retenčních nádrží v povodí Třebovky					
PARAMETR	Poldr č. 1	Poldr č. 2	Poldr č. 4	Poldr č. 5	Hvězda
Výška koruny poldru nad terénem (m)	8,8	8,6	9,5	9,6	10,5
Délka koruny hráže (m)	290	153	92	80	187,7
Kóta koruny hráže* (m n. m.)	468,5	455,7	442,4	456,7	424,6
Sklon návodního svahu	1:3,7	1:3,4	1:3,4	1:3,4	1:2,2-3,5
Sklon vzdušního svahu	1:2	1:2,2	1:2,2	1:2,2	1:2,2
Maximální přítok do nádrže (m <sup>3</sup> /s)	18,1	9,7	16,5	16,6	36,0
Celkový objem nádrže (tis. m <sup>3</sup> )	460,9	302,6	175,2	172,3	3502
Maximální zatopená plocha (ha)	13,8	10,9	5,5	4,9	78,15

### 6.1.2.1. Rybník Hvězda

Po povodni v roce 1997, kdy hrozilo přelítí hráže, bylo rozhodnuto o technických úpravách tělesa hráže a funkčních objektů. V rámci rekonstrukce byla zvýšena a zesílena

hráz hlinitojílovým předsypem ke vzdušnému svahu hráze. Dvouetážový bezpečnostní přeliv, spodní výpusti a MVE byly spojeny ve sdružený objekt. [23]

### 6.1.3. Posouzení účinku retenčních soustav

Ve studii Stanovení účinku nových retenčních nádrží na průběh povodní v povodí Tiché Orlice [24] byly pomocí hydrologického modelování určeny účinky na transformaci povodňové vlny ve vybraných stanicích na toku Tiché Orlice a Třebovky. Pro porovnání transformačních účinků jednotlivých soustav slouží (tabulka 4).

Při výpočtu transformačního účinku soustavy nádrží na horním toku Tiché Orlice bylo uvažováno s účinkem jedné stávající suché nádrže a výstavbou tří nových s celkovým retenčním prostorem 2,6 mil. m<sup>3</sup>. Nádrž na Heřmanickém potoce nakonec však postavena nebyla. Zvětšením zbývajících dvou nádrží bylo však dosaženo zvýšení celkového objemu soustavy o 616 tis. m<sup>3</sup> na 3,28 mil.m<sup>3</sup>. V návaznosti na to lze předpokládat zvýšení transformačního účinku. Suchá nádrž Králíky transformuje  $Q_{100}=53 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , nádrž Lichkov  $Q_{100}=72,7 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $48,1 \text{ m}^3/\text{s}$  a Dolní Lipka  $Q_{100}=63,5 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $3,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Transformovaný odtok soustavou po soutoku s Lipkovským potokem je  $51,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . [21]

U soustavy retenčních nádrží na Třebovce je situace opačná. Snížením skutečného objemu oproti předpokládanému objemu u každé ze čtyř suchých nádrží došlo ke snížení celkového objemu soustavy o 351 tis. m<sup>3</sup> na 2,86 mil. m<sup>3</sup>. Lze tedy předpokládat, že je skutečný účinek soustavy menší, než bylo předpokládáno. Poldry 1,2,4 a 5 snížily přítok do nádrže Hvězda z  $Q_{100}=61,8 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nádrž Hvězda je schopna vypouštět neškodný průtok rovný  $Q_1-Q_2$ . [22][25]

Tabulka 4: Porovnání předpokládaných a skutečných objemů retenčních nádrží

		Předpokládaný objem	Skutečný objem	Celkový předpokládaný objem	Celkový skutečný objem	Rozdíl $V_{cp}-V_{s}$
		[tis. m <sup>3</sup> ]	[tis. m <sup>3</sup> ]	[tis. m <sup>3</sup> ]	[tis. m <sup>3</sup> ]	-
Tichá Orlice	Poldr Lichkov	865	865	2660.4	3277	616.6
	Poldr Králíky	720,7	1034			
	Poldr Dolní Lipka	687,3	1378			
	Poldr H	387,4	0			
Třebovka	Poldr č. 1	612	460,9	3214	2863	-351
	Poldr č. 2	422	302,6			
	Poldr č. 4	258	175,2			
	Poldr č. 5	170	172,3			
	Hvězda	1752	1752			



## 6.2. Ochrana sídel

### 6.2.1. Dokončená opatření

Choceň: Vybudováním série opatření byla ochrana města zvýšena z  $Q_{10}$  na transformovaný  $Q_{100}=189 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dosažení požadovaného návrhového průtoku bylo docíleno vybudováním železobetonových ochranných zdí v délce 2324 m s prvky mobilního hrazení a zemních sypaných hrází délky 557 m převážně na pravém břehu. Pro ochranu centra byl na vtoku do náhonu vybudován vakový uzávěr o hrazené výšce 2,7 m. Pro zlepšení odtokových poměrů pod jezem v ř.km. 28,4 byl zrekonstruován most u Obchodní akademie. [26] [27]

Plchovice: Protipovodňová opatření ochrání rodinnou a rekreační výstavbu obce na pravém břehu. Toho bylo docíleno výstavbou železobetonových ochranných zdí v délce 623 m s prostupy pro prvky mobilního hrazení. Konstrukce byly dimenzovány na návrhový průtok  $Q_{100}= 238 \text{ m}^3/\text{s}$  s bezpečnostním převýšením 30 cm. [28] [29]

Brandýs nad Orlicí: Pro ochranu velké části města byl využit stávající železniční násyp. Pro zamezení rozlivu do chráněného území byly prostupy násypem vybaveny mobilním hrazením a byla provedena opatření proti vzdutí hladiny z Tiché Orlice do dvou místních toků. Jako návrhový průtok byl zvolen transformovaný povodňový průtok z roku 1997. [26] [30]

Dlouhá Třebová-Hylváty: V úseku bylo provedeno zkapacitnění koryta. Úpravy zahrnovaly vybudování systému betonových ochranných zdí a vakového jezu v Hylvátech. Opatření jsou schopná provést transformovanou povodeň  $Q_{50}= 51,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . [31]

Čermná nad Orlicí: Úpravami jsou chráněny obce Malá Čermná a Velká Čermná. Ochrana Malé Čermné spočívala ve vybudování hráze. Pro zlepšení odtokových poměrů v okolí byl vytvořen průleh mezi silničním mostem a slepým ramenem. Opatření zvýšil ochranu z  $Q_1$  na  $Q_{100}$ . [32]

Borohrádek: Ochrana místních částí Bělídlo a Zámlyní byla dimenzována na výšku hladiny  $Q_{1997}$  ( $Q_{100}+60\text{cm}$ ). Jednalo se o výstavbu železobetonových ochranných zídek a zemních sypaných hrází. [33]

## 6.2.2. Plánovaná opatření

Třebovice-Česká Třebová: Jedná se o úsek toku ř. km 12,151 – 23,788 rozdělený na dvě části územím významným z hlediska ochrany přírody. V rámci stavby bude upraveno koryto, zřízeny zemní hráze a železobetonové ochranné zdi s mobilním hrazením, zkapacitněny mosty a odstraněny pevné jezy. Úpravy byly dimenzovány na návrhový průtok od 16 m<sup>3</sup>/s (Třebovice) do 52 m<sup>3</sup>/s (Česká Třebová). [34]

Ústí nad Orlicí: Protipovodňová opatření budou prováděna v úseku Ústí nad Orlicí v ř.km. 48,35-49,95 a Kerhartice v ř. km. 46,3-47,75 po soutoku s Třebovkou. Zvýšení protipovodňové ochrany města bude docíleno úpravou koryta, vybudováním ochranných zdí a nahrazení dvou pevných jezů balvanitými skluzy. Při současném stavu dochází k vyběžení již při Q<sub>5</sub>=89,6 m<sup>3</sup>/s. Návrhový průtok byl stanoven na Q<sub>100</sub> s přesahem hrází minimálně 30 cm, tak aby bylo možné převést i povodeň z roku 1997. V úseku Ústí nad Orlicí je hodnota Q<sub>100</sub>=194 m<sup>3</sup>/s, v úseku Kerhartice Q<sub>100</sub>=200 m<sup>3</sup>/s. [35]

Verměřovice: Hlavním úkolem je nahrazení stávajícího pevného jezu jezem s vakovým uzávěrem a rybím přechodem. V délce zhruba 220 metrů budou podél koryta doplněny betonové ochranné zdi a navýšeny zemní hráze. Úprava je dimenzována na hodnotu Q<sub>20</sub>= 88 m<sup>3</sup>/s. [36]

# 7. Návrh poldrů a suchých nádrží

## 7.1. Podklady

Rozsah podkladů a míra jejich podrobnosti je závislá na stupni pořizované dokumentace. Nedostatečné množství kvalitních podkladů, především v počáteční fázi přípravy, může mít za následek neúměrný nárůst finančních nákladů v době výstavby.

### 7.1.1. Předpisy a normy

Návrh suchých nádrží a poldrů je závislý na řadě předpisů a norem. Upravuje se jimi výstavba, rekonstrukce a provoz protékaných i neprotékaných nádrží. Mezi nejpodstatnější se řadí:

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

TNV 75 2415 Suché nádrže

ČSN 75 2310 Sypané hráze

ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení

ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod [37]

### **7.1.2. Mapové a geodetické podklady**

Pro návrh je možné použít mapy velkých a středních měřítek (ZM10,..), základní vodohospodářskou mapu (ZVM 50), katastrální mapu, ortofotomapu, mapu BPEJ a další. V současnosti je hojně využíváno mapových podkladů ZABAGED, DIBAVOD nebo digitálního modelu terénu.

