

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ**

OBOR VODA V KRAJINĚ



**Fakulta životního
prostředí**

**URČENÍ ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ NA ZVOLENÉM ÚSEKU VODNÍHO TOKU
TŘEBŮVKA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph. D.

Diplomant: Bc. Kristýna Jurová

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Kristýna Jurová

Voda v krajině

Název práce

Určení záplavového území na zvoleném úseku vodního toku Třebůvka

Název anglicky

Determination of flood area on selected section on the watercourse Třebůvka

Cíle práce

V literární rešerši bude čtenáři objasněna problematika povodní, protipovodňového opatření, rozdělení povodní a hydrologických modelů.

Hlavním cílem je vytvořit dva hydrodynamické modely, kdy v prvním případě bude model sestaven na základě zdroje dat DMR 5G, v druhém případě bude model sestaven na základě zdroje dat DMR 5G a koryto bude zahlobeno pomocí softwaru CroSolver. Tyto podklady budou použity jako vstupní data do softwaru HEC- RAS, kde výstup budou tvořit mapy, které budou znázorňovat záplavové území při 5- leté, 20- leté, 50- leté a 100- leté záplavě. Následně budou výsledky těchto modelů porovnány.

Metodika

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Literární rešerše na téma povodňová problematika
4. Charakteristika povodí a zájmového úseku
5. Tvorba hydrodynamického modelu v prostředí HEC-RAS
6. Výsledky
7. Diskuze a závěr
8. Seznam použité literatury

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

HEC-RAS, arcGIS, CroSolver, průtok, povodně, záplavové území,

Doporučené zdroje informací

CÍLEK V., KENDER J., Voda v krajině: kniha o krajinných programech. Praha: Consult pro Ministerstvo životního prostředí a Agenturu ochrany přírody a krajiny ČR, 2004. ISBN 8090213278.

DAŇHELKA, J., ELLEDER, L., (2012): Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR. ČHMÚ Praha, ISBN 978- 80- 87577- 12- 7

DAŇHELOVÁ L., 1997: Život s povodněmi, Ostrava, ISBN 80-239-4053-8

ZÁKON 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění zákona č. 150/2011 Sb.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 ZS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 13. 11. 2018

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 11. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 12. 2018

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. Všechny literární a ostatní prameny použité při tvorbě práce jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 10. 12. 2018

.....

Bc. Kristýna Jurová

Poděkování:

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu své diplomové práce Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za jeho pomoc při vedení práce a osobám, které mi pomohly tuto práci zrealizovat.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá stanovením záplavového území na vybraném úseku vodního toku Třebůvka. V rámci teoretické části se pojednává nejen o problematice povodní, ale také o matematických modelech. Praktická část je zaměřena na vybraný úsek vodního toku Třebůvka, kde je podrobněji popsán postup sestavení dvou 1D hydrodynamických modelů a záplavových čar Q_5 , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} . Pro zpracování záplavových čar bylo využito programů HEC-RAS, nadstavby pro ArcGIS- HEC-GeoRAS a nástroje CroSolver, pomocí kterého bylo zahroubeno koryto druhého modelu. Výsledkem práce je porovnání dvou modelů společně s mapovými výstupy záplavových čar pro N- leté průtoky vybraného modelu.

Klíčová slova

HEC-RAS, arcGIS, CroSolver, průtok, povodně, záplavové území

Abstract

This diploma thesis deals with the determination of the floodplain in the selected section of the Třebůvka river water course. The theoretical part deals not only with the issue of floods but also with mathematical models. The practical part is focused on the selected part of the Třebůvka river water flow, where the construction procedure of two 1D hydrodynamic models and flood lines Q5, Q20, Q50, Q100 is described in details. Software tools HEC-RAS and ArcGIS-HEC-GeoRAS tools were used to elaborate the flood lines, and CroSolver tool was used to recess the bed of the second model. The result of the thesis is the comparison of two models together with flood-line map outputs for the N-year flows of the selected model.

Keyword

HEC-RAS, arcGIS, CroSolver, flow, floods, flood territory

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíle práce	12
3. Literární rešerše.....	13
3.1 Hydrologie	13
3.2 Historické aspekty	14
3.2.1 Historie povodní	15
3.3 Povodně.....	18
3.3.1 Faktory ovlivňující velikost a dobu trvání povodně	18
3.3.2 Typy povodní	19
3.3.3 Stupně povodňové aktivity	20
3.3.4 Prevence a ochrana před povodněmi.....	22
3.3.5 Protipovodňová opatření.....	24
3.3.6 Záplavová území.....	26
3.3.7 Povodňové plány	27
3.4 Matematické modely	28
3.4.1 Hydrologické modely	28
3.4.2 Hydrodynamické modely	33
3.4.3 Popis vybraných hydrodynamických modelů.....	35
4. Obecná charakteristika vodního toku Třebůvka	37
4.1 Hydrologie	39
4.2 Přírodní podmínky.....	39
4.3 Vymezení zájmového území	42
5. Metodika	42
5.1 Použité podklady a vstupní parametry	42
5.2 Tvorba dat pro hydrodynamické modelování.....	43
5.2.1 Tvorba digitálního modelu terénu prostřednictvím ArcGIS	43
5.2.2 Tvorba geometrie.....	44
5.2.3 Zhloubení koryta pomocí CroSolver ToolBox.....	47
5.2.4 Sestavení hydrodynamického modelu v HEC-RAS 5.0.3	49
5.3 Vizualizace výsledků záplavových ploch pomocí nadstavby HEC- GeoRAS0.....	55
6. Výsledky.....	56
7. Diskuze.....	60

8. Závěr	62
9. Požitá literatura a zdroje.....	63
10. Seznam obrázků a tabulek	68
11. Seznam příloh	69

Seznam použitých zkratek

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMR	Digitální model reliéfu
DMR 5G	Digitální model reliéfu 5. generace
DMT	Digitální model terénu
ArcGIS	Geoinformační systém
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
HEC-GeoRAS	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
TIN	Triangulated Irregular Network
LLS	Letecké laserové skenování
Q_N	N- letý průtok

1. Úvod

Voda vytváří základní podmínky pozemského života, je nejen nedílnou součástí člověka, ale i jeho činností. Voda má dokonalou schopnost se neustále obnovovat procesem, kterému se říká koloběh vody na zemi. Koloběh vody je možné rozdělit na dva druhy a to na velký a malý. Velký koloběh vody spočívá ve výměně vody mezi světovým oceánem a pevninou, přičemž malý koloběh vody se odehrává nad pevninou. Oceán hraje hlavní roli dodavatele sladké vody pro pevninu.

Voda se v přírodě může vyskytovat ve třech skupenstvích pevné, kapalné a plynné. Pevné skupenství tvoří především led a sníh, kapalné skupenství tvoří voda pozemní ve vodních tocích a oceánech a plynné je v podobě vzdušné vlhkosti, par a mlhy.

Voda nás může uspokojovat v základních podmínkách života, ale také nás může ohrožovat v podobě ničivých povodní. Povodně jsou přírodní jev, který se vyskytuje již od pradávna. Povodně mohou proměnit krajinu k nepoznání, a je třeba se bránit proti této ničivé pohromě. Povodně na území České republiky patří k nejčastějším přírodním katastrofám, které způsobují největší škody jak na majetku, tak i na ztrátě lidských životů. Důležitá je včasná informovanost a připravenost obyvatel.

Díky rozvoji informačních technologií v oblasti protipovodňového opatření dochází k významnému zlepšení situace.

2. Cíle práce

V literární rešerši bude čtenáři objasněna problematika povodní, protipovodňového opatření, rozdělení povodní a matematických modelů.

Hlavním cílem je vytvořit dva hydrodynamické modely, kdy v prvním případě bude model sestaven na základě dat DMR 5G, v druhém případě bude model sestaven na základě dat DMR 5G upravených pomocí softwaru CroSolver. Tyto podklady budou použity jako vstupní data do softwaru HEC- RAS, kde výstupy budou tvořit mapy, které budou znázorňovat záplavové území při 5 leté, 20 leté, 50 leté a 100 leté záplavě. Následně budou výsledky těchto modelů porovnány.

3. Literární rešerše

V této části je obecně popsána problematika povodní od jejich vzniku až po prevenci před nimi. Také se zde obecně pojednává o matematických modelech. Na konci literární rešerše je zmínka o dvou nejčastěji používaných hydrodynamických modelech, přičemž software HEC-RAS bude použit v této diplomové práci.

3.1 Hydrologie

Hydrologie patří mezi vědy o zemi. Existuje celá řada definic, které popisují činnost hydrologie. Nejčastější definicí hydrologie je však tato: hydrologie je věda, která se zabývá studii výskytu a koloběhu vody na Zemi. Hydrologie má však velmi široké pole působnosti a potkává se i s jinými vědami, které se zabývají krajinnou sférou. Hydrologie zahrnuje základní vědní disciplíny jako je matematika, statistika, chemie, fyzika, biologie, geologie, pedologie, klimatologie, meteorologie, vodní hospodářství apod. (Pavelková a Frajer, 2013).

Základní dělení hydrologie je následující:

- Hydrologie oceánů a moří
- Hydrologie pevniny

Hydrologii pevniny rozdělujeme:

- Hydrologie atmosféry
- Hydrologie tekoucích vod
- Hydrologie stojatých vod
- Hydrologie mokřadů a bažin
- Hydrologie půdy
- Hydrologie podzemních vod
- Hydrologie ledovců
- Hydrologie ledu a sněhu
- Hydrometrie

Důležitou součástí hydrologie je tzv. hydrologický cyklus. Hydrologický cyklus je možné si představit jako systém navzájem propojených nádrží (Máca, 2014). Hydrologický cyklus se rozděluje na malý a velký.

Globální hydrologický cyklus, tedy velký koloběh vody, spočívá ve výměně vody mezi oceánem a pevninou. Pevninský hydrologický cyklus, tedy malý koloběh vody, spočívá ve výměně vody jen v rámci pevniny = povodí (Hrádek a Kuřík, 2003).

3.2 Historické aspekty

Voda je nedílnou součástí našich životů. Již od pravěku je známo, že lidé svoje sídliště umísťovali v blízkosti vodních toků, ale zároveň byla potřeba sídliště chránit před nežádoucími účinky vodního toku, proto obyvatelstvo své příbytky umísťovalo na terasách nad vodním zdrojem. Ani po příchodu Slovanů (od 6. století n. l. do 13. století n. l.) na území Čech a Moravy se nic nezměnilo. Z archeologických výzkumů můžeme zjistit, že umístění sídlišť na terasách má různé podoby, od míst v bezprostředním kontaktu s vodotečí na nízkých terasách až po místa na vysokých terasách nad vodním tokem. Ke speciálním náleží umístování raně středověkých vsí na segmentu terasy v hrdle meandru či na náplavovém kuželu při výtoku vodního toku z průsmyku do údolní nivy. Častá jsou sídliště umístěná na soutoku vodního toku či u pramenné pánve. Také města, která ve 13. století hojně vznikala, jsou umístěna u vodotečí, nebylo města bez vodního toku. Vodní tok byl nejen důležitým zdrojem vody, ale i energetickou silou, dopravní tepnou a dodával i obživu středověkému člověku v podobě ryb. Počátkem 14. století pozorujeme, že vesnická sídla umístěná v blízkosti vodních toků často zanikala v důsledku povodní. Tato místa nebyla buď obnovena, nebo byla přemístěna do vyšších poloh. Na základě studie českých toků vyplynulo, že od 14. století zanikla veškerá sídla, která byla položena na terasách níž, než 5 metrů nad hladinou řek (Kotyza a kol., 1995).

Vodní tok vždy alespoň částečně lemoval město a spolu s hradbami se podílel na jeho obranném systému. Řeka byla v krajině bohatě meandrována s pravidelným rozlivem, než je tomu dnes. Vztah mezi člověkem a řekou se postupně měnil od pasivního až k aktivnímu využívání vodních zdrojů. Říční niva představuje prostředí, které nabízí lokalizační výhody, např. rovinný terén, sídelní prostor, dopravní využití, přístup k řece a lemování komunikačními a železničními trasami.

V povodí také docházelo k civilizačnímu tlaku v podobě odlesňování, které šlo k erozi, zanášení vodních toků a ke snižování jejich retenčních schopností. Tento proces probíhal ve 13. – 14. století a je typický pro tzv. kolonizaci.

Města se před tímto problémem bránila již ve středověku různými ochrannými opatřeními např. zvýšením úrovně terénu, zkapacitněním koryt a opouštěním ohrožených území.

Od první poloviny 19. století dochází ke změně v urbanistické struktuře měst. Změna souvisí s industrializací a rozvojem železniční dopravy, přechodem na uhlí jako hlavní palivo. Průmysl byl situován do uhelných pánví a hlavním faktorem byl přístup k železnici, také průmyslové podniky se budovaly v závislosti na železniční dopravě. Z důvodu velké zaměstnanosti se lidé usazovali do blízkosti průmyslových zón. Také se zvyšovala produktivita v odvětví zemědělství, a to šlo k opouštění obdělávání nejvyšších poloh, tento faktor také způsobil obrovský přesun obyvatelstva do údolí.

Důležitou krokem v rozšiřování měst bylo bourání obranného systému (hradeb), přičemž docházelo k zastavování volných pozemků v okolí hradeb. Tímto rozšiřováním města se řeka dostávala ze své obranné funkce do městské urbanistické struktury. U řek se vytvářela nová nábřeží a údolní niva byla postupně zastavována. Bohatě meandrováný tok s rozlivem se stal minulostí, nahradilo ho napřímené koryto. Nábřeží budované v 19. století se dochovala dodnes.

Toto období vedlo ke komplikacím mezi osídlením a povodňovými riziky. Povodňové události z konce 19. století a počátku 20. století šly pouze k dočasným opatřením.

Po druhé světové válce se nadále podporoval růst velkých měst, byly zastavovány zbylé plochy, které se nacházely v údolích, ale také v říčních nivách. Povodňová rizika se také zvýšila v důsledku nadměrných realizací pozemkových úprav, kdy se zcelovaly pozemky, rušily se meze a vytvářely se tak dokonalé podmínky pro erozi půdy.

V posledních letech dochází k suburbanizaci a dezurbanizaci, kde je zaznamenán přesun obyvatel z velkých měst do menších sídel. Z čehož částečně vyplývá vyhledávání nových míst mimo nivy vodních toků (Konvička, 2002).

3.2.1 Historie povodní

Záplavy se vyskytují už od pradávna, ale jejich dokumentace síly, příčin a důsledků se provádí až od 19. století (Konvička, 2002).

Historické povodně jsou všechny povodně, které se v dějinách udály. Ovšem ne všechny povodně jsou dohledatelné. První zmínkou o povodňové katastrofě na území České republiky můžeme vyčíst v Kosmově kronice (lat. org. *Chronica Boemorum*), jednalo se o povodeň na řece Vltavě v Praze v roce 1118.

Při rekonstrukci a dokumentaci historické povodně je nutné vyhledávat a využívat nejrůznějších podkladů a pramenů, které mohou poskytnout jakoukoliv informaci o povodni. Řadíme sem písemné prameny, materiální památky v terénu, značky na budovách a mostech, pomníky obětem a pamětní desky. Lze použít i historické mapy, rytiny, fotografie, obrazy, ale i tvary reliéfu, které se vytvářely povodní. Jedním z pramenů zpravodajství jsou staré tisky, které vydávali z příležitostí. První tisky, které se týkaly povodní, jsou psané německy a popisují přívalovou povodeň na řece Teplé, která postihla Karlovy Vary 9. května roku 1582. Nejstarší česky psaný tisk je dochovaný z 16. století, týká se dvou povodňových katastrof v Šumperku a Prostějově roku 1591 (Munzar a Ondráček, 2012). Zprávy o povodních můžeme také najít v nejstarších pramenech a to v kronikách. Od 11. století jsou dochovány všechny informace o povodních, které ohrozily Prahu. Od 12. století přibývá písemných informací o povodních na ostatních řekách jak českých, tak i moravských (Křížek a Engel, 2007). Kroniky hovoří o povodních na řece Vltavě a Labi v roce 1121, 1141, 1203, 1257, 1273, 1310, 1359, 1370, 1400, moravské kroniky potom hovoří o povodních velkého rozsahu v roce 1363, 1480, 1620, 1883, 1891 v povodí Moravy. Důležitým ukazatelem jsou zmíněné značky s letopisem o stavu vodní hladiny jak na mostech, domech tak i skalách. Například na řece Labi ukazují tyto značky vysoký stav vodní hladiny v letech 1363, 1501, 1582, 1784, 1845, 1862. Pravidelné měření vodní hladiny bylo zahájeno až roku 1801 v Praze (Konvička, 2002). Povodně v přírodních podmínkách střední Evropy jsou běžný jev s častým výskytem (Brázdil, 2005).

Historické záznamy vypráví většinou pouze o povodních, které způsobily velkou katastrofu nebo si vyžádaly lidské životy. Zpravidla se nemusí jednat vždy o velikou záplavu, ale může jít jen o lokální přívalovou povodeň na menším vodním toku, která natolik poškodila majetek nebo sídlo, že o tom byl veden záznam. Z historie se k těm nejznámějším řadí většinou povodně, které postihly velká města. V únoru 1342 podlehl při katastrofálních zimních povodních v Praze první kamenný Juditin most přes řeku Vltavu. Naposledy byl most protržen při ničivé letní povodni roku 1890 na počátku září (Munzar a Ondráček, 2012).

V 19. století je již velice přesný popis o výskytu povodní. Ke známým povodním 20. století řadíme jarní vltavskou povodeň v roce 1940, kdy důsledkem byly plující kusy ledu. Další známé povodně proběhly na řece Dunaj v roce 1965 a v Litomyšli roku 1984. Žádnou z těchto povodňových katastrof nelze srovnat s rozsahem a ničivou silou s povodní, která zasáhla Moravu v letech 1997. Tato povodeň postihla 536 měst a obcí (Konvička, 2002). Ve 21. století došlo k nejničivější povodni v novodobých dějinách v roce 2002, kdy průtok vody v době kulminace činil více než 5000 metrů krychlových za sekundu. Tato ničivá povodeň zasáhla 753 obcí (Povodí Vltavy, 2003). Příčinou povodně byly dvě tlakové níže, které postupovaly po trase z oblasti středomoří nad střední a východní Evropou, kde byl blokován jejich další postup. Srážky spojené s tlakovou níží pak vypadávaly několik dní nad stejným územím a v případě druhé epizody byly orograficky zesilovány na severních svazích českých pohoří. První vlna srážek rozvodnila menší vodní toky v povodí řeky Malše a v horní Vltavě, ale zejména došlo k nasycení velké části povodí řeky Vltavy a k zaplavení volných nádrží. Při druhé vlně nastala prudká odtoková reakce v celém povodí Vltavy, přičemž průtoky na mnoha místech překročily Q_{100} . Doba opakování se udává 200 až 500 let (Daňhelka a Elleder, 2012).

