



# BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

FAKULTA STAVEBNÍ

## INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

### Návrh vodního díla sloužícího k protipovodňové ochraně

#### DIPLOMA THESIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Vláčil

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Stanislav Paseka

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Lukáš Vláčil
<b>Název</b>	Návrh vodního díla sloužícího k protipovodňové ochraně
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Stanislav Paseka
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

- 1) Starý, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01). Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební, 2006, 120 s.
- 2) PASEKA, S. Stanovení retenčního prostoru nádrže v podmínkách nejistot. In Zborník súťažných prác mladých odborníkov. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2018. s. 1-12. ISBN: 978-80-88907-98-5.
- 3) PASEKA, S.; MARTON, D. Program Transform\_wave pro transformace povodňových vln v podmínkách nejistot. In SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ PROCEEDINGS Juniorstav 2019. Brno: ECON publishing, s. r. o., 2019. s. 335-340. ISBN: 978-80-86433-71-4
- 4) Klemeš, V. A simlified solution of the flood-routing problem. Vodohospod. Čas. 8(4), 1960. 317-326.
- 5) Česká technická norma ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod. Český normalizační institut, Hradec Králové, 2014.
- 6) Odvětvová technická norma vodního hospodářství TNV 75 2415 Suché nádrže. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha, 2013.
- 7) Územní plán Dobrá Voda u Hořic. Projektové středisko Hradec Králové, SURPMO, a. s., 2013.
- 8) Studie odtokových poměrů v k. ú. Dolní Dobrá Voda a Horní Dobrá Voda (analýza území). Státní pozemkový úřad, Hrdlička spol. s r. o, 2017.
- 9) DesQ - MaxQ 6.0. Program pro výpočet maximálních průtoků na malých povodích, 2009.
- 10) a další

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce se bude zabývat protipovodňovou ochranou v obci Dobrá Voda u Hořic. V územním plánu obce jsou vymezeny plochy územních rezerv pro poldry na Chlumském a Chvalinském potoce. Cílem diplomové práce je pomocí moderních softwarů vhodně navrhnout retenční prostor vodního díla sloužícího k protipovodňové ochraně. Výstupem bude vhodný návrh retenčního prostoru k redukci nebezpečí při povodních.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

---

Ing. Stanislav Paseka  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá protipovodňovou ochranou v obci Dobrá Voda u Hořic a vhodným návrhem retenčního prostoru suché nádrže. Retenční prostor slouží k zadržení a transformaci povodňové vlny neboli k vypořádání se s povodněmi.

V první části této práce je obecný popis povodňové problematiky a platné legislativy. Dále pak protipovodňové opatření a popis transformace povodňové vlny. Dále je popsána metodika pro určování retenčního prostupu nádrže. K tomuto účelu byly použity moderní výpočetní programy (HEC-RAS, Transform\_wave).

V druhé polovině práce je popsáno zadané území, možná rizika a návrhy opatření. Dále jsou porovnány výsledky ze softwarů. Výstupem je vhodný návrh retenčního prostoru k redukci nebezpečí při povodních.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to map an anti-flooding protection in locality Dobrá Voda near Hořice and to create suitable plan of a water retention reservoir. Retention reservoir works as a system for holding and transformation of flood wave and thus for dealing with floods.

First part of this thesis covers general description of issues of floods, current legislature, anti-flooding measures and a description of flood wave transformation. Methods for determination of retention seepage of the reservoir are described in this part as well. Computer programmes (HEC-RAS, Transformwave) were used for the purpose of above mentioned determination.

In the second part of this thesis the given locality is described including all the possible risks and plans of convenient anti-flooding measures. The results of appropriate software determinations are compared in this part of the thesis as well. A final plan of a suitable retention reservoir is based on the results of comparison.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Suchá nádrž, povodně, transformace povodňové vlny, DesQ, HEC-RAS, Transform\_wave, Dobrá Voda u Hořic

## **KEYWORDS**

Dry reservoir, floods, transformation of flood wave, DesQ, HEC-RAS, Transform\_wave, Dobrá Voda near Hořic

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Lukáš Vláčil *Návrh vodního díla sloužícího k protipovodňové ochraně*. Brno, 2021. 64 s..  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního  
hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Stanislav Paseka

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh vodního díla sloužícího k protipovodňové ochraně* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 2. 1. 2021

---

Bc. Lukáš Vláčil  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh vodního díla sloužícího k protipovodňové ochraně* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 1. 2021

---

Bc. Lukáš Vláčil  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat lidem, kteří mi pomáhali při vypracování diplomové práce svými radami a zkušenostmi a také poskytováním potřebných údajů. Především bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Stanislavu Pasekovi, za pevnou ruku, péči, a hlavně velkou trpělivost, kterou mě vedl při tvorbě mé diplomové práce a za ochotu a čas, který mi vždy rád věnoval. Rád bych také poděkoval panu Ing. Stanislavu Kotaškovi za odborné znalosti při modelování v programu HEC-RAS, které mi při návrhu velmi pomohly. Nakonec velké díky patří taky mé rodině za její podporu, čas a schovávavost.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CÍL</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>POVODŇĚ A PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ</b> .....	<b>7</b>
3.1	Charakteristika povodně.....	7
3.2	Vznik a průběh povodně .....	9
3.3	Rozdělení povodní.....	10
3.3.1	Povodně přirozené .....	11
3.3.2	Povodně zvláštní .....	12
3.4	Největší povodně za 100 let na území ČR .....	12
3.5	Protipovodňová ochrana.....	13
3.6	Transformace povodňové vlny .....	14
<b>4</b>	<b>POUŽITÉ PROGRAMY A METODY</b> .....	<b>15</b>
4.1	DesQ.....	15
4.2	HEC-RAS.....	15
4.3	Transform_wave.....	16
<b>5</b>	<b>SUCHÉ NÁDRŽE A JEJICH KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b> .....	<b>18</b>
5.1	Rozdělení prostorů v suché nádrži .....	18
5.2	Konstrukční řešení suchých nádrží .....	20
5.2.1	Hráz.....	20
5.2.2	Funkční zařízení.....	20
<b>6</b>	<b>CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ</b> .....	<b>22</b>
6.1	Obecná charakteristika území .....	22
6.2	Klimatické podmínky .....	22
6.2.1	Dle Quitta.....	22
6.2.2	Srážkové poměry .....	23
6.3	Hydrogeologické a hydrologické poměry .....	23
6.4	Geomorfologické poměry .....	23
6.5	Krajinný ráz.....	24
6.6	Identifikace problému .....	26
<b>7</b>	<b>NÁVRH ŘEŠENÍ</b> .....	<b>27</b>
7.1	Stanovení návrhových charakteristik povodňových vln .....	28
7.2	Stanovení neškodného odtoku.....	30
7.3	Parametry hráze a objektů .....	33
7.3.1	Bezpečnostní přeliv.....	34



---

7.4	Výpočet objemu zátopy nádrže .....	35
7.5	Transformace povodňové vlny .....	36
<b>8</b>	<b>VÝPOČTY .....</b>	<b>38</b>
8.1.1	HEC – RAS .....	38
8.1.2	Transform_wave .....	43
8.1.3	Porovnání výsledků mezi softwary HEC-RAS a Transform wave.....	48
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>50</b>
	Seznam tabulek.....	53
	Seznam obrázků .....	54
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	56

# 1 ÚVOD

V poslední době je jedním z mnoha probíraných ekologických témat voda. Voda, představuje jednu ze základních složek pro život na Zemi. Bez vody by nebyl život. Vodu bere spousta lidí, jako samozřejmost. Lidé otočí kohoutkem a voda teče, a už se nepídí, kde se bere a kolik jí je? Smutné je, že podle dostupných informací na starém kontinentu mají pitné vody nedostatek a jinde s touto vodou zalévají své zahrady. Samozřejmě jsou tu ale lidé, kteří se snaží vodu akumulovat a využívat k dalším potřebám, začali upravovat její vlastnosti, tak aby sloužila jako voda pitná. A tak voda prochází neustálým cyklem úpravy a využití.

Voda má však dvě strany, na jedné straně je nezbytná pro život, ale na druhé straně je to živel, který je v jistých situacích životu ohrožující. Například povodně či tsunami. Povodně vznikají trvalým deštěm nebo krátkodobými, ale intenzivními srážkami. Mohou také vznikat táním ledů a sněhu, obzvláště v jarních měsících. Nejen, že ničí majetek a životní prostředí, ale i v některých případech bere lidské životy. Bohužel tuto stránku nejsme schopni ovlivnit a je nutné se před tímto bránit. V těchto případech jsou zde jistá protipovodňová opatření, kterými můžeme účinek povodní minimalizovat, popřípadě zcela eliminovat.

V průběhu 20. století došlo k razantní proměně vodního režimu krajiny. Tato proměna úzce souvisí se změnami uspořádání krajiny, výstavbou dopravní infrastruktury, rozšiřováním zástavby, devastací rozsáhlých ploch v těžebních oblastech, intenzifikací zemědělského hospodaření, odvodňováním, scelováním a rozoráváním pozemků, zhoršením struktury zemědělské půdy, změnou skladby lesa a regulací vodotečí.

Následkem zmíněných a dalších nevhodných zásahů do vodního režimu krajiny a s možnou kombinací účinků klimatické změny došlo, a stále dochází, k negativním projevům povodní a hydrologického sucha s následnými dopady (Drbal, 2016):

- Zanášení vodotečí a vodních nádrží.
- Splachy ornice do intravilánu obcí.
- Škody na majetku občanů.
- Snižování úrodnosti a výnosovosti zemědělské půdy.
- Těžebně dopravní eroze na lesní půdě.
- Zhoršení pedohydrologické bilance.
- Snižování hladiny podzemní vody.

Zároveň při výskytu větších srážek a přívalových povodní většinou dochází k velmi závažným degradacím půd a tím k poškozování jejich funkcí. Eroze způsobuje, že materiál zemského povrchu je uvolňován, rozpouštěn, obrušován a přemístován.

S těmito katastrofálními událostmi si začali občané uvědomovat závažnost této přírodní síly, a proto se začali více soustředit na témata protipovodňové ochrany.

Na území České republiky, patří povodně mezi ostatními přírodními riziky za jedny z největších přírodních nebezpečí. Jelikož přinášejí ztráty na lidských životech a zároveň velké škody na majetku. Jen když zavzpomínáme v paměti tak si vzpomeneme na regionální povodně

v letech 1997, 2002, 2010, 2013 a další. Navíc, čím delší je období bez výskytu velkých regionálních povodní, tím se postupně zvyšuje pravděpodobnost, že tato událost nastane.

Jak jsem zmiňoval v předchozím odstavci, který dokazuje, že na změnu klimatického systému není Česká republika zcela připravena, tak ani vývoj následujících let s ohledem na výskyt příválových srážek nebo suchá období není příliš optimistický. To ani v případě, kdyby zmiňované odhady z klimatických modelů nebyly plně pravdivé. Tyto znepokojivé informace donutily, aby se naši odborníci, politici a média začali o tato témata zajímat. Díky tomu začaly v ČR vznikat strategické dokumenty jako např. (Strategie MŽP, 2015), (Národní akční plán MŽP, 2015) nebo (VODA-SUCHO, 2015). Ze zmíněných dokumentů a z aktuálních i predikovaných hrozeb v podobě povodní a sucha je nepochybně zřejmé, že se v brzké budoucnosti bez adaptačních opatření na našem území neobejdeme. Mezi vhodné opatření patří prioritně protipovodňová ochrana a zadržování vody v krajině. Všechny změny a nové návrhy musí plně souhlasit s legislativními zákony (Paseka, 2019).

### **Legislativní principy**

Jako každá stavba a realizace, tak i výstavba vodní a suché nádrže se řídí legislativními zákony, vyhláškami a normami. V České republice je zákon 254/2001 Sb., o vodách, který je v tomto odvětví nejdůležitější. Další důležitou vyhláškou je vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla, tato vyhláška souvisí se stavebním zákonem.

Navrhování nádrží se také řídí normami ČSN. Mezi ty nejdůležitější patří norma ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení, dále ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže, ČSN 75 6261 Dešťové nádrže a jiné (Doležal a kol., 2011).

Vždy musíme dbát před samotnou výstavbou nádrže, aby při navrhování byly stanoveny vlivy, účely, hlavní a vedlejší funkce nádrže. Vždy bychom se měli snažit o to, aby využití nádrže bylo víceúčelové. To znamená, že její výstavbou přispěli ke zlepšení životního prostředí a také neohrožovali ekologii v krajině.

Nádrž má tyto dvě úlohy, kdy se při akumulaci snižuje vyprazdňování a při povodních zvyšuje. Akumulace vody může být zajištěna pouze nádrží, kdežto ochranu před povodněmi můžeme zabezpečit i jinak, např. úpravou toku nebo technickými a organizačními opatřeními během záplav. Protipovodňové nádrže jsou proto potřebné méně často než zásobní (Votruba, Broža, 1989).

Návrh se musí řídit těmito hledisky:

- Bezpečnost a spolehlivost VD.
- Soulad s územně plánovací dokumentací.
- Začlenění do krajiny, památkové péče, ochrana přírody.
- Potřeby zemědělství a lesnictví, příp. jiných veřejných zájmů.
- Hydrologie toku povodí.
- Využití návrhových a existujících nádrží ve VH soustavě.
- Vliv výstavby na stávající, popř. plánované stavby a investice zejména v místě nádrže a dále po toku.

- Připravované investice a úpravy v povodí nádrže a na toku pod nádrží.
- Soulad s Plány hlavních povodí a s příslušným Plánem oblasti povodí (ČSN 75 2410,2011).

### **ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží**

Norma platí pro zpracování vodohospodářských řešení a vodohospodářských plánů nádrží s celkovým prostorem větším než 10000 m<sup>3</sup>, které jsou samostatně řízeny a ovlivňují svojí funkcí průtoky vodní stavy a jakost vody ve vodních tocích.

Vodohospodářské řešení nádrže se zabývá objemy jednotlivých prostor u nádrže. Cílem je stanovit požadavky na parametry jednotlivých objektů a zařízení přehrady, s ohledem na manipulaci s hladinami v nádrži a na ochranu před povodněmi.

Ochranná funkce suché nádrže se řeší v rámci ochranného prostoru nádrže. Výsledkem řešení této funkce je mimo jiné i stanovení maximální hladiny v nádrži. Dimenzování přelivů se provádí s ohledem na požadavky souvisejících norem na podkladě hydrogramů příslušný povodňových vln při současném respektování spolehlivosti hydrologických údajů (ČSN 75 2410,2011).

### **ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže**

Norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz vodních nádrží se sypanými hrázemi, u kterých jsou splněny současně tyto podmínky:

- Objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru není větší než 2 mil.m<sup>3</sup>.
- Největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.

Norma neplatí pro nádrže, u kterých je potenciální riziko ohrožení lidských životů při havárii nádrže. Norma rovněž neplatí pro nádrže přečerpávacích vodních elektráren, pro odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (např. šterkoviště). Norma se doporučuje i pro rekonstrukce historických rybníků, jejichž parametry překračují podmínky viz výše. Pro nádrže s celkovým objemem menším než 5 tisíc m<sup>3</sup> se doporučuje normu použít přiměřeně podle místních podmínek (ČSN 75 2410,2011).

### **TNV 75 2415 Suché nádrže**

Tato norma slouží pro návrh vodní nádrže určené 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 (ČSN 75 2415,2006).

## 2 CÍL

Diplomová práce se bude zabývat protipovodňovou ochranou v obci Dobrá Voda u Hořic. V územním plánu obce jsou uvažovány nové dva poldry na Chlumském a Chvalinském potoce. Hlavním cílem diplomové práce je pomocí moderních softwarů vhodně navrhnout retenční prostor vodního díla sloužícího k protipovodňové ochraně. Tento prostor slouží k vypořádání se s povodněmi neboli k transformaci povodňové vlny.

První část práce je teoretickou rešerší, ve které budou shrnuty poznatky a informace zejména o povodních. Obecně bude představena problematika suchých nádrží. Zmíněny jsou kapitoly, které se věnují programům k transformaci povodňových vln.

Druhá polovina práce je zaměřena na popis zájmového území, popis problémů a dále se zabývá samotným řešením retenčního prostoru nádrže. V závěru práce jsou výpočty vyhodnoceny a jednotlivé výstupy z programů porovnány. Výstupem je vhodný návrh retenčního prostoru k redukci nebezpečí při povodních.

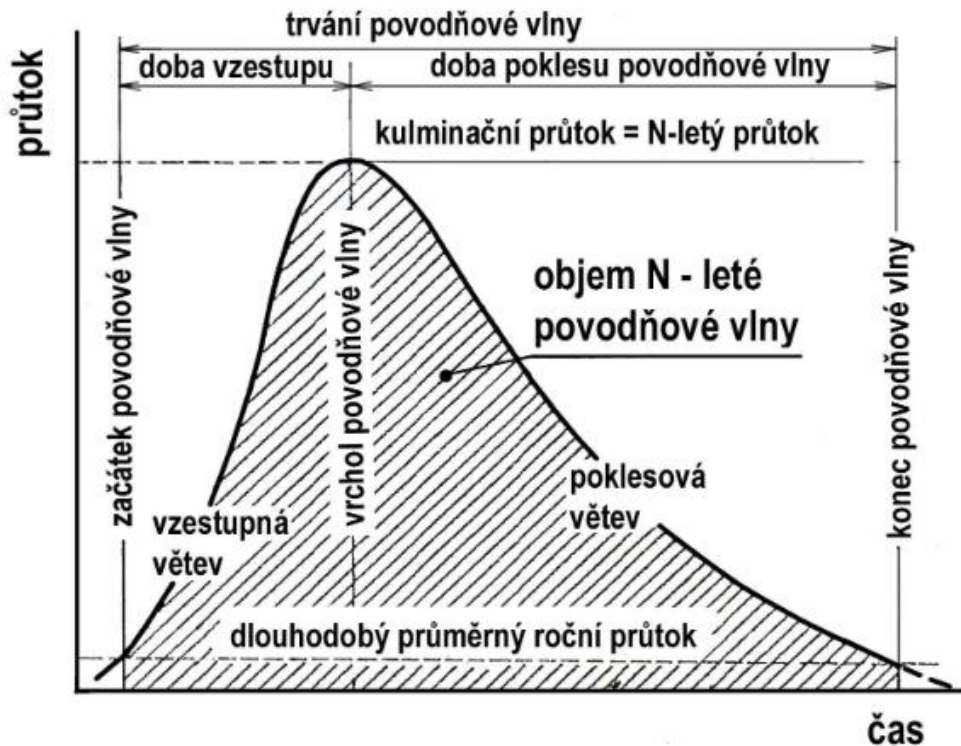
### 3 POVODŇĚ A PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ

#### 3.1 Charakteristika povodně

Průtoková vlna zobrazuje nárůst a následný pokles vodních stavů, který vzniká z deště, tání sněhu nebo umělým zásahem. Vlna povodňová je pak průtoková vlna s charakterem povodně (STRIMA II, 2020).

Povodňová vlna nám dává tvar povodně, kterou získáváme z hodnot průtoku. Tyto hodnoty nám pak dávají počátek, vrchol a ukončení povodně.

- Za počátek povodňové vlny je okamžik (den nebo hodina), od něhož se výrazně zvětšil průtok.
- Za vrchol považujeme největší kulminační průtok ( $Q_{max}$ ). Udává se  $m^3 \cdot s^{-1}$  a jeho významnost lze hodnotit doby opakování, přičemž doba opakování je počet let ( $N$ ), v jejichž průběhu bude průtok dosažen nebo překročen v dlouhodobém průměru jednou.
- Ukončení povodně představuje výrazný pokles průtoku (STRIMA II, 2020).



Obr. 1 Charakteristika povodňové vlny (Kemel M. 1991)

Dalším kritériem pro velikosti povodňových vln je jejich trvání, dané časovým úsekem mezi počátkem a ukončením povodně.