Při zpracování vyšších stupňů projektové dokumentace (DÚR, DSP, dokumentace pro provádění stavby) je nutné provést geodetické zaměření profilu hráze, prostoru zátopy a přilehlého okolí v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Vrstevnice by měly být zpracovány v rozsahu 0,25-1 m. [38]

### **7.1.3. Hydrologické a klimatologické podklady**

Potřebné hydrologické podklady přesněji definuje ČSN 75 1400. Jde především o základní údaje (průtoky s dobou opakování do 100 let) případně nestandardní údaje (doba opakování 200-10 000 let). Dále je možné dělení na data o průtocích (průměrný roční průtok  $Q_a$ , řada M-denních průtoků  $Q_M$ , řada N-letých průtoků  $Q_N$ , dlouhodobý průměrný specifický průtok  $q_a$ ) a údaje o povodňové vlně (objem, časový průběh). Pro návrh funkčních objektů se stanovuje návrhový průtok. Bezpečnost VD se následně ověřuje průchodem kontrolní povodně s dobou opakování podle požadované míry bezpečnosti.

U průtočných nádrží se návrhový průtok stanovuje pro přilehlé povodí toku k závěrovému profilu. Návrhový průtok neprotékaných nádrží je stanoven jako součet přiváděného průtoku z toku a přítoku z mezipovodí příslušejícího nádrží. [38]

### **7.1.4. Geologické, hydrogeologické a pedologické podklady**

Základní informace o geologických a pedologických podmínkách je možné zjistit z geologické mapy nebo půdní mapy ČR. Tyto informace nemohou sloužit jako podklad ani pro studii, jelikož jsou nepřesné a příliš zobecňují podmínky v dané lokalitě. Pro získání adekvátních podkladů je třeba provést IG a geotechnický průzkum v rozsahu přiměřeném řešenému stupni dokumentace.

V rámci průzkumu je třeba zjistit IG poměry v místě hráze a funkčních objektů (z důvodu jejich založení), v místě zátopy (propustnost dna) a v okolí, které bude později ovlivněno (abraze břehů, sesuvy, propustnost břehů), lokalizovat možná naleziště sypanin a provedení laboratorních zkoušek pro zařídění zemin a hornin. [38]

### **7.1.5. Ostatní podklady**

Hned na počátku záměru je třeba zjistit vlastnické vztahy všech dotčených pozemků, včetně pozemků v prostoru zátopy, a projednat s nimi zamýšlený návrh. V opačném případě se zvyšuje pravděpodobnost zablokování celého projektu.

Je třeba ověřit soulad s územním plánem a další zájmy daného území. Jde především o ochranu přírody. Přípomínky ze strany orgánů činných v ochraně přírody je vhodné zpracovat na počátku přípravných prací, jelikož mohou významně ovlivnit koncepci celého díla.

Pro návrh spodní výpusti je třeba zjistit hodnotu neškodného průtoku, který se určí na základě průzkumu zastavěných území, průmyslových areálů a dalších objektů (mostní konstrukce) níže po toku.

Splaveninový režim toku se zjišťuje z důvodů vhodného umístění funkčních objektů a určení míry zanášení zátopy v době záplav. [38]

## **7.2. Návrh prvků**

### **7.2.1. Stanovení retenčního prostoru**

V případě suchých nádrží a poldrů se zabýváme hlavně retenčním prostorem. Objemy ostatních prostorů jsou zanedbatelné, proto zde bude dále popsán postup návrhu pouze tohoto prostoru.

Pro návrh retenčního prostoru je třeba znát průtok  $Q_{100}$ , údaje o průběhu a objemu návrhové povodně, kapacitu bezpečnostního přelivu a charakteristické čáry nádrže. Optimálního návrhu je dosaženo posouzením více variant. [38]

### **7.2.2. Hydraulický návrh spodní výpusti**

Spodní výpusti jsou u suchých nádrží většinou projektovány jako bezobslužné. Musí při tom umožnit úplné vypuštění a jejich kapacita musí být stanovena tak, aby při maximální hladině nepřevyšoval průtok neškodný odtok. Jedná se o zapuštěné objekty s česlemi (příp.

česlovým rámem), škrticím otvorem a odpadním potrubím. Při prvním řízeném napouštění se ověřuje kapacita spodní výpusti. Z tohoto důvodu je vhodné zajistit jejich zahraditelnost. (např: věžový objekt požerákového typu u menších nádrží, případně uzávěrem).

U spodních výpustí suchých nádrží a poldrů se dimenzují tyto části:

- Česle
- Škrticí okno
- Odpadní potrubí skrz hráz nádrže
- Tlumení energie pod odpadním potrubím

Česle je nutné navrhnout tak, aby nesnižovaly kapacitu výpustního objektu i při uvažovaném částečném zanešení. Ztráty jsou závislé na rozměrech česlic a jejich rozestupů, sklonu, přítokové rychlosti a součiniteli tvaru česlic. Ztráty na česlích lze stanovit například dle Kirschmera.

Škrticím oknem se zajišťuje neškodný odtok z nádrže a beztlakové proudění v odpadním potrubí. Průtok se spočítá jako výtok otvorem nebo jako proudění v propustku.

Spodní výpusti procházející hrází musí být navrženy tak, aby při převádění návrhového průtoku nedocházelo k tlakovému proudění. Při zanedbání ovlivnění proudění vzduším spodní vody lze pro výpočet použít Chézyho rovnici. Podélný sklon se doporučuje volit s ohledem na vznik bystřinného proudění v celé délce odpadního potrubí.

Při bystřinném proudění v odpadním potrubí a odtokovém korytě se pro utlumení energie používá zdrsnělý skluz. Při bystřinném proudění v odpadním potrubí a říčním proudění v odtokovém korytě vznikne vodní skok. K utlumení energie v tomto případě se nejčastěji navrhuje vývar. [38] [39]

### **7.2.3. Hydraulický návrh bezpečnostního a nouzového přelivu**

Při návrhu bezpečnostního přelivu se nejčastěji uplatňuje rovnice přepadu přes jezové těleso, u nouzových přelivů přepad přes širokou korunu. U bočních přelivů s mělkým spadištěm může docházet k zatopení spodní vodou. [38]

#### **7.2.4. Návrh hráze**

Při návrhu hráze je třeba myslet na výběr vhodného umístění, vhodný materiál, způsob založení, geometrii, ochranu svahů a odvedení průsakových vod.

Tvar hráze je volen dle místních morfologických podmínek. Vhodný materiál pro výstavbu sypané hráze je zjištěn IG průzkumem v ploše budoucí zátopy nebo blízkém okolí. Typ hráze a její příčný řez je závislý na zvoleném druhu zeminy a jejích půdně mechanických vlastnostech. Ochrana svahů je navržena tak, aby vytvářela dostatečnou ochranu proti namáhání paty svahu a svahů kolísáním vodní hladiny, větrovými vlnami a tekoucí vodou. [38] [37]

## 8. Návrh poldru v zájmové lokalitě

V rámci praktické části bude vypracována studie poldru v lokalitě Letohrad-Jankovice. O poldru v této lokalitě uvažovalo Povodí Labe mezi lety 2005-2006. Byl proveden IG průzkum, ale další přípravné práce již zadány nebyly. Studie zhodnotí místní podmínky a možnost snížení povodňového průtoku vhodně určeným objemem nádrže a navrhne základní parametry funkčních objektů.

Rozsah studie byl odvozen z přílohy č. 1 vyhlášky č. 405/2017 Sb. o dokumentaci staveb.

### 8.1. Seznam vstupních podkladů

- Geologický průzkum pro poldr u Tiché Orlice u Letohradu, k. ú. Kunčice u Letohradu, Pardubický kraj; ev. č. geofondu: 1070/2005
- Katastr nemovitostí
- Digitální model reliéfu České republiky 5. generace
- Průběh transformované povodně v roce 1997 pro profil Letohrad, Jankovice

### 8.2. Popis území stavby

#### 8.2.1. Popis území

Zájmové území se nachází v Pardubickém kraji, okrese Ústí nad Orlicí, konkrétně jižně od Jankovic, místní části Letohradu. Jedná se o travnatou plochu říční nivy o rozloze zhruba 32 ha. Prostor je ze severu a západu ohraničen tokem Tiché Orlice, z jihozápadu a jihu zpevněnou silnicí III. třídy č. 3604 vedoucí do místní části Červená, z východu železničním náspem trati Ústí nad Orlicí-Letohrad a ze severovýchodu silnicí II. třídy č. 360.

#### 8.2.2. Dotčené parcely

Předmětné území se nachází v katastrálním území Kunčice u Letohradu [680656]. Majetkoprávní vztahy v zájmovém území jsou dosti složité. Výstavba a provoz poldru v dále navržené podobě by se týkala zhruba 120 parcel s velkým počtem podílových spoluvlastníků. Převážná část pozemků je vedena jako trvalý travní porost.

### 8.2.3. Soulad s územním plánem

Dle územního plánu Letohradu se v zájmové lokalitě nacházejí zemědělské plochy a plochy vodní a vodohospodářské, na nichž se připouští opatření pro ochranu území, tedy i protipovodňová opatření. V nejsevernějším cípu území je vymezen územní systém ekologické stability. [40]

### 8.2.4. Ochrana území

Lokalita se nachází na území PP Orlice a v záplavovém území Q<sub>5</sub>. Území se nenachází v CHKO a památkové zóně. V místě nejsou zdokumentovány žádné svahové nestability, ochranná pásma vodních zdrojů ani poddolovaná území.