V roce 2006 se odehrála další ničivá povodeň. Tato povodeň byla způsobena rychlým táním sněhové pokrývky a výskytem dešťových srážek. Nejvíce postihla tato ničivá povodeň vodní tok Dyje, Moravu, Sázavu a Lužici s Nežárkou. V některých profilech byly zaznamenány doby opakování větší než 50 let, na dolní Moravě a Dyji dokonce více než 100 let (Štěpánková, 2006). Třetí největší povodeň za uplynulé období byla povodeň v roce 2013, která zasáhla Českou republiku ve třech epizodách. Nejsilnější byla první epizoda 1. - 2. června, při které došlo k rozvodnění menších i větších vodních toků v povodí Labe. Doba opakování přesahovala v některých profilech 100 let. V druhé epizodě 8. - 10. června se vyskytovaly srážky lokálního přivalového charakteru. Na větších vodních tocích však druhá epizoda nepřesáhla dobu opakování 5 letého průtoku. Třetí epizoda, která se odehrávala 24. - 25. června byla charakterizována vydatnými regionálními srážkami. Nejintenzivnější byly v povodí Doubravy a Chrudimky, kdy se doba opakování pohybovala v rozmezí 10 až 50 let. Škody za ničivé povodně se v roce 2013 vyšplhaly na 15,5 mld. Kč (Povodí Vltavy, 2013).

3.3 Povodně

Povodeň je přírodní jev, který vzniká přechodným zvýšením hladiny vodního toku nebo jiného povrchového zdroje, dochází tak k zaplavení území mimo koryto vodního toku. Tento jev způsobuje škody v blízkosti vodního toku a zdroje. Následky povodní mohou být ničivé až katastrofické, dochází k újmám na majetku, přírodě nebo také na lidských životech. Povodně způsobují přírodní jevy, jako je například prudký přívalový déšť, jehož intenzita je značně vysoká nebo vydatné dlouhotrvající dešťové srážky. K povodním dochází také v zimním období, kdy přichází k náhlému tání sněhu a chodu ledů. Půda je v zimním období promrzlá a povrchový odtok je velmi značný. Další příčinou povodní může být také porucha vodního díla, která vede až k havárii nebo také teroristický útok či vojenské napadení, tento případ vyžaduje nouzové řešení kritické situace (Daňhelová, 1997).

3.3.1 Faktory ovlivňující velikost a dobu trvání povodně

Na vzniku povodní se kromě srážek podílí řada dalších faktorů. Některé faktory jsou dány morfologií a tvarem povodí, rostlinným pokryvem či půdním pokryvem, hydrogeologickou strukturou a také způsobem hospodaření.

Tvar povodí je důležitý faktor, který ovlivňuje povodňovou vlnu a její případnou velikost. Při výskytu přívalových dešťů je ideální protáhlé povodí, protože z vedlejších toků se povodňová vlna dostává do hlavního toku postupně. Čím je povodí delší, tím má větší schopnost odolávat přívalovým srážkám. Velikost povodí ovlivňuje specifický odtok, který představuje množství vody, které odtéká z 1 km² povodí za jednotku času. Čím je povodí větší, tím je nižší odtok a tím je povodeň na hlavním toku menší. Intenzita a doba trvání srážek ovlivňuje především nástup povodně a velikost povodňové vlny.

Dalším důležitým faktorem, který zásadně člověk ovlivňuje zásadně je kapacita, stav a odolnost koryta vodního toku. Předtím než se voda z koryta vodního toku rozlije, musí vyplnit svůj objem koryta, proto je velmi důležitý stav, v jakém se koryto nachází. Velikost záplavového území také hraje důležitou roli při povodni a závisí na ní skutečnost, jak se řeka může rozlít do své nivy. Při rozlivu se část vody zdrží v nivě, a tak se zpomalí odtok a také se sníží velikost povodňové vlny. Povodním se vyhnout nemůžeme, ale můžeme snížit jejich škody.

Také nádrže a to jak přirozené, tak umělé mohou zachytit či zmenšit povodňovou vlnu (Daňhelová, 1997).

Za důležité faktory vzniku povodní lze považovat:

- Četnost srážek, intenzita srážek, zimní obleva, chod ledů
- Nasycení půd
- Kapacita koryta a jeho okolí
- Aktuální fyzický stav povodí
- Retenční schopnost vodních děl (rybníků, poldrů, nádrží)
- Retenční schopnost krajiny
- Absence protipovodňového opatření

3.3.2 Typy povodní

Po celém světě se povodně objevují v různých podobách. Česká republika se nachází v oblasti mírného klimatického pásma s pravidelným cyklem srážek a tepla. Na podnebí v České republice má značný vliv nadmořská výška a reliéf. Nejvyšší úhrn srážek připadá na měsíce květen a srpen, méně srážek se vyskytuje v měsíci únor a březen. V letním období se velmi často objevují krátkodobé extrémní srážky bouřkového typu. Úhrn srážek stoupá obecně se zvyšující se nadmořskou výškou.

- **Přirozená povodeň**

Přirozená povodeň je způsobená přírodními jevy. Pod povodní se rozumí jev přechodného výrazného zvýšení hladiny vodního toku či jiných povrchových vod, při kterém voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může tak způsobovat velké škody až přírodní katastrofy.

Přirozené povodně dle vzniku můžeme rozdělit na:

- **zimní a jarní povodně způsobené táním sněhové pokrývky-** mohou být kombinovány s dešťovými srážkami. Tento typ povodní se nejvíce vyskytuje na podhorských tocích, ale vyskytují se také na nížinných úsecích velkých toků.

- **letní povodně způsobené dlouhotrvajícími regionálními dešti-** vyskytují se na všech vodních tocích.
- **letní povodně způsobené krátkodobými srážkami velké intenzity-** zasahují malá území. Vyskytují se kdekoli na menších územích vodních toků, katastrofální důsledky má na sklonitých vějířovitých povodních.
- **zimní povodně situace způsobené ledovými jevy-** i při menších průtocích. Vznikají po dlouhotrvajícím období mrazů, kdy následné rychlé oteplení může způsobit odchod ledu. Objevují se v úsecích náchylných k vytváření ledových nápěchů (ucpání profilu nahromaděním ledu) a ledových zácp.

O přirozených povodních rozhodují hydrologické příčinné jevy na našem území České republiky, mohou nás zastihnout také povodně ze zahraničí, které připadají k úvaze pouze na řece Ohři a Dyji.

- **Zvláštní povodeň**

Zvláštní povodeň je způsobená umělými jevy. Ke zvláštním povodním dochází například při stavbě nebo provozu vodního díla. U zvláštních povodní jsou hlavním zdrojem vodní díla, které mají nedostatečnou kapacitu přelivných objektů nebo jsou ve špatném technickém stavu se zanedbanou údržbou. V České republice se nachází 20 až 30 % z celkové sumy hrází malých vodních nádrží, které nesplňují technickobezpečnostní dohled pro převedení 50 letých a 100 letých povodní. Pokud zvláštní povodně přesahují hodnoty 100 leté povodně a rozsah území převyšuje vyhrazené záplavové území, musí být tato situace řešena odděleně od přirozených povodní. Tato situace vyžaduje specifický průběh povodňové vlny a také jiný způsob varování za předpokladu evakuace obyvatel. Tyto situace vyžadují krizový plán. (Kovář, 2004)

3.3.3 Stupně povodňové aktivity

Pod stupněm povodňové aktivity se rozumí míra nebezpečí povodňového ohrožení pro určité území nebo nemovitost. Stupně povodňových aktivit jsou dány limity vodních stavů a průtoků na vodních tocích v příslušném povodňovém plánu. Stupně jsou hlášeny povodňovou službou a stanovují se v každém hlášeném profilu vodního toku. Rozsah opatření před povodněmi se řídí nebezpečím či vývojem

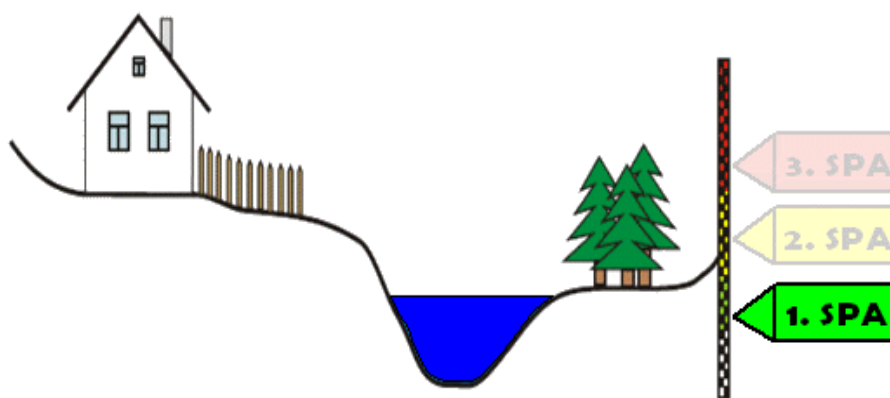
povodňové situace, která se vyjadřuje danými třemi stupni povodňové aktivity (SPA). Stupně povodňové aktivity jsou vyjádřeny v centimetrech (cm) vodního stavu. (Zákon č. 254/2011 Sb.)

Rozlišují se tři stupně povodňové aktivity:

- 1. stupeň povodňové aktivity (*stav bdělosti*)

Nastává při nebezpečí přirozené povodně a zaniká, pominou-li příčiny takového nebezpečí. Tento stav nastává rovněž vydáním výstražné informace předpovědní povodňové služby. Vyžaduje věnovat zvýšenou pozornost vodnímu toku nebo jinému zdroji povodňového nebezpečí, zahajuje činnost hlásná a hlídková služba; na vodních dílech nastává tento stav při dosažení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností z hlediska bezpečnosti díla nebo při zjištění mimořádných okolností, jež by mohly vést ke vzniku zvláštní povodně. (Zákon. č. 254/2001 Sb.)

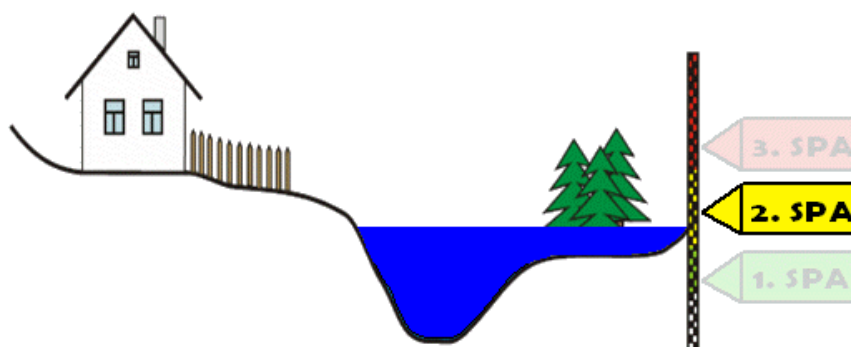
Obr. 1. 1 stupeň povodňové aktivity (Zdroj: portal.chmi.cz)



- 2. stupeň povodňové aktivity (*stav pohotovosti*)

Vyhlašuje se, když nebezpečí přirozené povodně přerůstá v povodeň, ale nedochází k větším rozlivům a škodám mimo koryto. Vyhlašuje se také při překročení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním díle z hlediska jeho bezpečnosti. Aktivizují se povodňové orgány a další účastníci ochrany před povodněmi, uvádějí se do pohotovosti prostředky na zabezpečovací práce, provádějí se opatření ke zmírnění průběhu povodně podle povodňového plánu. (Zákon. č. 254/2001 Sb.).

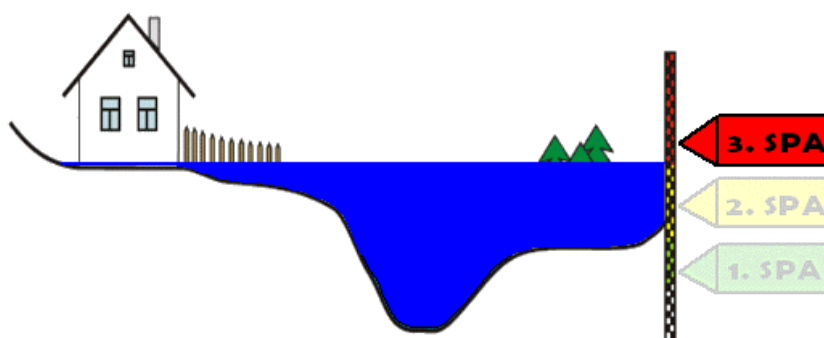
Obr. 2. 2 Stupeň povodňové aktivity (Zdroj: portal.chmi.cz)



- 3. stupeň povodňové aktivity (*stav ohrožení*)

Vyhlašuje při bezprostředním nebezpečí nebo vzniku škod většího rozsahu, ohrožení životů a majetku v záplavovém území. Vyhlašuje se také při dosažení kritických hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním díle z hlediska jeho bezpečnosti současně se zahájením nouzových opatření. Provádějí se povodňové zabezpečovací práce podle povodňových plánů a podle potřeby záchranné práce nebo evakuace (Zákon. č. 254/2001 Sb.).

Obr. 3. 3 Stupeň povodňové aktivity (Zdroj: portal.chmi.cz)



3.3.4 Prevence a ochrana před povodněmi

Ochrana před povodněmi vychází z dokumentu Strategie ochrany před povodněmi na území naší ČR, tento dokument je schválen vládním usnesením č. 382 z dubna roku 2000. Řízení ochrany zabezpečují povodňové orgány, které se především řídí povodňovými plány. Povodňové orgány při povodni tvoří povodňové komise (PK), které spolupracují se složkami Integrovaného záchranného

systemu (zdravotnická záchranná služba, policie České republiky, hasičský záchranný sbor České republiky) (www.mzp.cz).

Nejefektivnější ochranou je nestavět v místech, kde je možnost výskytu povodní. Ve dvacátém století byl výskyt povodní velmi nízký, a tak převládnu názor, že se nás povodně netýkají. Proběhl velký stavební rozvoj a tak místa, kde nebylo rozumné stavět, byla zapomenuta a docházelo k výstavbě domů v záplavových územích. Obvykle pak tyto stavby nebyly vůbec uzpůsobeny pro příchod povodně. Zvýšený výskyt povodní v posledních dvaceti letech, znamenal vyplavení těchto oblastí.

Územní plánování je nástroj pro základní rozvoj sídel. Jde o komplexní proces probíhající v několika úrovních, kde podkladem je stavební zákon. Hlavní dokument, který usměrňuje rozvoj sídel je územní plán, kde jsou mimo jiné vyznačena záplavová území. Jediným zákonným a závazným omezením výstavby ve spojitosti s povodněmi je tzv. aktivní zóna určená vodním zákonem. Aktivní zóna je stanovena vodoprávním úřadem podle nebezpečnosti průtoků v záplavovém území s rychlostí vody při povodních s různou dobou opakování. Mapy jsou zpracovány pro doby opakování 5, 20, 100 a 500 let. Povodňové ohrožení je znázorněno pomocí 4 kategorií dle ohrožení území povodní.

Míra ohrožení:

- Vysoké ohrožení (znázorněno barvou červenou)
- Střední ohrožení (znázorněno barvou modrou)
- Nízké ohrožení (znázorněno barvou oranžovou)
- Zbytkové ohrožení (znázorněno barvou žlutou)

Absolutní ochrana proti povodním neexistuje. Pod ochranou před povodněmi se rozumí především minimalizace důsledků a dále zamezení ztrát na lidských životech (Cempírková, 2013).

Základní dokument, který formuluje rámec konkrétních postupů a preventivních opatření ke zvyšování protipovodňové ochrany je Strategie ochrany před povodněmi, která také říká, že povodně jsou přírodní fenomén, kterému nelze nijak zabránit (Povodí Vltavy, 2009). Formuluje také postupy ke snižování ničivých účinků. Důležitým úkolem tohoto dokumentu je také definovat rozsah odpovědnosti systémové povodňové ochrany na úrovni subjektů vytvářející linii: stát, orgány samosprávy, občanská a podnikatelská veřejnost. K účinnému ovlivnění rozsahu

a průběhu povodně je nezbytné využít kombinaci opatření v krajině i technické opatření (Praktická příručka, 2000).

3.3.5 Protipovodňová opatření

Povodně se v naší republice vyskytují častěji, než tomu bylo dříve, proto je důležité vynaložit co nejvíce úsilí na to, aby následky ničivé povodně byly co nejmenší. Proto je velmi důležité budování protipovodňových opatření. Dle zákona č. 254/2001 sb. lze protipovodňová opatření rozdělit:

1. Přípravná opatření
 - Řadíme sem stanovení záplavového území, povodňové plány, vymezení směrodatných limitů stupňů povodňové aktivity, povodňové prohlídky, příprava předpovědní a hlásné povodňové služby, organizační a technické přípravy, vytváření hmotných povodňových rezerv, přípravy účastníku povodňové ochrany.
2. Opatření při nebezpečí povodně a za povodně
 - Řadíme sem činnost předpovědní povodňové služby a hlásné povodňové služby, činnost a zařízení hlídkové služby, vyklizení záplavových území, řízení odtokových poměrů, povodňové zabezpečovací práce a záchranné práce, zabezpečení náhradních funkcí a služeb v území zasaženém povodní.
3. Opatření po povodni
 - Řadíme sem evidenční a dokumentační práce, vyhodnocování povodňové situace včetně povodňových škod, odstranění škod a obnovení území po povodni.

Často jsou druhy opatření děleny dle konstrukční podstaty na **netechnické** a **technické opatření**.

- Netechnická opatření

K netechnickému opatření řadíme definice záplavových zón a právní zajištění, předpovědní a varovné systémy. Důležitá je také výchova veřejnosti k zodpovědnému chování při rizikových situacích.

- Technické opatření (stavební opatření)

Toto opatření slouží především ke zmírnění povodně, zachycení objemu, ke snižování kulminačních průtoků a také zabraňuje rozlivům. Technické opatření můžeme rozdělit na dvě části. První částí technického opatření je **ochrana proti účinkům vody v celém povodí**, druhou částí technického opatření je **ochrana proti účinkům na vodním toku**. Do první části ochrany celého povodí řadíme regulaci rozsahu druhové a také věkové skladby porostů, regulaci zemědělské produkce a nejdůležitější je budování protierozních a retenčních opatření. Do druhé části ochrany řadíme retenční prostory v údolních nádržích, poldry, ochranné hráze, zkapacitnění koryt vodních toků, snížení účinků eroze, údržba a čištění koryt.

Mezi technickou ochranu řadíme i úpravu příčného a podélného profilu, ohrazování koryta vodního toku a ochranné zdi, mobilní hradící stěny a systémy, přehrážky, protierozní pozemkové úpravy.

Úprava příčného i podélného profilu koryta toku spočívá v rozšiřování a prohlubování průtočného profilu. I případné zvětšení spádu napomáhá ke zvýšení kapacity koryt. Tato úprava zamezuje případnému vylití vody z koryta.

Přehrážka je opatřením, které se používá při hrazení bystřin a strží, jsou to příčné objekty nad úrovní dna. Přehrážky jsou největší objekty hrazení bystřin. Dělí se dle účelu na retenční a konsolidační. Retenční přehrážky zastavují přínos splavenin, přičemž konsolidační přehrážky zamezují dalšímu prohlubování koryta, zachycují také velké nánosy splavenin a také poskytují oporu podemletým nebo sesunutým svahům (Křovák a Kovář, 2014).

Pozemkové úpravy složí k zamezení eroze. Slouží k zamezení rychlého odtoku srážek především na svažitých a zemědělsky obdělávaných pozemcích. Snaží se o zvětšení retence daného území.