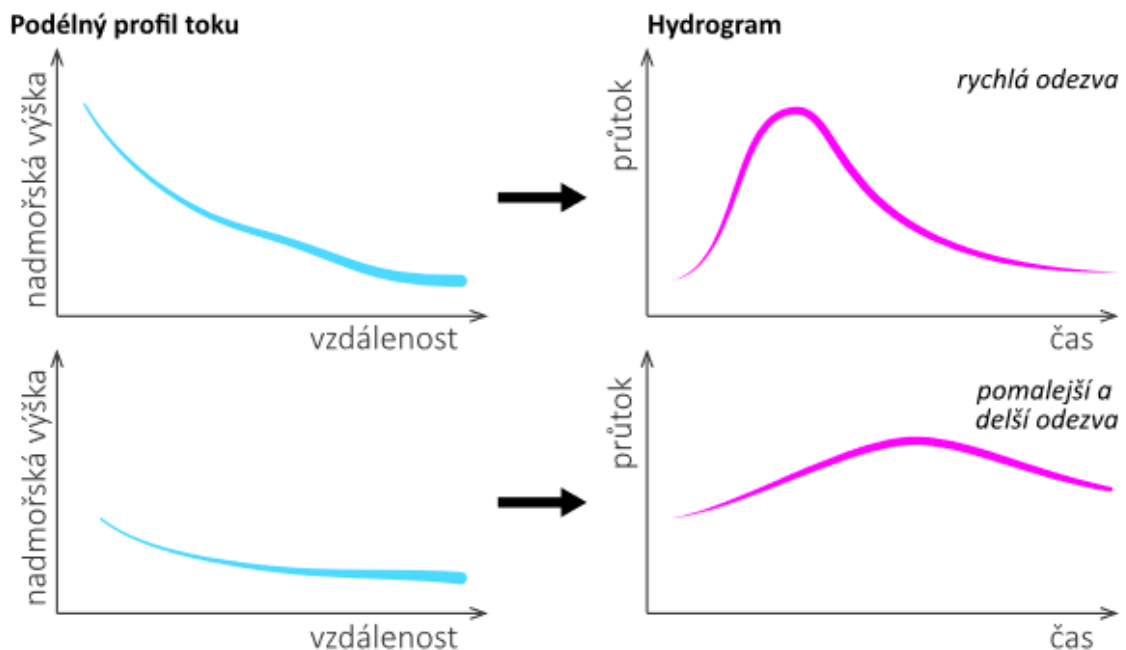
Významnou vlastností povodňových vln je rychlost jejich průběhu potřebná pro předpovědi jejich vývoje. Určuje se z doby, za kterou povodeň proběhne mezi dvěma vodoměrnými stanicemi. Doba se určí z rozdílu mezi časem kulminačního průtoku v obou stanicích. Rychlost je pak podílem délky toku mezi oběma stanicemi a doby, udává se v km/hod (Co je povodeň, 2010).

Objem povodňové vlny je celkové množství vody, které proteče daným profilem během trvání povodně. Povodňová vlna se odvíjí od mnoha faktorů. Mezi nejdůležitější z nich patří:

- Klimatické.
- Fyzicko-geomorfologické.
- Antropogenní (případný výskyt vodohospodářských staveb v povodí) (STRIMA II, 2020).

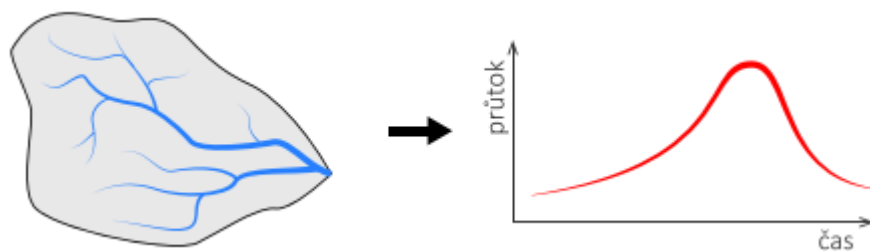
### Význam tvaru povodí na průběh povodňové vlny

Obrázek 2, ukazuje, jaký má vliv podélný sklon toku na tvar průtokové vlny neboli hydrogram.



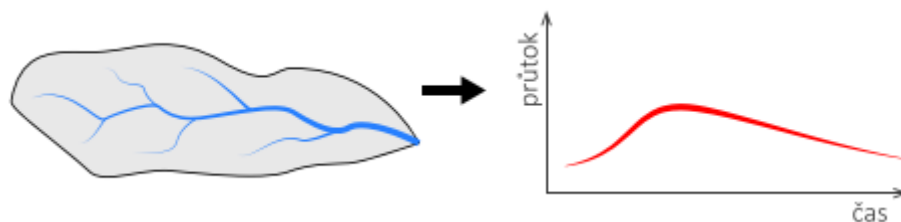
Obr. 2 Vliv sklonu nivelety toku na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et all. 2004)

Obrázek 3 představuje hydrogram pro horské toky, které mají úzkou základnu. Z grafu je patrné, že doba vzestupu vlny je jen o málo kratší než doba poklesu, tvar vlny připomíná trojúhelník. (STRIMA II, 2020).



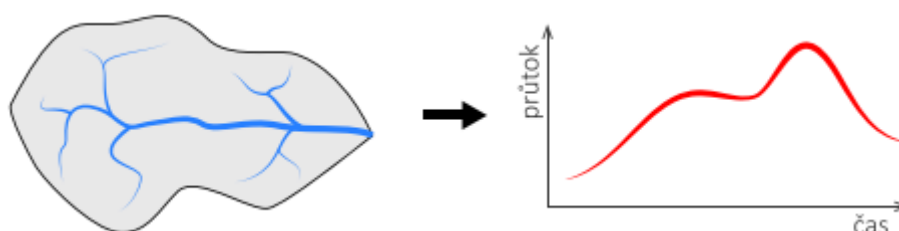
Obr. 3 Vliv tvaru horského povodí na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et all. 2004)

Na obrázku 4 vidíme tvar povodí pro nížinné toky, jejíž základna je široká. Jak je patrné z hydrogramu, tak poklesová větev je ve srovnání s větví vzestupnou mnohem delší, a proto má delší trvání. A tudíž celková odezva je mnohem delší než oproti horským tokům viz obrázek 3.



Obr. 4 Vliv tvaru nížinného povodí na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et al. 2004)

Tvary povodí a hydrografické sítě rozhodují o tvaru hydrogramu. Zde je například hydrogram jednoduchého tvaru, viz obrázek 3 nebo je hydrogram složitějšího tvaru viz obrázek 5. Navíc je známo, že při stejné srážce a ploše povodí bude mít povodeň na povodí vějířového tvaru podstatně rychlejší a intenzivnější průběh než u povodí protáhlého tvaru s jediným hlavním tokem tvořící osu povodí obrázek 4 (STRIMA II, 2020).



Obr. 5 Vliv tvaru povodí na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et al. 2004)

### 3.2 Vznik a průběh povodně

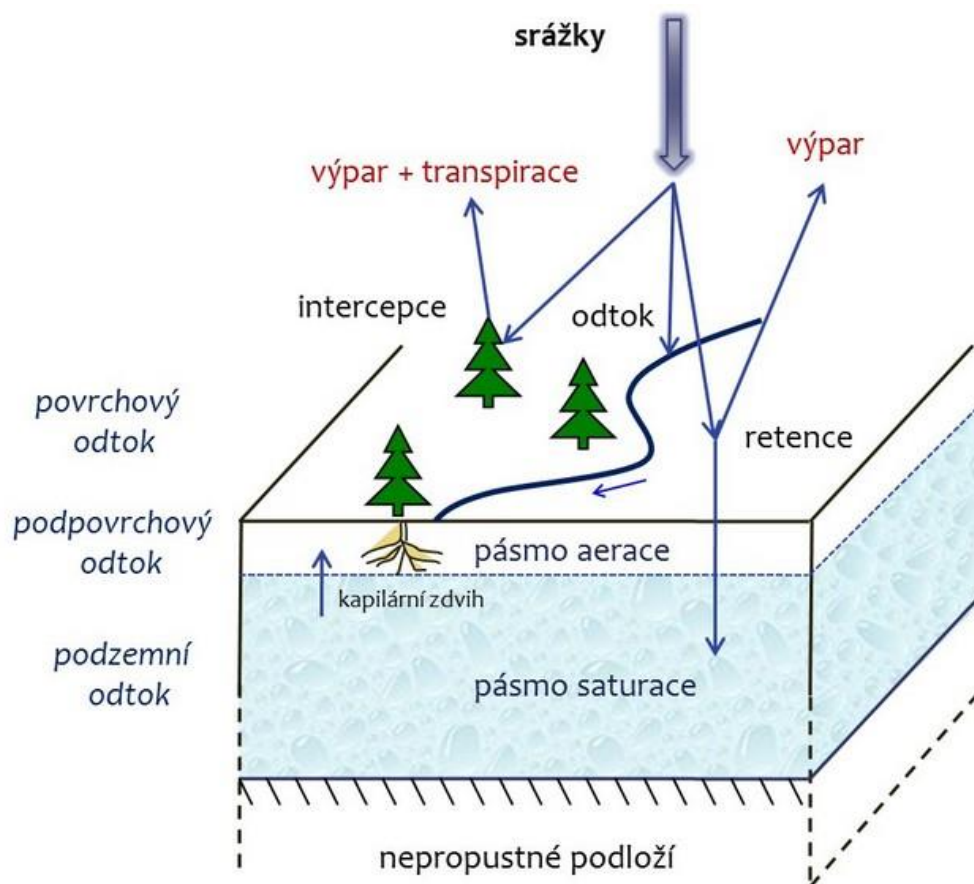
Povodeň je přírodní jev, který se vyskytuje v různé intenzitě a nepravidelných časových intervalech. Jednoduše můžeme říct, že povodeň vzniká v případě, kdy na určité území spadne najednou více vody, což vede k zvýšení vodní hladiny na daném vodním toku, při kterém se voda nekontrolovaně vylévá z koryta řek. Jejímž výsledkem je zaplavování blízkého okolí, ohrožení na majetku a lidských životech (Daňhelová, 2004).

Velikost povodně se odvíjí od překročení retenční kapacity povodí a taktéž, jaká bude doba koncentrace. Jinými slovy, jaká bude rychlost odtoku vody z povodí. Pro popis a kvantifikaci tohoto procesu je možno použít rovnici hydrologické bilance, kterou lze zapsat následujícím výrazem:

$$H_z = H_E + H_o \pm R \quad (1)$$

kde:  $H_z$  – výška srážek  
 $H_E$  – výška evapotranspirace  
 $H_o$  – výška odtoku  
 $R$  – změna zásob vody v povodí





Obr. 6 procesy hydrologické bilance (STRIMA II, 2020)

Za vstup do hydrologického cyklu můžeme považovat srážky, při jejichž dopadu na nepropustný povrch dochází k jejich zadržování, následnému výparu nebo přímo k povrchovému odtoku. V případě kontaktu s vegetací dochází nejdříve k zadržování vody a následnému výparu. Poté se voda dostane přímo do půdy a kořenovým systémem do transpiračního proudu rostlin. Odtud se fyziologickým vypařováním vrací do atmosféry (STRIMA II, 2020).

Odtok  $H_o$  vzniká, pokud množství napršené vody překročí celkovou retenční kapacitu území.

Vodní zákon č.254/2001 Sb. dále hovoří:

Povodněmi se pro účely tohoto zákona rozumí 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 (STRIMA II, 2020).

### 3.3 Rozdělení povodní

Povodně lze rozdělit na povodně přirozené a povodně zvláštní (Charakteristika povodní, 2017).

### 3.3.1 Povodně přirozené

- Letní povodně, které jsou způsobeny zpravidla regionálními srážkami trvajících často několik dnů, přičemž se srážky mohou opakovat v rozmezí dnů až týdnů. Letní povodně se zpravidla projevují na středních a větších vodních tocích.
- Přívalové letní neboli „bleskové“ povodně způsobené srážkami s velkou intenzitou, které obvykle zasahují velmi malé území. Tyto povodně se vyskytují především v povodích malých toků. Tento typ povodně může být extrémně nebezpečný, jelikož se často objevuje znenadání. A je charakteristický i tím, že jeho čelo je tvořeno směsí bahna, kamenů a jiných naplavenin.
- Zimní a jarní povodně způsobené rychlým táním sněhové pokrývky často v kombinaci s deštěm.
- Zimní povodňové situace způsobené ledovými jevy. Tyto povodně vznikají v úsecích toků, kde se tvoří ledové zácpy při chodu ledových ker. Jejich výskyt není vázán na velikost vodního toku (Daňhelová, 2004).

Řadu obcí České republiky postihují pravidelně přívalové povodně. Jde o povodňové události probíhající na malých povodích o rozloze do 10 km<sup>2</sup>. Typickým příznakem pro přívalové povodně je náhlé a nejčastěji krátkodobé výraznější zvýšení hladiny vodního toku, které prakticky nejde předpovědět. Podle zjištěných dat vyplývá, že dochází každoročně na území ČR k 60 až 100 přívalovým povodním, které poškozují obce zejména na horních částech toků. Děje se tak především v podhorských a horských oblastech. Většinou se objevují v letním období a pro postižené obce mají často katastrofální důsledky. Na předání informací, zjišťovaných varovnými systémy, chybí totiž zpravidla čas. To je také podstatná odlišnost přívalových povodní od záplav, jež jsou vyvolávány několikadenními vytrvalými dešti (Hanuška, 2015).

Přívalové povodně vznikají při vhodné kombinaci dvou jevů. Významného srážkového úhrnu o velké intenzitě a vysokého nasycení povodí vodou. Vždy musí dojít k intenzivní srážce v horizontu několika málo hodin před povodňovou událostí. Míra nasycení území vodou (v nenasyčené zóně půdního profilu) pak rozhoduje o tom, zda a jakým způsobem se přívalová povodeň vytvoří.

Nejčastějším případem je situace, kdy srážková voda během krátké doby plně nasytí půdní profil a veškerá srážková voda je pak odváděna přímo do vodních toků, a to jak pomocí povrchového, tak podpovrchového odtoku. Z hlediska povrchového odtoku byla tato situace popsána již v sedmdesátých letech 20. století v USA a pojmenována Dunneho odtok (DUNNE a spol, 2010).

Přívalové povodně v důsledku svého malého plošného rozsahu a charakteru příčinné srážky (jde obvykle o velmi intenzivní srážky z konvektivní oblačnosti) zpravidla nejsou včas detekovány systémem integrované výstražné služby, který provozuje Český hydrometeorologický ústav dále pak (ČHMÚ). Obdobná situace panuje v celém světě, protože dostatečně podrobná předpověď přívalových dešťů je vzhledem k chaotické povaze atmosféry prakticky nemožná.

Poslední velká přívalová povodeň, co do síly a intenzity, se udála v červnu roku 2020. Při této přírodní katastrofě šly vniklé škody do milionů korun a zemřelo nejméně deset lidí. Vzhledem k počtu obětí se jedná o nejhorší povodeň od roku 2013, kdy nejdříve udeřily plošné

povodně po trvalých deštích, a potom přišly i povodně bleskové (Seznam meteorologických extrémů v Česku 2020).

### 3.3.2 Povodně zvláštní

Jsou to povodně, které jsou způsobeny umělými vlivy, které zejména vznikají při havárii vodních děl. Například když dojde k protržení hráze, sesuvem půdy do vodní nádrže nebo toků (Viglione, 2015).

## 3.4 Největší povodně za 100 let na území ČR

- **Povodeň 1997**

Psal se rok 1997 kdy až pětidenní srážky způsobily rozsáhlé plošné regionální povodně. Maxima úhrnů za toto období dosáhly 586 mm na Lysé hoře, 454 mm na Pradědu, v Peci pod Sněžkou 235 mm. Na většině území Moravy byl srážkový úhrn nad 100 mm, na severní Moravě a ve Slezsku nad 200 mm. Důsledkem těchto srážek byly rychlé horské povodně i rozsáhlé záplavy v nížinách až několik kilometrů široké. Kulminační průtoky překročily dobu opakování 100 let na například na toku Bělé, Odře, Opavě, Ostravici, Rožnovské Bečvě a celém toku Moravy. V povodí Labe bylo dosaženo úrovně stoletých průtoků v profilu VD Labská, na Tiché Orlici a na Třebovce (Peláková a Kašpárek, 2018).

- **Povodeň 2010**

Letní přívalové deště v roce 2010 mají za následek květnovou a srpnovou povodeň. Srážkově poměrně bohatá byla ovšem již první polovina května, takže většina povodí v ČR byla značně nasycena a jednotlivé srážkové epizody vyvolávaly okamžitou odtokovou reakci. Srážky způsobily na Liberecku a Děčínsku extrémní povodně na všech vodních tocích v zasaženém území. Extremitě srážek odpovídala i následná odtoková odezva, která byla velmi ovlivněna předchozím silným nasycením postižených povodí, a to zvláště Jeřice a Smědé, kde extremity kulminačních průtoků byla nejvýznamnější a výrazně překročila dobu opakování 100 let. Škody způsobené povodní se vyšplhaly na 10,1 mld. Kč. Při povodni zemřelo 6 osob (Povodně v ČR, 2018).

- **Povodeň 2002**

Tato regionální povodeň je svou příčinou, extremitou a rozsahem srovnatelná pouze s povodněmi z let 1890 a 1997. Vytrvalé srpnové silné srážky s úhrnem více než 100 mm naplnily většinu jihočeských řek. Extrémní hydrologické důsledky ještě zvýšil výskyt srážek ve dvou vlnách v rozpětí několika málo dnů na prakticky stejném území. V týdnu od 12. do 18. 8. tak část Čech postihla pětisetletá až tisíciletá povodeň. Kulminační průtok Vltavy v Praze byl vyhodnocen na 5 160 m<sup>3</sup>/s. Na povodí Labe u Hřenska byl naměřený kulminační průtok 4 780 m<sup>3</sup>/s (Peláková a Kašpárek, 2018).

- **Povodeň 2013**

Poslední významnou povodní byla povodeň z roku 2013, která měla podobný průběh jako povodeň z roku 2002, s tím rozdílem, že nejsilnější byla první vlna, která přišla na přelomu května s červnem a zasáhla převážnou část Čech. Jednodenní srážkové úhrny přesáhly 100 mm a pětidenní úhrny přesahovaly 180 mm. Na povodí Vltavy v Praze byl naměřený kulminační průtok 3 040 m<sup>3</sup>/s.

V průběhu povodní se pozitivně projevila protipovodňová opatření. V některých případech byly za povodně překročeny návrhové parametry a došlo k přelití (např. Hořín, Křešice, Ústí nad Labem) (Peláková a Kašpárek, 2018).

### 3.5 Protipovodňová ochrana

Protipovodňové opatření dělíme na technická a netechnická (obrázek 7). Za technická opatření můžeme považovat retenční nádrže, zkapacitňování a stabilizaci koryt či například výstavbu ochranných hrází. Technická opatření lze dále dělit na preventivní a přípravná, operativní, prováděná v průběhu povodně a opatření po povodni. Mezi netechnická opatření se řadí definování záplavových zón a jejich právní zajištění, předpovědní a varovné systémy a připravenost obyvatelstva.

Dále se také protipovodňová opatření rozlišují na aktivní a pasivní protipovodňová opatření. Aktivní protipovodňová opatření se zakládají na prevenci při využívání záplavových území. Naopak pasivní protipovodňová ochrana slouží k ochraně majetku, který byl v záplavovém území již umístěn, a jeho vlastníci se dobrovolně rozhodli nést dané riziko. Významným rozdílem oproti aktivním protipovodňovým opatřením je to, že na jejich realizaci je potřeba vynaložit dodatečné soukromé či veřejné prostředky (Čamrová a spol., 2006).



Obr. 7. Členění protipovodňových opatření (Čamrová a spol., 2006)

Povodně, které na území České republiky proběhly, vyvolávají četné diskuse o tom, zda problémy povodňové ochrany je možné řešit zvětšováním retenční schopnosti krajiny nebo technickými opatřeními. Jak hodnocení na území České republiky, tak i zahraniční zkušenosti ukazují, že řešením je kombinace obou přístupů, založená na podrobné znalosti charakteristiky území s podchycením vzájemných vazeb.