### 8.2.5. Napojení na technickou a dopravní infrastrukturu

Doprava materiálu bude umožněna po silnici II. třídy č. 360 a III. třídy č. 3604. Napojení na elektrickou energii bude možné ze stávajícího nadzemního vedení NN, procházejícího podél železniční trati. Pro potřeby technologických procesů bude možné využít vodu z Tiché Orlice. Zásobování pitnou vodou bude možné zajistit po přeložení stávajícího vedení severně od cyklostezky, tak aby neprocházelo pod hrází poldru.

### 8.2.6. Zábory

Pro dobu výstavby a provozu stavby bude třeba zajistit dočasné a trvalé zábory ZPF. Trvalé zábory bude nutné zřídit v místě vedení hráze a funkčních objektů. Dočasné zábory v prostoru zátopy a mezideponie o ploše 4,5 ha, která bude umístěna na travnaté ploše za silnicí III/3604. V rámci projektu se nepočítá se zábory PUPFL.

### 8.2.7. Asanace, demolice, kácení dřevin

V rámci přípravných prací bude třeba pokácet stromy ve třech lokalitách (**tabulka 5**).

Tabulka 5: Plán kácení dřevin

Lokalita	Druh	Průměr	Počet
-	-	cm	ks
U mostu č. 360-003	Lípa	10	4
Silnice III/3604	Javor	10	1
		20	3
		50	18
Cyklostezka	Dub	20	26

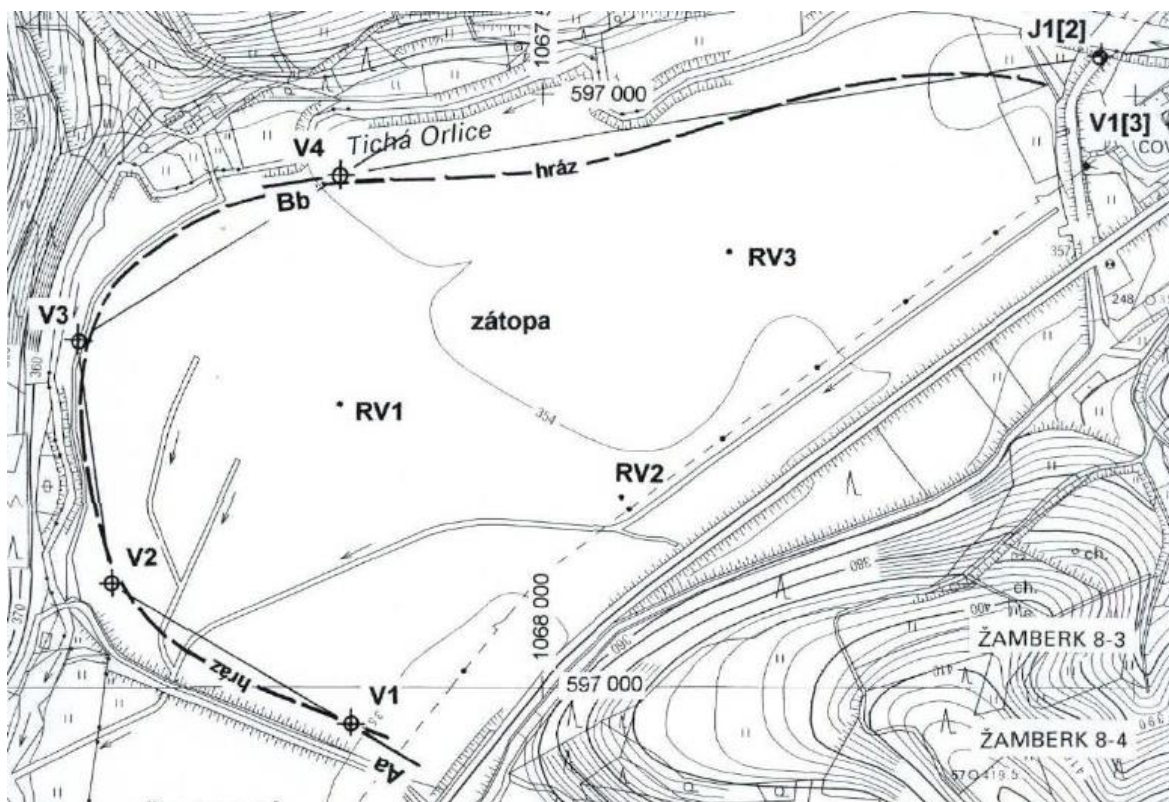


## 8.3. Provedené průzkumy a data

### 8.3.1. Inženýrsko-geologický průzkum

V zájmovém území byl v roce 2005 proveden IG průzkum, který měl prověřit geologické, hydrogeologické a pedologické podmínky.

V rámci průzkumu byly zhotoveny čtyři strojně vrtané sondy V 1-4 v místě předpokládané hráze hloubky 45,-5 m a tři ručně vrtané sondy RV 1-3 v prostoru zátopy hloubky 1,4-2,1 m. Pro doplnění sítě vrtů byla převzata data z již existujících sond označených jako J1[2] a V1[3] (obr. č.6). Na povrchu se nachází vrstva drnu a humózní hlíny (MLO) mocnosti 0,2-0,25 m, pod ní kvartérní vrstva soudržných a nesoudržných zemin. Přejechod mezi nimi se nachází v hloubce 1,6-2,6 m. Celé souvrství je umístěno na permských sedimentárních horninách v hloubce 3,9-4,8 m.



Obrázek 6: Umístění průzkumných vrtů [41]

V horní části kvartérního pokryvu byla identifikována hlína písčité (MS), hlína prachová (CI), hlína prachovopísčité (ML) a hlína jílovoprachová (MH). Pro zjednodušení lze říci, že v sušších částech s nadmořskou výškou vyšší než 354 m. n. m. převládá hlína prachová (CI) a v níže položených zamokřených částech je vyšší podíl hlíny jílovoprachové

(MH). V dolní části pak byly identifikovány písky šterkovité (SP), šterky písčité (GP) a šterky jílovitopísčité (GF).

Skalní podloží je tvořeno především pískovci s občasným výskytem slepenců a prachovců. Povrch je výrazně zvětralý a dle ČSN 72 1001 byl zařazen do třídy R6(extrémně nízký stupeň pevnosti). S rostoucí hloubkou se rychle snižuje stupeň zvětrání. Horniny třídy R5 se předpokládají v hloubce 7 m.

Ve zkoumaných sondách byla naražena kvartérní průlinová zvodeň tvořená šterkopísky a hladina podzemní vody byla zastižena v hloubce 1-2 m pod terénem, po ustálení 0,6-1,6 m. Hydrologický režim zvodně je příříční. Při porovnání hydrologických dat s pozorovacím vrtem PV0114, ležícím 3 km jihozápadně v analogických podmínkách, se předpokládá maximální výška hladiny podzemní vody v níže položených polohách 0,6 m pod terénem a v ostatních polohách 1,2-1,4 m pod terénem. Podzemní voda a voda odebraná z melioračních struh je mírně kyselá (pH 6,15) a vysoce agresivní z hlediska oxidu uhličitého. Proto byla tato voda zařazena do středního stupně agresivity XA2. Voda v řece je naopak zásaditá, měkká a vykazuje malou až nulovou agresivitu uhličitou. [41]

### **8.3.2. Hydrologická data**

Jako návrhová povodeň byla zvolena letní povodeň z roku 1997 transformovaná soustavou suchých nádrží na horním toku. Časový průběh a hodnoty průtoků byly převzaty ze studie FLAMOR [42]. Jelikož se nepodařilo sehnat hodnoty průtoků od autorského kolektivu, byla data získána odměřením z hydrogramu pro profil Dolní Libchavy. Hustota měřených bodů byla volena s ohledem na navazující práci s daty. Pro další použití byl časový interval mezi sousedními body snížen na 2 minuty pomocí lineární interpolace mezi odměřenými body. Tato metoda není příliš přesná, ale s ohledem na způsob získání dat je dostačující. Pro profil Letohrad-Jankovice byla data následně upravena v poměru ploch povodí k závěrovým profilům. Plocha povodí k požadovanému závěrovému profilu byla odečtena z mapy dílčích povodí.

Pro profil Jankovice byly přepočteny N-leté průtoky pomocí lineární interpolace mezi známými profily Dolní Libchavy a Sobkovicemi. Kontrolní povodeň byla zvolena s dobou opakování 100 let. Hodnoty kontrolní povodně byly přepočítány poměrem  $Q100$  a kulminačního průtoku  $Q_n$ .

Tabulka 6: Hydrologická data

Profil	Plocha povodí	N-leté průtoky				
		Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
-	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s				
Dolní libchavy	304.1	43.9	90.2	114.00	175.00	205.00
Sobkovice	98.44	22.5	50.3	65.10	106.00	126.00
Letohrad-Jankovice	217.82	34.9	73.5	93.50	146.10	171.90

## 8.4. Vliv stavby na životní prostředí

Stavba bude mít během výstavby velký vliv na životní prostředí, především zvýšeným hlukem a prašností způsobené intenzivním pohybem stavební techniky a přesunem velkého množství zeminy. V rámci přípravných prací bude provedeno odstranění stromů jen v místě budoucí hráze nebo na místech, kde by hrozilo jejich nevratné poškození. V ploše zařazené do územního systému ekologické stability je třeba provést veškeré práce v co nejkratším čase a uvést do původního stavu. Všechna média technologických zařízení je třeba volit s ohledem na riziko úniku a kontaminaci povrchových a podzemních vod.