Retenční nádrž je připravený akumulací prostor, zachycuje povodňovou vlnu nebo jen její část. Speciálním typem retenčních nádrží je tzv. poldr jinak řečeno suchá nádrž, tato nádrž je zcela prázdná, pokud nedochází k povodňovému stavu. Poldrové plochy jsou zaplavovány až krátce před tím, než začne hladina vodního toku kulminovat (Ministerstvo zemědělství, 2006).

- Přírodě blízká opatření

Přírodě blízká opatření dělíme na **opatření v ploše povodí** a na **opatření na vodních tocích**. Opatřením v ploše povodí rozumíme především protierozní opatření. Cílem opatření je snížení projevů vodní eroze, ale také snaha o podporu zvýšení schopnosti zpomalovat povrchový odtok v krajině a zdržovat vodu. Takové opatření tvoří např. **agrotechnické opatření** (zamezení pěstování širokořádkových plodin na svažitých půdách, vhodný způsob orby), **organizační protierozní opatření** (organizace ploch, zatravňování svažitých půd), **biotechnické protierozní opatření** (výstavba nádrží, zasakovací pásy, průlehy, protierozní meze). Opatřením na vodním toku se především rozumí zpomalení odtoku povodňových vod a využití retenční kapacity říčních niv. V nezastavěných oblastech říčních niv se provádí opatření pomocí revitalizace koryta vodního toku. V zastavěných oblastech je protipovodňové opatření prováděno pomocí zkapacitnění koryta vodního toku a zrychlením odtoku. Opatření je spojováno vždy s revitalizační úpravou koryta vodního toku (www.cs-povodbe.eu).

Dalším typem přírodě blízkých opatření jsou ochranné nádrže nebo poldry, které zadržují či zpomalují povodňovou vlnu. Vnitřní prostor nádrží je vždy upraven přírodě blízkým způsobem, aby byl zajištěn dobrý ekologický stav vod. U suchých nádrží se provádí komplexní revitalizace toku, vytvářejí se mokřady, obnovují se vlhké louky či lužní lesy (Cílek a Kender, 2004).

3.3.6 Záplavová území

Dle zákona č. 254/2001 Sb., se záplavovým územím rozumí administrativně určená území, která mohou být při výskytu povodně zaplavena vodou. Správce vodního toku navrhuje rozsah záplavového území pro průtoky vyskytující se s periodicitou 5, 20, 100 let. V rozsahu záplavového území je nepřípustná výstavba zdravotních a sociálních zařízení, čerpacích stanic, škol, staveb pro chov hospodářských zvířat a zřizování skládek. Podkladem pro vytvoření záplavového území je studie odtokových poměrů. Pomocí metody hydraulického modelování říčního proudění je vytvořen rozsah záplavového území na průtok s příslušnou dobou opakování. Způsob a rozsah je stanoven vyhláškou Ministerstva životního prostředí č. 236/2002 Sb. Závazně záplavové území stanovuje vodoprávní úřad dle zákona č. 500/2004 Sb., správní řád. Záplavové území a aktivní zóny se vytváří formou

opatření obecné povahy (www.mzp.cz). Záplavové území je ohraničeno záplavovou čarou. V zastavěných územích a územích, které jsou určeny k zástavbě, dle územních plánů vodoprávní úřad vymezí na návrh správce vodního toku aktivní zónu záplavového území, dle nebezpečnosti povodňových průtoků. Aktivní zóna při výskytu povodně odvádí značnou část celkového průtoku. V aktivní zóně je zakázáno těžit nerosty a provádět jakékoliv terénní úpravy, které zhoršují povrchových odtok, skladování odplavitelného materiálu, zřizovat tábory a dočasné ubytovací zřízení (Čermáková a Jílková, 2006).

Kategorie záplavového území jsou rozděleny například:

A pasivní inundační území, neprůtočné, chráněné

B pasivní inundační území, neprůtočné, nechráněné

C aktivní inundační území, částečně průtočné

D aktivní inundační území průtočné

3.3.7 Povodňové plány

Dle zákona č. 254/2001 Sb. se povodňovými plány rozumí dokumenty, které obsahují způsoby včasných a spolehlivých informací o vývoji povodně, také možnosti ovlivnění odtokového režimu, přípravu a organizaci zabezpečovacích prací. Dále obsahují způsoby zajišťující včasnou aktivizaci povodňových orgánů, ochranu objektů, zabezpečení hlásné a hlídkové služby, přípravy a organizace záchranných prací.

Obsah povodňových plánů se dělí na:

1. Věcnou část- tato část zahrnuje údaje, které jsou potřebné pro zajištění ochrany před povodněmi určitého objektu, obce, uceleného povodí či jiného uceleného územního celku, dále také limity pro vyhlášení stupňů povodňové aktivity,
2. Organizační část- obsahuje seznamy, adresy a způsoby spojení účastníků ochrany před povodněmi, úkoly pro účastníky ochrany před povodněmi společně s organizací hlásné a hlídkové služby,

3. Grafická část- obsahuje mapy a plány, na kterých je znázorněno především záplavové území, místa soustředění a evakuační trasy, informační místa, hlásné profily.

Povodňovými plány jsou:

1. Povodňové plány obcí, které zpracovávají orgány obcí.
2. Povodňové plány správních obvodů obcí s rozšířenou působností, zpracovávají obce s rozšířenou působností.
3. Povodňové plány správních obvodů kraje, zpracovávají orgány krajů ve spolupráci s povodím.
4. Povodňový plán České republiky, zpracovává Ministerstvo životního prostředí.

Důležitou částí povodňových plánů jsou i povodňové prohlídky, které zajišťují bezpečnost na vodních dílech, aby nedocházelo k závadám, které mohou při povodni zvýšit míru nebezpečí či následky povodně (Zákon č. 254/2001 Sb.).

3.4 Matematické modely

K předpovědi a podrobnějšímu popisu povodní se v současnosti využívá různých matematických modelů. Model představuje převedení pozorovaných vstupů na hledané výstupy přes soustavy rovnic (Clarke, 1973)

Mezi matematické modely se řadí **srážko-odtokové** (hydrologické) a **hydrodynamické** (hydraulické).

3.4.1 Hydrologické modely

Reprezentace matematických srážko-odtokových procesů má dlouhou historii, ale zhruba v 80. letech díky postupnému rozvoji počítačových technologií se stává významným prostředkem vodohospodářů a hydrologů ať již k operativní předpovědi nebo k návrhovým účelům. Srážko-odtokový proces představuje zjednodušený vztah mezi vstupem a výstupem veličin daného hydrologického systému (Daňhelka a kol., 2003). V matematickém vyjádření se tedy jedná o algoritmus řešení soustavy rovnic, které charakterizují strukturu a chování daného systému (Clarke, 1973).

Na hydrologické jevy působí řada faktorů působících jak příčinně, tak náhodně. Proto jde o snahu zjednodušit proces modelování při působení jakýchkoliv podmínek u faktorů bez zásadního vlivu. Platí, čím je model složitější, tím více zpracovává údajů. Je tedy důležité si dát pozor na nepřeparametrizování modelu, z čehož pak vyplývá větší množství neurčitostí u konečného výsledku (Beven, 2001).

V dnešní době je vyvinuto mnoho modelů, které se liší různými přístupy ke komponentám srážko-odtokového procesu nebo ke struktuře zkoumaného povodí v závislosti na účelu a území, pro které je model vyvíjen. Postupem času se ukazovaly podobnosti či naopak odlišnosti, dle kterých se poté hydrologické modely začleňovaly do různých kategorií.

Mezi nejčastěji používané modely řadíme HEC-HMS, BILAN, MIKE SHE, HYDROLOG, SAC-SMA, NASIM (Jeníček, 2005).

Klasifikace dle WMO (World Meteorological Organisation) vychází z principů:

1. Rozdělení podle účelu aplikace modelu- dle tohoto principu se modely rozdělují na 3 kategorie:

- Modely využívané v operativní hydrologii
- Modely využívané ve výzkumné oblasti
- Modely aplikované pro návrhy a projekční činnosti ve vodním hospodářství

Operativní modely se využívají v operativní hydrologii. Vstupní data i mimo dané veličiny tvoří okamžité údaje z meteorologických stanic či radarů. V tomto případě jsou data automaticky zpracovávána a jsou převáděna na krátkodobou předpověď vodního stavu nebo průtoku v daném profilu. (Daňhelka a kol. 2003)

Využití ve výzkumné oblasti skrývá další možnosti vývoje modelů. Jedná se o docílení přesnějšího popisu komponent srážko-odtokového procesu. K těmto účelům jsou zřizována experimentální povodí s nadstandartní sítí měřičských stanic. (Jeníček, 2014)

Modely pro návrhovou činnost slouží především pro dlouhodobější protipovodňovou ochranu např. stavba přehrad či poldrů a dalších hydromelioračních a hydrotechnických opatření. Lze také modelovat srážko-odtokové procesy v povodí s různými vstupními podmínkami (Dingman, 2014).

2. Klasifikace dle typu systému

Dle typu systému lze modely rozdělit na elementární a komplexní. Elementární- jedná se o popis vybraných částí hydrologického cyklu. Komplexní- jedná se o popis celého hydrometeorologického cyklu.

3. Klasifikace dle typu hydrologického procesu

Dle typu procesu lze rozlišit, o jaký model se jedná např. výpočtu půdní vlhkosti, proudění podzemní vody, evapotranspirace, proudění v korytě (povodňová vlna), režim splavenin nebo šíření znečištění.

4. Klasifikace dle stupně kauzality

Dělení dle stupně kauzality je v hydrologii nejpoužívanější. Kauzalita je vyjádřena jako **příčina- důsledek**. Modely se dělí na **deterministické a stochastické**.

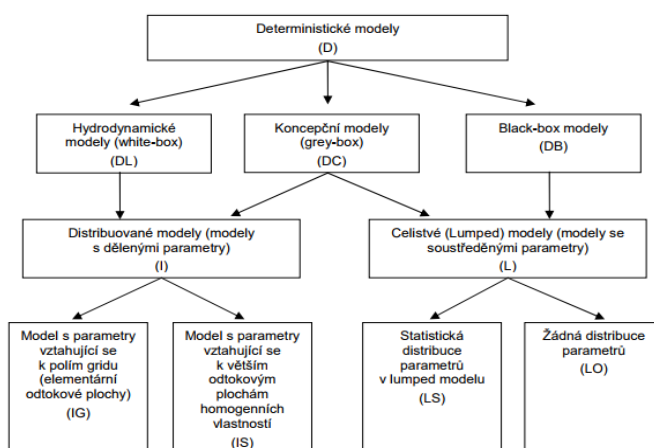
Deterministické modely

Tyto modely transformují vstupy na výstupy s pomocí fyzikálních vztahů. Existuje řada deterministických modelů, které se liší svojí strukturou, fyzikálním přístupem, či časovou a prostorovou diskretizací. Zde jsou popsány hlavní skupiny deterministických modelů. (Langhammer, 2007)

- **DL (Deterministic, Hydrodynamic Laws)**- tento princip je založen na fyzikálním popisu srážko-odtokového procesu a respektuje zákony zachování hmoty, hybnosti a energie. Modely se také označují jako „*white box*“ modely (Kulhavý a Kovář, 2002).
- **DC (Deterministic, Conceptual)**- tento přístup vystihuje fyzikální zákony ve zjednodušené formě (konceptní) a obsahuje také určitou dávku empiricky odvozených vztahů. Konceptní modely potlačují prostorovou složku, a tak předpokládají, že ke změnám parametrů dochází v daných reprezentativních bodech (Kulhavý a Kovář, 2002). Spojitý systém je pak tímto prostorově diskretizován. Tyto modely se řeší obyčejnými diferenciálními rovnicemi. Díky propojení fyzikálního a empirického přístupu je tato skupina modelů označována jako „*grey-box*“ modely.

- **DB (Deterministic, Black-box)**- tyto modely nevyžadují řídicí zákony, ale využívají empiricky odvozený vztah mezi vstupními a výstupními veličinami. Procesy, které probíhají uvnitř systému, jsou skryté. Jsou označovány jako „black-box“ modely.

Obr. 4. Klasifikace deterministických modelů (Becker a Serban, 1990)



Stochastické modely

U stochastických modelů není primárně vazba mezi příčinou a důsledkem. Je možné je rozdělit do dvou základních skupin.

- **SP (Stochastic Probabilistic)** – pravděpodobnostní modely- u tohoto typu modelů jsou jednotlivé hydrologické parametry např. maximální či minimální průtok, vodní stavy, podzemní odtok, charakterizovány určitým pravděpodobnostním rozdělením.
- **ST (Stochastic Time series generation)** – modely generování časových řad- využití těchto modelů je při extrapolaci časových řad pozorovaných parametrů, přičemž je důležité zachovat jejich statistické charakteristiky. Příkladem lze uvést ARMA modely (Autoregressive Moving Average).

V praxi se využívá jak deterministického přístupu, tak i stochastického přístupu. Stochastická složka je obsažena ve většině modelů z oblasti plánování a projekční činnosti vodohospodářských staveb, také se někdy používá i v operativní hydrologii (Daňhelka a kol., 2003). Lze říci, že deterministické přístupy v současnosti převažují.

5. Klasifikace dle míry časové a prostorové diskretizace

Časová diskretizace

Míra časové diskretizace je obvykle určována dle způsobu použití modelu. Pro povodňové studie, operativní předpovědi, modelování znečištění nebo transportu splavenin či plavenin se obvykle užívá hodinový či denní krok, u bilančních modelů může délka výpočtového kroku být i vyšší- týden, měsíc. Je třeba také zdůraznit, že jednotlivé časové proměnné mohou mít jakýkoliv časový krok, taktéž časový krok nemusí být stejný u vstupních a výstupních veličin (Daňhelka a kol. 2003).

Další rozdělení vychází z časové kontinuity výpočtu. Rozdělují se modely **kontinuální** (simulují víceleté období) a **epizodní** (simulace jen pro dílčí událost- hydrologické sucho či povodně). Kontinuální modely jsou obvykle používány

na velkých územích, kde povodně způsobují regionální deště, přičemž epizodní modely mají uplatnění při simulaci přívalových srážek, které postihují menší povodí.

Prostorová diskretizace

Prostorová diskretizace je mnohem složitější, uživatel vytváří výběrem vhodného modelu jeho topologii. Rozlišují se dvě kategorie- **distribuované** a **celistvé** modely. V současnosti se vyčleňuje kategorie modelů **semi- distribuovaných**.

- **Celistvé modely**- jsou obvykle označovány jako lumped modely. Parametry, které popisují povodí (stavové veličiny a časové řady) jsou vztahovány k dílčímu nebo celému povodí. Obvykle se jedná o bodově měřené hodnoty (průtoky v závěrovém profilu, srážky na stanici), využívá se nejrůznějších metod pro jejich převedení na hodnoty plošné.
- **Distribuované modely**- jsou označovány za modely založené na distribuovaných parametrech. Tento přístup uvažuje prostorovou variabilitu vstupních parametrů, které se transformují na výstupní parametry, které vykazují variabilitu v prostoru. V tomto pojetí (vystihuje skutečné chování systému) povodí je rozdělen sítí- gridem (může být čtvercový či trojúhelníkový) na elementární odtokové plochy. Každé políčko gridu obsahuje charakteristickou hodnotu parametru.

Grid bývá různé velikosti, jeho maximum je do jednoho kilometru z důvodů platnosti řídicích rovnic.

- **Semi- distribuované modely**- princip tohoto modelu spočívá v tom, že povodí je rozděleno na elementární odtokové plochy – hydrotopy, které se vyznačují homogenními prostorovými parametry (např. stejný půdní druh či vegetačním pokryvem). Tyto modely se aplikují stále častěji, protože představují optimální kombinaci výše zmíněných přístupů. Při určování odtokových ploch u těchto modelů je třeba uvažovat prostorovou distribuci hydrologického systému a jednotlivých parametrů povodí, a taky je třeba respektovat rozdělení územních charakteristik, které ovlivňují odtokový režim (např. topografie, vegetační pokryv, půdní podmínky nebo hydrogeologie) (Becker a Serban, 1990).

3.4.2 Hydrodynamické modely

Hydrodynamické modely popisují především pohyb vody v korytě řeky, kanále, nebo také v potrubí. Vstupními parametry jsou topografická data, údaje o drsnosti koryta, a také počáteční okrajové podmínky. Tyto modely vychází z fyzikálního popisu proudění, především ze zákona zachování hmoty, energie a hybnosti. Z hlediska řešení se modely rozdělují na jednorozměrné (1D) a dvourozměrné (2D), je možné je i kombinovat (1D/2D), třírozměrné (3D), případně kvazi-dvourozměrné (1,5D) a výjimečně kvazi-třírozměrné (2,5D). Obecně je známo, že čím jednodušší model, tím je výpočet rychlejší. Z tohoto důvodu se v praxi obvykle volí 1D případně 2D modely v kombinaci s ustáleným nerovnoměrným prouděním. Na vodním toku se obvykle počítá s říčním prouděním, bystřinné pak ve vyšších horských oblastech (Valenta, 2005).

1D modely se využívají k výpočtům výšky hladiny v příčném profilu. Koryto vodního toku je schematizováno příčnými profily, ve kterých je počítána hloubka a střední svislicová rychlost. U 1D modelů lze počítat jak ustálené tak i neustálené proudění. 1D model je nejpoužívanější jak v České republice, tak i ve světě. Na základě 1D modelu se zpracovávají hydrodynamické studie ke stanovení záplavového území, ale i hydrotechnické posouzení objektů.

Vstupní parametry pro sestavení 1D modelu:

- Zaměřené příčné profily
- Návrhový průtok pro proudění ustálené či návrhový hydrogram pro proudění neustálené – slouží jako horní okrajová podmínka
- Dolní okrajová podmínka, sem řadíme- kritickou hloubku, výšku hladiny apod.
- Drsnosti koryta

Výhodou 1D modelů je jejich jednoduchost a nenáročnost na vstupní data. Výpočetní nároky jsou malé, díky nimž je výpočet rychlý. Bohužel je oblast pro využití 1D modelů omezená, tam kde je terén příliš členitý, není volba 1D modelu již vhodná. Tento typ 1D modelu popisuje proudění pouze v jednom směru. Nejpoužívanějšími 1D modely jsou HEC- RAS, MIKE 11, HYDROCHECK (Balvín et. al., 2009).

Modely 2D vystihují složitější charakter proudění. 2D modely se využívají tam, kde 1D model ztrácí schopnosti popsat směr proudění např. za překážkami a v plavebních komorách (Balvín et al., 2009). Jednotlivé hydraulické charakteristiky se nepočítají v profilech, ale je třeba nad modelovanou oblastí rozprostřít dvourozměrnou výpočetní síť. Dané hydraulické charakteristiky jsou počítány v každém uzlu sítě. Toto vede k řešení soustavy parciálních diferenciálních rovnic, tyto rovnice jsou analyticky neřešitelné. Pro řešení soustav parciálních diferenciálních rovnic bývá využito metody konečných diferencí. Geometrie vodního toku není zadávána příčnými profily, ale celým digitálním modelem terénu. Nejpoužívanějšími 2D modely jsou MIKE 21C, FLUVIUS-2D, FAST2D (Balvín et. al., 2009).