Zvýšení retenční schopnosti krajiny je možno považovat za preventivní protipovodňové opatření. K docílení tohoto zvýšení přispívají (Čamrová a spol., 2006):

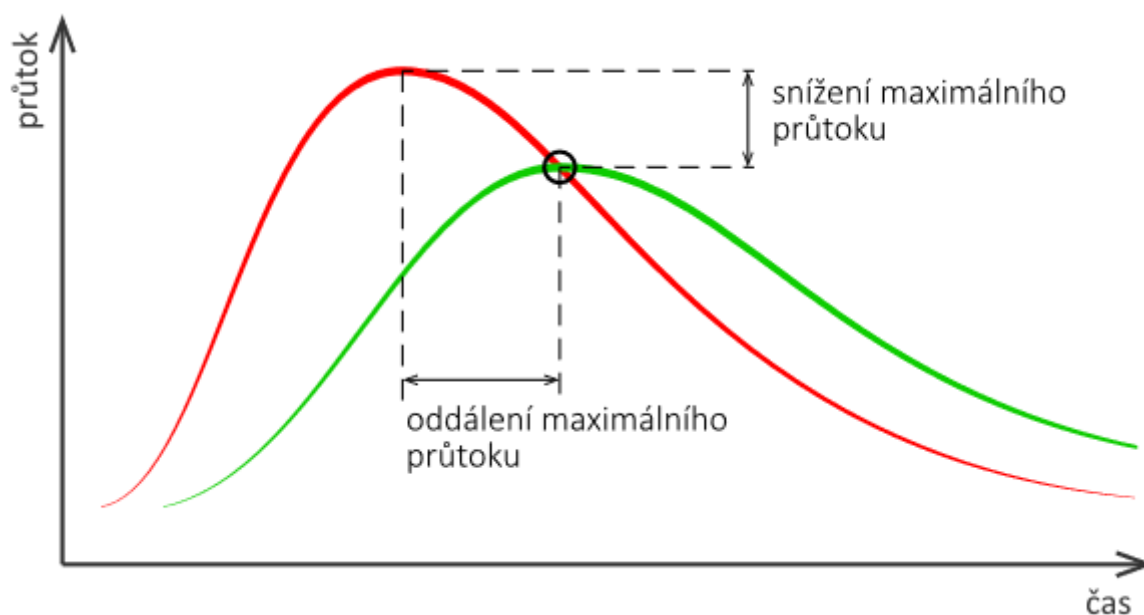
- Optimální druhová skladba lesů s vyšším podílem listnatých dřevin.
- Širší věková skladba lesů, zamezení holosečí.
- Usměrnování zemědělské činnosti (správné umístování vhodných kultur, vhodný způsob obdělávání, snížení podílů erozně náchylných plodin v rizikových povodích).
- Vhodné komplexní pozemkové úpravy, – rozšíření ploch s trvalým travním porostem.

- Zachování a zřizování přirozených překážek povrchového odtoku (remízků, mezí, průleहů, příkopů, mokřadů a přirozených nádrží).
- Zachování přirozené linie toků v krajině, meandrů a slepých ramen na vodních tocích.
- Hrazení bystřin.
- Omezení zpevněných ploch v zastavěném území.
- Regulace zemědělské činnosti v záplavovém území.

Zhoršený vodní režim může být způsoben např. změnou klimatu, nadměrným zorněním půdy, odstraněním stabilizačních mezí, hydromelioračními úpravami v pramenných oblastech, zhutněním půd, zhoršeným zdravotním stavem lesa a snížením hydrické funkce lesa. Důsledkem je zejména větší rozkolísanost průtoků ve vodních tocích a přibývání vodohospodářsky pasivních povodí (Charakteristika povodní, 2017).

### 3.6 Transformace povodňové vlny

Transformací povodňové vlny se míní změna jejího tvaru, vlivem dočasného zdržení vody v retenčním prostoru nebo i v samotném korytě vodního toku (vlivem větších rychlostí toku na čelní straně povodně díky většímu sklonu hladiny na vzestupné větvi, čímž dochází k předbíhání vodních částic vůči částicím na jejich zádi). Škála transformace povodňové vlny se odvíjí od vzájemného poměru retenčního prostoru a objemu vlny. Čím je tento poměr větší, tím větší je účinek transformace. Z toho plyne, že u vln s kulminačním průtokem o vyšší N-letosti je míra transformace nižší a naopak. Pokud proběhne daným územím povodeň s dobou opakování 100 let (tzv. stoletá povodeň), bude snížení kulminačního průtoky poměrově mnohem nižší, než by bylo u povodně desetileté. Obrázek 8 ukazuje tvar transformované povodňové vlny ve vodní nádrži (KEMEL, 1991).



Obr. 8 Transformace povodňové vlny v nádrži (STRIMA II, 2020)

Pro řešení retenčního prostoru lze využít několik dostupných metod. Podle (Starý, 2006) např. Runge-kuta 2. řádu, Runge-kuta 4. řádu, grafickou Klemešovu metodu, Zárubovu a jiné, nebo lze k transformaci povodňové vlny využít i matematického modelování pomocí dostupných softwarů (Starý, 2006).

## 4 POUŽITÉ PROGRAMY A METODY

### 4.1 DesQ

Hydrologický model DesQ byl vytvořen prof. Hrádkem v roce 1997. V roce 2000 byl aktualizován na základě připomínek uživatelů a nového výzkumu autorů. Aktualizovaná verze nese název DesQ – MaxQ. Zkratka DesQ znamená návrhový průtok, MaxQ potom maximální průtok, v souvislosti s průchodem povodňových vln. Model je určen pro povodí typu otevřené knihy, do velikosti 10 km<sup>2</sup>. V případě větších povodí lze model použít na menších sub povodích. Jak z charakteristiky vyplývá, model je určen pro neměřená malá povodí. K jeho aplikaci tak nepotřebujeme žádné údaje o průtocích a vodních stavech na drobných vodních tocích. Svým charakterem se jedná o „black-box“ deterministický model, který je vhodný pro užívání v geografii bez speciálních znalostí hydrodynamiky a hydrauliky.

Využívá se pro:

- Výpočet maximálních N-letých (návrhových) průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti kritické doby trvání.
- Výpočet maximálních průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných dešti zadané doby trvání a intenzity.
- Odvození tvaru povodňových vln (časové řady).
- Hodnocení dopadů hospodářské činnosti v povodí (land-use) na srážko-odtokové procesy (DesQ-MaxQ, 2009).

### 4.2 HEC-RAS

Program HEC-RAS umožňuje výpočet nerovnoměrného proudění v otevřených korytech, v ustáleném i v neustáleném režimu. Je integrovaným prostředkem, který umožňuje interaktivní provoz, obsahuje moduly hydraulické analýzy, obsluhy datové báze, vizualizaci vstupních dat i výsledků. Významné jsou jeho možnosti výpočtu objektů na toku, příčných i podélných staveb. Jako produkt federálního rozsahu, je standardním prostředkem pro plánování, návrh a protipovodňovou ochranu ve Spojených státech (Humlíček, 2013).

Důležitou skutečností je, že distribuce systémů HEC byla uvolněna z kompetence federální organizace Army Corps of Engineers, která již neposkytuje další uživatelskou podporu a prodejní práva byla předána jiným distributorům (Hec-ras, 2010).

Umožňuje stanovit jak velikost přímého a základního odtoku, tak řešení transformační odezvy povodí na průběh příčných srážek. Je tak vhodný pro určení charakteristik povodně, ale i pro simulaci odtoku. Všechny vstupní veličiny je možno zadávat velkou řadou různých způsobů. Vstupní srážka, ať už návrhová nebo příčinná, je zadávána ve formě (návrhového nebo příčinného) hydrogramu. V programu lze volit délku časového kroku, což je výhodou, jelikož u každé srážkoměrná stanice se tento interval liší (Humlíček, 2013).

Tento program je přizpůsoben i dnešní technické době, kdy se velké množství měření srážek provádí metodou radarového snímání. Pro tento případ je zde možnost vkládat srážkové úhrny formou rastrových dat. Tento způsob by mohl být využíván v případech operativního řízení či předpovědi průtoků, kde by vstupní údaje tvořily rastrová data z předpovědních modelů např. ALADIN.

Program HEC-RAS je výpočtový program, který počítá v 1D a 2D modelu. Model 2D využívá metodu konečných prvků, Avšak pro potřeby této práce bude použit výpočet pomocí 1D modelu. Matematický model 1D HEC-RAS (The Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) řeší proudění vody o volné hladině v otevřených korytech. Program využívá k výpočtu metodu po úsecích. Metoda po úsecích vychází z Bernoulliho (Hec-ras, 2010).

### 4.3 Transform\_wave

Pro výpočty byl použit vyvíjený program psaný v jazyce Fortran 77, ve kterém je pro transformaci povodňových vln zvolena modifikovaná grafická Klemešova metoda. Obecně řečeno grafická Klemešova metoda byla zaprogramována. Diferenciální rovnice nádrže je pak pro Klemešovu metodu upravena na následující tvar.

#### Klemešova metoda

Princip metody vychází z diferenciální rovnice nádrže, která vyjadřuje vztah mezi přítokem vody do nádrže  $Q$ , jako funkcí času  $t$ , odtokem vody z nádrže  $O$ , jako funkcí času  $t$ , a objemem zadržené vody v nádrži  $V$ . Diferenciální rovnice nádrže je pak pro Klemešovu metodu upravena na následující tvar (Paseka, 2019).

$$Q\Delta t - O\Delta t = \Delta V \quad (2)$$

Tato metoda pracuje na bázi zjednodušení tím, že plynulé křivky přítoku a odtoku nahrazuje stupňovitými čarami, kde vznikají průsečíky střednic časových intervalů. Přítok i odtok v každém intervalu je tedy zastoupen jedinou okamžitou hodnotou. Pokud je překročen, bezpečnostní přeliv, vstupuje do výpočtu Klemešova metoda. Když voda nepřekročí bezpečnostní přeliv, tak program jen počítá s objemem přítoku a odtoku vody k předchozímu objemu nádrže (Paseka, 2019).

Pro správné fungování grafické Klemešové metody, je nezbytné znát hydrograf povodně, informace o spodních výpustích, bezpečnostní přeliv a křivek zatopených objemů zkonstruování tzv. transformační čáry, která vyjadřuje celkový odtok vody z nádrže v závislosti na jejím plnění. Výpočet pro kapacitu spodní výpustí podle rovnice 3 (Jandora a Šulc, 2006) a kapacita bezpečnostního přelivu podle rovnice 4 (Jandora a Šulc, 2006).

$$O_v = \sqrt[2]{2 * g * h_i} \quad (3)$$

$$Q = m * b * \sqrt[2]{2 * g * H_i^{(3/2)}} \quad (4)$$

kde:  $\mu$  je součinitel odtoku [-],

$S$  plocha výtokového otvoru (spodních výpustí) [ $m^2$ ],

$g$  je tíhové zrychlení

$h_i$  je výška vody v nádrži [m],

$H_i$  je výška vody nad bezpečnostním přelivem [m],

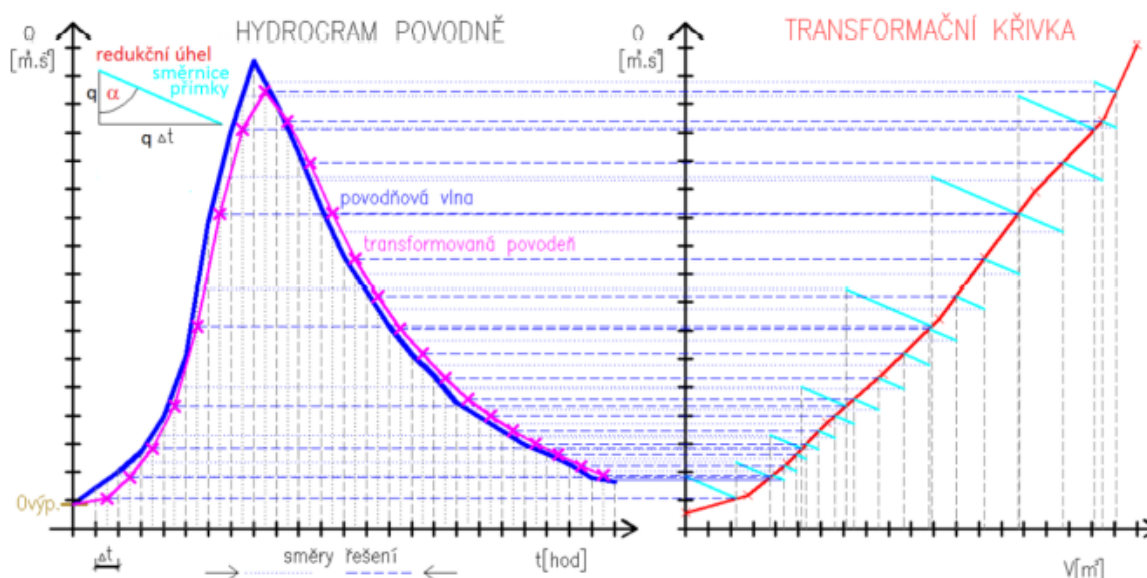
$m$  je součinitel přepadu [-],

$b$  je šířka bezpečnostního přelivu [m].

V dalším kroku je nutné pro transformaci zkonstruovat tzv. redukční úhel, který se skládá z časového intervalu a velikosti průtoku a charakterizuje úměrnost. Redukčního úhlu dosáhneme tím, že k libovolnému průtoku  $q$  vynesným na svislici je přiřazena vodorovná osa

o velikosti průtoku  $q$  vynásobeným časovým intervalem  $\Delta t$ . Díky spojen těchto dvou konců získáme směrnici přímky svírající redukční úhel.

Grafická konstrukce Klemešovou metodou probíhá postupně po jednotlivých časových intervalech nejprve na vzestupné a poté na sestupné větvi povodňové vlny přes zmíněnou transformační křivku a redukční úhel. Při překročení bezpečnostního přelivu je vedena pro daný přítok vody do nádrže z nulové svislice transformační křivky směrnice přímky svírající redukční úhel a je hledán průsečík právě s transformační křivkou, který zároveň charakterizuje první hodnotu transformovaného odtoku vody z nádrže. Ve vzniklém průsečíku, se vytvoří nová svislice, která bude určena pro další krok. Poté je dále postupováno pro každý přítok vody do nádrže v časovém intervalu ze svislice určené z předchozího kroku na transformační křivce vedením směrnice přímky svírající vždy redukční úhel a hledáním průsečíku opět s transformační křivkou. Tento průsečík pak charakterizuje transformovaný odtok vody z nádrže v daném časovém kroku. Na obrázku 9 můžeme vidět charakterizovaný postup Klemešovy metody. (Paseka, 2019)



Obr. 9 Princip konstrukce transformace povodňové vlny Klemešovou metodou (Paseka, 2019)



## 5 SUCHÉ NÁDRŽE A JEJICH KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Suché nádrže neboli poldry jsou ohrazované prostory, které jsou schopné zachytit část povodňového průtoku. Po průtoku povodňové vlny je jejich retenční prostor postupně vyprazdňován. Mimo povodně je ve většině případů poldry hospodářsky využívány (Hrádek a Soukup, 1999).

Výstavba poldrů náleží ke klasickým 33 hydrotechnickým protipovodňovým opatřením. Z ekologického, ale i technického hlediska je vhodnější výstavba poldrů polosuchých, ve kterých malé množství vody setrvává po celý rok. Tento zůstatek vody zajišťuje nejen zvýšenou biodiverzitu poldru, ale udržuje též patu hráze ve vlhkém stavu. V období povodňových průtoků pak dochází stejně jako u poldru suchého k naplnění celé jejich kapacity (Just, 2003).

Poldry lze dělit dle jejich umístění na toku na průtočné a postranní. Průtočný poldr je umístěn přímo na toku a disponuje větším retenčním prostorem na zachycení povodňové vody. Poldr postranní je ohrazovaný prostor v nivě neprotékaný tokem. Po dosažení určité výšky hladiny se do něj přepadem dostává voda z toku a je zde zachycována část povodňového objemu (Just a kol., 2005).

Hlavním účelem suché nádrže je zadržování vody při povodni a tím zmenšování vybraných N-letých průtoků.

Pro návrh suché nádrže slouží řada podkladů, stejně jako u vodní nádrže. Mezi nejdůležitější podklad je řazen průzkum území, které má být nádrží ochráněno. Dále pak je nutno zajistit informace o koncepci protipovodňové ochrany uceleného povodí. Nesmíme zapomínat také na informace o povodňové vlně, N-letých průtoků a záznamy o historických povodních, které lze získat od ČHMÚ (TNV 75 2415, 2006).

Jednou z možností protipovodňové ochrany v nezastavěném území je transformace povodňové vlny pomocí malých vodních nádrží či suchých poldrů. Při rozhodování, zda vybudovat vodní nádrž či suchý poldr je třeba brát v úvahu řadu dalších aspektů, a ne je chápat pouze jako opatření v protipovodňové ochraně (Říha a kol., 2014).

### 5.1 Rozdělení prostorů v suché nádrži

Vzniklý prostor v suché nádrži může být:

- Zcela suchá nádrž.
- S určitým omezeným objemem stále vody.

Dále je pak nutné, aby bylo předem vyřešen účel využití pozemků v zátopě. Pozemky mají být zemědělsky nebo lesnický obhospodařovány takovým způsobem, jakým byly obhospodařovány před výstavbou nádrže. Pokud tomu tak nelze, je nutno obhospodařování přizpůsobit novým podmínkám. Tyto zátopy se mohou využívat i pro jiné než zemědělské účely, a to např. rekreační nebo sportovní. Není vyloučeno využívání pozemků pro další účely, např. rekreační, sportovní nebo jako prvku Územního systému ekologické stability ÚSES. (TNV 75 2415, 2006)

Po zemědělském užívání prostoru zátopy je nejméně rizikové zatravnění. Podmínky pro tento způsob užívání jsou:

- Plynulý sklon terénu umožňuje povrchové odvodnění.
- Časový režim záplav umožňuje ošetřování a sklizeň porostu, popřípadě i spásání.

Pro využití pozemků v zátopě jako orná půda, musí disponovat těmito podmínkami:

- Tloušťka skrývky musí být dostatečně silná, aby nedocházelo k jejímu odplavování při vyprazdňování nádrže po povodních.
- Dno nádrže musí disponovat buď odvodní drenáží nebo dobrou propustností.

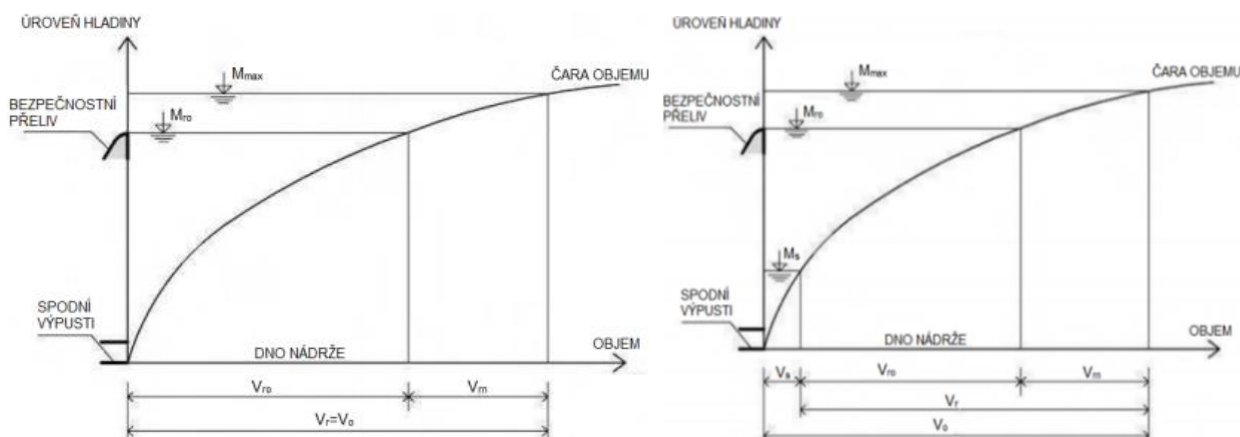
Využití prostorů zátopy pro lesnické účely:

- V prostorách zátopy suchých nádrží, se nedoporučuje osetí lesní kultury z možnosti zanášení splavenin. Naopak v tomto prostoru je dovolené zasadit porosty z dřevin s rozdílnými vlastnostmi.
- Svahy v prostoru zátopy musí být posouzeny z hlediska jejich stability při prudkém stoupnutí a poklesu hladiny v průběhu povodně. To se týká především svahů s mělce kořenícími lesními porosty. V případě ohrožení stability těchto svahů musí být navržena technická nebo vegetační opatření k zajištění stability.