## 8.5. Bezpečnost při užívání stavby

Místa, kde by hrozilo nebezpečí pádu, budou opatřena zábradlím výšky 1,1 m. To se týká především nátokových křídel sdruženého objektu, přístupových lávek k manipulační šachtě, manipulační šachty a přemostění náпустných otvorů. Přístupové lávky budou opatřeny uzamykatelnými brankami. Přístup do manipulační šachty bude umožněn po pogumovaném žebříku s ochranou proti pádu.

## 8.6. Bezbariérový přístup a požární bezpečnost

Bezbariérový přístup a požární bezpečnost nejsou v tomto projektu řešeny.

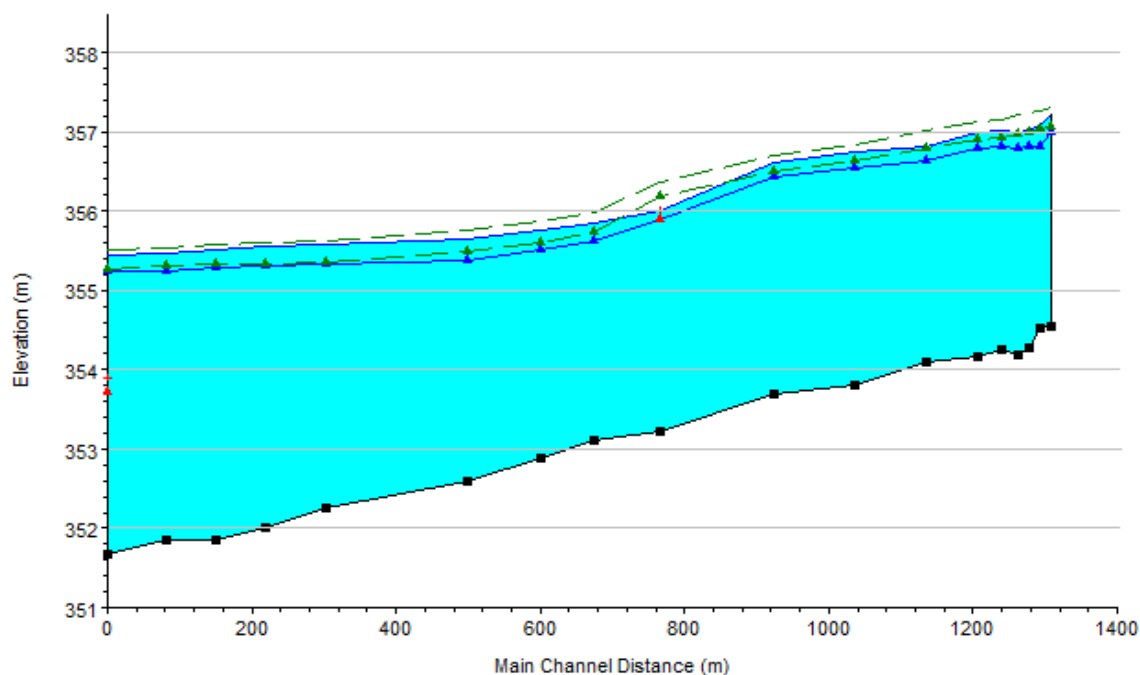
## 8.7. Ochrana stavby před nepříznivými vlivy

U všech betonových konstrukcí je třeba brát v potaz působení chemicky agresivních podzemních vod. Z tohoto důvodu je nutné použít beton třídy minimálně C 25/30-XA2. Betonové povrchy, u kterých se předpokládá působení podzemní vody, budou ošetřeny sekundární ochranou v podobě nátěru. Ochrana zemních hrází proti účinkům proudící vody bude popsána dále.

## 8.8. Konstrukční prvky

### 8.8.1. Hráze:

Vedení osy hlavní hráze bylo zvoleno s ohledem na již existující cyklostezku podél toku Tiché Orlice, kterou kopíruje. Při silnici III/3604 a železniční trati je navrženo dosypání hráze směrem do nádrže, z důvodu ochrany původních konstrukcí.



Obrázek 7: Průběh hladiny  $Q_n$  a  $Q_{100}$  s vlivem navržených hrází

Pro ověření kapacity koryta toku a přilehlé inundace byl proveden výpočet v programu HEC-RA. Výpočtem bylo prokázáno, že při návrhovém průtoku  $Q_n = 131 \text{ m}^3/\text{s}$  dosáhne hladiny maximální výšky 356,98 m.n.m. Při  $Q_{100} = 171,9 \text{ m}^3/\text{s}$  hladiny 357,27 m.n.m. Do výpočtu byl vliv vzduť hladiny silničním mostem na konci posuzovaného úseku zahrnut okrajovou podmínkou normální hladiny  $Q_{100} + 1 \text{ m}$ . Délka vzduť je zhruba 800 m.

S přihlédnutím k místním podmínkám byla hráz navržena jako heterogenní se středním těsněním. Těsnicí část je uvažována z prachové hlíny Cl s předpokládaným disponibilním objemem v zemi 24 000  $\text{m}^3$ , případně z MH s disponibilním objemem v zemi 16 000  $\text{m}^3$ . Stabilizační část je navržena z písčitéch štěrků GP. Z důvodu velkých rozdílů v zrnitostních křivkách je nutné zařadit přechodovou stabilizační část. Pro tuto část by bylo možno využít hlinitý písek SM.

Sklon svahů hráze byl zvolen  $33^\circ$  s přihlédnutím ke zvolené zemině stabilizační části a fyzikálně-mechanickým vlastnostem. Hodnota byla odečtena z tabulky směrných normových charakteristik šterkovitých zemin (ČSN 73 1001). Svah přivrácený k toku bude opevněn kamenným pohozením do výšky  $Q_5=73,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Svah nad touto úrovní a svahy přikloněné do nádrže budou opevněny travním porostem. Pro zvýšení stability svahů bude pod travní porost umístěna stabilizační geosíť ze skleněných vláken. Těsnící jádro bude umístěno 0,8 m pod korunou hráze v nezámrazné hloubce. Maximální hladinu ovladatelného retenčního prostoru bude jádrem převýšena o 0,2 m. Nepropustnost hráze bude mezi jádrem a korunou hráze zajištěna PVC těsnícími pásy tloušťky 1 mm, které budou napojeny na jádro. Sklon svahů jádro je  $72^\circ$  s nejmenší šířkou 1500 mm. Zavazovací ostruha bude vytažena 0,5 m pod základovou spáru. Sklon svahů filtru je  $50^\circ$ . V horní části je výškově zarovnan s těsnícím jádrem. V nejužším místě je vodorovná mocnost filtru 0,5 m. U filtrační vrstvy musí být dodržena vzdálenost 0,8 od vzdušního okraje hráze z důvodu promrznání.

Potřeba jednotlivých druhů zemin byla učena pomocí programu ArchiCAD. Množství zeminy pro stabilizační část byla stanovena na  $14\,340 \text{ m}^3$ , pro filtrační vrstvu  $16\,840 \text{ m}^3$  a těsnící jádro  $36\,900 \text{ m}^3$ .

### Výpočet převýšení hráze

Výběh větrové vlny po svahu hráze byl vypočten na základě postupu popsaném v publikaci Projektování přehrad [43]. Pro výpočet efektivní délky rozběhu větrové vlny  $D_{ef}$  byly odměřeny délky segmentů s odklonem v intervalu  $0-45^\circ$ . Délky byly měřeny v úrovni 356,00 m. n. m.

Tabulka 7: Pomocná tabulka pro výpočet efektivní délky rozběhu větrové vlny

i	$\varphi$	$D_i$	$\cos\varphi$	$\cos^2\varphi$	$D_i*\cos^2\varphi$
-	$^\circ$	m	-	-	m
1	45	374.76	0.707	0.5	187.38
2	30	431.09	0.866	0.8	323.32
3	15	520.59	0.966	0.9	485.72
4	0	796.14	1.000	1.0	796.14
5	15	850.25	0.966	0.9	793.29
6	30	377.96	0.866	0.8	283.47
7	45	287.24	0.707	0.5	143.62
$\Sigma=$			6.078	$\Sigma=$	3012.94

$D_{ef} =$	495,70 m	efektivní délka rozběhu větrové vlny
$h_o =$	0,527 m	výška vlny
$T_o =$	2,241 s	perioda vlny
$\lambda_o =$	7,832 m	délka vlny
$c_o =$	3,495 m/s	postupová rychlost

Pro výpočet výběhu větrové vlny na svah o sklonu 1:2 byly z grafu odečteny hodnoty  $h_{VHI}$  a  $h_{VD}$  v závislosti na  $m$  a  $\frac{h_o}{\lambda_o}$  a z tabulky byl stanoven  $k$ .

$m =$	1,54 -	sklon svahu $m = \cot(\alpha)$
$\frac{h_o}{\lambda_o} =$	0,0673 -	
$h_{VDI} =$	1,069 m	výběh větrové vlny na hladký nepropustný svah
$h_{VD} =$	0,347 m	výběh větrové vlny na drsný propustný svah
$k =$	0,8 -	součinitel závislý na opevnění návodního líce
<b><math>h_v =</math></b>	<b>0,513 m</b>	výběh větrové vlny

Pro opravu směru větru byl odměřen úhel svírající hlavní směr větru a normála hráze. Z tabulky byla získána hodnota opravného koeficientu.