Vstupní parametry pro sestavení 2D modelu:

- Digitální model terénu
- Návrhový průtok pro proudění ustálené či návrhový hydrogram pro proudění neustálené
- Dolní okrajovou podmínku
- Drsnosti koryta

3.4.3 Popis vybraných hydrodynamických modelů

- **HEC – RAS**

Model **HEC- RAS** (Hydrologic Engineering Centers- River Analysis System) je dostupný software armády Spojených států amerických, který byl vyvinut v hydrologickém centru Hydrologic Engineering Center. Model je podporovaný integrovaným prostředím MS Windows s graficky zpracovaným uživatelským rozhraním (GUI). Jedná se o model, který je schopný modelovat neustálé i ustálené proudění a také řešit hydraulické výpočty pohybu splavenin. **HEC- RAS** zahrnuje tyto komponenty:

- Ustálený režim proudění povrchových vod
- Simulace neustáleného proudění
- Transport sedimentů
- Analýza kvality vody

Modelovat lze rozvinutou říční síť, ale i jeden říční úsek.

Pro výpočet je důležité zadání tří hlavních kategorií dat: hydraulické ztrátové součinitele, geometrie koryta a objektů a okrajové podmínky. Výhodou je využití vazby na systémy jako jsou CAD a GIS.

Základním údajem k výpočtu ustáleného proudění jsou údaje o N- letých vodách. Přičemž k výpočtu neustáleného proudění jsou potřeba hydrogramy s dobou opakování. Tato data lze získat od autorizovaných institucí (ČHMÚ) či vypočítat pomocí modelu KINFIL.

Výhodou modelu je, že nároky na softwarové vybavení odpovídá možnostem současných počítačů. Pokud jsou kvalitní vstupní hodnoty, tak model poskytne spolehlivé výsledky. Má vynikající uživatelské prostředí a reprezentativní grafické i tabelární výstupy. Model **HEC – RAS** je neustále vyvíjen a doplňován, všechny verze jsou kompatibilní. Model je volně dostupný a tudíž zadarmo. Při manipulaci s modelem je nutná základní znalost anglického jazyka (Křovák a kol., 2014).

- **MIKE 11**

Tento program je představitelem dynamického jednorozměrného matematického modelu, který slouží k simulaci proudění, určování kvality vody, pohybu splavenin v otevřených korytech a záplavových územích. Model má uplatnění v protipovodňové ochraně, ve vývoji kvality vody a také v řízení vodohospodářských děl. MIKE 11 je zaměřený na popisování neustáleného proudění v otevřených korytech jak přirozených, tak umělých.

Koncepce modelu je založena na jednotlivých modulech, které jsou navzájem propojeny datovými soubory.

Pro dokonalou funkci systému MIKE 11 je důležitý hydrodynamický modul HD. Modul HD patří k řešení vertikálně integrovaných rovnic kontinuity a zachování hybnosti.

MIKE 11 disponuje obrovskou škálou výstupů včetně barevné grafiky pro výsledky a systémová data, obsahuje mnoho animovaných prezentací výsledků v mnoha typech grafů včetně i grafu časových řad a synchronizovaných animací výsledků a prezentaci extrémních časových řad. Program má také k dispozici funkce pro export výsledných tabulek nebo prezentačních grafik či animací do jiných aplikací ať již v tabulkové nebo textové podobě. MIKE 11 je šířitelný pouze komerční cestou (DHI, 2003).

VLASTNÍ ČÁST

4. Obecná charakteristika vodního toku Třebůvka

Vanová Lhota se nachází v jihovýchodním cípu Pardubického kraje, je středem trojúhelníku měst Moravská Třebová, Mohelnice a Jevíčko. Obec byla založena v dávných dobách na velice důležité obchodní stezce v údolí Třebůvky. Obec leží v koutu Dražanské vrchoviny a je obklopena Bohdalovsko-hartinkovským přírodním parkem. Obec tvoří dvě katastrální území -Vranová Lhota a Vranová, celková rozloha činí 14,06 km². Obec se nachází v nadmořské výšce 292 m n. m. s počtem obyvatel 500.

Obr. 5. Lokace území (Zdroj: www.wikipedia.cz, *mapy.cz*)



Třebůvka pramení u Křenova v nadmořské výšce 458 m n. m. v Podorlické pahorkatině. Třebůvka je 48,23 km dlouhá a její plocha povodí činí 579,75 km². Třebůvka se na svém konci u Moravičan v nadmořské výšce 245 m n. m. vlévá do řeky Moravy jako pravostranný přítok. Největším přítokem Třebůvky je Jevíčka o délce 23 km s plochou povodí 233,44 km². Jevíčka svojí celkovou délkou protéká Boskovickou brázdou. Charakter toku v horní části je bystřinný, pak ve spodní části u Moravské Třebové pozvolnější říční (Koudelka, 2006).

Levé přítoky jsou:

- Hřebečovský potok, Stříbrný potok, Kunčinský potok, Borušovský potok, Bohdalovský potok, Radelnovský potok, Radnička, Zlatnička, Podhrádek, Teplice

Pravé přítoky jsou:

- Pacovka, Jevíčka, Věžnice, Javoříčka, Udánecký potok

Za zmínku také stojí říčka Teplice, která vyvěrá silným pramenem z podzemního jezera. Má neustále stálou teplotu vody, v zimě nezamrzá a je důležitou zásobárnou pitné vody pro okolí.

Důležitým prvkem je také Bohdalovsko- hartinkovský přírodní park, který má rozlohu 6 256 hektarů a asi 80% tvoří lesy s bučinami. Park je velmi členitý s nadmořskými výškami od 320 po 600 m n. m., svažité a rokelnatá území vyplňují především lesy. Toto území se v poslední době stalo vyhledávané pro ornitologi. Třebůvka v tomto přírodním parku hraje také svoji důležitou roli (Krejčí, 2009).

Obr. 6. Povodí Třebůvky (Zdroj: www.vuv.cz)



Povodí Třebůvky je poměrně členité. Nejčastěji se vyskytují střední výšky a vysoké nadmořské výšky se vyskytují zřídka. V povodí Třebůvky převládají sklony 2- 15° a zaujímají tak až 75% v rozloze povodí. Spádová křivka říčky Třebůvky je poměrně vyrovnaná. Sklon koryta říčky klesá se vzdáleností od pramene zhruba od 21 do 2‰.

4.1 Hydrologie

Třebůvka je nejdůležitějším přítokem horní Moravy. Především v době povodní zcela navyšuje průtoky v Moravě. V povodí se nachází 229 vodních ploch s rozlohou 78 ha. Největší vodní plochou je vodní nádrž Moravská Třebová a Finsterlova hlubina. Hustota říční sítě je 1,07 km/km² v celém povodí. Hodnota je ukazatelem povrchového odtoku. V porovnání v ČR je hustota této říční sítě nadprůměrná. Z hlediska hydrologie jsou sklony a nadmořské výšky pozitivní. Povodí je hydrologicky vyrovnané z hlediska nízkých, průměrných a povodňových průtoků.

Na vodním toku Třebůvky je pouze jedna limnigrafická stanice s dlouhodobým pozorováním i on-line přenosem, která se nachází v Lošticích od roku 1922, zahrnuje 98% plochy v celém povodí. Na Třebůvce se nachází ještě limnigrafické stanice v Hraničkách (1948) a Mezihoří (1952).

Také se na Třebůvce vyskytují místa monitoringu povrchových vod v Lošticích a Plechtinci. Na Jevíče se také monitorují povrchové vody u Plechtince, nedaleko nad ústím do Třebůvky.

Třebůvka je typická odérským režimem odtoku. Odérský režim odtoku je typický pro pravidelné jarní povodně způsobené táním sněhu a pro minimální průtoky na konci jara a na podzim. Povodeň na Třebůvce může přijít kdykoliv (přivalové deště, vytrvalé letní srážky, zimní obleva). Typické na Třebůvce je rychlé stoupání hladiny díky přítokům z Dražanské vrchoviny. (Krejčí, 2009)

4.2 Přírodní podmínky

- **Klimatické poměry**

Reliéf v povodí říčky Třebůvky je velmi členitý a tak klimatické podmínky nejsou jednotné. Největší vliv na klimatické podmínky má nadmořská výška, čímž jsou jasné rozdíly v teplotách u oblastí vrchovin a kotlin. Území se nachází v mírných teplých oblastech a to MT 9, v oblasti Hřebečského hřbetu se nachází CH7 což je chladná oblast.

Průměr roční teploty se pohybuje v rozmezí 7- 8 °C, přičemž průměrná lednová teplota činí -2 až -3 °C a průměrná červencová teplota činí 16 až 17 °C. Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 650- 750 mm, pak průměrný

roční tlak vzduchu činí 1017,5 hPa a průměrná roční rychlost větru činí 3- 4 m/s⁻¹. V území se průměrný počet letních dnů pohybuje v rozmezí 30- 40, ve vyšších polohách jich pak bývá o 10 méně a naopak v oblasti Jevíčka pak více. (Quitt, 1971)

- **Geologické poměry**

Údolí říčky Třebůvky z hlediska geomorfologického členění tvoří hranici mezi Bouzovskou a Mírovskou vrchovinou. Spodní úsek po Vranovou Lhotu je morfologicky relativně členitý a údolí je hluboké se zalesněnými svahy. Pak horní úsek nad soutokem s Jevíčkou prochází Boskovickou brázdou a údolí má značně plošší a otevřenější charakter.

Údolí Třebůvky je geologicky jednoduché, vyskytují se zde nemetamorfované horniny prvohorního stáří. Mezi oblastí Vraní hora a Vranová Lhota se nacházejí horniny starohorního stáří, před Lošticemi se Třebůvka dostává do kvartérních usazenin. Třebůvka křížuje dva geologické zlomy od soutoku s Jevíčkou po ústí do řeky Moravy – jeden se nachází pod Vraní horou a druhý pod Vranovou Lhotou. Tato skutečnost se projevuje na značné vyrovnanosti spádové křivky.

V celém údolí Třebůvky je zastoupeno kristalinikum, útvar devonský, spodní karbon, perm, miocén sedimenty svrchní křídly, diluvium a aluviální náplavy charakteru písčitéch, hlinitých, šterkovitých a jílovitých zemin.

- **Pedologické poměry**

Hlavní půdní druhy tvoří ilimerizované půdy, hnědé a kyselé půdy, hnědé půdy a pseudogleje a hnědé oglejované půdy. Ilimerizované půdy jsou typické pro území s plošným povrchem a jsou vhodné pro zemědělskou činnost, především pro pěstování obilovin. K nejvíce rozšířeným půdám členitých pahorkatin a vrchovin patří hnědé půdy.

V údolí Třebůvky půdní charakteristika odpovídá charakteru údolních niv a svahů. Podél toku Třebůvky se nachází převážně modální fulvizemě, které byli dříve označovány jako nivní a lužní půdy. Území nad Vraní horou může být až glejové. Pak na přiléhavých údolních svazích se nachází kambizemě, což jsou hnědé lesní půdy. Místy se také vyskytují na kamenitých polích vyvinuté litozemě a rankery.

- **Vegetační poměry**

Z biogeografického členění se území nachází na území Dražanského bioregionu. Biodiverzitu podporuje poloha bioregionu v kontaktu s provincií severokarpatskou a karpatskou, biodiverzitu naopak snižuje jednotvárný horninový podklad. Na strmých svazích jsou také přítomny i ostrůvky s teplomilnými doubravami. Lesní plochy jsou především vázané na údolní svahy a spadají do 3. (dubobukového) a 4. (bukového) vegetačního stupně. Úpatí jižních svahů a konec údolí, které je otevřené do Hornomoravského úvalu, zasahuje částečně místa 2. (bukodubový) vegetační stupeň. Z fyto geografického hlediska se údolí Třebůvky řadí do obvodu Českomoravské mezofytikum, které zabírá největší část ČR. Hlavní část území spadá do fyto geografického okresu Bouzovská pahorkatina. Vegetace zdejšího území je tvořena- bíková bučina, strdivková bučina, květnatá bučina, v nivě to je černýšová dubohabřina, střemchová jasenina. Za nejrozšířenější dřeviny v území považujeme- olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), vrba bílá (*Salix alba*), vrba jíva (*Salix caprea*), habr obecný (*Carpinus betulus*). V území se také objevují byliny jako je- rdesno hadí kořen (*Polygonum bistorta*), jetel alpský (*Trifolium alpestre*), kuklík potoční (*Geum rivale*), šalvěj luční (*Salvia pratensis*), lilie zlatohlavá (*Lilium martagon*), sněženka předjarní (*Galanthus nivalis*), jaterník podléška (*Hepatica nobilis*), dymnivky duté (*Corydalis cava*) a různých druhů sasaneček (*Anemone sp.*). Za vhodné je zmínit výskyt invazních neofytů, které se šíří údolím. Jedná se především o netýkavku železnatou (*Impatiens gladiolifera*), bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*), křídlatku japonskou (*Reynoutria japonica*). (Krejčí, 2009)

Na většině území se rozkládá orná půda, trvalý travní porost, ale i zahrady jsou s velkým zastoupením. Struktura využívání území je zobrazena v tabulce č. 2.

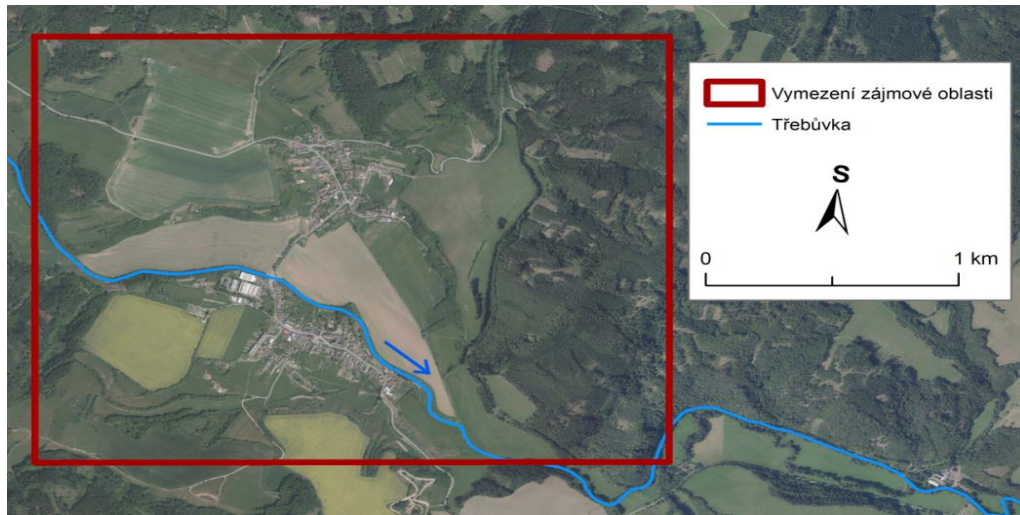
Obr. 7. Využívání území v obci Vranová Lhota (Zdroj: www.moravskatrebova.cz)

	Vranová Lhota (ha)	Vranová (ha)	celkem (ha)	celkem v %
zemědělská půda celkem	198,5983	244,0648	442,6631	31,48
z toho: orná půda	53,5432	127,6388	181,1820	12,88
zahrady	10,8244	10,8360	21,6604	1,54
ovocné sady	1,3404	0,3492	1,6896	0,12
trvalé travní porosty	132,8903	105,2408	238,1311	16,93
lesní pozemky	496,7464	379,3413	876,0877	62,30
vodní plochy	3,6981	5,6695	9,3676	0,67
zastavěné plochy	5,0948	3,9319	9,0267	0,64
ostatní plochy	36,3115	32,7878	69,0993	4,91
celkem	740,4491	665,7953	1406,2444	100,00

4.3 Vymezení zájmového území

Vybraný úsek vodního toku Třebůvka se nachází v zastavěném území obce Vranová Lhota. Celková délka řešeného úseku činí 2,3 kilometrů. Průměrný roční průtok činí $1,94 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$.

Obr. 8. Vymezení zájmového území (Zdroj: Autor, 2018)



5. Metodika

Pro vytvoření hydrodynamického modelu je třeba mít k dispozici topografická a hydrologická data řešeného území. V následujících krocích budou sestaveny dva hydrodynamické modely, kdy jeden model bude sestaven na datové sadě DMR 5G a druhý model bude sestaven na datové sadě DMR 5G, kdy koryto vodního toku bude upraveno softwarem CroSolver.

5.1 Použité podklady a vstupní parametry

Základní podklad diplomové práce tvoří výškopisné data digitálního modelu reliéfu České republiky 5. Generace (DMR 5G). Data byla poskytnuta Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním v Praze (ČÚZK) v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání v ASCII kódu formátu X, Y, Z.

N- leté průtoky byly poskytnuty ČHMÚ prostřednictvím Evidenčního listu hlásného profilu č. 311 pro vodní tok Třebůvka.

Nedílnou součástí byl terénní průzkum, který sloužil k odvození vstupních parametrů. Při terénním průzkumu došlo k nafocení a naměření jednotlivých objektů

na toku. Také byla vytvořena představa o průběhu toku, jako je – hloubka, materiál dna a břehů, což je nedílnou součástí pro určení součinitele drsnosti. K určení drsnosti bylo využito tabulek, které se uvádí v Metodice- Ochrana zemědělské půdy před erozí (Janeček., 2012). Tyto hodnoty jsou následně použity při práci s CroSolverem a programem HEC-RAS.

5.2 Tvorba dat pro hydrodynamické modelování

Následující kapitoly se budou zabývat tvorbou dat pro hydrodynamické modelování. Jak již bylo zmíněno hlavním cílem je vytvořit dva hydrodynamické modely. První varianta modelu bude sestavena z dat DMR 5G a druhá varianta modelu bude také sestavena z dat DMR 5G, kdy koryto vodního toku bude zhloubeno pomocí softwaru CroSolver. Následně tyto dva modely budou porovnány.

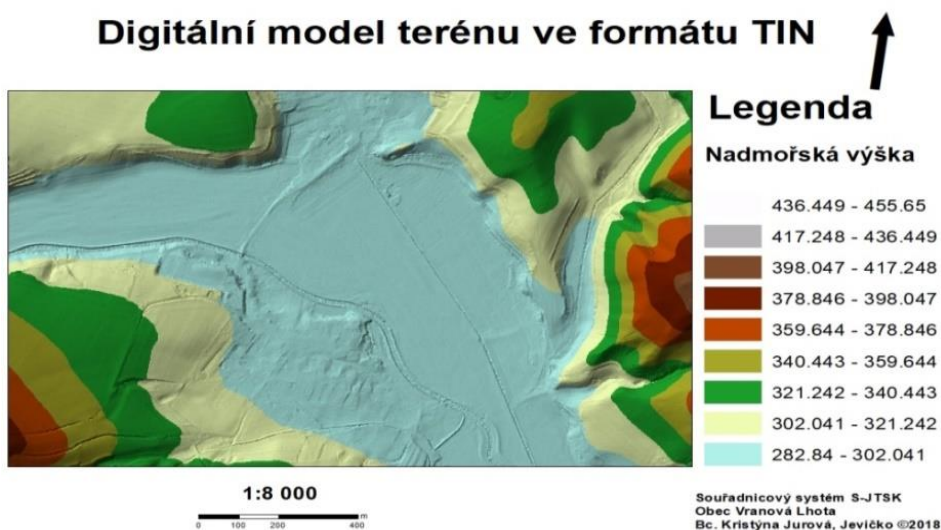
5.2.1 Tvorba digitálního modelu terénu prostřednictvím

ArcGIS

Z datového souboru DMR 5G, který byl poskytnut ČZÚK, byla vytvořena bodová vrstva s pomocí nástroje *ASCII 3D to feature class*. Kde vstupem je určitý mapový list a výstup tvoří bodový shapefile s příslušným souřadnicovým systémem *S-JTSK*, každý tento bod má svoji specifickou nadmořskou výšku.