Pokud by docházelo, odplavování vegetačního krytu, musí se provést výměna nebo zajištění dostatečné mocnosti skrývky, aby nadále nedocházelo k jejímu odplavování (TNV 75 2415, 2006).

V zátopě se nesmí vyskytovat stavby určené pro bydlení, taktéž ani rekreační stavby, ani výjimkou nejsou výrobní provozy, sklady a skládky látek, které by mohly ohrozit jakost vody. V zátopě by se taky neměly objevovat předměty, které jsou snadno odplavitelné, které by mohly způsobit zakrytí vypustného zařízení (DOLEŽAL, P. a kol., 2011).

Rozložení prostoru zátopy, musí zajistit možnost úniku náhodně se vyskytujících osob a zvíře z jejího prostoru při stoupání hladiny (TNV 75 2415, 2006).



Obr. 10 Rozdělení prostorů v suché nádrži bez stálého nadržení a s prostorem stálého nadržení (ŘÍHA J. a kol., 2014)

$M_{max}$	kóta maximální hladiny	$V_c$	objem celkového prostoru
$M_s$	kóta hladiny stálého nadržení	$V_s$	objem prostoru stálého nadržení
$M_{ro}$	kóta hladiny ovladatelného ochranného prostoru	$V_r$	objem ochranného prostoru
$M_m$	kóta hladiny neovladatelného ochranného prostoru	$V_{ro}$	objem ovladatelného ochranného prostoru
		$V_m$	objem neovladatelného ochranného prostoru

## 5.2 Konstrukční řešení suchých nádrží

Nádrže se řadí mezi významná stavební díla v krajině, proto je nezbytné jim věnovat patřičný čas a úsilí jejímu návrhu a posléze její realizaci. Musíme zajistit dlouhou životnost, jednoduché provedení, vhodně usadit do terénu, a hlavně plnit zadaný účel. Mezi konstrukční řešení patří:

- Návrh hráze.
- Funkční objekty.
- Terénní úpravy v místě a okolí nádrže.
- Úprava toků v nádrži a pod nádrží (Vrána, Beran 2002).

Vodohospodářské řešení suché nádrže se provádí podle ČSN 75 2405, návrh bezpečnostního zařízení a posouzení bezpečnosti vzdouvacího prvku hráze při povodních pak podle TNV 75 2935 (TNV 75 2415, 2006).

### 5.2.1 Hráz

Základním stavebním prvkem, nejdůležitějším a nejnebezpečnějším je hráz, která je taky nejdražší u nádrže. Hráz tvoří bariéru a zachytává vodu v údolí, čím tvoří zátopy. K výstavbě hráze jsou většinou používány zeminy z místních zdrojů, popřípadě se může využít zemina ze zátopy.

Zemní hráze mají převážně lichoběžníkový příčný tvar jednoduchý nebo složený podle (ČSN 75 2410, 2011). Použitý zemní materiál na výstavbu hráze rozděluje hráz na homogenní a nehomogenní. Stabilita je zaručována sklony návodního a vzdušného líce hráze. Ty se určují podle typu použité zeminy. Sklony určuje norma ČSN 75 2410. Opevnění návodního svahu hráze chrání těleso hráze před působením ledu, vln, dešťových srážek a jiných rušivých jevů. Zasažuje min. 0,5 m nad hladinu stálého nadržení vody. Vzdušný líc je nejčastěji zatravněn (Vrána, Beran 2002).

### 5.2.2 Funkční zařízení

#### Výpustná zařízení

Hlavním úkolem výpustného zařízení je bezpečné vypuštění nádrže za všech okolností. Každá nádrž musí obsahovat minimálně jedno výpustné zařízení, pokud je zásobní prostor nádrže větší než 1 mil. m<sup>3</sup> je potřeba mít dvě výpustě. Výpustná zařízení se umísťují zpravidla do nejnižší části nádrže k čelní hrázi pro nejefektivnější vypuštění.

Nejmenší průměr výpusti v protékáných suchých nádrži je DN 800 mm (TNV 75 2415, 2006). Díky tomu můžeme lépe a snadněji provádět údržbu, revizi, odstraňování splavenin a jiné. Před vtoky je zpravidla vhodné umístit česle, které zabrání vniku cizích těles, popřípadě

jejích poškození. Dle konstrukčního řešení odtoku dělíme výpustné zařízení na otevřené a trubní (Vrána, Beran 2002).

Vtok do spodní výpusti se doporučuje vybavit zařízením pro operativní osazení provizorního hrazení, které se uvede do funkce pro případný ověřovací provoz, provádění prohlídek, údržbu a opravy spodní výpusti, popřípadě i jejích uzávěrů (TNV 75 2415, 2006).

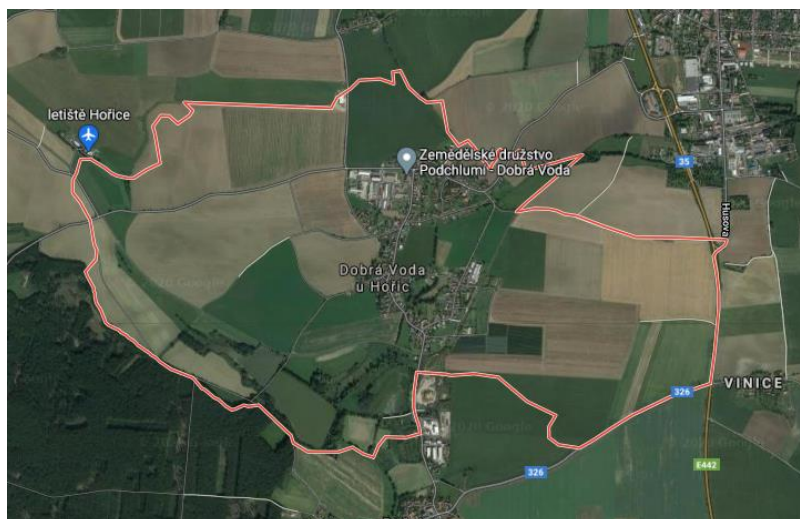
### **Bezpečnostní přeliv**

Bezpečnostní přelivy jsou určeny k ochraně nádrží před působením povodňových průtoků, musí se navrhovat na všech nádržích. Hlavní funkcí bezpečnostního přelivu je ochrana hráze před přelitím a poškozením. Taktéž plní funkci ochrany údolí před možnými škodami vzniklými přelitím nebo protržením hráze. Výhodou je, že nepotřebuje žádnou obsluhu. Na nich ani v jejich blízkosti nesmí být umístěny žádná zařízení. Podle výpočtu rozměrů můžeme navrhnout jeden z mnoha typů přelivů, jako je např. přímý, boční, kašnový, šachtový nebo kombinovaný přeliv (Vrána, Beran 2002).

## 6 CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ

### 6.1 Obecná charakteristika území

Řešené území se nachází v Královéhradeckém kraji v okrese Jičín. Obec leží v rovinaté zemědělské oblasti s výbornou kvalitou orné půdy v nadmořské výšce 278 m nad mořem. Obec Dobrá Voda u Hořic se nachází cca 5 km jihozápadně od Hořic. Zatímco na sever od Hořic nacházíme krajinu s rázem členité pahorkatiny, na jih, a tedy i v okolí Dobré Vody, se již dostáváme do rovin Polabí. Celková plocha katastrálního území je 582 ha (Dobrá voda u Hořic, 2020).



Obr. 11 Základní satelitní mapa obce Dobrá Voda u Hořic (fotografie z portálu mapy.cz)

### 6.2 Klimatické podmínky

#### 6.2.1 Dle Quitta

Zařazením oblasti dle Quitta spadá Dobrá Voda u Hořic do označení T2, je to oblast, která se vyznačuje dlouhým, teplým a suchým létem, má velmi krátké přechodné období s teplým až mírně teplým jarem i podzimem, krátkou, mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky (Klimatické regiony ČR (dle Quitt, 1971), 2005).

Tab. 1 Klimatické charakteristiky oblasti T2 (Quitt, 1971)

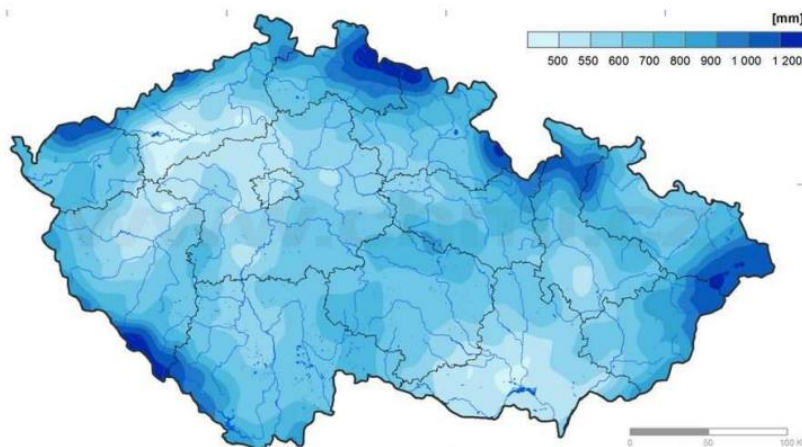
Charakteristiky	Klimatická oblast
Počet letních dnů	50 - 60
Počet dnů s průměrnou teplotou >10°C	160 - 170
Počet mrazových dnů	100 - 110
Počet ledových dnů	30 - 40
Průměrná teplota v lednu v °C	-2 až -3
Průměrná teplota v červenci v °C	18 - 19
Průměrná teplota v dubnu v °C	8 - 9
Průměrná teplota v říjnu v °C	7 - 9
Průměrný počet dnů se srážkami > 1 mm	90 - 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období v mm	350 - 400
Srážkový úhrn v zimním období v mm	200 - 300
Počet dnů se sněhovou přikrývkou	40 - 50
Počet dnů zamračených	120 - 140
Počet dnů jasných	40 - 50

## 6.2.2 Srážkové poměry

Tab. 2 dlouhodobý srážkový normál 1981-2010 [mm]

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
61	48	57	43	66	73	92	83	62	49	58	66	760

Z údajů v tabulce vyplývá, že nejvíc srážek spadne většinou v letním období (červen-srpen), nejméně pak v první čtvrtině roku (únor–duben) (CHMÚ).



Obr. 12 Průměrný roční úhrn srážek za období 1981–2010 (CHMÚ)

## 6.3 Hydrogeologické a hydrologické poměry

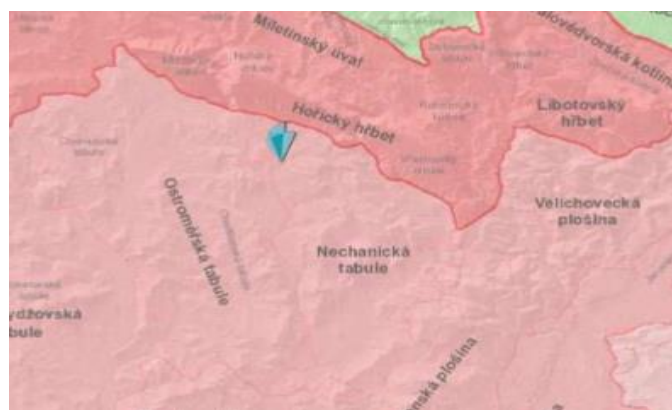
Na zkoumaném území se nachází hydrogeologické rajóny Hořicko-miletínská křída.

Dobrou Vodou u Hořic od severu k jihu protéká Chlumský potok, má dva přítoky, levostranný přítok názvem Chvalinský potok, z pravostranného přítoku je bezejmenný tok.

V k.ú. Dolní Dobrá Voda se nachází Dobrovodský rybník, který slouží mimo jiné i jako rybářský revír pro sportovní rybolov a Bašnický rybník sloužící pro odchov ryb (Analýza území, 2017).

## 6.4 Geomorfologické poměry

Zájmové území se nachází na povodí toku Bystřice. Leží převážně na slínovcích a vápnatých jílovcích středního turonu, svrchního turonu až coniacu, s pleistocenními říčními štěrky a písky, slabě rozčleněný erozně akumulací až erozně denudační povrch staropleistocenních a středopleistocenních říčních teras a v údolní nivy Bystřice se strukturně denudačními plošinami a sprašovými pokryvy a závějemi (Plachý, 2011).



Obr. 13 Geomorfologické jednotky ČR (analýza území, 2017)



## 6.5 Krajinový ráz

Podle Typologie České krajiny patří řešené území do dvou krajinových typů. Jihozápadní část náleží do krajinového typu 3M2, zbytek území se spadá do krajinového typu 3Z2.

Krajinový typ 3Z2 – kde číslice 3 značí vrcholně středověkou sídelní krajinu Hercynica, písmeno L lesní krajinu a číslice 13 krajinu výrazných svahů a skalnatých horských hřbetů.

Krajinový typ 3M2 – kde číslice 3 značí vrcholně středověkou sídelní krajinu Hercynica, písmeno M lesozemědělskou krajinu a číslice 2 krajinu pahorkatin a vrchovin Hercynika. Krajina vrcholně středověké kolonizace Hercynika (Typologie České krajiny, 2010).

### Současný stav krajiny

Zájmové území má převážně charakter otevřené, vzlněné a intenzivně obhospodařované zemědělské krajiny, s rozsáhlými bloky orné půdy. Bloky jsou navzájem oddělené většinou komunikacemi nebo doprovodnou dřevinou či bylinnou vegetací, dále vodními toky v regulovaných (uměle napřímených a různě zahloubených) korytech (Analýza území, 2017).

### Kód BPEJ

Zkratka BPEJ neboli bonitovaná půdně ekologická jednotka slouží pro zařazení typu půdy k jejímu pozdějšímu ocenění do kategorií podle klimatického regionu, a také pro její nejučelovější využití. BPEJ je charakterizována pětímístným kódem.

První číslo tohoto kódu, nám udává klimatický region, což je v našem případě číslo 3, můžeme území Dobrá Voda u Hořic zařadit do teplého, mírně vlhkého klimatického regionu. Typickým rysem této oblasti je průměrná roční teplota okolo 8–9 °C, průměrný úhrn srážek 550–650 mm, suma teplot nad 10 °C činí 2500–2800, pravděpodobnost suchých vegetačních období je 10–20 % a vláhová jistota ve vegetačním období je nad 4-7 (ekatalog BPEJ).



Obr. 14 BPEJ (zdroj ekatalog BPEJ)

### Dotčené BPEJ

- 3.09.00 – Zemědělské pozemky nad zájmovým územím  
Hnědozemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10%. Půdy hluboké v teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a vysoce produkční.
- 3.12.10 – Zemědělské pozemky nad zájmovým územím  
Hnědozemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a produkční.
- 3.14.00 – Zemědělské pozemky nad zájmovým územím  
Luvizemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a velmi produkční.

- 3.68.11 – Zemědělské pozemky nad zájmovým územím

Gleje převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné (ekatalog BPEJ).



Obr. 15 Mapa s bonitovanými půdně ekologickými jednotkami v zájmovém území (zdroj ekatalog BPEJ)

### Hlavní půdní jednotka

Hlavní půdní jednotka déle pak (HPJ) je druhá a třetí číslice z kódu BPEJ (viz obrázek 14). Může nabývat hodnot 01–78, ty se dále spojují ve 13 skupin půd, které jsou charakteristické podobnými vlastnostmi. HPJ je definována jako syntetická agronomizovaná jednotka charakterizovaná účelovým (agronomickým) seskupením genetických půdních typů, subtypů, půdotvorných substrátů, zrnitosti, hloubky půdy, půdním typem a stupněm hydromorfizmu a reliéfem území.

Do budoucna se uvažuje rozšíření počtu HPJ zejména o půdy člověkem ovlivněné či vytvořené (kultizemě a antropozemě), a půdy vzniklé v důsledku působení procesu vodní eroze (koluvizemě). V současné době je již hotov návrh nových HPJ, ale nejdříve je nutné stanovit možné dopady rozšíření počtu HPJ po zavedení do praxe, včetně ekonomických důsledků (Vlček a spol, 2017).

### CN křivky

Díky HPJ získáváme potřebná data abychom zjistili CN křivky, které pak použijeme jako vstupní data pro program DesQ.

Metoda CN křivek slouží k jednoduchému výpočtu odtoku při srážkoodtokové události na malých povodích. Srážka je rozdělena na ztráty a efektivní déšť podle čísla CN křivky, které reprezentuje vlastnosti povodí – půdní poměry, využití území (landuse) a předchozí vláhové podmínky. Použité vztahy jsou empirické, odvozené na základě analýzy dat z malých povodí v USA. Metoda se však uplatnila také v mnoha jiných zemích včetně České republiky.

Metoda byla vyvinuta americkou Službou na ochranu půd (Soilconservationsservice, metoda se označuje také jako SCS CN) (Metoda CN křivek, 2001).



## 6.6 Identifikace problému

Obyvatelé obce Dobrá Voda u Hořic se v období přívalových dešťů často setkávají s vážným problémem. Dobrou Vodou u Hořic protékají Chlumský, Chvalinský a Bašnický potok. Právě i z takových malých toků se v době přívalových dešťů můžou stát nebezpečné živly. V době přívalových dešťů se hovoří o tzv. bleskových povodních.

Prevence před povodněmi je nejdůležitějším krokem pro efektivní omezení následků povodní. Vydávají se přípravná opatření, která obsahují seznam záplavových území, povodňové plány, prohlídky, předpovědní a hlásné povodňové služby aj.

Program prevence se skládá z podprogramů, jejichž účelem je vylepšit protipovodňovou ochranu realizací konkrétních opatření v oblastech, které jsou ohroženy povodní.

Mezi tyto podprogramy patří:

- Výstavba a obnova poldrů, nádrží a hrází.
- Zvyšování průtočné kapacity vodních toků.
- Stanovení záplavových území.
- Studie odtokových poměrů.
- Vymezení rozsahu území ohrožených zvláštními povodněmi.

Z výše uvedených rizik, byla provedena studie na základě požadavků od obce. Studie stanovila 2 kritické profily na vodních tocích a 3 kritické body, které působí svým technickým řešením problémy v blízkém území. V řešeném území se nachází plocha vhodná k vymezení retenčního prostoru (návrh ÚP Dobrá voda u Hořic, 2011).



Obr. 16 Vymezení kritických profilů KP 01 a KP 02 (fotografie z portálu mapy.cz)

## 7 NÁVRH ŘEŠENÍ

Jak už jsem zmiňoval v předešlé kapitole, kde se zabývám identifikací problémů, je nezbytné provést v dané lokalitě protipovodňové opatření. Jelikož se jedná o protipovodňovou ochranu proti přívalovým deštům, byly vymezeny plochy pro dva poldry v kritických profílech KP 01 a KP 02, které zachytí povodňovou vlnu a celkovou ochranu proti povodním. Navržené suché nádrže mají přívalové vody zadržet, případně usměrňovat povrchový přítok z extravilánu a zajistit bezproblémové převedení do recipientu. Taktéž tyto návrhy mají zajistit ochranu majetku a občanů vesnice před případnými povodňovými situacemi.

### Kritický profil KP 01

Jedná se o lokalitu v severní části katastrálního území Horní Dobrá Voda, kde je z poměrně velké části tohoto území voda sváděna jak z Chlumského potoka, tak z jeho přítoku Libonického potoka. Tento vodní tok je převážně tvořený travinami s porosty orobince a rákosí a místy je tvořen náletovou zelení (vrba, olše). Při větších deštích zde dochází k akumulaci vody, což má za následek rozlévání koryta, které ohrožuje intravilán obce. Taktéž to vede ke zvýšení průtoku a následně působí škody níže na toku v intravilánu obce. Podle získaných dat a výsledků zde zpracovatel navrhnul variantu poldru, popřípadě jiného řešení (Analýza území, 2017).



Obr. 17 Pohled na území, kde je navrhovaný poldr (fotodokumentace Dobrá voda u Hořic)

### Kritický profil KP 02

Jedná se o lokalitu ve východní části k. ú. Horní Voda na Chvalinském potoce. Vodní koryto toku je taktéž zatravněno porosty orobince a rákosin, a místy náletovou zelení. Při větších deštích v tomto profilu dochází k akumulaci vody, která následně sytí níže, při soutoku, Chlumský potok a způsobuje vybřednutí toku v intravilánu obce. Taky se tu uvažuje se stavbou poldru, který by ztlumil případnou povodňovou vlnu. V nedaleké blízkosti se nachází železniční trať, kterou může celou stavbu omezovat (Analýza území, 2017).