$\beta =$	29,8 °	odchylka hlavního směru větru od normály hráze
$a =$	0,92 -	opravný koeficient
<b><math>h_{vr} =</math></b>	<b>0,472m</b>	opravený výběh větrové vlny

Pro hráz poldru byla zvolena hodnota bezpečnostního převýšení 0,528 m. Celková výška převýšení hráze tedy činí 1 m.

Výška koruny hráze byla navržena ve dvou variantách.

### 8.8.1.1. Přelévání hráz

Výška hráze byla navržena ve výšce 357,00 m. n. m, tak aby zabránila přelití vody z toku do nádrže při návrhovém průtoku. Přelití je přípustné až nad touto hladinou. Z tohoto důvodu bude koruna a svah hráze přivrácený do nádrže opevněny kamennou rovnatinou na

staničení hráze 0 až 0,2 km. Maximální hladina ovladatelného retenčního prostoru byla stanovena na kótě 356,00 m. n. m.

### **8.8.1.2. Nepřeléváná hráz**

Výška hráze byla navržena na kótě 357,30 m. n. m, tak aby se zamezilo jejímu přelití do průtoku Q100. Není tedy třeba provádět žádná dodatečná opatření pro ochranu hráze. Maximální hladina ovladatelného retenčního prostoru je stanovena na kótě 356,30 m. n. m.

### **8.8.2. Retenční prostor a zátopa**

Po stanovení umístění osy hráze byl v programu ArchiCAD vytvořen model terénu na základě dat získaných z digitálního modelu reliéfu ČR, do kterého byly osazeny hráze. Objem nádrže a plocha hladiny byly měřeny po vrstvách 0,25 m v intervalu 352,24-357,3 m. n. m.

Výška hladiny ovladatelného retenčního prostoru byla pro přelévánou hráz stanovena na kótě 356,00 m. n. m. s využitelným objemem 629 166 m<sup>3</sup> a maximální plochou 280 443 m<sup>2</sup>. Hladina ovladatelného retenčního prostoru byla stanovena na kótě 356,30 m. n. m. s objemem 700 800 m<sup>3</sup> a plochou zátopy 283 043 m<sup>2</sup>.

V prvotní fázi prací bude třeba odstranit vrstvu humusu tloušťky 0,2-0,25 m. Souvrství jílovitých a hlinitých zemin tvořících izolační vrstvu dna zátopy jsou dle IG průzkumu prakticky nepropustné. Plochy zemníku budou po vytěžení materiálu pro hráze utěsněny dostatečným množstvím nepropustného materiálu a zhutněny do původní podoby. Materiál pro utěsnění zemníků bude odebrán v místech zátopy nebo blízkém okolí s dostatečnou mocností. Na závěr je nutné provést vyspárování terénu směrem ke sdruženému objektu.

Prázdňení nádrže je navrženo s ohledem na možný vznik dvouhrbé povodně jako v roce 1997. Rychlost prázdňení je určena maximálním povoleným poklesem za den. Při maximální hladině ovladatelného retenčního prostoru je povolený pokles 1,5 m, druhý den 1 m. Poté je třeba vypouštění na 5 dní přerušit. Následně je možné vypustit zbytek nádrže rychlostí 0,5 m za den. Při povoleném snížení hladiny o 1,5 m během prvních 24 hodin činí disponibilní objem 401 500 m<sup>3</sup>. Výpočet byl proveden po vrstvách 0,1 m.

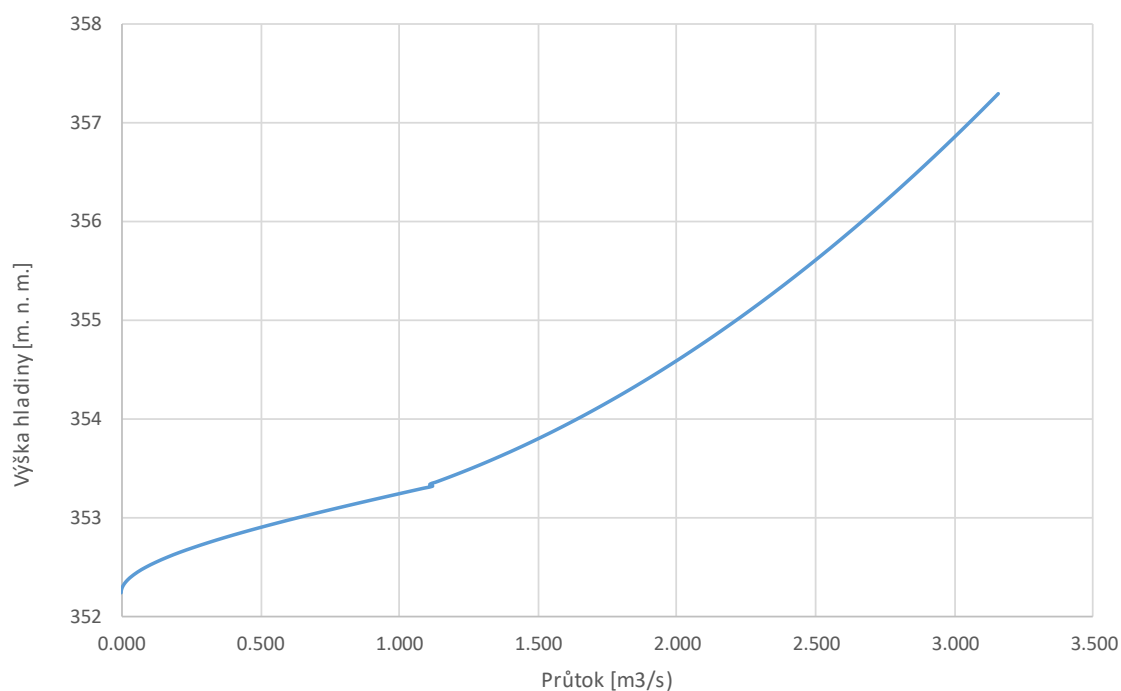
Propustek pod cyklostezkou a železničním náspem budou opatřeny zpětnou klapkou proti zpětnému vzduť.

### 8.8.3. Sdruženého objektu

Sdružený objekt je tvořen nehrazeným bezpečnostním přelivem a dvěma spodními výpustmi umístěnými v manipulačním objektu.

#### 8.8.3.1. Spodní výpusti

Pro vypouštění vody zpět do toku slouží dvě spodní výpusti DN900 umístěné v manipulační šachtě. Pro návrh kapacity spodních výpustí byla klíčová požadovaná rychlost prázdnění. Jako revizní návodní uzávěr slouží stavidlo ovládané elektrickým motorem. Pro řízení průtoku slouží šoupátkový uzávěr. Regulaci průtoku je možné provádět v manipulačním objektu. Kapacita jedné spodní výpusti je při hladině 356,3 m. n. m. 2,79 m<sup>3</sup>/s. V normálním stavu jsou obě maximálně otevřeny.



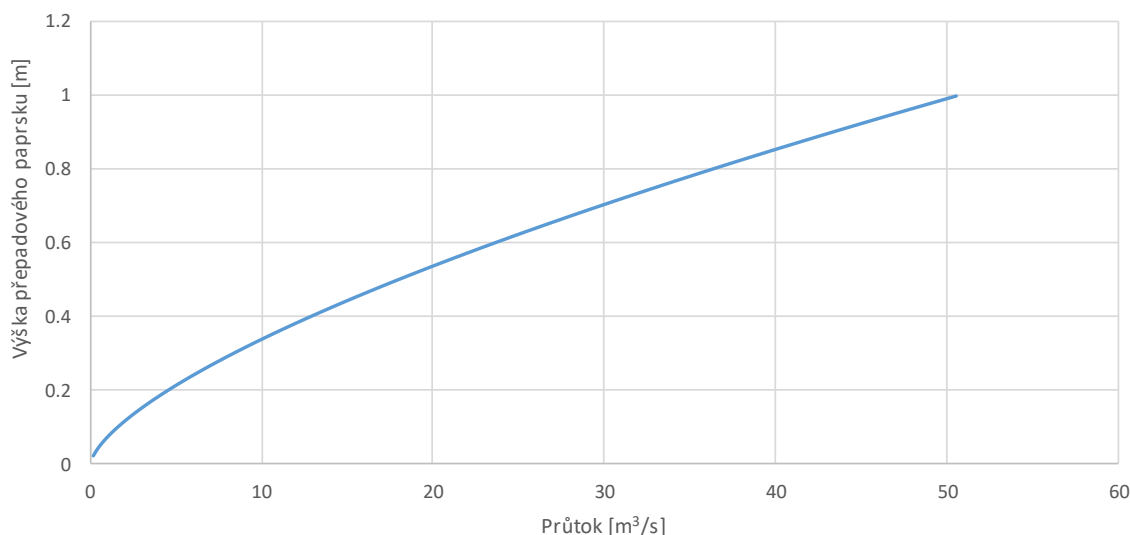
Obrázek 8: Konsumpční křivka spodní výpusti

#### 8.8.3.2. Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv je dělen manipulačním objektem spodních výpustní na dvě nehrazená pole. Návrhový průtok je závislý na zvolené variantě hráze a nátokového objektu. Pro tento případ uvažujeme variantu s nepřelévanou hrází a nátokovým objektem s klapkovým uzávěrem. Návrhový průtok je 19,45 m<sup>3</sup>/s Celková délka přelivné hrany je 27,25 m při výšce přepadového paprsku 0,53 m a hrazená výška 4,2 m. Koruna přelivu bude zaoblena pro zvýšení součinitele přepadu. Nátoková křídla jsou od osy hráze odkloněna



o 75°. Mezi bezpečnostním přelivem a silničním náspem se nachází tlumící bazén hloubky 2 m. Pro utlumení energie padající vody bude bazén osazen balvany s minimálními rozměry 1 m. Voda bude odtékat přes práh bazénu pod most. Nátok pod most bude zkosen pod úhlem 45°. Voda dále odtéká upraveným odpadním korytem dimenzovaným na 5,58m<sup>3</sup>/s s hloubkou 1,1m, šířkou ve dně 4 m a svahy ve sklonu 1:1,5.