Vzniklou bodovou vrstvou je nutné převést do formátu TIN. K takovému převodu slouží funkce *Create TIN*.

Obr. 9. Digitální model terénu (Zdroj: Autor)




5.2.2 Tvorba geometrie

Hec- GeoRAS je sada nástrojů, která je navržena pro práci s prostorovými daty s využitím pro program HEC- RAS. Tento program umí pracovat s digitálním modelem terénu, který může mít podobu jak trojúhelníkového formátu TIN, tak i podobu klasického rastrového formátu. Hec- GeoRAS vytváří soubory, které lze převést do programu HEC- RAS. Po propočtu v HEC- RAS je možné data převést nazpět do programu Hec- GeoRAS, kde lze vytvářet prostorové analýzy, jako je modelování záplavového území nebo modelování rychlosti proudění.

K základním vstupům do programu HEC-RAS patří geometrie terénu. Geometrie terénu je v tomto případě tvořena osou toku (*Stream Centerline*), břehovými liniemi (*Banks Lines*) a osy protékanych oblastí (*Flow Path Centerlines*). Všechny tyto podklady jsou vytvořeny pomocí software ArcGIS s pomocí extenze programu HEC-GeoRAS (Ackerman, 2012).

- **Definování osy toku (*Stream Centerline*)**

Pro zakreslení osy toku se využívá menu *RAS Geometry* z aplikace GeoRAS. Jako první je důležité definovat osu toku, která je vektorizována po směru proudění vodního toku. Pro vektorizaci bylo využito částečně podkladu aktuálního ortofota, DMR 5G a základní mapy České republiky 1:10 000. Z menu GeoRAS vybereme *Ras Geometry- Create RAS Layers- Stream Centerline* a následně do dialogového okna zadáme název vrstvy osy toku. Následně osu toku zakreslíme přes nástroj, který slouží k editaci. V software ArcGIS vybereme záložku *Customize- Toolbars- Editor*. Postup zahájíme přes panel editoru – *Start Editing*. Osu toku editujeme ze shora- dolů a postupně přidáváme přítoky, zda se nějaké v území nachází. Po ukončení editace osy toku je velmi důležité editaci uložit – *Save Edits* a následně editaci ukončit- *Stop Editing*. K ose toku je nutné definovat také atributovou tabulku jako je název toku (*River*) a název úseku (*Rench*). K přiřazení těchto chybějících údajů slouží panel nástrojů GeoRas s ikonou . Po kliknutí na tuto ikonu se kurzor změní na kříž, kterým vybereme úseky vodního toku a nadefinujeme tak názvy. Následně dojde k vyplnění dalších údajů v atributové tabulce pomocí příkazu *Topology- Lengths/ Stations* z menu záložky *RAS Geometry- Stream Centerline Attributes*.

- **Definování břehových čar (*Bank Lines*)**

Po definování osy toku můžeme přistoupit k vektorizaci břehových čar. Tento krok lze také definovat přímo v programu HEC-RAS u jednotlivých příčných profilů toku, tudíž tento krok není povinný.

Při tvorbě břehových čar je postup obdobný jako u osy toku. Přes menu *Ras Geometry- Create RAS Layers- Bank Lines*.

- **Definování os protékaných oblastí (*Flow Path Centerlines*)**

Při tvorbě os protékaných oblastí je postup obdobný jako předchozí. Přes menu *Ras Geometry- Create RAS Layers- Flow Path Centerlines*. Pokud již existuje osa toku, následuje dotaz, zdali chceme provést kopii mezi osy protékaných oblastí. V tomto dialogovém okně můžeme kliknout na **ano**, tudíž se provede kopie osy toku. Další dotaz je veden na volbu vrstvy s osou toku a názvem pro novou vrstvu protékaných oblastí. Při zakreslování os protékaných oblastí je nutné dodržovat postup ve směru toku. Osy opět zakreslujeme v editačním režimu, dle postupu, který byl již uveden. Po zakreslení jednotlivých os, je třeba přiřadit atributový údaj o tom, o jakou protékanou oblast se jedná, zda je na pravém či levém břehu. Tento postup se provede pomocí tlačítka , které se nachází na panelu nástrojů HEC-GeoRas. Po kliknutí na toto tlačítko se kurzor promění v kříž, kterým je možné vybrat jednotlivé osy a přiřadit jim údaj zda se jedná o pravý či levý břeh.

- **Příčné profily (*XS Cut Lines*)**

Vrstva příčných profilů je jedna z nejdůležitějších vrstev a je považována za klíčovou, z níž se pak vychází při modelaci záplavového území. Příčný profil je nositelem specifických dat. Při tvorbě příčných profilů je třeba dodržovat, aby se vykreslovaly vždy z levého břehu na pravý břeh vodního toku (po proudu vodního toku), také musí protínat osu toku a břehové linie. Jednotlivé příčné profily by se neměly křížit a měly být kolmé na osu toku. U toků, které meandrují je splnění těchto podmínek velmi obtížné. V těchto případech nastává nezbytná úprava linie, kdy příčný profil tvoří lomená čára.

Příčné profily je možné vytvářet dvěma způsoby. U obou způsobů dojde nejprve k tvorbě nové vrstvy přes nástroj *Ras Geometry- Create RAS Layer- XS Cut Line*.

První způsob tvorby příčných profilů lze realizovat pomocí editačního režimu, který ArcGIS nabízí. V tomto případě je tedy na autorovi, o jaké délce a o jaké vzdálenosti bude příčné profily na vodním toku vytvářet. U tohoto způsobu tvorby je tedy nutné dodržovat výše zmíněných pravidel. Přičemž druhý způsob tvorby příčných profilů je mnohem jednodušší a rychlejší. Jedná se o automatické generování o daném intervalu a délce profilu. K tomuto způsobu tvorby slouží nástroj *Construct XS Cut Line* na panelu nástrojů RAS Geometry. Pomocí tohoto nástroje dojde tedy k vytvoření příčných profilů o konstantní vzdálenosti a stejné délce po celém úseku řešeného vodního toku.

U příčných profilů je nezbytné mít vyplněnou atributovou tabulku. Výhodou HEC- GeoRAS je automatické vyplnění těchto hodnot. Automatické vložení hodnot lze provést přes hlavní panel *RAS Geometry- XS Cut Line Attributes- River/RenchNames* tímto dojde k vyplnění názvu toku, kde se daný profil nachází. Staničení jednotlivých profilů je počítáno přes nástroj *Stationing* v metrech. Staničení břehových bodů je vyplněno přes nástroj *Bank Stations*. Propočet vzdáleností mezi profily je vyplněn pomocí nástroje *Downstream Reach Lenght*. Po vyplnění požadovaných atributů je nutné převést příčné profily z 2D do 3D. K tomuto kroku slouží nástroj *Elevation* po spuštění tohoto nástroje se zobrazí dialogové okno, ve kterém je nutné vyplnit vrstvu profilů (*XS Cutlines*), v řádce *Terrain* daný model terénu a v posledním řádku je zvolení názvu vrstvy (*XS Cutlines Profiles*). Tímto způsobem vznikne nová vrstva profilů, která je tvořena ve 3D a každý profil obsahuje informaci o nadmořské výšce.

První způsob tvorby příčných profilů byl zvolen pro tuto práci jako vhodnější. Na základě vytvořeného DMT byly ručně vykresleny příčné profily. V řešeném území se nachází objekty v podobě silničního mostu a lávky pro pěší. U mostu se vytváří dva příčné profily, jeden před mostovou a druhý za mostovou konstrukcí. Vytvořené příčné profily je možné graficky znázornit pomocí nástroje- *Plot Cross Section*, který se nachází na hlavním panelu HEC- GeoRAS.

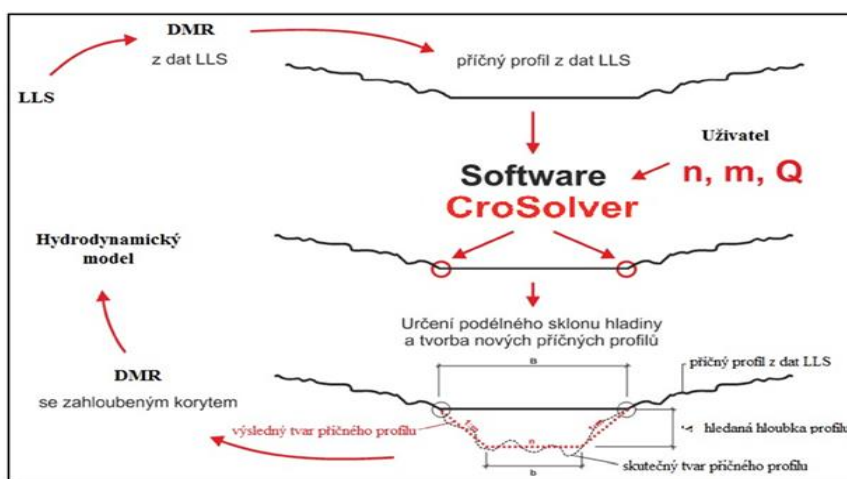
Po dokončení práce v HEC- GeoRAS je nutné vrstvy vyexportovat pro následné použití v HEC- RAS. K exportu slouží záložka v *RAS Geometry- Layer*

setup, kde bylo nutné provést kontrolu výstupních vrstev a poté bylo možné provést *Export RAS data*.

5.2.3 Zahloubení koryta pomocí CroSolver ToolBox

Při LLS neproniká laserový paprsek skrze hladinu vodního toku, proto dochází k zanedbání reálného tvaru koryta a tím také dochází k významnému zkreslení při hydrodynamickém modelování. Pro vyřešení tohoto problému byl vyvinut nástroj CroSolver. Nástroj byl vyvinut ve dvou variantách- CroSolver pro programovací jazyk R jako knihovna funkcí a jako CroSolver ToolBox, které se stávají ze skriptů v jazyce Python s použitím v software ArcGIS (Roub a kol., 2015)

Obr. 10 Základní schéma funkce CroSolveru (Zdroj: Roub R., 2014)



Nástroj CroSolver_ToolBox umožňuje preprocessing dat na základě osy vodního toku a bodů LLS. Výstupy tvoří textové soubory, které obsahují vypočtené souřadnice veškerých bodů, hydraulických charakteristik příčných profilů a také soubory formátu shapefile, které popisují oblast zahloubeného koryta (polygon), lomových bodů (point) a spojnic příčných profilů, pat svahů, břehů a osy (polyline).

Pro použití nástroje je třeba mít nainstalován ArcGIS Desktop verzi 10. a výše. Nástroj CroSolver není třeba instalovat, lze jej spustit přímo z ArcCatalogu či jej přidat do ArcToolBoxu. Nástroj v sobě zahrnuje výpočet zahloubení koryta vodního toku, ale také přípravu dat pro výpočet a uložení do výsledných 3D shapefilů.

Osa vodního toku a digitální model reliéfu jsou vstupními parametry pro přípravu výpočtu dat pro zahloubení koryta, jedná se o formát shapefile- polyline

a data od ČÚZK byla dodána ve formátu X, Y, Z. Důležité je směřování osy toku proti proudu vodního toku tzn. ve směru vzrůstajícího staničení. Zahlabování koryta probíhá v následujících třech krocích.

1. PreProc CreateStationLines TXT SHP

Prvním krokem je automatická tvorba profilů. Vstupem je osa vodního toku, která směřuje proti proudu. V tomto nástroji se také volí dva parametry a to vzdálenost příčných profilů po ose toku a průměrná šířka toku. Pro Třebůvku byla zvolena vzdálenost profilů 40 m a šířka toku 15 m. Výsledkem je rozmístění příčných profilů ve formátu *.txt a *.shp (polyline).

2. PreProc PF DMR 2Dto3D

Ve druhém kroku nástroj připraví příčné profily k výpočtu zahloubení. Příčné profily, které byly vytvořené, jsou pouze dvourozměrné a krajní body těchto příčných profilů mají charakterizovat styk hladiny a břehu koryta vodního toku. Poněvadž hledáme bod, který je nejbližší hladině, tak pro tento bod platí, že má nejnižší výšku. Proto se do tohoto nástroje zadává poloměr hledání. Poloměr hledání byl nastaven na hodnotu 5 m. Tento nástroj v poloměru hledání nalezne tedy nejnižší bod a vrátí mu jeho výšku a polohu.

3. CroSolver 3 Computation

U třetího kroku se zase jako vstup zadává výstup z předchozího kroku. V tomto kroku jsou volitelnými parametry- metoda výpočtu zahloubení koryta, drsnostní součinitel dle Manninga, sklon svahu, průtok a minimální vzdálenost pro výpočet hladiny. Následující hodnoty jsou vedeny v tabulce č. 3.

Tab. 1. Hodnoty funkce CroSolver 3 computation (Zdroj: autor)

Metoda výpočtu zahloubení	Kolmo
Průtok (m^3/s^{-1})	1,95 m^3/s^{-1}
Drsnostní součinitel dle Manninga	0,030
Sklon svahu příčného profilu (m/m)	1
Minimální vzdálenost pro výpočet hladiny (m)	100 m

K získání podkladů hydrodynamického modelování zahloubeného koryta byl vytvořen nový digitální model terénu pomocí nástroje *Create TIN* se zahrnutím výstupů ze zahlubování koryta nástrojem *CroSolver*.

Dále bylo nutné vytvoření příčných profilů s výškopisnými údaji ze zahloubeného digitálního modelu terénu. Pomocí *RAS Geometry- XS Cut Line All-All* byla vytvořena 3D vrstva příčných profilů. Po dokončení zahloubení koryta a vyplnění potřebných údajů byla data exportována pro použití v HEC- RAS stejně jako v předchozím postupu přes *RAS Geometry- Layer Setup- Export RAS data*.

5.2.4 Sestavení hydrodynamického modelu v HEC-RAS 5.0.3

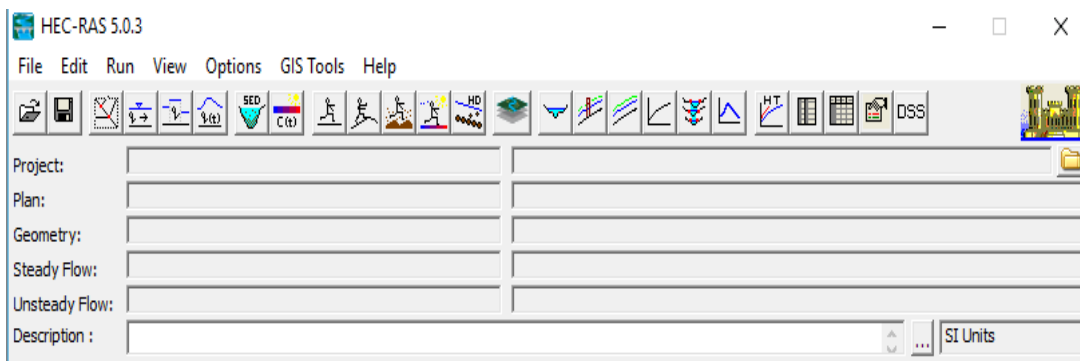
Obecně lze práci k sestavení modelu v programu HEC- RAS rozdělit do pěti základních kroků.

1. Založení/ otevření nového projektu
2. Zadání potřebných geometrických dat
3. Zadání průtoků a okrajových podmínek
4. Spuštění hydraulického modelu k výpočtu
5. zobrazení výsledků

Tento program byl vyvinut v Americe, aby fungoval v českém prostředí je nutné před spuštěním v ovládacích panelech počítače nastavit jako desetinný oddělovač tečku místo čárky (BRUNNER, 2016).

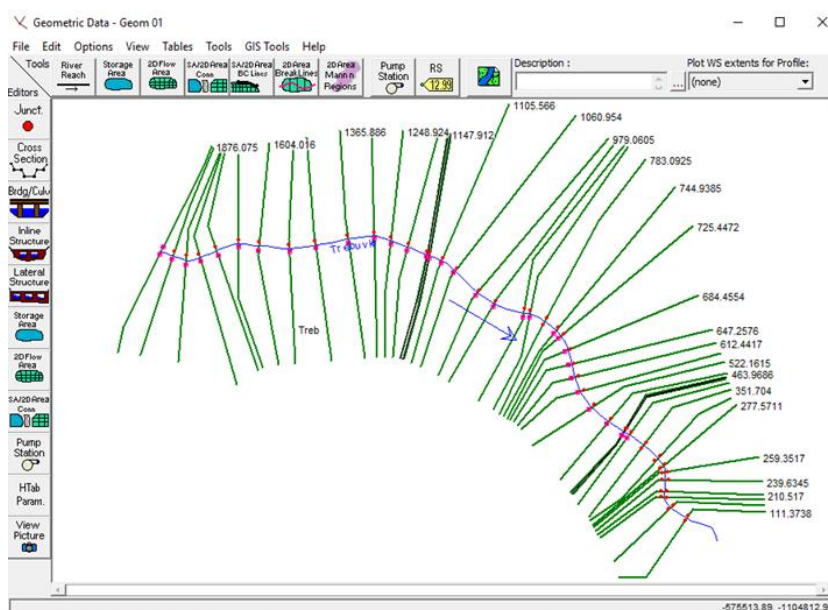
Po spuštění programu se objeví základní okno, které je na obrázku 11.

Obr. 11 Základní okno Programu (Zdroj: Autor)



Před začátkem jakékoliv práce v programu je nutné nastavit metrický systém. Automaticky je nastaven americký (*US Customary*), který změníme na klasický mezinárodní metrický systém SI (*Systém International*). K tomuto kroku slouží záložka *Options- Unit system (USCustomary/ Si)*. Prvním krokem k jakékoliv práci v tomto programu, je nutné založit nový projekt přes záložku *File- New Project*, kdy zvolíme název projektu a příslušné umístění v adresáři. V HEC- RAS lze geometrická data vytvářet od základu, ale je také možnost si geometrická data předem připravit pomocí HEC- GeoRAS. V tomto případě jsou geometrická data připravena v ArcGIS s pomocí nadstavby HEC- GeoRAS. Po otevření hlavního panelu a vytvoření nového projektu je nezbytné, vytvořená geometrická data importovat. Pomocí ikonky na hlavním panelu *View/ Edit Geometric Data* nebo přes hlavní menu *Edit- Geometric Data* se zobrazí dialogové okno, kde v nabídce menu vybereme *File- Import Geometry Data- Gis Format*, nyní je nutné zvolit předem připravená data s příponou *.sdf*. Před vykreslením dat se zobrazí tabulka (*Import Geometry Data*), která obsahuje několik záložek, které je nutné nastavit. Jedná se o opětovné zvolení metrických jednotek, u druhé záložky zvolíme osu toku, která je automaticky nahrána, u třetí záložky jsou zobrazeny všechny příčné profily. Tento proces importu dat ukončíme potvrzením *Finished- import data* V okně *Geometric Data* dojde k vykreslení celkové geometrie řešeného úseku na vodním toku Třebůvka.