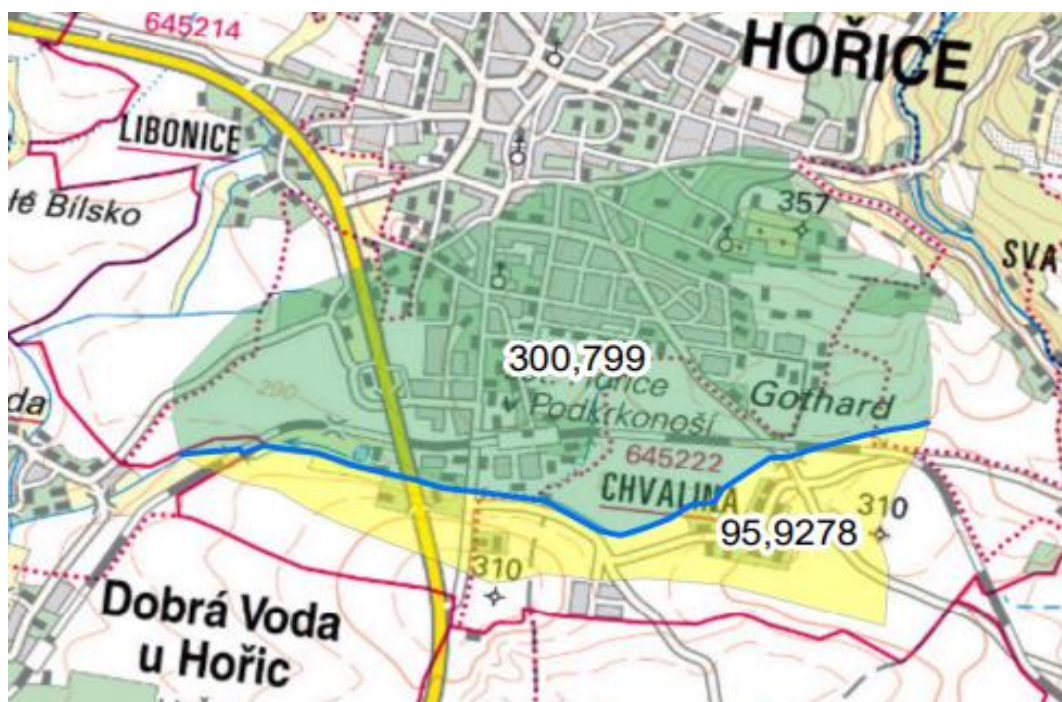


Obr. 18 Pohled na sběrnou plochu (fotodokumentace Dobrá voda u Hořic)

Ve své diplomové práci se budu věnovat KP 02, u kterého se, za pomoci dostupných softwarů, pokusím vhodně navrhnout retenční prostor suché nádrže sloužícího k protipovodňové ochraně. Následné výsledky vyhodnotím a porovnam.

### 7.1 Stanovení návrhových charakteristik povodňových vln

Povodňové vlny byly počítány s programem DesQ. Po otevření programu jsem vyplnil vstupní tabulku. Kde jsem zadával vstupní parametry. Nejdříve jsem si musel povodí rozdělit na dva svahy a pomocí programu ArGis jsem získal potřebná vstupní data, viz obrázky 19 a 20.



Obr. 19 Záplavové povodí KP 02



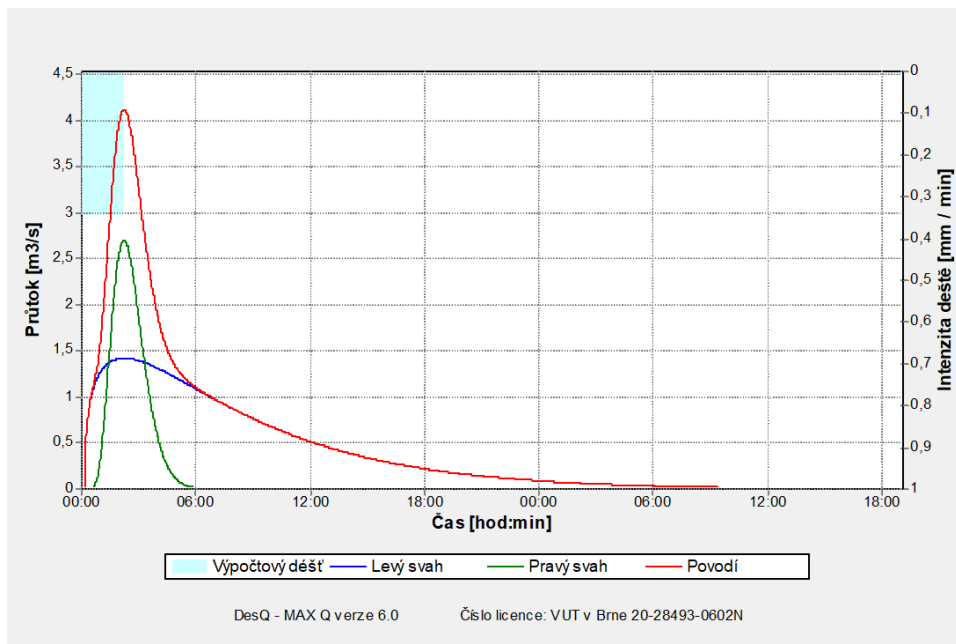
Obr. 20 Zadávání vstupních dat pro prostředí a kalibraci modelu

Po vyplnění vstupních údajů jsem provedl výpočet a získal výstupy.

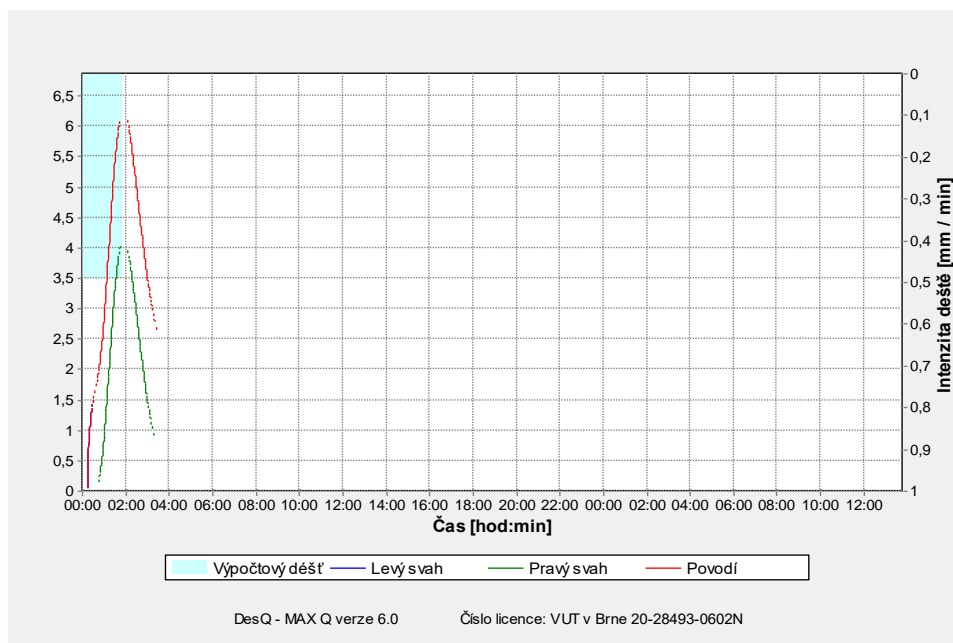
Tab. 3. Výstupy povodňových vln

N-leté maximální průtoky a objemy povodňových vln						
N	5	10	20	50	100	[roky]
$Q_N$	1.89	2.81	4.12	6.24	7.95	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$W_{PVT}$	51.6	62.9	76.2	93.1	105	
$W_{PVT,1d}$	85.6	101	115	130	143	

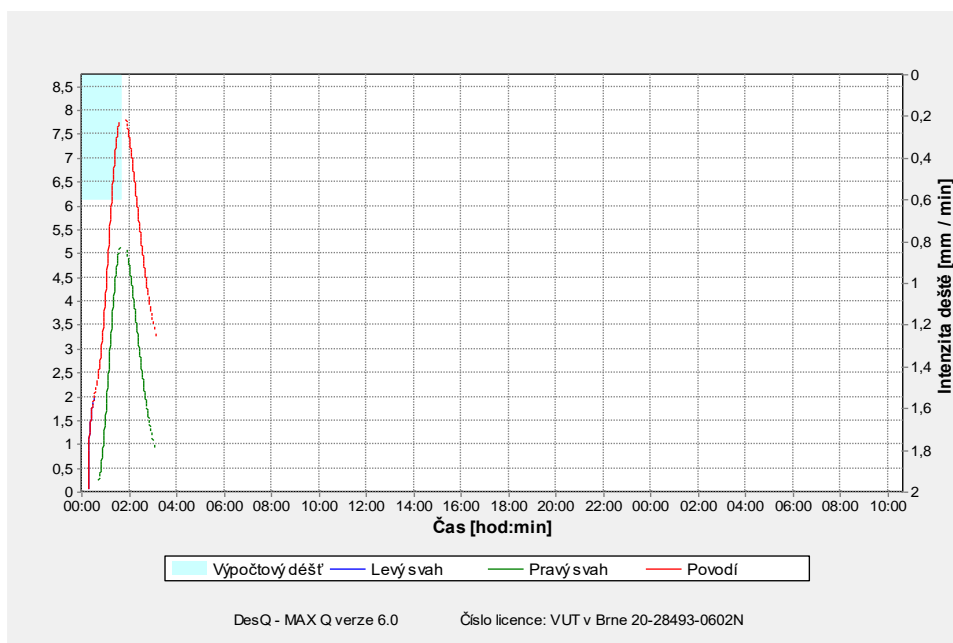
Pro mou diplomovou práci využijeme průtoky  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$ , viz obrázky 21-23.



Obr. 21 Výsledný hydrogram povodně  $Q_{20}$  při návrhovém dešti



**Obr. 22 Výsledný hydrogram povodně Q<sub>50</sub> při návrhovém dešti**



**Obr. 23 Výsledný hydrogram povodně Q<sub>100</sub> při návrhovém dešti**

Jak je patrné z obrázků všechny tři vypočtené průtoky mají parametry připomínající hydrogram pro horské toky viz kapitola 3.1. Povodňová vlna v Q<sub>20</sub> dosáhla maximálního průtoku 4,12 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Povodňová vlna v Q<sub>50</sub> dosáhla maximálního průtoku 6,24 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Povodňová vlna v Q<sub>100</sub> dosáhla maximálního průtoku 7,95 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

## 7.2 Stanovení neškodného odtoku

Pod uvažovaným kritickým profilem se nachází most s obdélníkovým propustkem o rozměrech 2,5\*1,5 m viz obrázek 24. Kde je zapotřebí vypočítat stanovení neškodného odtoku.



Obr. 24 Umístění propustku na mapě vlevo, detail zmiňovaného propustku

Pracoval jsem s těmito vstupními parametry, které jsem dostal zadané. Zbylé jsem si našel v hydraulických tabulkách (Jandora,2005):

kde:  $h$  je výška propustku 1,5 m

$b$  je šířka propustku 2,5 m

$\chi$  je 0,9 (součinitel výšky zúžení)

$\alpha$  je 1,0 (Coriolisovo číslo)

$\beta$  je 1,16 (součinitel zatopení vtoku)

$\beta$  je 1,00 (Boussinesqovo číslo)

$n$  je 0,015 (drsnostní součinitel dle Manninga pro beton)

Určení kritické hloubky  $h_k$ :

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha * Q^2}{g * b^2}} \quad (5)$$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{1,00 * 7,3^2}{9,81 * 2,5^2}}$$

$$\underline{h_k = 0,954 \text{ m}}$$

Hloubka zúženého průřezu  $h_c$ :

$$h_c = \chi * h_k \quad (6)$$

$$h_c = 0,9 * 0,954$$

$$\underline{h_c = 0,859 \text{ m}}$$

Rychlost ve zúžení  $v_c$ :

$$v_c = \frac{Q}{h_c * b} \quad (7)$$

$$v_c = \frac{7,3}{0,859 * 2,5}$$

$$\underline{v_c = 3,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}$$

Energie v tokovém průřezu E:

$$E = h_c + \frac{v_c^2}{2 * g * \varphi^2} \quad (8)$$

$$E = 0,859 + \frac{3,4^2}{2 * 9,81 * 0,82^2}$$

$$E = 1,735 \text{ m}$$

$$h = 1,735 \text{ m} < \beta * h_p = 1,16 * 1,5$$

$$\underline{1,735 \text{ m} < 1,740 \text{ m}}$$

**Splněno** (zaručení proudění o volné hladině)

Hloubka průřezu v propustku  $h_d$ :

$$h_d = \frac{h_c}{2} + (-1 + \sqrt{1 + \frac{8 * \beta * Q^2}{g * b^2 * h_c^3}}) \quad (9)$$

$$h_d = \frac{0,859}{2} + (-1 + \sqrt{1 + \frac{8 * 1,0 * 7,3^2}{g * 2,5^2 * 0,859^3}})$$

$$\underline{h_d = 1,057 \text{ m}}$$

Plocha průtočného profilu A:

$$A = b * h_d \quad (10)$$

$$A = 2,5 * 1,057$$

$$\underline{A = 2,641 \text{ m}^2}$$

Omočený obvod O:

$$O = b + 2 * h_d \quad (11)$$

$$O = 2,5 + 2 * 1,057$$

$$\underline{O = 4,613 \text{ m}}$$

Hydraulický poloměr R:

$$R = \frac{A}{O} \quad (12)$$

$$R = \frac{2,641}{4,613}$$

$$\underline{R = 0,573 \text{ m}}$$

Rychlost v:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (13)$$

$$v = \frac{7,3}{2,641}$$

$$\underline{v = 2,764 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}$$

Rychlostní součinitel C:

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} \quad (14)$$

$$C = \frac{1}{0,015} * 0,573^{1/6}$$

$$\underline{C = 60,75}$$

Sklon dna  $i_0$ :

$$i_0 = \frac{v^2}{c^2 * R} \quad (15)$$

$$i_0 = \frac{2,764^2}{60,75^2 * 0,573}$$

$$i_0 = 0,0036 < i_{stav} 0,02 \quad \text{Splněno (nedochází k zatopení spodní vodou)}$$

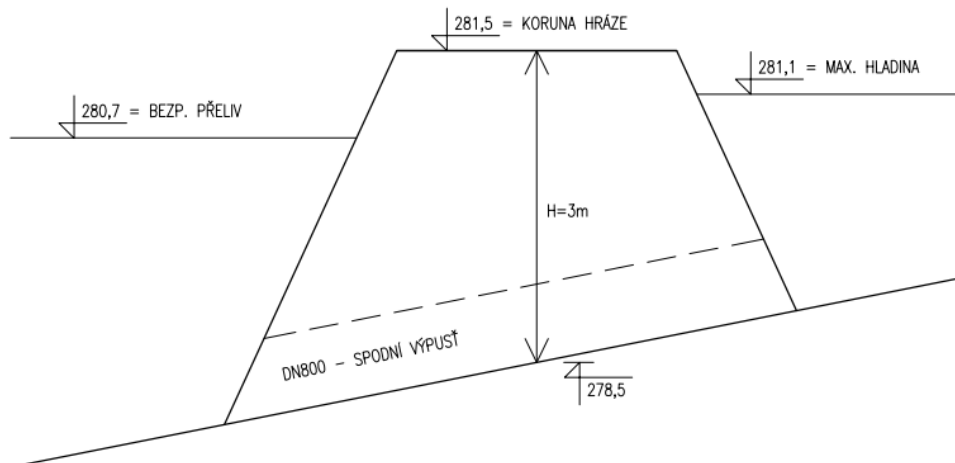
### 7.3 Parametry hráze a objektů

Hráz je uvažována průtočná a čelní. Výška hráze je stanovena na 3 m. Ve výšce 281,5 m nad mořem se nachází koruna hráze. Spodní výpust je uvažována kruhová, betonová o DN 800. Viz obrázek 26. Sklon potrubí je 2 %. Podle hydraulických tabulek je  $Q_{kap} 1,756 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .



Obr. 25 Schéma návrhu osy hráze





Obr. 26 Schéma parametrů uvažované hráze

### 7.3.1 Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv musí být součástí protékané nádrže k zajištění bezpečného odvádění vody z nádrže za povodí. (ČSN 75 2410, 2011). Přeliv bude přímý nehrazený a korunový, aby pro spolehlivou funkci nepotřeboval obsluhu. Navrhovaný přeliv musí bezpečně převést návrhový průtok  $Q_{100}$ , což je v mém případě  $7,95 \text{ m}^3/\text{s}$ . Přelivná hrana bude umístěna ve výšce maximální hladiny vody v nádrži, což je  $281,1 \text{ m n. m.}$

- Průtok přes korunu přelivu je dán vztahem:

$$Q = m * b * \sqrt[2]{2 * g * h \left(\frac{3}{2}\right)} [m^3.s - 1] \quad (16)$$

kde  $Q$  je návrhový kulminační průtok  $Q_{100}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  
 $m$  součinitel přepadu,  
 $b$  délka přelivné hrany (m),  
 $h$  výška přepadového paprsku při návrhovém průtoku (m),  
 $g$  gravitační zrychlení.

- Součinitel přepadu  $m$  bude vypočten podle vzorce (Jandora, Šulc 2007)

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) * \left[1 + 0,55 * \left(\frac{h}{h + s_1}\right)^2\right] \quad (17)$$

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{0,4}\right) * \left[1 + XX * \left(\frac{0,4}{0,4 + 2,6}\right)^2\right]$$

$$\underline{m = 0,418}$$

Součinitel přepadu vyšel  $0,418$ .

- Výpočet délky přelivné hrany

$$b = \frac{Q}{\sqrt[2]{2 * g * m * h^{1,5}}} \quad (18)$$

$$b = \frac{7,95}{\sqrt[2]{2 * 9,81 * 0,418 * 0,4^{1,5}}}$$

$$b = 16,97 \text{ m}$$

Vypočítaná šířka bezpečnostního přelivu je 16,97 m a návrh je 17,0 m.

- **Kontrolní výpočet přepadového průtoku**

$$Q = m * b * \sqrt[2]{2g} * h^{\frac{3}{2}} \quad (19)$$

kde  $m$  je součinitel přepadu

$b$  délka přelivné hrany (m),

$h$  výška přepadového paprsku při návrhovém průtoku (m),

$g$  gravitační zrychlení

$$Q_{BP} = 0,418 * 17 * \sqrt[2]{2 * 9,81} * 0,4^{\frac{3}{2}}$$

$$Q_{BP} = 7,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{BP} = 7,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} > Q_{100} = 7,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

## 7.4 Výpočet objemu zátopy nádrže

Objem vody mezi jednotlivými vrstevnicemi jsem vypočítal ze zaměřených ploch odpovídajících jednotlivým vrstevnicím, a tedy jednotlivým hloubkám.