Obrázek 9: Konsumpční křivka bezpečnostního přelivu

### 8.8.3.3. Manipulační objekt

Manipulační objekt je zřízen z důvodu ochrany před nepovolenou manipulací s uzávěry spodních výpustí. U obou níže popsaných variant bude počítáno s možností pozdější instalace třetího uzávěru na návodní straně pro případ změny účelu nádrže.

Manipulační objekt lze řešit ve dvou variantách

Manipulační šachta bude provedena jako železobetonová monolitická konstrukce. Ve stropní desce objektu budou zřízeny vodotěsné přelévané poklopy s rozměry dle zvoleného typu uzávěru z důvodu jejich osazení a jeden přístupový prostup pro obsluhu. Přístup bude umožněn po pogumované žebříku s ochranou proti pádu. Ve stěně přivrácené k tlumícímu bazénu budou větrací otvory. K objektu bude třeba zřídit elektrickou přípojku pro zajištění trvalého osvětlení a ovládání uzávěrů. Tato varianta splývá s ostatními konstrukcemi a tak dále nenarušuje ráz okolí. Z pohledu BOZP je tato varianta diskutabilní.

Manipulační domek vystavěný na železobetonové manipulační šachtě z cihelného zdiva se sedlovou střechou. Čistá výška podlahy je ve výšce 357,30 m. n. m. Vlhkost bude z objektu odvedena ventilačními turbínami umístěnými na střeše. Ve stěnách přivrácených do nádrže budou zřízena okna, která budou chráněna mřížemi. Do objektu bude přivedena elektrická energie pro osvětlení interiéru a elektrické ovládání uzávěrů.

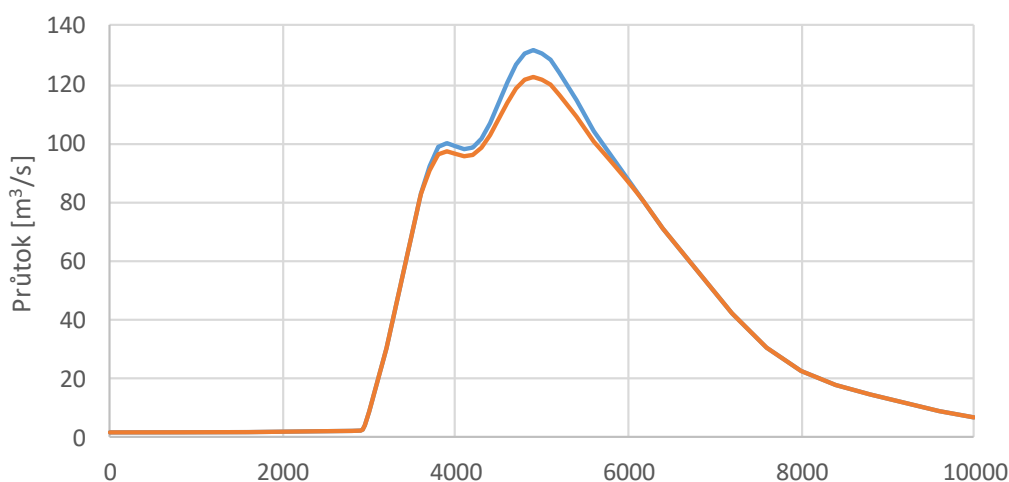
#### 8.8.4. Nátokový objekt

Nátokový objekt byl řešen ve dvou variantách. Varianty byly dimenzovány pro objem zásobního prostoru 700 800 m<sup>3</sup> a výše návrhovou povodňovou vlnu v profilu Letohrad-Jankovice.

##### 8.8.4.1. S pevnou výškou přelivu

Nátokový objekt je řešen jako boční korunový přeliv s betonovou přelivnou ostruhou šířky 0,5 m, délky 33,2 m, zaobleným nátokem přelivu a pevnou geodetickou výškou na kótě 356,50 m. n. m. Přeliv byl umístěn v mírně zakřivené část na staničení 0,042 až 0,056 km. Koruna a svah přivrácený do nádrže budou opevněny kamennou rovnáninou.

Přeliv je funkční od průtoku 83,4 m<sup>3</sup>/s, který se rovná době opakování Q5-Q10. Přítok do nádrže je závislý na výšce hladiny v inundačním území po vybřežení. Maximální přítok do nádrže je roven 9,54 m<sup>3</sup>/s. Přítok do nádrže by pro kontrolní povodeň činil 23,63 m<sup>3</sup>/s. Výše navržený bezpečnostní přeliv je schopen provést kontrolní povodeň s výškou přepadového paprsku 0,6 m. Rozdíl hladiny a koruny hráze by v tomto případě činil jen 0,4 m. Tato varianta umožňuje transformovat  $Q_n=131,7$  m<sup>3</sup>/s až na  $Q_{n_{red}}= 122,2$  m<sup>3</sup>/s. (účinnost 7,24 %).



Obrázek 10: Účinek nátokového objektu s pevnou výškou přelivu

Výhodou této varianty je její nenáročnost na údržbu a provoz.

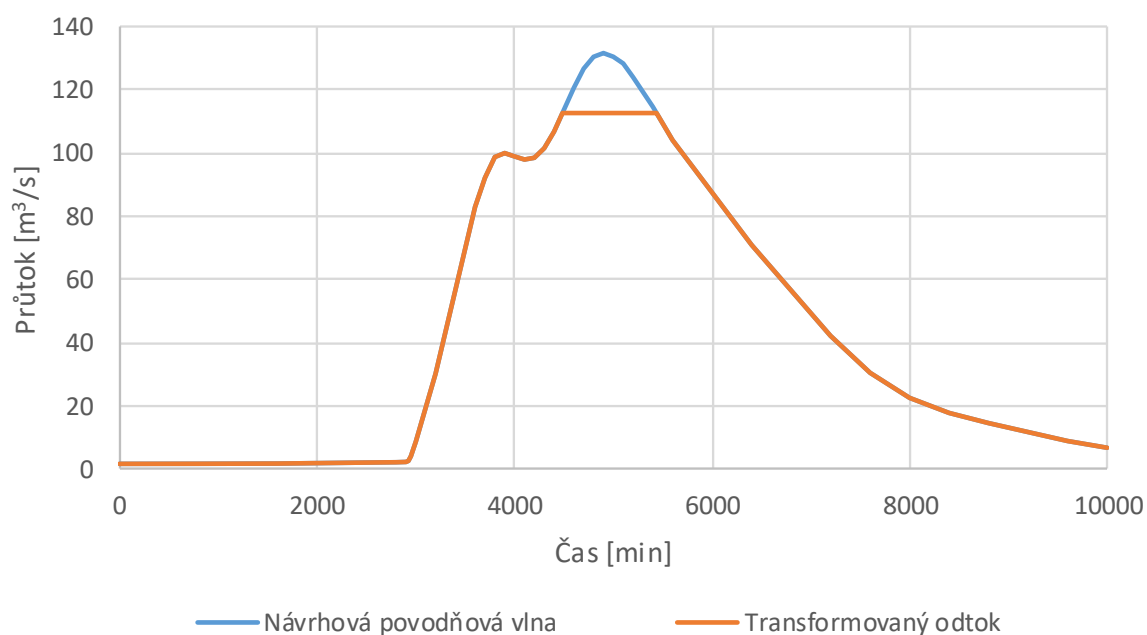
Nevýhodou je neschopnost jakékoliv regulace. Při nižším kulminačním průtoku nebo kratší době trvání, než u návrhové povodně se naplno nevyužije potenciál zásobního prostoru nebo se poldr vůbec nezapojí do snížení odtoku.

#### 8.8.4.2. S pohyblivým uzávěrem

Nátokový objekt je tvořen dvěma nápuštnými otvory s rozměry 1,2 x 6,6 m v tělese hráze hrazené klapkovým uzávěrem výšky 1,2 m oboustranně podpírané písty. Kóta spodní stavby je ve výšce 356,1 m. n. m. Nátokové otvory budou odděleny pilířem tloušťky 1m se zaobleným nátokem. Otvory budou přemostěny ocelovou lávkou šířky 1,5 m. Nátoková křídla budou odkloněna 60° od osy hráze. V ose hráze bude umístěna šachta, ve které bude umístěno ovládání klapek.

Variantní řešení umožňuje napouštění vody již od  $Q_1=34,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Přítok do nádrže je regulovatelný manipulací s klapkovým uzávěrem. Přítok do nádrže při návrhové povodni činí  $19,45 \text{ m}^3/\text{s}$ . Maximální přítok při průchodu kontrolní povodně za předpokladu zcela sklopených uzávěrů je  $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Výhodou této varianty je možnost řízeného napouštění, případně úplné uzavření nátokového objektu.