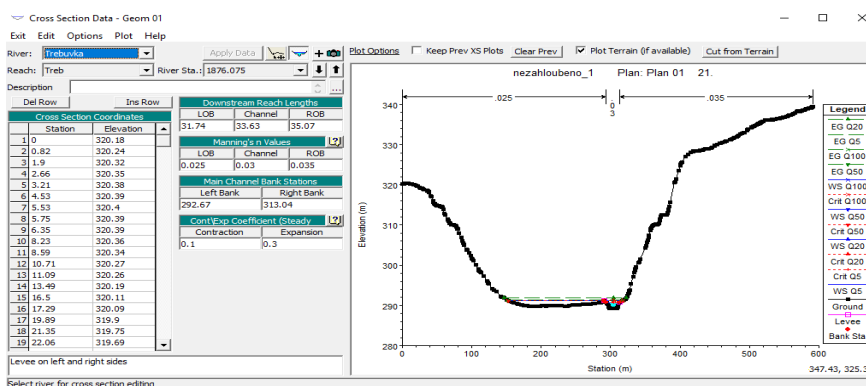
Obr. 12 Vykreslená geometrie řešeného úseku (Zdroj: Autor)



Před editací příčných profilů je nutné nejprve vyplnit Manningova součinitele drsnosti. K tomuto kroku slouží záložka *Tables- Manning's n or k values (Horizontally varied)*, kde je možné součinitele drsnosti vyplnit hromadně. Po celém průběhu řešeného úseku byla zvolena jednotná hodnota součinitele drsnosti jak pro levý, pravý břeh tak i pro koryto. Pro levý břeh byla zvolena hodnota -0.025, pravý břeh -0.035 a koryto -0.030. Hodnoty součinitele drsnosti jsou stejné po celém průběhu řešeného úseku z důvodu stejného opevnění (CHOW, 1959).

Editace příčných profilů probíhá pomocí funkce *Cross Section- Edit and/ or create cross section*, která se nachází na levé straně hlavního menu v okně geometrických dat. V editačním okně příčných profilů (viz. obrázek 13) se nachází informace o souřadnicích, drsnosti, vzdálenosti od nejbližšího dolního profilu, vodorovném staničení a součiniteli místních ztrát. Na pravé straně editačního okna je zobrazen daný příčný profil. V editačním okně příčných profilů se také nastavují „levees“. Tento program má nevýhodu v tom, že modeluje zatopení dle nadmořských výšek, neuvažuje terénní překážky, které by voda musela nejdříve překonat. Proto bylo nutné do příčných profilů nastavit podmínku levees. Tato podmínka stanovuje podmínku, kam se voda může rozlít. Pokud hladina nepřesáhne zadanou mez, tak program nedovolí zahrnout okolí do aktivního průtočného průřezu, zabrání tak vykreslení hladiny. K zadání „levees“ slouží menu *Optison- Levees*, kde se zadává příslušné staničení a nadmořská výška. Podmínku lze stanovit jak pro oba břehy, tak i pro jeden břeh.

Obr. 13 Editací okno příčných profilů (Zdroj: Autor)



Dále je nutné odfiltrovat přebytečné množství bodů na příčných profilech. Maximální množství bodů na příčném profilu je 500, přičemž některé profily obsahovaly množství bodů nad 500, bylo tedy nutné snížit množství těchto bodů. Odstranění bodů lze provést dvěma způsoby přes nabídku *Tools- Cross section points*

filter, kde došlo k redukci přebytečného množství bodů, nebo přes editační okno *Cross section* ve sloupci souřadnic pomocí tlačítka *Del Row*, přičemž tento způsob je „ruční“, naopak lze body také přidávat pomocí *Ins Row*.

Důležité je po každém provedení změny kliknout na ikonku *Apply Data*. Tento krok je velmi důležitý, pokud se tak neprovede odfiltrování bodů nedojde tak k samotnému spuštění modelu.

Nedílnou součástí každého vodního toku jsou objekty na toku. Program HEC- RAS řeší proudění řadou objektů, jako jsou například mosty, jezy a propustky. Po geometri toku se přechází ke geometrii objektů. K zadávání geometrie objektů slouží ikonka *Edit and/ or create bridges and culverts*, která se nachází na levé straně hlavního menu v okně geometrických dat, hned pod ikonkou příčných profilů. Toto okno slouží pro práci s objekty, kde je možné vytvářet či editovat mosty/ přemostění, pilíře mostu, boční zdi, propustky. Po otevření je nezbytné přes záložku *Optison-Add bridges and/ or curverts* vložit staničení mostu.

K zadání vlastní konstrukce mostu slouží ikona *Edit the bridge deck/ roadway* (viz. obrázek 14), kde se vyplňují tyto údaje - *Distance* (vzdálenost okraje objektu od jeho nejbližšího horního profilu), - *Width* (šířka konstrukce), - *Weir coef* (součinitel přepadu, kde je již nastavena hodnota 1.4, která byla ponechána). Objekt se zadává do dvou příčných profilů na (*Upstream*) návodní a (*Downstream*) povodní straně. Geometrický popis objektu je dán staničením (*Station*), spodní a horní úrovní mostovky tedy, horní a spodní nadmořskou výšku objektu (*high chord/ low chord*). Druhá půlka geometrických dat povodní straně se vyplní stejně, akorát pro dolní okraj objektu. Ostatní hodnoty v tabulce mohou zůstat defaultně nastaveny.

Obr. 14 Editací okno pro geometrii objektů (Zdroj: Autor)

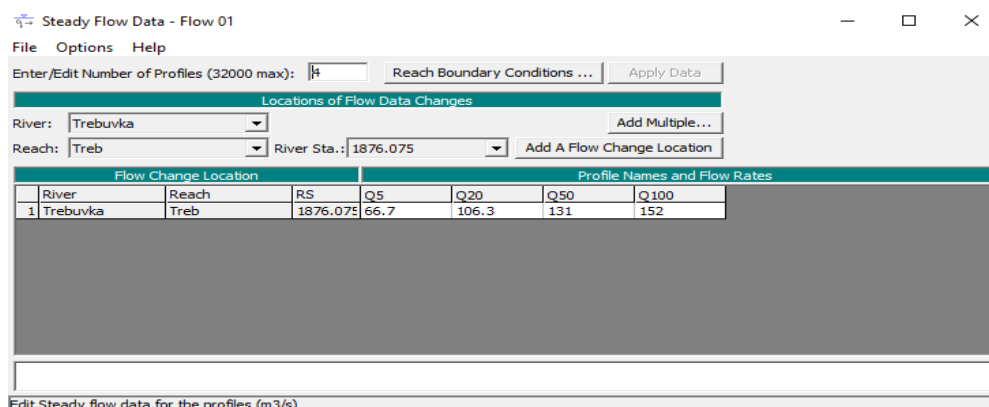
Upstream		Downstream			
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	310.16	290.11	310.97	289.87	
2	312.21	290.174	289.574	313.59	289.961 289.361
3	322.36	290.491	289.891	323.74	290.314 289.714
4	324.9	290.57		327.06	290.43
5					
6					
7					
8					

V řešeném území se nacházejí dva mostové objekty, jedním je silniční most, který spojuje dvě katastrální území a druhým objektem je pěší lávka, která je určená pro potřeby občanů. Oba tyto objekty jsou ve velmi dobrém stavu a jsou zatíženy každodenním provozem.

Důležitým krokem při tvorbě modelu jsou okrajové podmínky, kterými stanovíme chování modelu, přičemž model bez okrajových podmínek by nebyl schopný výpočtu. Tyto okrajové podmínky jsou závislé na volbě režimu výpočtu. Pokud se jedná o ustálené proudění je v obou uzávěrových profilech zvolena jedna hodnota – hladina či průtok, ale pokud se jedná o proudění neustálené, jsou pak tyto okrajové podmínky tvořeny časovými řadami jako například hydrogramem přítoku. K zadávání okrajových podmínek slouží příkaz v hlavním menu programu – *Edit- Steady flow data* (viz. obrázek 15).

Jako první je nutné zvolit horní okrajovou podmínku a s tím i počet simulací, u řádku *Edit/ Edit Number of profiles* byly zvoleny 4 simulace a to pro – Q5, Q20, Q50, Q100, kde je důležité doplnit kulminační průtoky. Jednotlivé průtoky byly poskytnuty ČHMÚ. Jako dolní okrajovou podmínkou bylo zvoleno *Critical Depth-* kritická hloubka v dolním profilu, přes *Reach Boundary Conditions*. Tímto nastavením program dokáže spočítat kritickou hloubku pro každý profil, aniž by bylo nutné zadávat další údaje.

Obr. 15 Editační okno pro okrajové podmínky (Zdroj: Autor)



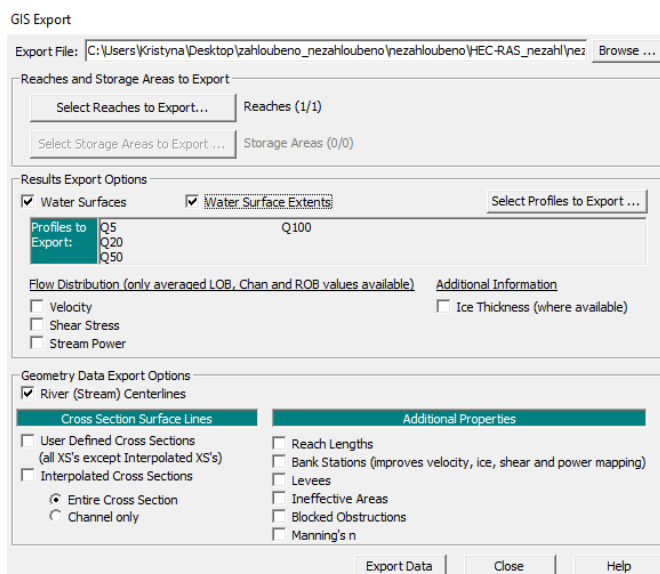
Po ukončení editace okrajových podmínek je nutné tyto data uložit přes menu – *File- Save Flow data*, pokud tak neučiníme, vyplněné informace se automaticky smažou.

Následujícím a zároveň posledním krokem před spuštěním modelu bylo v editačním okně *Steady Flow Analysis* vybrat typ proudění. K tomuto oknu vede

cesta přes hlavní menu programu – *Run- Steady Flow Analysis*. Na výběr je říční proudění, bystrinné proudění nebo kombinace těchto dvou proudění. Pro tuto práci bylo zvoleno říční proudění (*Subcritical*). Nyní je možné spustit model. Je také možné, že výpočet z nějakých důvodů nemůže proběhnout, v tomto případě se zobrazí okno *HEC- RAS Error* s výčtem chyb a problémů, které je nutné opravit pro opětovné spuštění modelu. V tomto případě nastalo chybné nastavení okrajových podmínek „*Levees*“, dále bylo nutné odfiltrování přebytečných bodů, které přesahovaly maximální hodnotu 500. Tyto uvedené opravy jsou již popsány v textu výše.

Posledním krokem v programu HEC- RAS je příprava vytvořených dat pro export zpátky do HEC –GeoRAS. Tento krok byl proveden přes hlavní menu programu *File- Export GIS Data*. Před exportem dat se objeví okno (viz obrázek 16), kde je nutné definovat jednotlivé parametry exportu. Jako první se zvolí, kam se vyexportovaný soubor uloží (*Export File*), druhým parametrem je zvolení (*Results Export Options*), kde jsou zvoleny obě záložky *Water surface a Water Surface Extents* (reprezentují vodní hladinu a její rozsah), zde také dochází k navolení simulací (*Select Profiles to Export*) Q5, Q20, Q50, Q100. V záložce *Geometry Data Export Options* ponecháme zvolené parametry. Zbytek parametrů nenastavujeme, nejsou pro tuto práci nutné. Nyní je možné export dat potvrdit tlačítkem *Export Data*.

Obr. 16 Okno pro export do GIS (Zdroj: Autor)



Výše zmíněným postupem byl identicky sestaven i druhý hydrodynamický model založený na datech, které byly upraveny softwarem CroSolver.

5.3 Vizualizace výsledků záplavových ploch pomocí nadstavby HEC- GeoRAS0

V ArcGIS je nutné vyexportovaný soubor z programu HEC- RAS převést z formátu *.sdf. na formát *.xml, formát *.sdf. nelze v programu ArcGIS otevřít. K tomuto kroku slouží funkce v prostředí HEC- GeoRAS – *Import RAS SDF File*. Dalším důležitým krokem je nastavení přes *RAS Mapping – Layer Setup*. V nově otevřeném okně se jako první nastaví název datové vrstvy (*New Analysis*), poté cesta k *.xml souboru (*RAS GIS Export File*), také cesta k DMT (*Terrain*) a typ Terrain, také se zvolí cesta pro uložení nově vytvořených dat (*Output Directory*) a jako poslední se nastaví velikost rastrových buněk (*Rasterization Cell Size*). Po úspěšném nastavení jednotlivých parametrů dojde k vytvoření nového Data Framu, který obsahuje prozatím pouze vrstvu DMT. Nyní je možné provést import dat přes RAS Mapping – *Import RAS Data*, následuje výpočet, který trvá několik minut, kdy na konci úspěšného importu se v tabulce zobrazí *RAS Data imported to GIS successfully*. Tímto způsobem došlo k importu všech dat vytvořených v prostředí HEC- RAS do ArcGIS. Posledním krokem k zobrazení výsledků je zobrazení výstupů, které reprezentují záplavové území. K tomuto kroku slouží záložka RAS Mapping. Přes *RAS Mapping- Water Surface Generation* se vytvoří z příčných profilů digitální model terénu, následně přes *RAS Mapping – Floodplain Delineation Using Raster* vzniknou dvě nové vrstvy, které reprezentují záplavové území. První vrstva - je rastrová vrstva hloubky vody - druhá je polygonová vrstva pro předem vybrané průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} .

Stejným způsobem byly vyhodnoceny oba tyto modely.

6. Výsledky

Diplomová práce byla založena na vytvoření dvou modelů, které byly následně porovnány s vyhodnocením přesnějšího modelu.

Jeden model byl sestaven na základě dat DMR 5G, kdy data byla zapůjčena od ČÚZK, tato data měla formát textového dokumentu X, Y, H. Druhý model byl sestaven na základě stejných dat, kdy koryto vodního toku bylo zahlabeno pomocí nástroje CroSolver. Data o N- letých průtocích byly poskytnuty ČHMÚ.

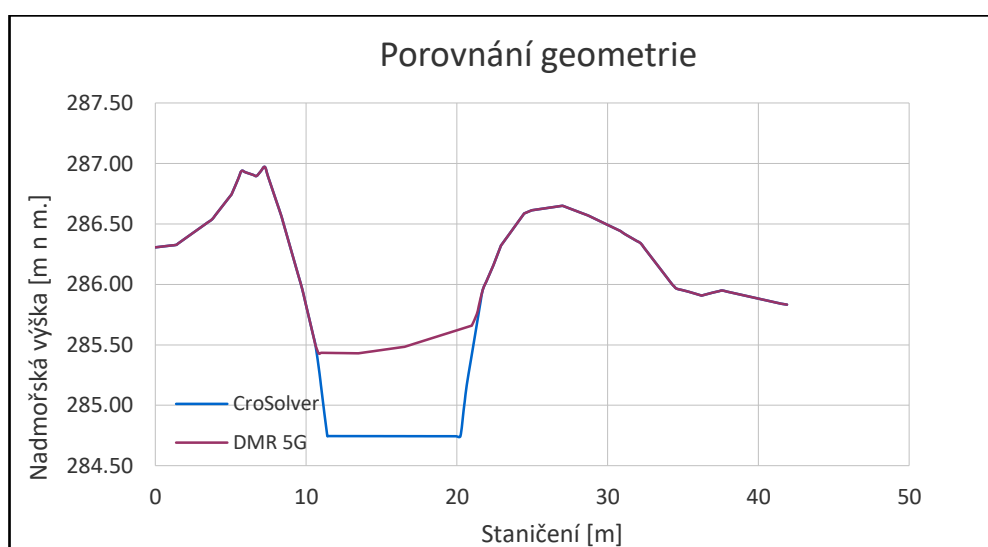
Oba tyto modely byly řešeny s pomocí volně dostupného softwaru HEC- RAS, který je vhodný pro tvorbu záplavových linií.

Pro následné porovnání výsledků bylo nutné při vytváření modelů vkládat shodné vstupní parametry, pokud by tomu tak nebylo došlo by k znehodnocení výsledků a následné porovnání by nebylo možné.

Výsledné modely byly porovnány dle nadmořských výšek hladin, průtočných ploch a šířek v hladině v závislosti na průtoku. Každý model byl porovnán pro čtyři různé N- leté průtoky a to pro Q_5 , Q_{20} , Q_{50} , Q_{100} . Výsledné záplavové linie pro Q_5 a Q_{100} byly porovnány pro oba modely.

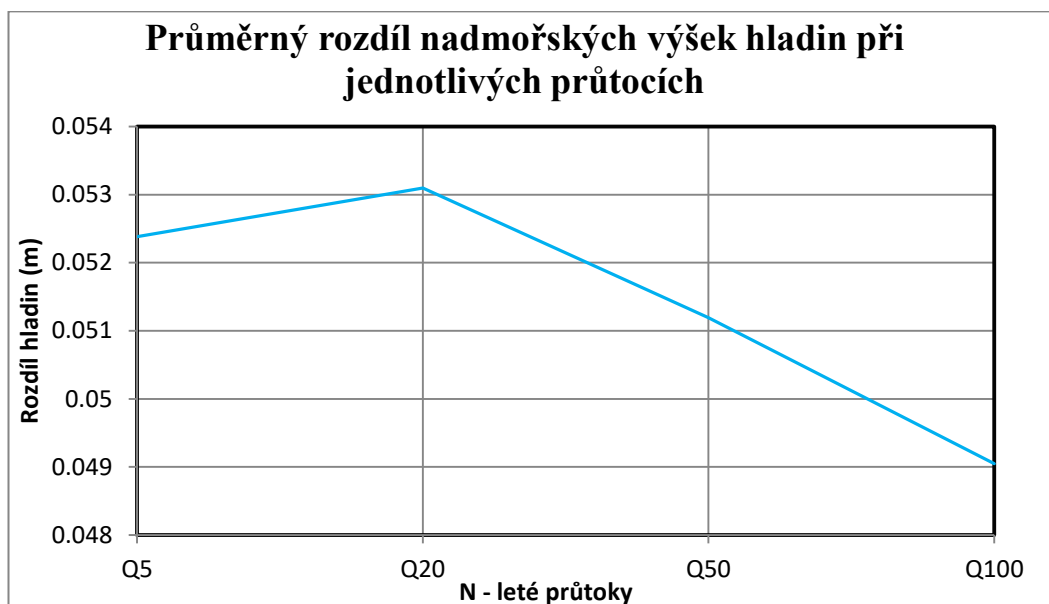
Na obrázku 17 je ukázka porovnání výsledných dvou modelů, v jednom případě se jedná o zahlabené koryto pomocí nástroje CroSolver, v druhém případě se jedná o koryto vytvořené z dat DMR 5G. Z grafu lze vyčíst, že rozdíl je pouze v geometrii koryta, přičemž okolí koryta je neměnné.