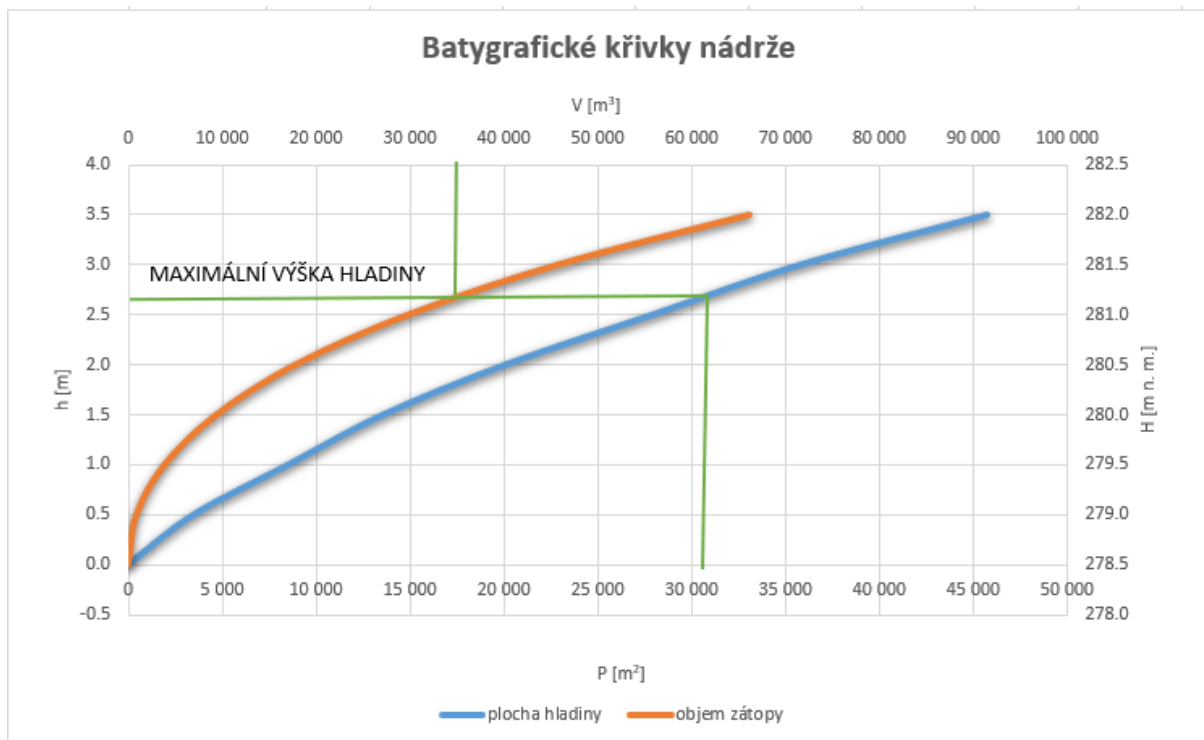
Postupným přičítáním dílčích objemů se zjišťuje objem vody v nádrži při naplnění po určité vrstevnici. K výpočtům jsem použil následující tabulku 4.

Tab. 4 Výpočet objemu nádrže

H [m.n.m.]	h [m]	$\Delta h$ [m]	Pd [m <sup>2</sup> ]	Ph [m <sup>2</sup> ]	P [m <sup>2</sup> ]	V [m <sup>3</sup> ]	$\Sigma V$ [m <sup>3</sup> ]
278.5	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
279.0	0.5	0.5	0.00	3 500.00	1 750.00	875.00	875.00
279.5	1.0	0.5	3 500.00	8 550.00	6 025.00	3 012.50	3 887.50
280.0	1.5	0.5	8 550.00	13 606.00	11 078.00	5 539.00	9 426.50
280.5	2.0	0.5	13 606.00	20 120.00	16 863.00	8 431.50	17 858.00
281.0	2.5	0.5	20 120.00	27 960.00	24 040.00	12 020.00	29 878.00
281.5	3.0	0.5	27 960.00	35 835.00	31 897.50	15 948.75	45 826.75
282.0	3.5	0.5	35 835.00	45 770.00	40 802.50	20 401.25	66 228.00

Na úrovni bezpečnostního přelivu 280,7 m n.m. činí objem nádrže 22 666 m<sup>3</sup> a při maximální hladině vody 281,1 m n.m. činí objem nádrže 33 067,75 m<sup>3</sup>.

Hodnoty získané z tabulky jsem zanesl do grafů a získal jsem tzv. batygrafické křivky nádrže, které nám ukazují charakteristiku nádrže. První křivka nám udává závislost zatopené plochy a druhá závislost objemu vody v nádrži na výšce vody v nádrži. Díky těmto křivkám získáváme tvar a velikost topografického útvaru, který je složen s hráze, boků a dna nádrže.



Obr. 27 Batygrafické křivky nádrže

## 7.5 Transformace povodňové vlny

Poldry bývají zpravidla dimenzovány na  $n$ -letý průtok  $Q_{100}$ , v mém případě jsem provedl transformaci povodňové vlny pro  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$ . Těmito výpočty zjistíme kontrolní parametry povodňové vlny, čímž se přesvědčíme o bezpečnosti vodního díla při povodních. Z výpočtů zjistíme potřebnou velikost akumulace dešťových vod, a za jak dlouho voda z nádrže odeče při požadovaném profilu výpustného zařízení. Povodňová vlna je charakteristická prudkým zvětšením a následným pozvolným poklesem vodních stavů.

Výsledkem zpracování transformace povodňové vlny je:

- Určení návrhové velikosti akumulace při požadovaném odtoku ze suché nádrže.
- Určení doby plnění retenčního prostoru suché nádrže.
- Zjištění doby potřebné pro vyprázdnění retenčního prostoru suché nádrže.

### Výpočet plnění nádrže

Byl proveden orientační výpočet pro plnění nádrže, vycházel jsem se vzorečku 20 se vstupními parametry (Starý, 2006):

$$Q(t) - O(t) = \frac{dV(t)}{dt} \quad (20)$$

kde  $Q(t)$  značí přítok vody do nádrže v čase  $t$

$O(t)$  značí odtok vody do nádrže v čase  $t$

$dV(t)/dt$  značí okamžitou změnu objemu vody v nádrži

- Provozní objem v hladině BP 22 666 m<sup>3</sup>.
- Přítok  $Q_{100}$  je 7,95 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, odtok z nádrže spodní výpustí 1,756 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.
- Celkový přítok je 7,95 - 1,756 = 6,194 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

$$T_{pl.} = \frac{V}{Q_{cel.}} \quad (21)$$

$$T_{pl.} = \frac{22\,666}{6,194}$$

$$T_{pl.} = \frac{3659,49}{3600} = 1,02 \text{ hod}$$

Nádrž se naplní do výšky BP za 1,02 hodin.

### Výpočet vyprázdnění nádrže

Byl proveden orientační výpočet pro prázdnění nádrže, vycházel jsem se vzorečku 20 se vstupními parametry:

Provozní objem v maximální hladině je 33067,75 m<sup>3</sup>.

Odtok z nádrže spodní výpustí 1,756 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

$$T_{pr.} = \frac{V}{Q_{odtok}} \tag{22}$$

$$T_{pr.} = \frac{33\,067,75}{1,756}$$

$$T_{pr.} = \frac{18831,29}{3600} = 5,23 \text{ hod}$$

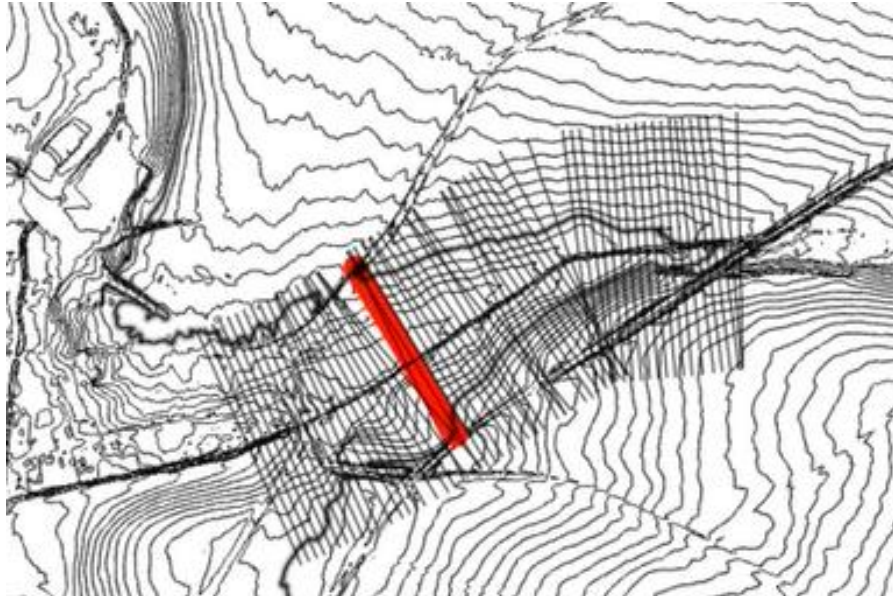
Nádrž se vyprázdní za 5,23 hodin.

## 8 VÝPOČTY

Pro mou diplomovou práci jsem použil k transformaci povodňových vln dva programy. První se jmenuje HEC – RAS, a druhý, který vytvořil můj vedoucí diplomové práce Ing. Stanislav Paseka, se jmenuje Transform\_wave.

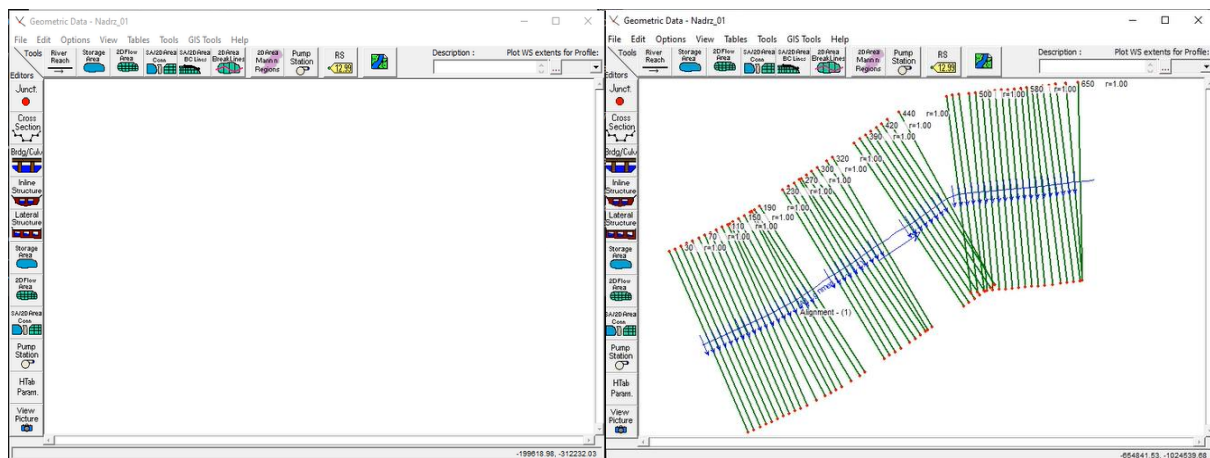
### 8.1.1 HEC – RAS

Nejdříve jsem si v programu Civil zakreslil osu toku a vytvořil podélné a příčné profily do digitálního modelu terénu. Vzniklé profily jsem následně vyexportoval do prostředí HEC-RAS, viz obrázek 28.



Obr. 28 Vytvořené profily a osa toku v programu Civil

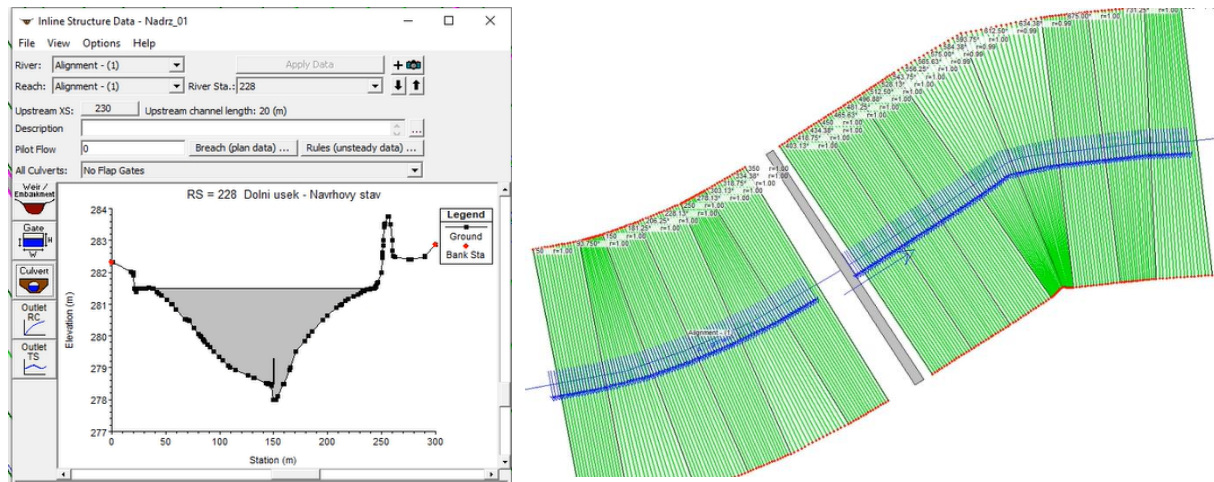
Tyto profily vložíme do okna s názvem Geometric Data viz obrázek 29. Pomocí záložky File, nalezneme odkaz Import Geometry a vybereme příslušné profily. Tyto profily byly zeditovány a zinterpolovány na velikost 0,5 m.



Obr. 29 Tabulka Geometric Data před vložením profilů a po vložení příslušných profilů

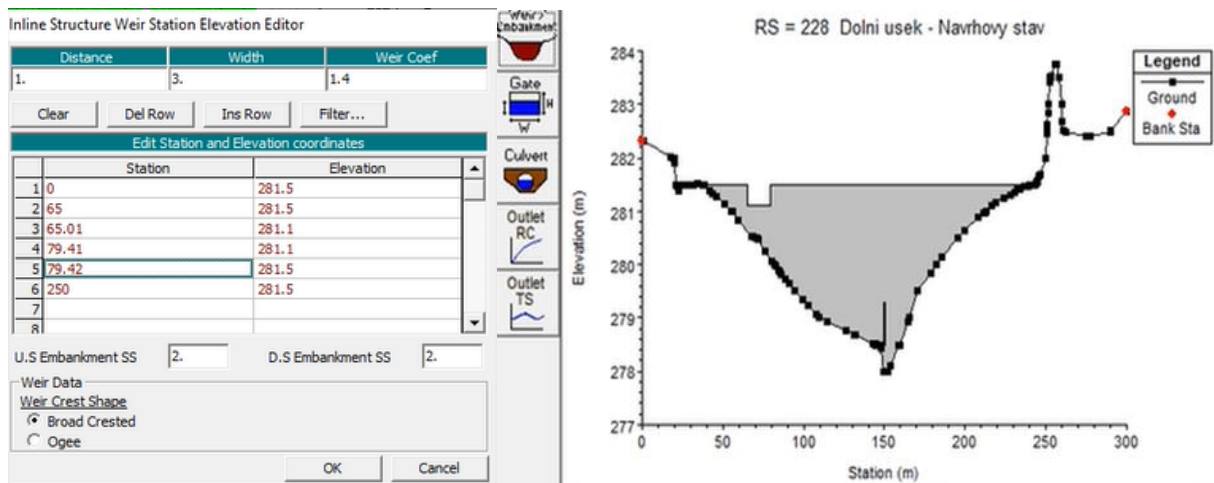
Do vložených profilů je dle návrhu umístěna hráz s propustkem a zadány příslušné návrhové parametry hráze do záložky Inline Structure data. Výška hráze je 3,0 m, propustek o

DN 800 a příslušným sklonem na tabulkovou kapacitu propustku s drsností 0,02, nátok ve výšce 278.5 a výtok 278.4 obrázek 30.



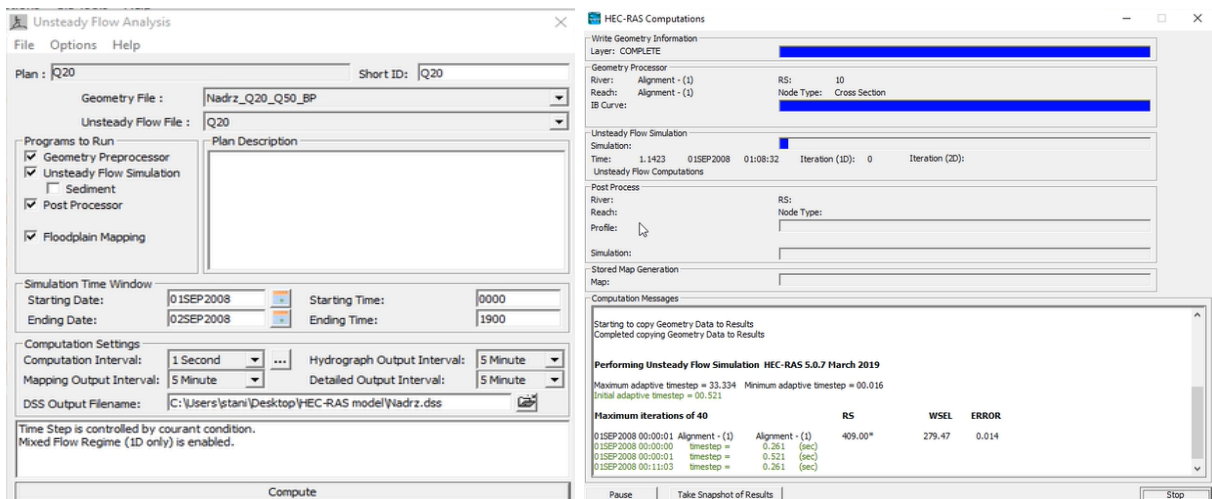
**Obr. 30 Příslušný profil s propustkem (vlevo) a situace profilu s umístěnou hrází (vpravo)**

Dále jsem nastavil dle parametrů získaných z kap. 7.3.1 bezpečnostní přeliv. Který jsem zadal do tabulky s názvem Inline Structure weir station elevation editor, viz obrázek 31. Tímto máme geometrii přichystanou.



**Obr. 31 Ukázková tabulka pro zadávání parametrů bezp. přelivu, detail bez. přelivu v příčném profilu**

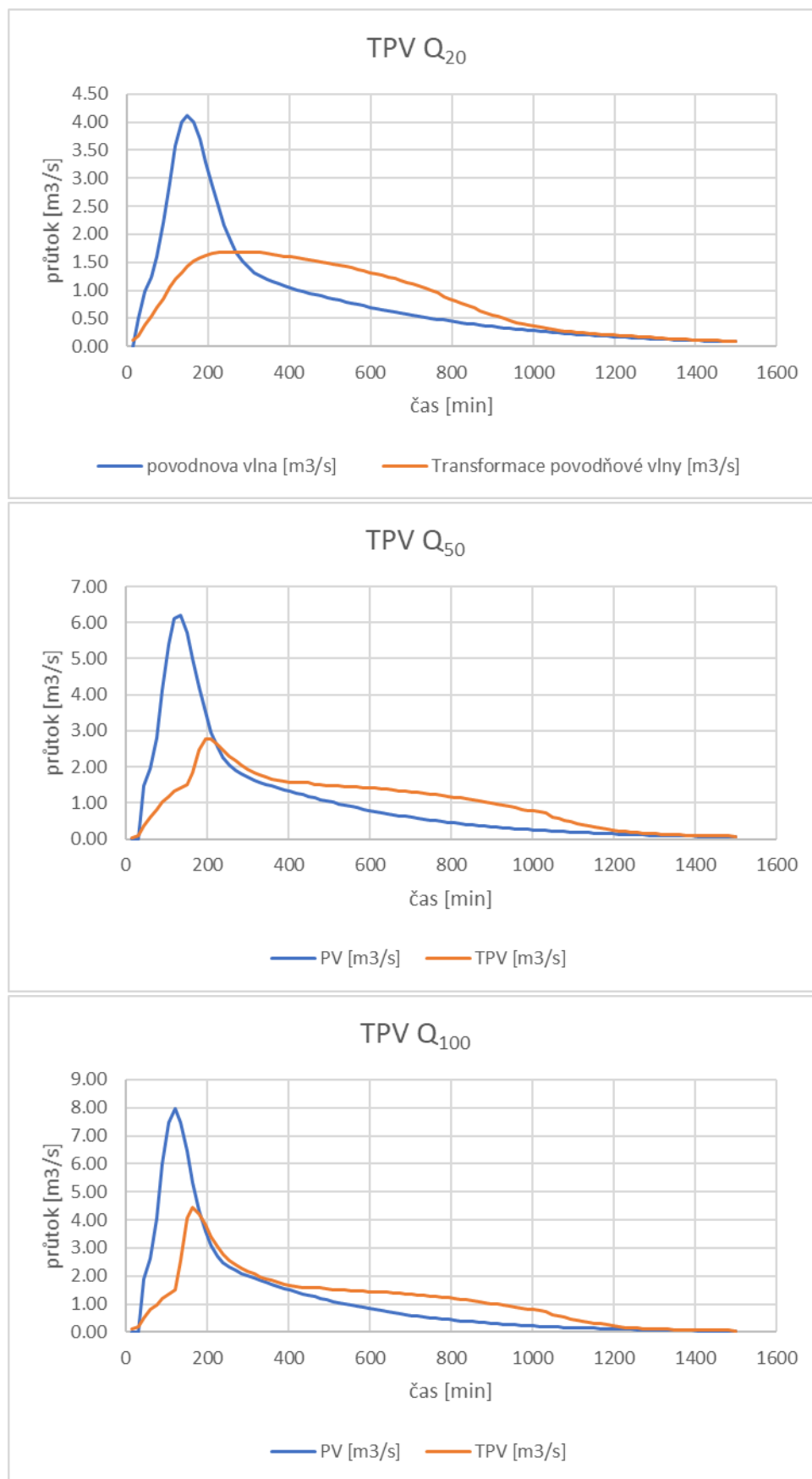
Získaná data z programu DesQ jsem vložil do příslušné tabulky pro vytvoření výpočtu. Takto si vytvořím výpočet pro každý návrhový průtok zvlášť. Poté jsem už zadal spuštění výsledků pro každé  $Q_n$  zvlášť v záložce s názvem Unsteady Flow Analysis, kde zadáme taky časový krok obrázek 32. Výpočet je proveden neustáleným způsobem, čas je řízený pomocí Kuranta.