Obrázek 11: Účinek nátokového objektu s klapkovým uzávěrem

Nevýhodou je technologicky komplikovanější řešení, u kterého hrozí ztráta funkčnosti především při poruše hydraulických válců. Zároveň je pro její funkci třeba obsluha.

Tato varianta nátoku do nádrže umožňuje transformovat  $Q_n=131,7 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $Q_{n_{red}}=112,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . (účinnost 14,7 %).

### **8.8.5. OSTATNÍ OBJETY**

Jelikož bude jeden se současných mostních objektů silnice III/3604 využit pro odvedení vody od sdruženého objektu je nutné nahradit tuto chybějící kapacitu jiným prostupem. Ten bude umístěn 25 m od hlavního mostu směrem od Červené. Jeho kapacita bude rovna původnímu.

## **8.9. Zhodnocení**

Nejvhodnějším řešením po technické a provozní stránce by po přihlédnutí k současné praxi bylo zvolení nepřelévavých hrází s korunou hráze ve výšce 357,30 m. n. m., nátokovým objektem v tělese hráze se dvěma nátokovými okny hrazenými hydraulicky ovládanými klapkovými uzávěry a sdruženým objektem se dvěma nehrazenými poli a dvěma spodními výpustmi DN900 regulovatelnými z manipulačního domku, který by umožnil bezpečné řízení odtoku. Řízený nátok byl zvolen především s ohledem na širší rozsah užití a jeho vyšší účinnost při  $Q_n$ . Kombinací těchto prvků by vznikl ochranný objem o velikosti 700 800  $\text{m}^3$ , který by byl schopen transformovat návrhovou povodeň na  $Q_{n_{red}}=112,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Bilancování s hmotami

Z pohledu majetkoprávních vztahů je tento projekt velmi komplikovanou záležitostí. a vyžádal by si dlouhá jednání se současnými majiteli. Většinu pozemků by bylo s ohledem na nový občanský zákoník nutné vykoupit, díky čemuž by se výrazně navýšily investiční náklady.

Zvolené řešení sníží pod objektem návrhovou povodeň z Q30 na Q20 s účinností 14,7%. Navržený poldru by měl největší vliv na ochranu města Ústí nad Orlicí, kde by se v blízké budoucnosti mělo začít s výstavbou protipovodňových opatření. Při nátoku 19,45  $\text{m}^3/\text{s}$  do nádrže by průtok po soutokem s Třebovkou v Kerharticích činil 180,55  $\text{m}^3/\text{s}$ . To by v kontextu navržených opatření znamenalo pokles hladiny o 0,15 m.

## 9. Závěr

Pro zpracování této bakalářské práce byla použita jak odborná literatura, dále pak internetové zdroje.

- Povodí bylo popsáno z hlediska geologie, morfologie, ochrany životního prostředí, osídlení a dalších hledisek. Tok byl charakterizován především z hlediska hydrologie.
- Práce identifikovala dvě významné historické povodňové události v roce 1997 a 2006. Byl popsány příčiny jejich vzniku, průběh a dopad na povodí Tiché Orlice.
- Protipovodňová opatření byla rozdělena v závislosti na jejich charakteru a umístění na technická, netechnická a přírodě blízká. V jednotlivých kategoriích byla popsána konkrétní opatření.
- V závěru práce jsou vyjmenovány podklady pro návrh suchých nádrží a poldrů a základy vodohospodářského řešení jednotlivých funkčních objektů.

Významná část se věnovala současným a plánovaným opatřením v povodí Tiché Orlice. Velký dopad na snížení povodňových průtoků mají dvě soustavy na horních tocích Tiché Orlice a Třebovky. Opatření pro ochranu zastavěných území byla nalezena především ve velkých obcích v povodí nebo v obcích na spodním toku. Obce na horním toku Tiché Orlice jsou z velké části chráněny účinkem suchých nádrží.

Cílem práce bylo formou studie navrhnout poldr v lokalitě Letohrad-Jankovice.

- Objem ochranného prostoru byl stanoven na základě zhodnocení morfologických podmínek, objemu návrhové povodně a výšky hráze. Tím vznikly dvě možné velikosti ochranného prostoru s objemem 629 166 m<sup>3</sup> a 700 800 m<sup>3</sup>.
- Hráz byla navržena ve variantě nepřelévaného tělesa s výškou koruny 357,3 m.n.m. nebo přelévaného tělesa s výškou 357,00 m.n.m. a opevněním přelévané části. Nátokový objekt byl řešen jako nehrazený boční přeliv délky 33,2 m nebo jako dvě nátoková okna hrazená klapkovým uzávěrem. Sdružený objekt se skládá z manipulačního objektu a bezpečnostního přelivu.

- Nepřelévaná hráz byla navržena na výšku při Q100. Druhá varianta umožňuje přelití koruny hráze při průtocích vyšších Qn. Nehrazený nátokový objekt se uplatňuje od průtoku 83,4 m<sup>3</sup>/s. Přítok do nádrže při Qn činí 9,54 m<sup>3</sup>/s. Regulovatelný nátokový objekt je tvořen dvěma okny s rozměry 1,2x6,6 m. Přítok do nádrže při Qn činí 19,45 m<sup>3</sup>/s. Vypoštění vody je možno dvěma spodními výpustmi DN 900, navrženými na maximální rychlost prázdnění. Kapacita obou spodních výpustí při maximální hladině ovladatelného retenčního prostoru je 5,58 m<sup>3</sup>/s. Bezpečnostní přeliv délky 27,25 m byl dimenzován na kapacitu přítoku regulovatelným nátokovým objektem.

Jako nejvhodnější varianta byla zvolena kombinace nepřelévané hráze, regulovatelného nátokového objektu a sdruženého objektu s manipulačním domkem. Objem ochranného prostoru je 700 800 m<sup>3</sup>.

Zvolené řešení sníží pod objektem návrhovou povodeň z Q30 na Q20 s účinností 14,7%. V lokalitě Ústí nad Orlicí-Kerhartice je schopno návrhovou hladiny snížit o 0,15 m.

## 10. Literatura a zdroje informací

- [1] *Mapa dílčích povodí* [online]. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_heis\\_voda&TMPL=MAPWND\\_MAIN](https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=MAPWND_MAIN)
- [2] CHAMRA, Svatoslav; SCHRÖFEL, Jan; TYLŠ, Vladimír. *Základy petrografie a regionální geologie ČR*. Vydavatelství ČVUT, 2005
- [3] CHLUPÁČ, I.; ŠTORCH, P. Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky. *Časopis pro mineralogii a geologii*, 1992, 37.4: 257-275
- [4] *Mapa charakteristik klimatu* [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu#http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>
- [5] VÍTEK, J. *Přírodní parky Pardubického kraje*. Zlín: GRASPO CZ, a.s. Zlín, 2008. ISBN 978-80-87051-18-4.
- [6] *Ústí nad Orlicí, Hydrologické údaje* [online]. EDPP, c2010-2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: [https://www.edpp.cz/orpuno\\_hydrologicke-udaje/](https://www.edpp.cz/orpuno_hydrologicke-udaje/)
- [7] RYBÁŘ, Petr. *Přírodou od Krkonoš po Vysočinu: Regionální encyklopedie Geografie Geologie Geomorfologie Mineralogie Paleontologie Botanika Zoologie Ochrana přírody Zemědělství Lesnictví*. Kruh, 1989.
- [8] *Stavy a průtoky na vodních tocích* [online]. Povodí Labe, státní podnik [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/portal/sap/cz/SmartPhone/Prehled.aspx?data=1>
- [9] REPUBLIKA, Česká. Předpis č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). *Sbírka zákonů ČR*, 2001, 98.2001: 2001-254.
- [10] MATĚJČEK, Josef. *Povodeň v povodí Moravy v roce 1997*. Brno: Povodí Moravy, 1998.
- [11] *Meteostanice-Ústí nad Orlicí* [online]. InMeteo, c2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.in-pocasi.cz/archiv/usti\\_nad\\_orlici/?historie\\_bar\\_mesic=3&historie\\_bar\\_rok=2006&typ=srazky](http://www.in-pocasi.cz/archiv/usti_nad_orlici/?historie_bar_mesic=3&historie_bar_rok=2006&typ=srazky)
- [12] *Hydrologické vyhodnocení povodně v povodí Labe na jaře 2006 = Hydrologische Auswertung des Frühjahrschwassers 2006 im Einzugsgebiet der Elbe*. Magdeburk: Mezinárodní komise pro ochranu Labe, 2007.