Obr. 17 ukázka porovnání geometrie



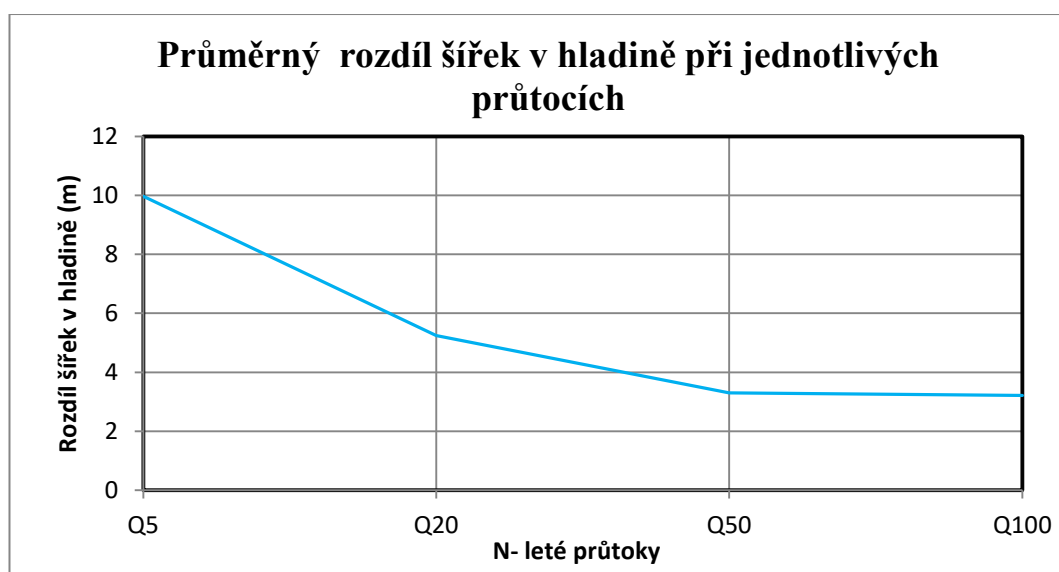
Z obrázku vyplývá, že rozdíl průměrných nadmořských výšek jak pro model zahloubený tak i pro nezahloubený se u Q_5 zvětšuje a u Q_{20} zase plynule zmenšuje. Průměrný rozdíl nadmořských výšek u obou modelů je zanedbatelný z důvodu velké rozlivné plochy a specifického terénu.

Obr. 18. Průměrný rozdíl nadmořských výšek



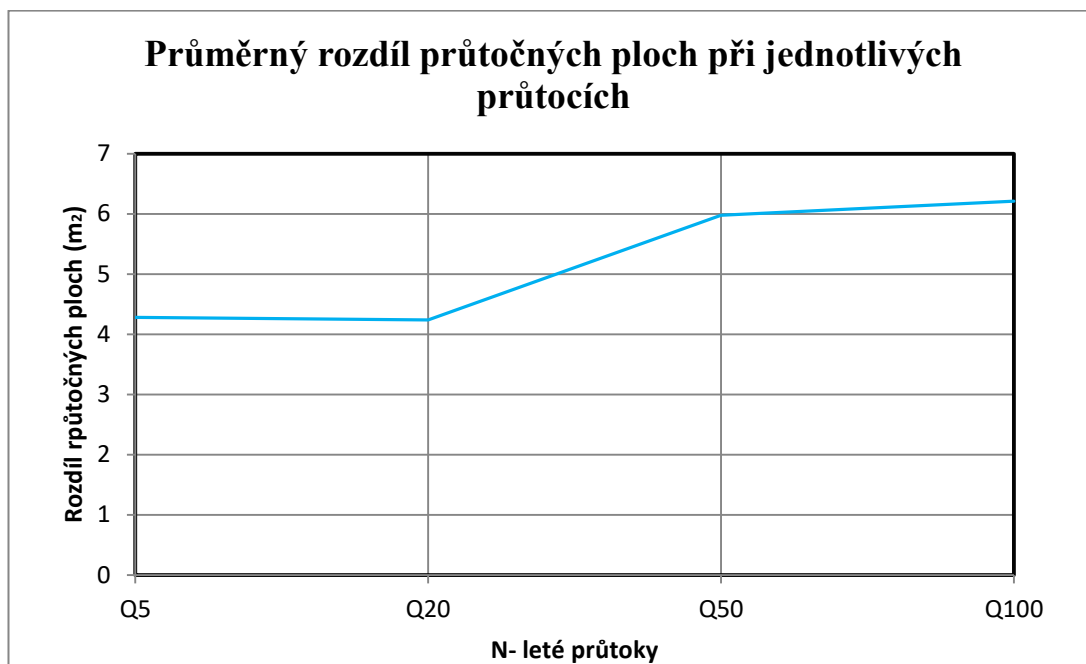
Šířka v hladině je závislá na morfologii terénu. Z obrázku vyplývá, že průměrný rozdíl šířek v hladině se plynule zmenšuje až po Q_{50} . U Q_{100} je průběh těchto šířek pro oba modely téměř totožný, také rozdíl celkových šířek v hladině je až na drobné lokální odchylky téměř totožný.

Obr. 19. Průměrný rozdíl šířek v hladině



U průtočných ploch je rozdíl mezi Q_5 a Q_{20} nejprve téměř totožný, poté se rozdíl zvyšuje, ale opět se vrací k tomu, že je téměř totožný i mezi Q_{50} a Q_{100} . V tomto případě u Q_{20} je dokonce plocha zahloubeného modelu v lokálních odchylkách větší než u nezahloubeného modelu, ale opět je tento rozdíl mezi modely zanedbatelný.

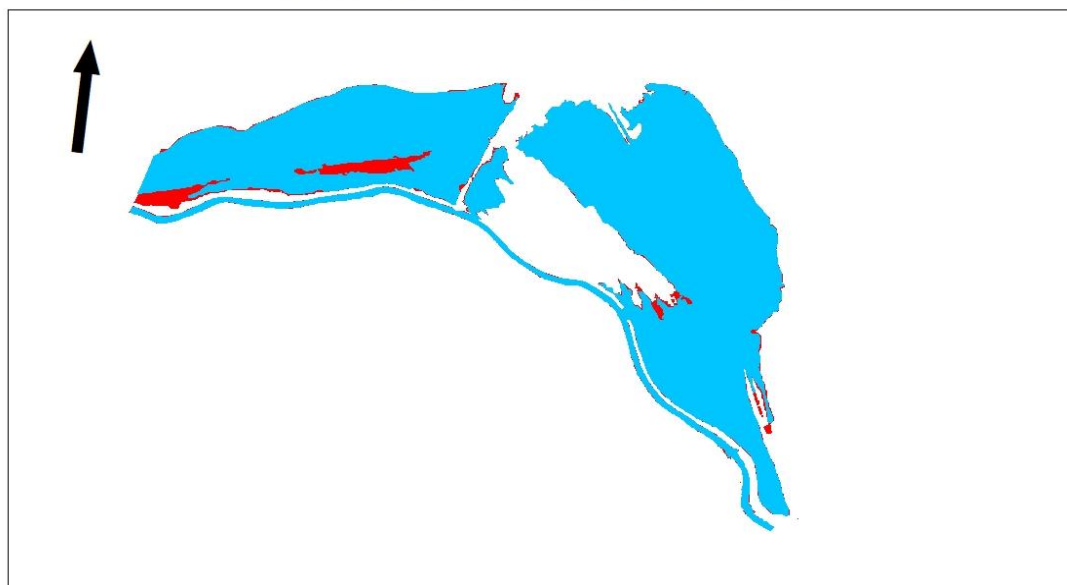
Obr. 20. Průměrný rozdíl průtočných ploch





Na obrázku číslo 21 a 22 jsou zobrazeny výsledné záplavové plochy pro Q_5 a Q_{100} . Na každé z těchto map jsou porovnány výsledné záplavové plochy, kde podklad tvoří samotná data DMR 5G a jsou porovnána s daty DMR 5G kdy koryto vodního toku bylo zahloubeno pomocí nástroje CroSolver. Tyto výsledné záplavové plochy se od sebe liší minimálně. Až na drobné lokální odchylky si zátopové oblasti v obou případech odpovídají. V tomto případě lze použít jako podklad i samotná data DMR 5G, kdy dochází k zanedbatelnému rozdílu.

Obr. 21 Výsledné záplavové území pro Q_5

Záplavové území v řešeném úseku vodního toku Třebůvka v obci Vranová Lhota



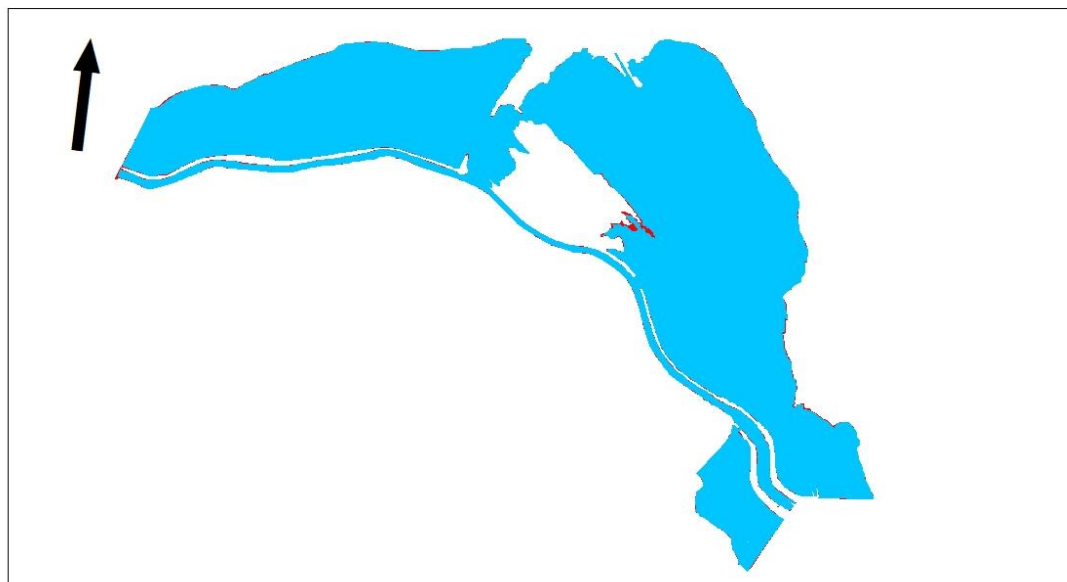
 Q5 CroSolver
 Q5 DMR 5G



1:8 000


Souřadnicový systém S-JTSK
Obec Vranová Lhota
Bc. Kristýna Jurová, Jevíčko ©2018

Obr. 22 Výsledné záplavové území pro Q_{100}

Záplavové území v řešeném úseku vodního toku Třebůvka v obci Vranová Lhota



 Q100 CroSolver
 Q100 DMR 5G

1:8 000


Souřadnicový systém S-JTSK
Obec Vranová Lhota
Bc. Kristýna Jurová, Jevíčko ©2018

7. Diskuze

Diplomová práce se zabývá syntézou hydrologických dat a leteckého laserového skenování, která se nabízí jako alternativa k hydrodynamickému modelování.

V dnešní době digitalizace plyne otázka, zda by bylo možné, aby letecké laserové skenování (LLS) nahradilo geodetické měření. Získávání geodetických dat je velmi časově náročné a také pořízení těchto dat je velmi nákladné. Hydrodynamický model lze sestavit na datech LLS, ale ne vždy je to vhodné, z důvodu velké odchylky mezi daty LLS a zaměřenými geodetickými daty a také LLS nedokáže oskenovat vodní tok, laserový paprsek neproniká skrze hladinu vodního toku. Data LLS jsou využívány ve vodním hospodářství poměrně často v různých kombinacích s daty získanými jinou technologií měření.

Uhlířová a Zbořil (2009) si myslí, že data LLS je možné využít jako geodetický podklad, dokonce si myslí, že data LLS je vhodné využít k určení geometrie toku na specifických vodních tocích, kde se nachází malá hloubka vody. V tomto případě souhlasím s názorem Uhlířové a Zbořila v jejich publikaci k tomuto výsledku jsem také dospěla. V práci jsem sestavila dva hydrodynamické modely, kdy jeden model byl založen na datech DMR 5G, druhý model byl založen také na datech DMR 5G, ale byl upraven zahloubením koryta pomocí nástroje CroSolver, který se snaží eliminovat chyby z dat DMR 5G jak uvádí Roub et al. (2015), v tomto případě byl výsledek až na lokální odchylky identický. Hloubka vody v korytě vodního toku je 30 cm, proto je možné souhlasit s výše zmíněným názorem.

Roub et. al. (2012) tvrdí že je nejlepší uplatnění v mapování pomocí LLS s kombinací geodetických podkladů. Při využití neupraveného DMT z dat LLS je hlavní chybou zanedbání zatopené části koryta vodního toku, čímž je také ovlivněna velikost průtočné plochy.

Nutností je zdůraznit, že při samotném využití geodetického měření mohou nastat také problémy, jakými mohou být například nedostatečně kapacitní příčné profily, nebo velká vzdálenost mezi jednotlivými profily. V případě, že jsou příčné profily extrahované z DMT, lze tyto nedostatky jednoduše odstranit, ale při použití geodeticky zaměřených příčných profilů to není už tak snadné. Jedná se o protažení

příčného profilu nebo o interpolaci profilů na vodním toku přímo v modelovacím softwaru, ale tyto postupy mohou do výpočtu zanést chyby.

Chybu je také možné vytvořit i použitím nástroje CroSolver. Roub et al. (2015) říkají, že nástroj CroSolver je dostatečně robustní z hlediska vstupních parametrů, kterými je sklon svahů a drsnostní součinitel. Nedostatkem je však nemožná volba schematizace průřezu koryta. Aktuálně nástroj CroSolver využívá schematizaci lichoběžníku, přičemž tento tvar nedokáže vystihnout přirozený tvar koryta vodního toku. Podhoranyi et Fedorcak (2014) uvádějí, že nebyl jednoznačně prokázán vliv tvaru schematizace na výsledky modelování. Ale Roub et al. (2015) tvrdí, že v budoucnosti předpokládají zlepšování přesnosti nástroje.

Dalším zdrojem chyby může být také špatné změření průtoku pro zahlubování, ale Roub et al. (2015) předpokládá, že tato chyba může mít zanedbatelný vliv, především pro modelování vyšších průtoků N- letostí.

8. Závěr

Cílem práce bylo sestavit dva hydrodynamické modely společně se záplavovými čarami, které byly následně porovnány. První varianta modelu byla založena na datech DMR 5G a druhá varianta modelu byla založena na stejných datech, kdy koryto vodního toku bylo zahlobeno pomocí nástroje CroSolver. V kapitole 4 je popsán postup sestavení obou hydrodynamických modelů a v kapitole 5 je vyhodnocení těchto hydrodynamických modelů v průměrném rozdílu jednotlivých stanovených charakteristik, jako je porovnání nadmořských výšek, porovnání průtočných ploch, porovnání šířek v hladině.

Pro úspěšné vyhotovení výsledků bylo nutné využít mnoha programů ArcGIS, HEC- GeoRAS, HEC- RAS, Microsoft Excel, kde probíhala příprava dat, úprava dat, modelování pro jednotlivé N- letosti a vykreslení záplavových území. Záplavové území jsou zobrazené v přílohách této práce.

Kvůli specifickým podmínkám, kam patří především malá hloubka vody v korytě toku, nedochází při použití dat DMR 5G k výraznému zanedbání průtočné plochy koryta toku. Lze tedy použít i jako podklad DMR 5G. Také nástroj CroSolver má velmi dobrý potenciál pro budoucnost v hydrodynamickém modelování.

9. Požítá literatura a zdroje

Kniha:

ACKERMAN C. T., 2012: HEC- GeoRAS, GIS Tools for Suport of HEC- RAS using ArcGIS Users Manual. US Army Corps of Engineers, Davis.

BALVÍN P., GABRIEL P., BOUŠKA P., HAVLÍK A., 2009: Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích, VÚV T.G. Masaryka, Praha

BECKER A., SERBAN P., 1990: Hydrological models for water- resources system design and operation, Ženeva

BEVEN K J., 2001: Rainfall- runoff modeling. The Prime. London, John Wiley and Sons

BRÁZDIL R., a kol. 2005: Historické a současné povodně v České republice. MU Brno, ČHMÚ Praha,

BRUNNER G. W., 2016: HEC- RAS, River Analysis Systém Users Manual. US Army Crops of Engineers, Davis.

CEMPÍRKOVÁ S., 2013: Povodeň: co dělat: publikace pro menší obce. Praha: Centrum pro bezpečný stát, ISBN 9788090561502.

CÍLEK V., KENDER J., 2004: Voda v krajině: kniha o krajnotvorných programech. Praha: Consult pro Ministerstvo životního prostředí a Agenturu ochrany přírody a krajiny ČR, ISBN 8090213278.

CLARKE R. T., 1973: Matematical models in hydrology. Irrigation and Drainage paper, FAO Rome.

ČAMROVÁ L., JÍLKOVÁ J., 2006: Povodně v území: institucionální a ekonomické souvislosti. Praha: Eurolex Bohemia, Ekonomie (Eurolex Bohemia). ISBN 8073790009.

DAŇHELKA J., ELLEDER L., 2012: Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR. ČHMÚ Praha, ISBN 978- 80- 87577- 12- 7

DAŇHELKA J., KREJČÍ J., ŠÁLEK M., ŠERCL P., ZEZULÁK J., 2003: Posouzení vhodnosti aplikace srážko- odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZU a ČHMÚ, Praha

DAŇHELOVÁ L., 1997: Život s povodněmi, Ostrava, ISBN 80-239-4053-8

DHI., 2003: MIKE 11- Modelling systém for rivers and channels, Short introduction tutorial, Danish hydraulic institute, Horsholm, Denmark. Online: <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/geoekologie/mike-11-short-introduction-tutorial.pdf>, cit. 4. 3. 2018

DINGMAN L., S., 2002: Physical hydrology. Prentice Hall

HRÁDEK F., KUŘÍK P., 2003: Hydrologie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta ve vydavatelství Credit, ISBN 9788021309500.

CHOW V. T., 1959: Open channel hydraulice. McGraw- Hill civil engineering series, New York

JANEČEK M., Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.

JANÍČEK M., 2014: Klasifikace hydrologických modelů, pdf Klasifikace hydrologických modelů Michal Janíček

JENÍČEK M., 2005: Možnosti využití srážko- odtokových modelů na malých a středně velkých povodích. IN langhammer J. (ed.): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha: online: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=publikace&cislo=3> cit. 21. 2. 2018

KONVIČKA M., 2002: Město a povodeň: strategie rozvoje měst po povodních. Brno: ERA, ISBN 80-86517-38-1.

KOTYZA O., CVRK F., PAŽOUREK V., 1995: Historické povodně na Dolním Labi a Vltavě. Okresní muzeum v Děčíně,

KOUDELKA O., 2006: Když Třebůvka unášela čas. Vranová Lhota: Obecní úřad Vranová Lhota, ISBN 9788023985764.

KOVÁŘ M., 2004: Ochrana před povodněmi, Triton, Praha, ISBN 80-7254-499-3

KREJČÍ L., 2009: Údolí Třebůvky, analýza přírodně- kulturních podmínek území, Brno

KŘÍŽEK M., ENGEL Z., 2007: Povodně v České republice – pět a deset let poté. Geografické rozhledy,

KŘOVÁK F., KOVÁŘ P., KADLEC V., 2014: Technická protierozní opatření: Hrazení bystřin a strží. Praha.

KULHAVÝ Z., KOVÁŘ P., 2002: Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha

LANGHAMMER J., 2007: ed. Povodně a změny v krajině. Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 9788086561868.