**Obr. 32** poslední tabulka před výpočtem, kde zadáváme geometrii, průtoky a časové kroky, vpravo vidíme průběh výpočtů

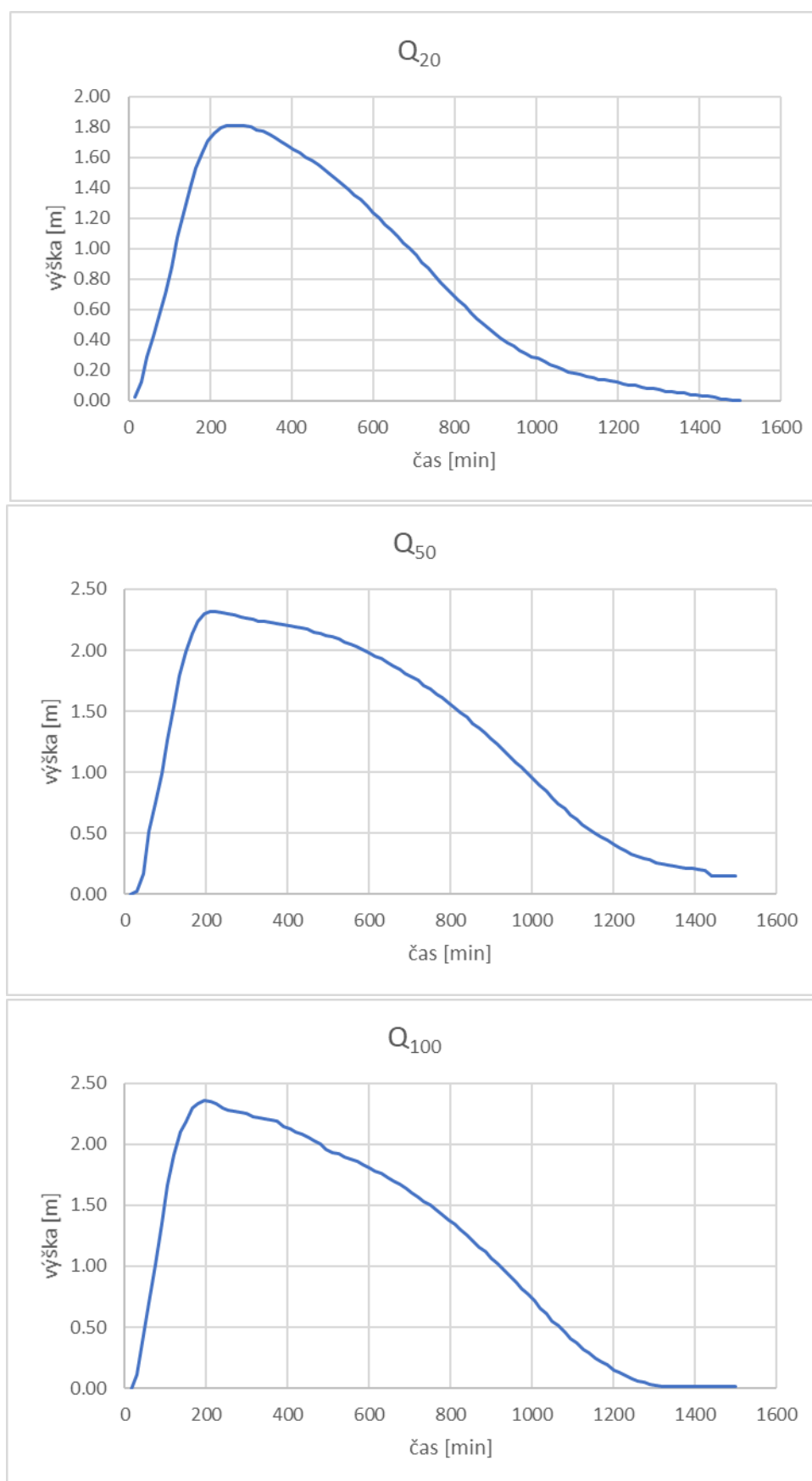
Pomocí jednotlivých funkcí se můžeme zobrazit výsledky i v 3D vizualizaci. Získané výsledky jsem zaznamenal do tabulky v excelu.





**Graf 1 Transformace povodňové vlny Q<sub>20</sub>, Q<sub>50</sub> a Q<sub>100</sub>**

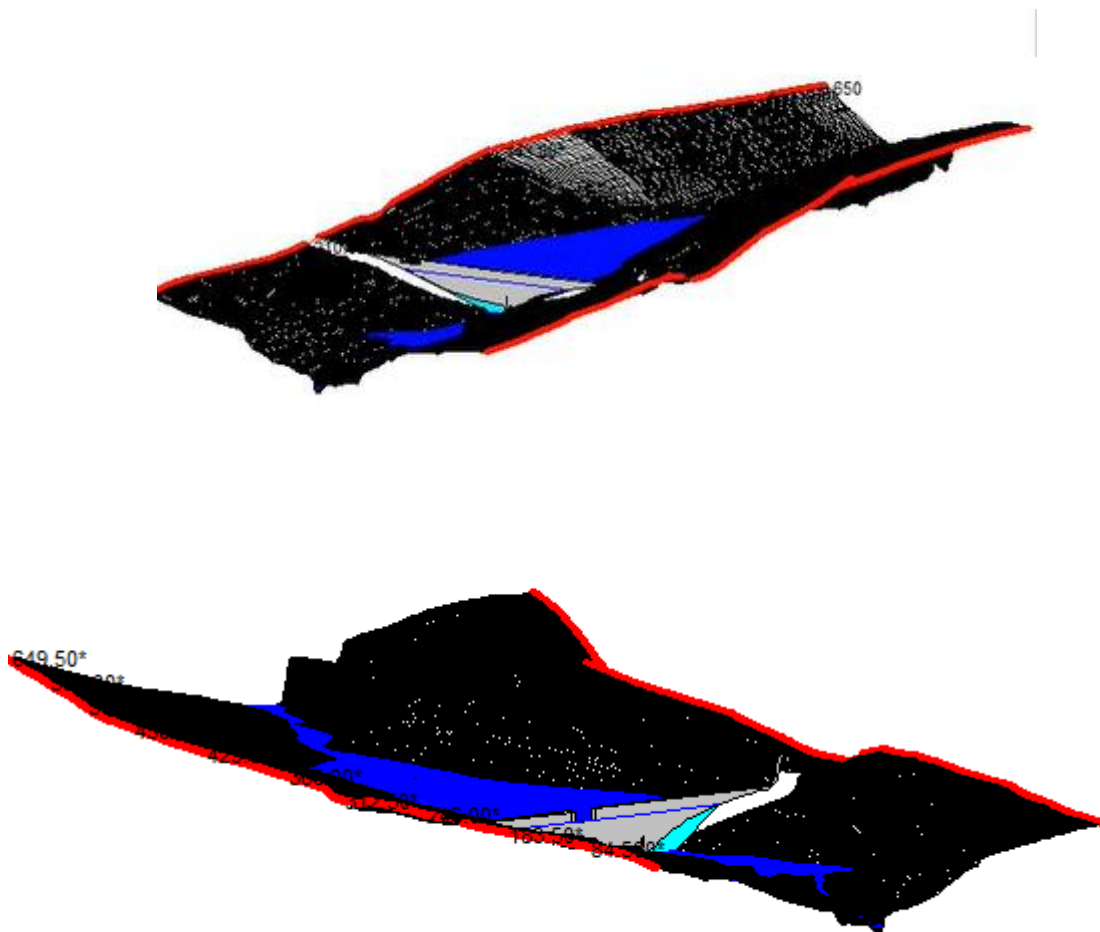




**Graf 2 Průběh výšek vody v nádrži pro  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$**

Z grafů 1 vyplývá, že všechny tři povodňové vlny se mi podařilo úspěšně z transformovat skoro o polovinu. Povodňová vlna v  $Q_{20}$  dosáhla maximálního průtoku  $4,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , zatím co transformovaná povodňová vlna dosáhla maximálního průtoku  $1,68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Povodňová vlna v  $Q_{50}$  dosáhla maximálního průtoku  $6,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , zatím co transformovaná povodňová vlna dosáhla maximálního průtoku  $2,76 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Povodňová vlna v  $Q_{100}$  dosáhla maximálního průtoku  $7,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , zatím co transformovaná povodňová vlna dosáhla maximálního průtoku  $4,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Na grafu 2 jsou zaznamenány průběhy výšek zadržené vody v nádrži v závislosti na čase. Maximální výška zadržené vody v průtoku  $Q_{20}$  dosáhla 1,81 metrů a BP nebyl překonán. Maximální výška zadržené vody v průtoku  $Q_{50}$  dosáhla 2,32 metrů V tomto případě už BP byl pokořen po 190 minutách. Maximální výška zadržené vody v průtoku  $Q_{100}$  dosáhla 2,40 metrů. I tomto případě byl BP překonán po 170 minutách.



Obr. 33 3D vizualizace povodí a poldrů při zatopeném prosotru návrhové povodně

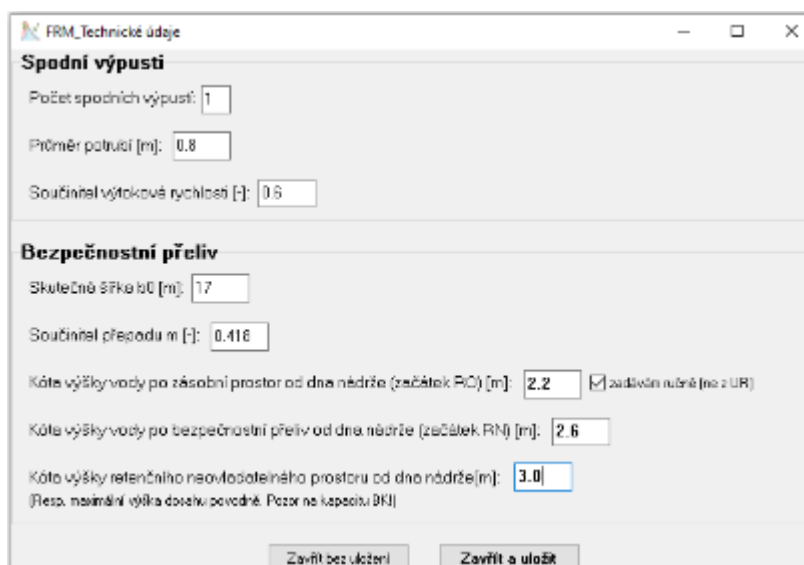
### 8.1.2 Transform\_wave

Nejdříve jsem upravil do požadované formy potřebné vstupy a nahrál je do patřičných složek softwaru pro správné načtení. Po otevření softwaru jsem zadal technické údaje obrázek 34.



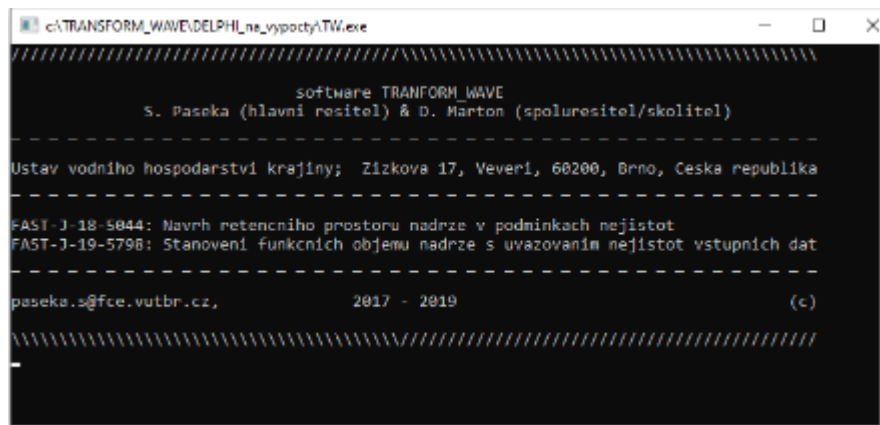
Obr. 34 Ukázka vstupu do programu Transform\_wave

Poté jsem zadal výpočet otevřené spodní výpustí bez manipulace obrázků 35, pro transformaci povodňové vlny. Startovací výška nádrže byla 0 a časový krok byl nastavený na 15 minut.



Obr. 35 Ukázka softwaru zadávání SV a BP

Poté jsem spustil výpočet, viz obrázek 36. Po skončení výpočtu se mi zobrazili výsledky, které jsem následně vygeneroval do Excelu.



```
c:\TRANSFORM_WAVE\DELPHI_ne_vypocty\TW.exe

software TRANSFORM_WAVE
S. Paseka (hlavní řešitel) & D. Marton (spolurešitel/skolitel)

-----
Ustav vodního hospodarství krajiny; Zizkova 17, Veverí, 60200, Brno, Ceska republika
-----

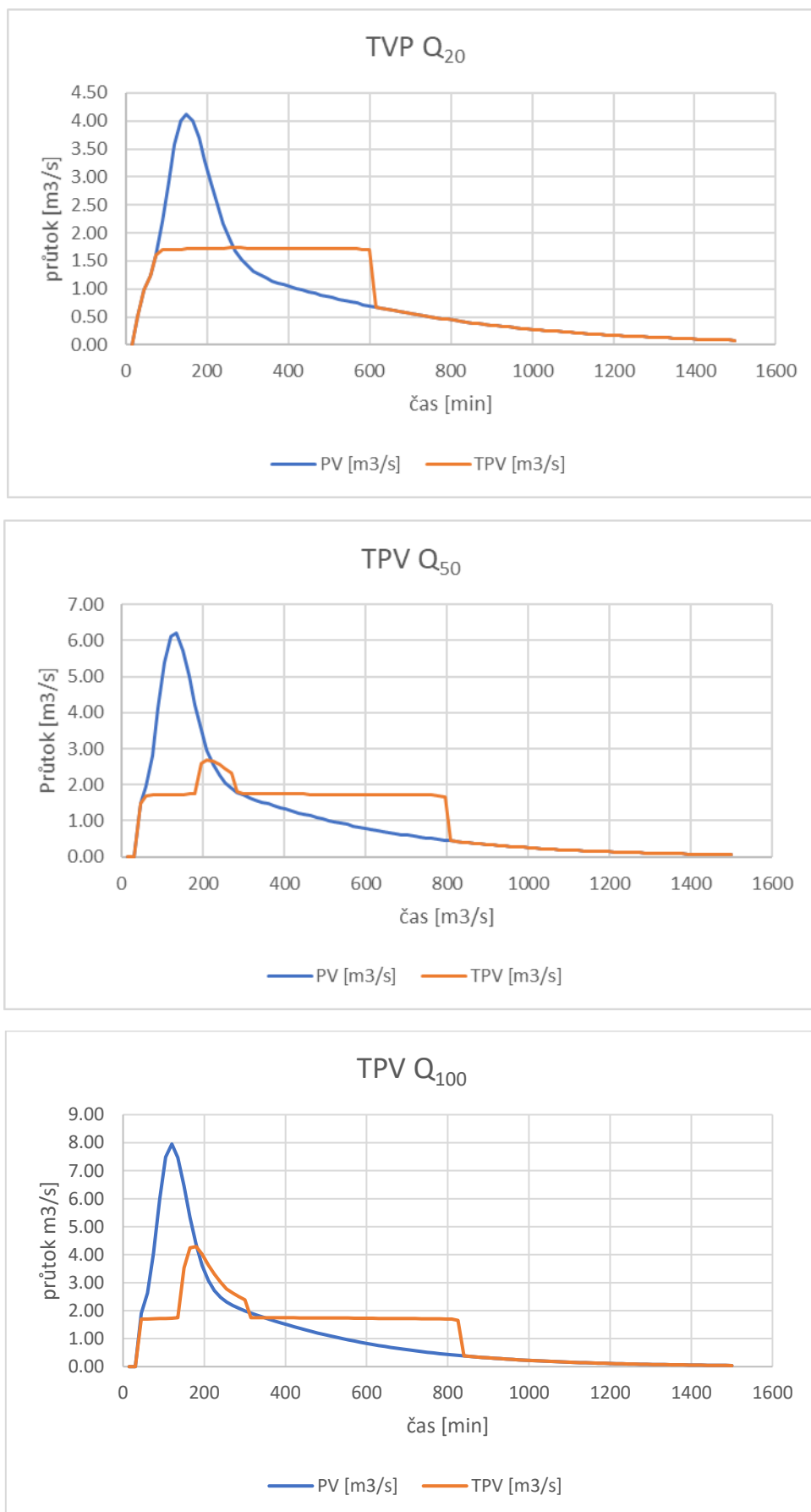
FAST-J-18-5844: Navrh retencního prostoru nadrze v podminkach nejistot
FAST-J-19-5798: Stanovení funkcních objemu nadrze s uvazovanim nejistot vstupních dat
-----

paseka.s@fce.vutbr.cz, 2017 - 2019 (c)

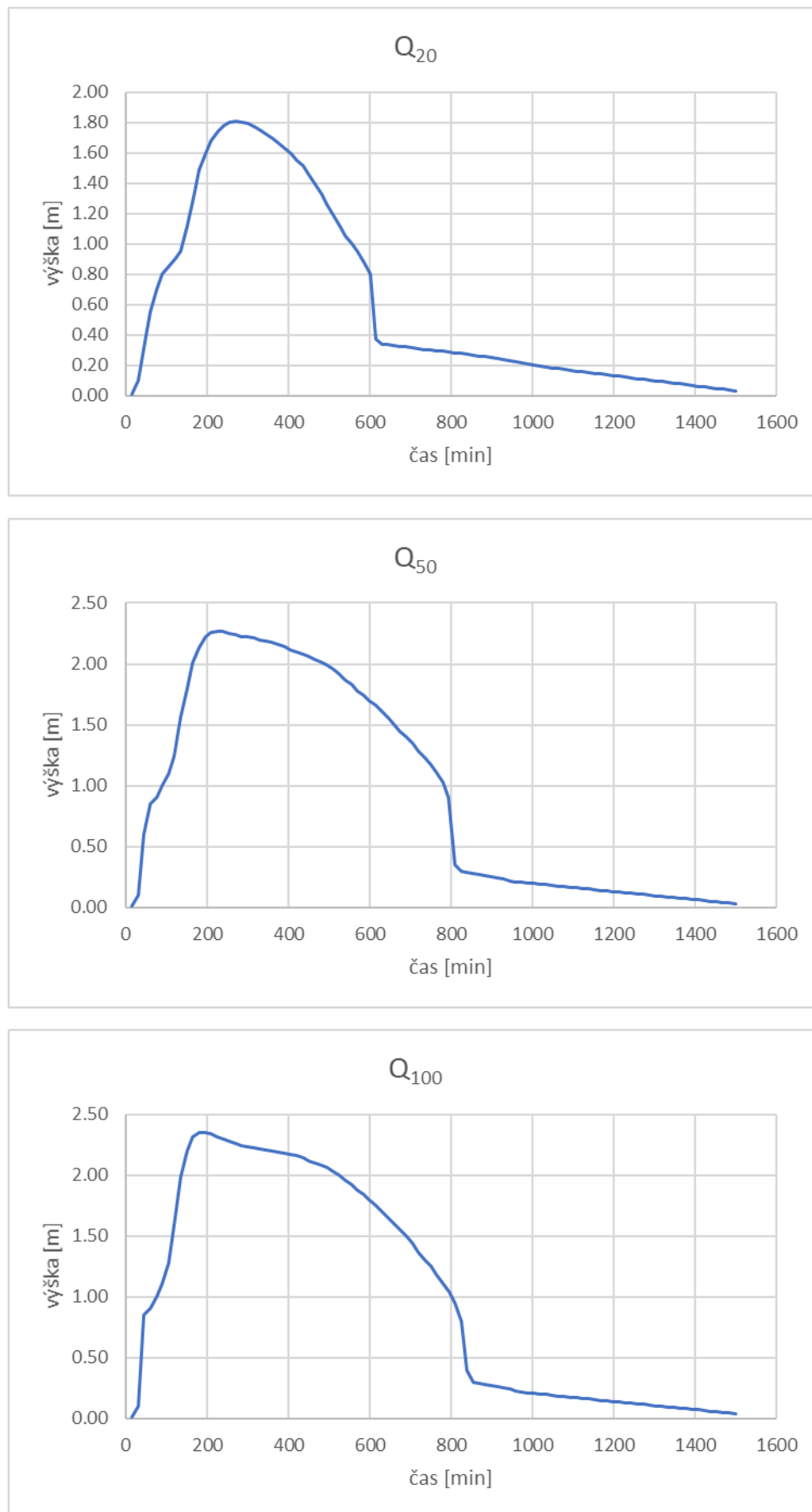
-----
```

Obr. 36 Ukázka výpočtu výsledku z prostředí Transform\_wave

Na grafu 3 a 4 jde vidět, že při průtok  $Q_{20}$  maximální hladina zadržené vody byla 1,81 m a nevystoupila na výšku BP, která je 2,2m. Tudíž veškerá voda proteče spodní výpustí o průtoku  $1,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  Průtoku  $Q_{50}$  se povodňová vlna snížila z  $6,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na  $2,68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Maximální hladina dosáhla výšky 2,27 m, přičemž BP byl překročen po 175 minutách. Průtoku  $Q_{100}$  se povodňová vlna snížila z  $7,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na  $4,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Maximální hladina dosáhla výšky 2,35 m, přičemž BP byl překročen po 150 minutách.