- [13] *Protipovodňová opatření ...* [online]. c2012 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni>
- [14] KANTOR, P., et al. *Lesy a povodně. Souhrnná studie. Praha: MŽP ČR a NLK, 2003.*
- [15] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. *Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině.* Praha, 2018.
- [16] ŘÍHA, Jaromír. *Ochranné hráze na vodních tocích.* Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3570-2.
- [17] ŠÁLEK, Jan, Zdeněk MIKA a Anna TRESOVÁ. *Rybníky a účelové nádrže.* Praha: Nakladatelství techn. lit., 1989.
- [18] TNV 75 2415. *Suché nádrže.* Praha: HYDROPROJEKT CZ a.s., 2013.
- [19] POKYN ODBORU OCHRANY VOD MINISTERSTVA, Metodický. *životního prostředí k zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby:(uverejňen pod číslem 9 ve Věstníku MŽP částka 12/2011).* br [cit. 2019-05-23], 2011.
- [20] *Přírodě blízká protipovodňová ochrana (PBPPO)* [online]. AOPK ČR, c2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/prirode-blizka-protipovodnova-ochrana-pbppo/>
- [21] *Soustava retenčních nádrží v povodí Tiché Orlice* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/tichaorlice.pdf>
- [22] *Soustava retenčních nádrží v povodí Třebovky* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/trebovka.pdf>
- [23] *Rybník Hvězda na Třebovce v ř. km 23,921* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada\\_hvezda.pdf](http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_hvezda.pdf)
- [24] STARÝ, M. *Stanovení účinku nových retenčních nádrží na průběh povodní v povodí Tiché Orlice. Brno, studie, 2002,*
- [25] KŘIVKA, Pavel a Ivan BERAN. *ALTERNATIVNÍ PŘÍSTUPY K ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI EXISTUJÍCÍCH VD ZA POVODNÍ* [online]. Povodí Labe, 2014 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.evizig.hu/Nemzetkozi/1\\_5\\_Krivka.pdf](http://www.evizig.hu/Nemzetkozi/1_5_Krivka.pdf)
- [26] *Protipovodňová ochrana města Chocně* [online]. KONSTRUKCE Media, c2002-2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.vodohospodarske-stavby.cz/clanek/protipovodnova-ochrana-mesta-choce/>
- [27] *Tichá Orlice, Choceň, zvýšení ochrany města rekonstrukci koryta a hrázemi, ID 129 123 6015* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z:



- [http://eagri.cz/public/app/vodev/protipovod\\_opatreni/pdf/GetOpatreni.ashx?ca=129D123006015](http://eagri.cz/public/app/vodev/protipovod_opatreni/pdf/GetOpatreni.ashx?ca=129D123006015)
- [28] *Protipovodňová opatření pro obec Plchovice: list opatření* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4\\_LISTY\\_OPATRENI/2\\_OSTATNI/LA200141.pdf](http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4_LISTY_OPATRENI/2_OSTATNI/LA200141.pdf)
- [29] *Tichá Orlice, Plchovice, protipovodňová ochrana obce, ID 129 123 6506: list opatření* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/app/vodev/protipovod\\_opatreni/pdf/GetOpatreni.ashx?ca=129D123006506](http://eagri.cz/public/app/vodev/protipovod_opatreni/pdf/GetOpatreni.ashx?ca=129D123006506)
- [30] *Tichá Orlice, Brandýs nad Orlicí, zvýšení protipovodňové ochrany města rekonstrukcí úpravy vodního toku a hrázemi: list opatření* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4\\_LISTY\\_OPATRENI/1\\_PROGRAM\\_OPATRENI/LA200022.pdf](http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4_LISTY_OPATRENI/1_PROGRAM_OPATRENI/LA200022.pdf)
- [31] *Třebovka, Dlouhá Třebová – Hylváty, úprava toku v obcích, ID 129 123 6006: list opatření* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/app/vodev/protipovod\\_opatreni/pdf/GetOpatreni.ashx?ca=129D123006006](http://eagri.cz/public/app/vodev/protipovod_opatreni/pdf/GetOpatreni.ashx?ca=129D123006006)
- [32] *Čermná nad Orlicí - úprava odtokových poměrů v záplavovém území Tiché Orlice: list opatření* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4\\_LISTY\\_OPATRENI/2\\_OSTATNI/LA200007.pdf](http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4_LISTY_OPATRENI/2_OSTATNI/LA200007.pdf)
- [33] *Borohrádek - Tichá Orlice: list opatření* [online]. Povodí Labe [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4\\_LISTY\\_OPATRENI/2\\_OSTATNI/LA200028.pdf](http://www.pla.cz/planet/projects/planovaniiov/files/navrhpop/D/4_LISTY_OPATRENI/2_OSTATNI/LA200028.pdf)
- [34] *Protipovodňová opatření na toku Třebovka: Tisková zpráva* [online]. 27.06.2018 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/Soubor.aspx?souborID=7004&typ=application/pdf&nazev=TZ\\_Trebovka\\_PPO\\_06\\_2018.pdf](http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/Soubor.aspx?souborID=7004&typ=application/pdf&nazev=TZ_Trebovka_PPO_06_2018.pdf)
- [35] =Sweco Hydroprojekt a.s. *TICHÁ ORLICE, ÚSTÍ NAD ORLICÍ, ZVÝŠENÍ OCHRANY MĚSTA HRÁZEMI, REKONSTRUKCÍ KORYTA A JEZŮ, AKTUALIZACE DUR: A-průvodní zpráva* [online]. Povodí Labe, 2015 [cit. 2019-05-23].
- [36] GERŽOVÁ, Kateřina. *Tichá Orlice, Verměřovice, protipovodňová ochrana: Posouzení vlivu záměru podle § 45i zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: [https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1BBSzc0NV92eWhvZG5vY2VuaU5hdHVyYU96bmFtZW5pRE9DXzE2ODc4ODQyMDEwMDg5MDYxMTcucGRm/PAK745\\_vyhodnoceniNaturaOznameni.pdf](https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1BBSzc0NV92eWhvZG5vY2VuaU5hdHVyYU96bmFtZW5pRE9DXzE2ODc4ODQyMDEwMDg5MDYxMTcucGRm/PAK745_vyhodnoceniNaturaOznameni.pdf)

- [37] VRÁNA, Karel a Jan BERAN. *Rybníky a účelové nádrže*. 3. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013dotisk. ISBN 978-80-01-04002-7.
- [38] ŘÍHA, Jaromír, et al. Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu. *MŽP, CERM*, 2014.
- [39] DOČKAL, M.; VRÁNA, K. Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže. *ČVUT v Prahe*, 2007.
- [40] *Územní plán: Město Letohrad* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.letohrad.eu/uzemni-plan/d-35268>
- [41] MEDŘÍK, František. *Geologický průzkum: Pro poldr u Tiché Orlice u Letohradu, k.ú. Kunčice u Letohradu, kraj Pardubický*. 2005.
- [42] BECK, J., et al. FLAMOR—Flood analysis and mitigation on the Orlice River. *Final Report*. ČVUT, Fakulta stavební, Praha, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2003.
- [43] KRATOCHVÍL, Jiří, Miloš JANDA a Vlastimil STARA. *Projektování přehrad: komplexní projekt HT*. Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 1988.

## Seznam Obrázků

OBRÁZEK 1: MAPA POVODÍ TICHÉ [6].....	11
OBRÁZEK 2: ROZDĚLENÍ PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ [13] .....	15
OBRÁZEK 3: SCHÉMA TRANSFORMACE POVODŇOVÉ VLNY .....	18
OBRÁZEK 4: SCHÉMA UMÍSTĚNÍ POLDRŮ NA HORNÍM TOKU TICHÉ ORLICE [21] .....	21
OBRÁZEK 5: SCHÉMA UMÍSTĚNÍ NÁDRŽÍ V POVODÍ TŘEBOVKY [22].....	23
OBRÁZEK 6: UMÍSTĚNÍ PRŮZKUMNÝCH VRTŮ [41].....	33
OBRÁZEK 7: PRŮBĚH HLADINY QN A Q100 S VLIVEM NAVRŽENÝCH HRÁZÍ .....	36
OBRÁZEK 8: KONSUMPČNÍ KŘIVKA SPODNÍ VÝPUSTI .....	40
OBRÁZEK 9: KONSUMPČNÍ KŘIVKA BEZPEČNOSTNÍHO PŘELIVU .....	41
OBRÁZEK 10: ÚČINEK NÁTOKOVÉHO OBJEKTU S PEVNOU VÝŠKOU PŘELIVU.....	42
OBRÁZEK 11: ÚČINEK NÁTOKOVÉHO OBJEKTU S KLAPKOVÝM UZÁVĚREM.....	43

## Seznam Tabulek

TABULKA 1:HLÁSNÉ PROFILY NA TICHÉ ORLICI A TŘEBOVCE [8] .....	13
TABULKA 2: PARAMETRY SOUSTAVY POLDRŮ V POVODÍ TICHÉ ORLICE [21].....	22
TABULKA 3: PARAMETRY SOUSTAVY POLDRŮ A RYBNÍKU HVĚZDA V POVODÍ TŘEBOVKY [22] ....	23
TABULKA 4: POROVNÁNÍ PŘEDPOKLÁDANÝCH A SKUTEČNÝCH OBJEMŮ RETENČNÍCH NÁDRŽÍ .....	24
TABULKA 5: PLÁN KÁCENÍ DŘEVIN.....	32
TABULKA 6: HYDROLOGICKÁ DATA .....	35
TABULKA 7: POMOCNÁ TABULKA PRO VÝPOČET EFEKTIVNÍ DÉLKY ROZBĚHU VĚTROVÉ VLNY .....	37

# Seznam příloh

Příloha č. 1:	Situace širších vztahů	1:25 000
Příloha č. 2:	Podrobný situační výkres	1:2 000
Příloha č. 3:	Vzorový příčný řez hrází	1:100
Příloha č. 4:	Příčný řez nátokovým objektem	1:50
Příloha č. 5:	Půdorys nátokového objektu	1:500
Příloha č. 6:	Příčný řez sdruženým objektem	1:100
Příloha č. 7:	Půdorys sdruženého objektu	1:500