**Graf 3 Transformace povodňové vlny Q<sub>20</sub>, Q<sub>50</sub> a Q<sub>100</sub>**



Graf 4 Průběh výšek vody v nádrži pro  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$

### 8.1.3 Porovnání výsledků mezi softwary HEC-RAS a Transform wave

Tab. 5 Porovnání získaných výsledku

	Q <sub>20</sub>			Q <sub>50</sub>			Q <sub>100</sub>		
	max hladina [m]	max průtok [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	BP doba přelivu [min]	max hladina [m]	max průtok [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	BP doba přelivu [min]	max hladina [m]	max průtok [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	BP doba přelivu [min]
<b>HEC-RAS</b>	1.81	1.68	-	2.32	2.76	230	2.38	4.44	290
<b>Transform wave</b>	1.81	1.73	-	2.27	2.68	140	2.35	4.29	230

I když oba programy měly, stejné zadání, stejně jsou patrné rozdíly viz tabulka 5. Jen na první pohled je zřejmé, že maximální průtoky jsou odlišné o pár setin.

Vzniklé rozdíly můžou být dány odlišnými metodami, jelikož Hec-ras využíval metodu po úsecích zatím co Transform wave se řídil metodou Klemešovou. Za rozdíl považuji také to, že u programu jsem v každém průtoku měl odlišnou startovací výšku, z důvodu nestability oproti programu Transform wave, který měl stejnou startovací výšku pro všechny průtoky. Další rozdíl vnímám v tom, že ačkoliv byla spodní výpust celá zatopená, program Hec-ras s ní počítal, že ještě nebyla zcela naplněná. Až hladina dosáhla určité výšky potom už jí program vnímal jako celou zatopenou. Na rozdíl od programu Transform wave, který počítal ihned se zcela zatopenou spodní výpustí.

## 9 ZÁVĚR

Má práce se zabývala vhodným návrhem retenčního prostoru suché nádrže sloužící k protipovodňové ochraně v obci Dobrá Voda u Hořic. Základním rozhraním práce bylo využívání moderních softwaru Hec-ras a Transform wave. Prvním krokem bylo si určit povodňovou vlnu pro průtoky  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$  v programu DesQ. Dále pak jsem si vypočítal parametry hráze a bezpečnostní přeliv. Průtok  $Q_{BP} 7,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} > Q_{100} 7,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  podmínka byla splněna, BP převede průtok  $Q_{100}$ . Se získanými potřebnými daty jsem následně průtoky povodňové vlny porovnával v programech Hec-ras a Transform wave. Z kterých vyšlo, že transformace povodňové vlny  $Q_{100}$  byla  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} 7,95$  na  $4,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Tuto transformaci povodňové vlny převede propustek, který se nachází v blízkosti pod nádrží. Stanovení neškodného odtoku byla vypočítána  $Q_{ne} 7,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Objem povodňové vlny  $Q_{100}$  z programu DesQ byl vypočítaný na cca  $120\,000 \text{ m}^3$ , z toho vyplývá že  $\frac{1}{4}$  až  $\frac{1}{3}$  objemu se v nádrži zadrželo. Ze získaných výsledků, které všechny podmínky splnily, je návrh hráze možný, a jak vyplývá z práce, tak i potřebný.

Za zmínku taky patří, že v blízkosti posuzovaného poldru je poblíž kolejová trať. Vzdálenost od osy koleje po hráz činí 35 metrů, ochranné pásmo kolejiště je 3,2 metrů od osy kolejí.

Tyto výsledky, mohou sloužit zastupitelstvu obce jako podklady pro návrh parametrů hráze a pro přiblížení protipovodňové ochrany. Momentálně v Dobré Vodě probíhají pozemkové úpravy.

Zajistit ochranu měst a obcí před povodněmi se jeví jako složitá disciplína, jelikož povodně jsou živly a jejich výskyt v čase nelze předvídat. Mezi jednotlivými povodňovými událostmi mohou být velké časové prodlevy. Tyto časové prodlevy způsobují, že lidé zapomínají na devastující účinky povodní a preventivní ochrany zanedbají. Od návrhu protipovodňového opatření k jeho realizaci je dlouhá cesta. Stěžejním problémem může být zejména vykoupení pozemků, na nichž jsou protipovodňová opatření navržena. Aktuálně v obci Dobrá Voda u Hořic probíhá komplexní pozemková úprava. Tento nástroj je velmi vhodný právě pro vymezení parcel těchto a podobných staveb v krajině.

Důležité je si uvědomit, že i když je ochrana obce realizována, může být překonána. Proto se lpí na tom, aby se protipovodňová ochrana udělala komplexně a pokud by to šlo, aby v ní byla zahrnuta kombinace různých typů opatření, ať už jde o opatření zadržující vodu v krajině, opatření zpomalující odtok z krajiny, nebo opatření, která vodu bezpečně převádějí. Taktéž se musí brát zřetel na správnou funkčnost ochranných staveb, jelikož v opačném případě můžou být samotné, špatně navržené stavby, příčinou povodí.



## 10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VOTRUBA L., BROŽA V. Water management in reservoirs. Praha: ELSEVIER, 1989. 444 s. ISBN 0-444-98933-1.
- [2] VLČEK, V., JANDÁK a POSPÍŠILOVÁ. *Klíč k použití Bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ)* [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: [https://uapmv.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uapmv/doc/bpej\\_publicace.pdf](https://uapmv.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uapmv/doc/bpej_publicace.pdf). Mendelova univerzita v Brně.
- [3] Metoda CN křivek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda\\_CN\\_k%C5%99ivek](https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_CN_k%C5%99ivek)
- [4] Studie odtokových poměrů v k. ú. Dolní Dobrá Voda a Horní Dobrá Voda: *Analýza území*. Brno, 12/2017n. l.
- [5] Paseka, S. *Stanovení retenčního prostoru nádrže v podmínkách nejistot*. VODOHOSPODARSKY SPRAVODAJKA, 2019, roč. 62, č. 11-12(2019). [cit. 2021-01-09].
- [6] *Charakteristika povodní: Snižování povodňových škod na veřejných chráněných statcích (ŽP) a užívané půdě* [online]. STRIMA II [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://www.strima.sachsen.de/download/Charakteristika\\_povodni\\_final.pdf](https://www.strima.sachsen.de/download/Charakteristika_povodni_final.pdf)
- [7] Říční povodně. *Velkawoda* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.velkawoda.unas.cz/index.htm>
- [8] Starý, M. *Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně – Fakulta stavební, 2006, 120 s.
- [9] HUMLÍČEK, Aleš. *Ochrana obce Světnov před extravilánovou vodou* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-01-09]. Diplomová práce. VUT v Brně Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Rudolf Milerski, CSc.
- [10] US Army Corps of Engineers: HEC-RAS. Hydrologic Engineering Center [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [11] VRÁNA, Karel a Jan BERAN. *Rybníky a účelové nádrže*. Vyd. 3. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 9788001040027
- [12] *Povodně v ČR. ČHMÚ Povodně v ČR* [online]. Brno, 2018 [cit. 2021-01-13]. Dostupné z: <https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=62ad82b2e5d7495db90e933584251f33>
- [13] PELÁKOVÁ, M. a KAŠPÁREK, L. Největší povodně za 100 let. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2019, roč. 61, č. 5, str. 38–49. ISSN 0322-8916.
- [14] *DesQ – MaxQ* [online]. Praha, 2009 [cit. 2021-01-13]. Dostupné z: [http://hydro.upol.cz/?page\\_id=17](http://hydro.upol.cz/?page_id=17)
- [15] *Obecné informace. Dobrá voda u Hořic* [online]. 2020 [cit. 2021-01-13]. Dostupné z: <https://dobravodauhoric.cz/>

- [16] Klimatické regiony ČR (dle Quitt, 1971). *Svaz pro integrované systémy pěstování ovoce* [online]. Holovousice, 2005 [cit. 2021-01-13]. Dostupné z: <http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>
- [17] Typologie České krajiny. *Geoportál* [online]. CENIA, 2010 [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/home;jsessionid=60218C23C1E7E1672F8B10DFB221EBB9>
- [18] Metoda CN křivek. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda\\_CN\\_k%C5%99ivek](https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_CN_k%C5%99ivek)
- [19] KEMEL, Miroslav. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: ČVUT, FSv. 1991 [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/res/archive/191/024608.pdf?seek=1406791775>
- [20] DUNNE, Thomas a Richard D. BLACK. *Water Resources Research: Partial Area Contributions to Storm Runoff in a Small New England Watershed* [online]. 09 July 2010 [cit. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR006i005p01296>
- [21] TNV 75 2415. Suché nádrže. Praha: HYDROPROJEKT CZ a.s., 2006. 17 s
- [22] Dobrá voda u Hořic. *Mapy* [online]. Praha [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6036872&y=50.3491912&z=14&base=ophoto&source=muni&id=2369>
- [23] KEMEL, M. *Vliv koryta vodního toku a údolní nivy na velikost a průběh povodní* [online]. In: . [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/res/archive/191/024608.pdf?seek=1406791775>
- [24] Co je to povodeň. *Říční povodeň* [online]. 2010 [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <http://www.velkawoda.unas.cz/index.htm>
- [25] HANUŠKA, Zdeněk. *Povodně v České republice* [online]. 2015, (4), 36 [cit. 2021-01-15].
- [26] VIGLIONE A., ROGGER M.: Flood processes and hazards. *Hydrometeorological hazards, risk and disasters 2015*, p 3-33. ISBN 978-0-12-394846-5.
- [27] DOLEŽAL, P.; GOLÍK, P. a kol.. *Malé vodní a suché nádrže*. Praha: ČKAIT, 2011. 108 s. ISBN 978-80-86364-16-2.
- [28] ČAMROVÁ, JÍLKOVÁ a KOLEKTIV. *Povodně v území* [online]. Praha, 2006, , 182 [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: [http://www.ieep.cz/wp-content/uploads/2017/10/Camrova\\_2007\\_povodne.pdf](http://www.ieep.cz/wp-content/uploads/2017/10/Camrova_2007_povodne.pdf)
- [29] SOUKUP, M., HRÁDEK, F. *Optimální regulace povrchového odtoku z povodí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd Praha, 1999, 98 stran, ISSN 1211–3972*
- [30] ŘÍHA, SEDLÁČEK, SMRŽ, VESELÝ a ŽATECKÝ. *Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu* [online]. Praha, 2014, , 127 [cit. 2021-01-15].
- [31] PLACHÝ. *Návrh územního plánu Dobrá voda u Hořic*. Hradec Králové, 2011.

- [32] DAŇHELOVÁ, Lenka. Jak vznikají povodně a co se během nich děje. Arnika [online]. Praha, 2004 [cit. 2021-01-12]. Dostupné z: <https://arnika.org/jak-vznikaji-povodne-a-co-se-behem-nich->
- [33] Srážkové poměry. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
- [34] Seznam meteorologických extrémů v Česku 2020. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam\\_meteorologick%C3%BDch\\_extr%C3%A9m%C5%AF\\_v\\_%C4%8Cesku\\_2020](https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_meteorologick%C3%BDch_extr%C3%A9m%C5%AF_v_%C4%8Cesku_2020)
- [35] Co je to povodeň? *Sasko-Český management povodňových rizik II* [online]. 2020, , 2 [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: [http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/STRIMAI/STRIMA\\_II\\_k1\\_Co\\_je\\_to\\_povoden.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/STRIMAI/STRIMA_II_k1_Co_je_to_povoden.pdf)

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Klimatické charakteristiky oblasti T2 (Quitt, 1971) .....	22
Tab. 2 dlouhodobý srážkový normál 1981-2010 [mm].....	23
Tab. 3. Výstupy povodňových vln .....	29
Tab. 4 Výpočet objemu nádrže.....	35
Tab. 5 Porovnání získaných výsledku.....	48

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Transformace povodňové vlny $Q_{20}$ , $Q_{50}$ a $Q_{100}$ .....	41
Graf 2 Průběh výšek vody v nádrži pro $Q_{20}$ , $Q_{50}$ a $Q_{100}$ .....	42
Graf 3 Transformace povodňové vlny $Q_{20}$ , $Q_{50}$ a $Q_{100}$ .....	46
Graf 4 Průběh výšek vody v nádrži pro $Q_{20}$ , $Q_{50}$ a $Q_{100}$ .....	47

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Charakteristika povodňové vlny (Kemel M. 1991).....	7
Obr. 2 Vliv sklonu nivelety toku na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et all. 2004).....	8
Obr. 3 Vliv tvaru horského povodí na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et all. 2004) ....	8
Obr. 4 Vliv tvaru nížinného povodí na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et all. 2004) ...	9
Obr. 5 Vliv tvaru povodí na průběh povodňové vlny (Gordon N. D. et all. 2004).....	9
Obr. 6 procesy hydrologické bilance (STRIMA II, 2020) .....	10
Obr. 7. Členění protipovodňových opatření (Čamrová a spol., 2006) .....	13
Obr. 8 Transformace povodňové vlny v nádrži (STRIMA II, 2020) .....	14
Obr. 9 Princip konstrukce transformace povodňové vlny Klemešovou metodou (Paseka, 2019) .....	17
Obr. 10 Rozdělení prostorů v suché nádrži bez stálého nadržení a s prostorem stálého nadržení (ŘÍHA J. a kol., 2014).....	19
Obr. 11 Základní satelitní mapa obce Dobrá Voda u Hořic (fotografie z portálu mapy.cz)....	22
Obr. 12 Průměrný roční úhrn srážek za období 1981–2010 (CHMÚ).....	23
Obr. 13 Geomorfologické jednotky ČR (analýza území, 2017)) .....	23
Obr. 14 BPEJ (zdroj ekatalog BPEJ) .....	24
Obr. 15 Mapa s bonitovanými půdně ekologickými jednotkami v zájmovém území (zdroj ekatalog BPEJ).....	25
Obr. 16 Vymezení kritických profilů KP 01 a KP 02 (fotografie z portálu mapy.cz) .....	26
Obr. 17 Pohled na území, kde je navrhovaný polder (fotodokumentace Dobrá voda u Hořic). 27	
Obr. 18 Pohled na sběrnou plochu (fotodokumentace Dobrá voda u Hořic).....	28
Obr. 19 Záplavové povodí KP 02.....	28
Obr. 20 Zadávání vstupních dat pro prostředí a kalibraci modelu .....	29
Obr. 21 Výsledný hydrogram povodně $Q_{20}$ při návrhovém dešti.....	29
Obr. 22 Výsledný hydrogram povodně $Q_{50}$ při návrhovém dešti.....	30
Obr. 23 Výsledný hydrogram povodně $Q_{100}$ při návrhovém dešti .....	30
Obr. 24 Umístění propustku na mapě vlevo, detail zmiňovaného propustku .....	31
Obr. 25 Schéma návrhu osy hráze.....	33
Obr. 26 Schéma parametrů uvažované hráze .....	34
Obr. 27 Batygrafické křivky nádrže .....	36
Obr. 28 Vytvořené profily a osa toku v programu Civil .....	38
Obr. 29 Tabulka Geometric Data před vložením profilů a po vložení příslušných profilů .....	38
Obr. 30 Příslušný profil s propustkem (vlevo) a situace profilu s umístěnou hrází (vpravo) ..	39
Obr. 31 Ukázková tabulka pro zadávání parametrů bezp. přelivu, detail bez. přelivu v příčném profilu.....	39

---

Obr. 32 poslední tabulka před výpočtem, kde zadáváme geometrii, průtoky a časové kroky, vpravo vidíme průběh výpočtů.....	40
Obr. 33 3D vizualizace povodí a poldrů při zatopeném prosotru návrhové povodně.....	43
Obr. 34 Ukázka vstupu do programu Transform_wave .....	44
Obr. 35 Ukázka softwaru zadávání SV a BP .....	44
Obr. 36 Ukázka výpočtu výsledku z prostředí Transform_wave.....	45

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BP	bezpečnostní přeliv
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	Československá (Česká) státní norma
DN	jmenovitý vnitřní průměr potrubí
TNV	technická norma vodního hospodářství
VD	vodní dílo
VH	vodohospodářská
MŽP	ministerstvo životního prostředí
ÚSES	území systém ekologické stability
BPEJ	bonitovaná půdně ekologická jednotka
HPJ	hlavní půdní jednotka
PV	povodňová vlna
TPV	transformace povodňové vlny
$Q_n$	n-tý průtok
$Q_{ne}$	neškodný průtok
$Q_{max}$	maximální průtok
$Q_{20}$	dvacetiletý průtok
$Q_{50}$	padesátiletý průtok
$Q_{100}$	stoletý průtok
$q$	libovolný průtok
$H_z$	výška srážek
$H_E$	výška evapotranspirace
$H_o$	výška odtoku
R	změna zásob vody v povodí
t	čas
$\mu$	součinitel odtoku
S	plocha výtokového otvoru (spodních výpustí)
g	tíhové zrychlení
$h_i$	výška vody v nádrži
$H_i$	výška vody nad bezpečnostním přelivem
m	součinitel přepadu
b	šířka bezpečnostního přelivu
$Q\Delta t$	odtok vody z nádrže jako funkce času t
$\Delta V$	objem zadržené vody
$\Delta t$	časový interval
h	výška
$\chi$	součinitel výšky zúžení
$\alpha$	Coriolisovo číslo
$\beta$	součinitel zatopení vtoku
$\beta$	Boussinesqovo číslo
n	drsnostní součinitel dle Manninga pro beton
$h_k$	kritická hloubka
$h_c$	výška zúženého průřezu
$v_c$	rychlost ve zúžení
E	energie v tokovém průřezu

A	plocha průtočného profilu
O	omočený obvod
R	hydraulický poloměr
v	rychlost
C	rychlostní součinitel
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers – River Analysis System
$M_{\max}$	kóta maximální hladiny
$M_s$	kóta hladiny stálého nadržení
$M_{ro}$	kóta hladiny ovladatelného ochranného prostoru
$M_m$	kóta hladiny neovladatelného ochranného prostoru
$V_c$	objem celkového prostoru
$V_s$	objem prostoru stálého nadržení
$V_r$	objem ochranného prostoru
$V_{ro}$	objem ovladatelného ochranného prostoru
$V_m$	objem neovladatelného ochranného prostoru
STRIMA II	Sasko-Český management povodňových rizik II