MÁCA P., 2014: Hydrologie pro bakaláře. Skriptum ČZU v Praze.

MUNZAR J., ONDRÁČEK S., 2012: Historické povodně a jejich dokumentace. Geografické rozhledy.

Ochrana před povodněmi v Bavorsku 2006: poldry: data + fakta + cíle. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství ČR vydal Ústav pro ekopolitiku., ISBN 80-903244-9-5.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ R., FRAJER J., Základy hydrologie. Skriptum UP v Olomouci

PODHORANYI M., FEDORCAK D., 2014: Inaccuracy introduced by LiDAR generated cross sections and its impact on 1D hydrodynamic simulations. Environmental Earth Sciences.,

Plán oblasti povodí horní Vltavy 2009: Ochrana před povodněmi a vodní režim krajiny. Povodí Vltavy, státní podnik. Praha., Dostupné z: http://www.pvl.cz/portal/hydroprojekt/VD/D/1_TEXTOVA_CAST/VD_Kapitola_D.pdf, cit: 5. 2. 2017

Praktická příručka., 2000: Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky. Ministerstvo zemědělství ČR v Agrospoji. Praha, Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/365715/Strategie_ochrany_pred_povodnemi.pdf, Cit: 5. 2. 2017

QUITT E., 1971: Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica 16. Brno: Academia, Geografický ústav ČSAV.

ROUB R., CroSolver for ArcGIS Nástroj CroSolver pro práci v prostředí ArcGIS ver 1.0 Manuál 2014

ROUB R., HEJDUK T., NOVÁK P., 2012: Využití dat z tvorby nového výškopisu na území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik., Geodetický a kartografický obzor., Ročník 58/100

ROUB R., NOVÁK P., URBAN F., HAVLÍČEK V., HEJDUK T., BUREŠ L., REIL A., 2015: Vývoj softwarových nástrojů CroSolver a CroSolver for ArcGIS pro přípravu výpočetní tratě hydrodynamických modelů. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 1/2005

ŠTĚPÁNKOVÁ P., 2006: Jarní povodeň 2006 v České republice příčiny a následky. Výzkumný Ústav Vodohospodářský T.G.M. online:
http://www.vuv.cz/files/pdf/problematika_povodni/povoden-2006_poster.pdf, cit: 20. 11. 2017

TOMÁŠEK A., 2015: Žijeme v záplavovém území, Praha,

UHLÍŘOVÁ K., ZBOŘIL A., 2009: Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. (online) Dostupné z:
http://www.dibavod.cz/data/lls_clanek_vtei.pdf?PHPSESSID=vcbxqccbl, cit: 19. 11. 2018

VALENTA P., 2005: Využití numerických modelů proudění vody v protipovodňové ochraně. České vysoké učení technické v Praze, Praha

Vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, s.p. V Praze. Povodeň- srpen 2002: Souhrnná zpráva za Povodí Vltavy, statní podnik. Praha, 2003., [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z:
http://www.dibavod.cz/data/povodnove_zpravy/vltava/vltava_08_2002.pdf,

Vyhodnocení povodní v červnu 2013: Souhrnná zpráva za Povodí Vltavy, statní podnik. Praha, 2014., online: <http://voda.chmi.cz/pov13/SouhrnnaZprava.pdf>, cit:20. 11. 2017

ZÁKON 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění zákona č. 150/2011 Sb.

Internetové zdroje:

Ministerstvo životního prostředí: ochrana před povodněmi [online]. cit. 6. 2. 2018.,
Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/ochrana_pred_povodnemi

Možnosti řešení povodňových situací v Česko-slovenském pohraničí:
Protipovodňová opatření [online]. cit. 6. 2. 2018., Dostupné z: <http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni>

Ministerstvo životního prostředí: Povodňové mapy a stanovené záplavové
území [online]. Praha cit. 9. 2. 2018., Dostupné z:
https://www.mzp.cz/cz/povodnove_mapy_stanovene_zaplavove_uzemi

Stupně povodňové aktivity: Hlásná a předpovědní povodňová
služba. [Http://portal.chmi.cz](http://portal.chmi.cz) [online]., cit. 21. 11. 2017., Dostupné z:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povodnova_ochrana.html

Lokace území v poměru s ČR. <https://www.wikipedia.cz> [online]. cit. 5. 3. 2018.
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vranov%C3%A1_Lhota

Podrobnější lokace území. <https://mapy.cz> [online]. cit. 5. 3. 2018., Dostupné z:
<https://mapy.cz/zakladni?x=16.8174519&y=49.7075389&z=13&source=muni&id=2872>

Stránky výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka- oddělení GIS
<https://www.vuv.cz> [online]. cit. 28. 11. 2017. Dostupné z:
<http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>

N- leté průtoky m³.s⁻¹ Třebůvky v Lošticích., Stránky ČHMÚ: <https://www.chmi.cz>
[online]. cit. 5. 3. 2018. Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/opv/doc/qn.pdf>

Struktura využívání území v obci Vranová Lhota., <http://www.moravskatrebova.cz>
[online]. cit. 5. 3. 2018., Dostupné z:
<http://www.moravskatrebova.cz/cs/rozvoj/strategicke-rozvojove-dokumenty/uzemni-plany-obci/vranova-lhota-upo/vranova-lhota-upo.html>

10. Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

<i>Obr. 1. 1 stupeň povodňové aktivity (Zdroj: portal.chmi.cz)</i>	21
<i>Obr. 2. 2 Stupeň povodňové aktivity (Zdroj: portal.chmi.cz)</i>	22
<i>Obr. 3. 3 Stupeň povodňové aktivity (Zdroj: portal.chmi.cz)</i>	22
<i>Obr. 4. Klasifikace deterministických modelů (Becker a Serban, 1990)</i>	31
<i>Obr. 5. Lokace území (Zdroj: www.wikipedia.cz, mapy.cz)</i>	37
<i>Obr. 6. Povodí Třebůvky (Zdroj: www.vuv.cz)</i>	38
<i>Obr. 7. Využívání území v obci Vranová Lhota (Zdroj: www.moravskatrebova.cz)</i>	41
<i>Obr. 8. Vymezení zájmového území (Zdroj: Autor, 2018)</i>	42
<i>Obr. 9. Digitální model terénu (Zdroj: Autor)</i>	43
<i>Obr. 10. Základní schéma funkce CroSolveru (Zdroj: Roub R., 2014)</i>	47
<i>Obr. 11. Základní okno Programu (Zdroj: Autor)</i>	49
<i>Obr. 12. Vykreslená geometrie řešeného úseku (Zdroj: Autor)</i>	50
<i>Obr. 13. Editační okno příčných profilů (Zdroj: Autor)</i>	51
<i>Obr. 14. Editační okno pro geometrii objektů (Zdroj: Autor)</i>	52
<i>Obr. 15. Editační okno pro okrajové podmínky (Zdroj: Autor)</i>	53
<i>Obr. 16. Okno pro export do GIS (Zdroj: Autor)</i>	54
<i>Obr. 17. ukázka porovnání geometrie</i>	56
<i>Obr. 18. Průměrný rozdíl nadmořských výšek</i>	57
<i>Obr. 19. Průměrný rozdíl šířek v hladině</i>	57
<i>Obr. 20. Průměrný rozdíl průtočných ploch</i>	58
<i>Obr. 21. Výsledné záplavové území pro Q_5</i>	59
<i>Obr. 22. Výsledné záplavové území pro Q_{100}</i>	59

Seznam tabulek:

<i>Tab. 1. Hodnoty funkce CroSolver 3 computation (Zdroj: autor)</i>	48
--	----

11. Seznam příloh

Příloha č. 1 Výsledné záplavové území pro Q5 vytvořené pomocí nástroje CroSolver

Příloha č. 2 Výsledné záplavové území pro Q20 vytvořené pomocí nástroje CroSolver

Příloha č. 3 Výsledné záplavové území pro Q50 vytvořené pomocí nástroje CroSolver

Příloha č. 4 Výsledné záplavové území pro Q100 vytvořené pomocí nástroje CroSolver

Příloha č. 5 Část řešeného úseku vodního toku Třebůvka

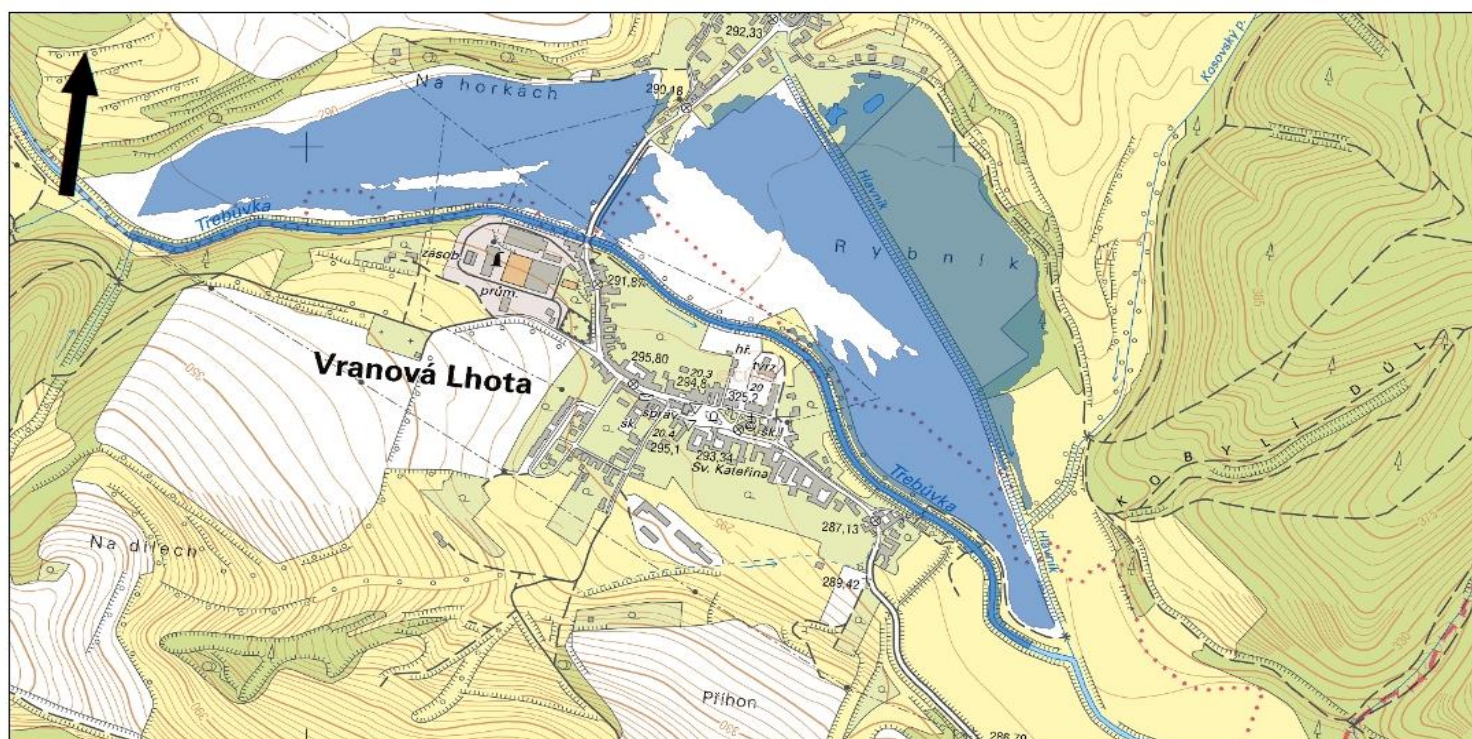
Příloha č. 6 Část řešeného úseku vodního toku Třebůvka

Příloha č. 7 Lávka pro pěší

Příloha č. 8 Pohled na vodní tok z lávky pro pěší

Příloha č. 9 Místo kde dochází k vylití vody z koryta vodního toku do krajiny

Záplavové území v řešeném úseku vodního toku Třebůvka v obci Vranová Lhota



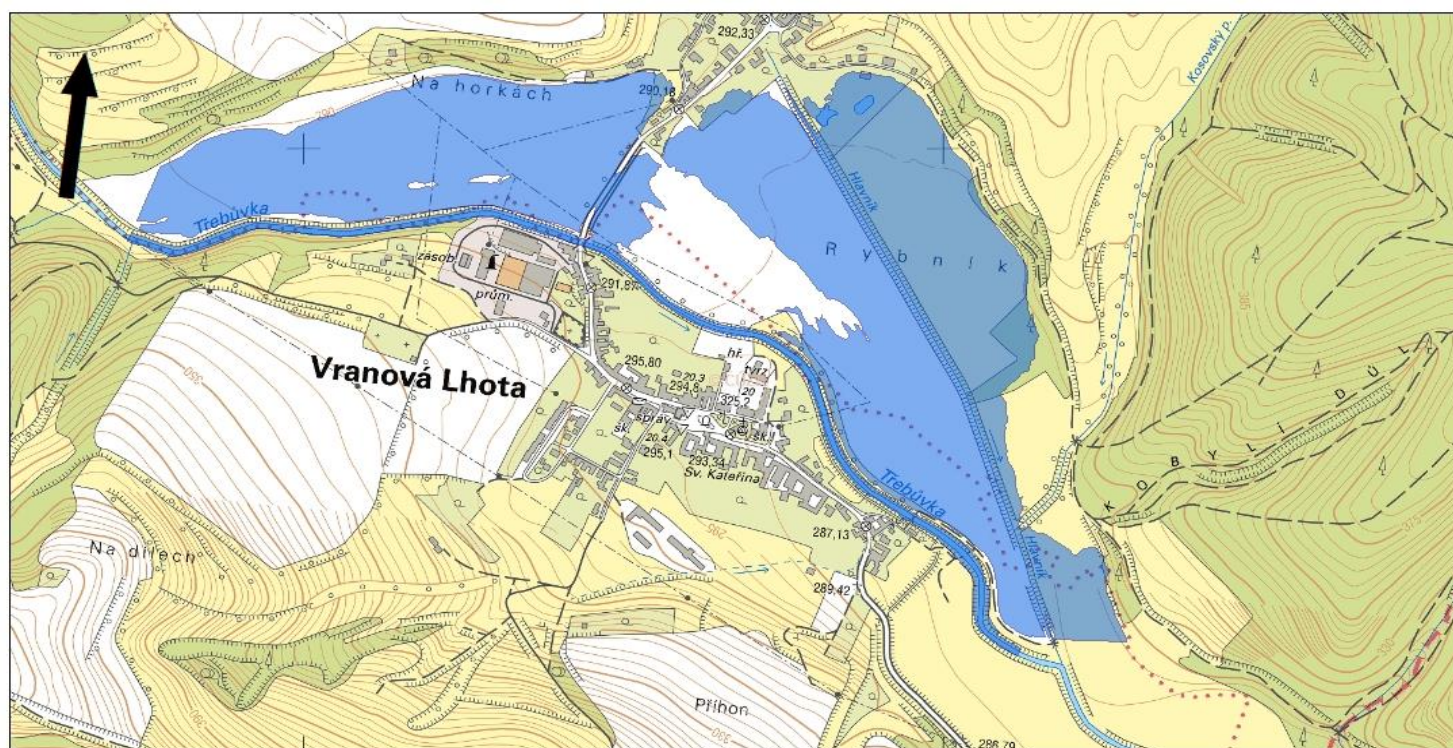
 Q5

1:8 000


Souřadnicový systém S-JTSK
Podkladová mapa ZM 10
Obec Vranová Lhota
Bc. Kristýna Jurová, Jevíčko ©2018

Příloha č. 2 Výsledné záplavové území pro Q20 vytvořené pomocí nástroje CroSlover

Záplavové území v řešeném úseku vodního toku Třebůvka v obci Vranová Lhota

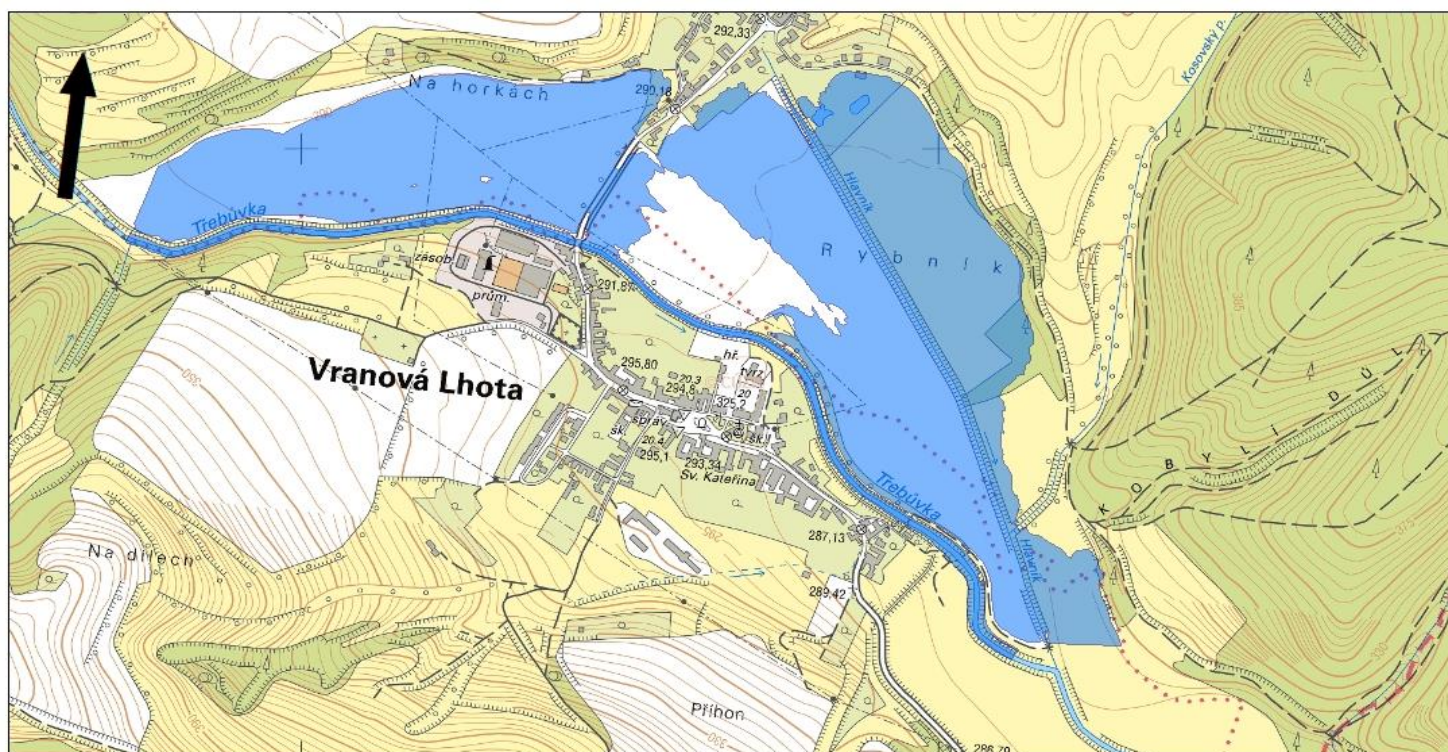


 Q20

1:8 000


Souřadnicový systém S-JTSK
Podkladová mapa ZM 10
Obec Vranová Lhota
Bc. Kristýna Jurová, Jevíčko ©2018

Záplavové území v řešeném úseku vodního toku Třebůvka v obci Vranová Lhota



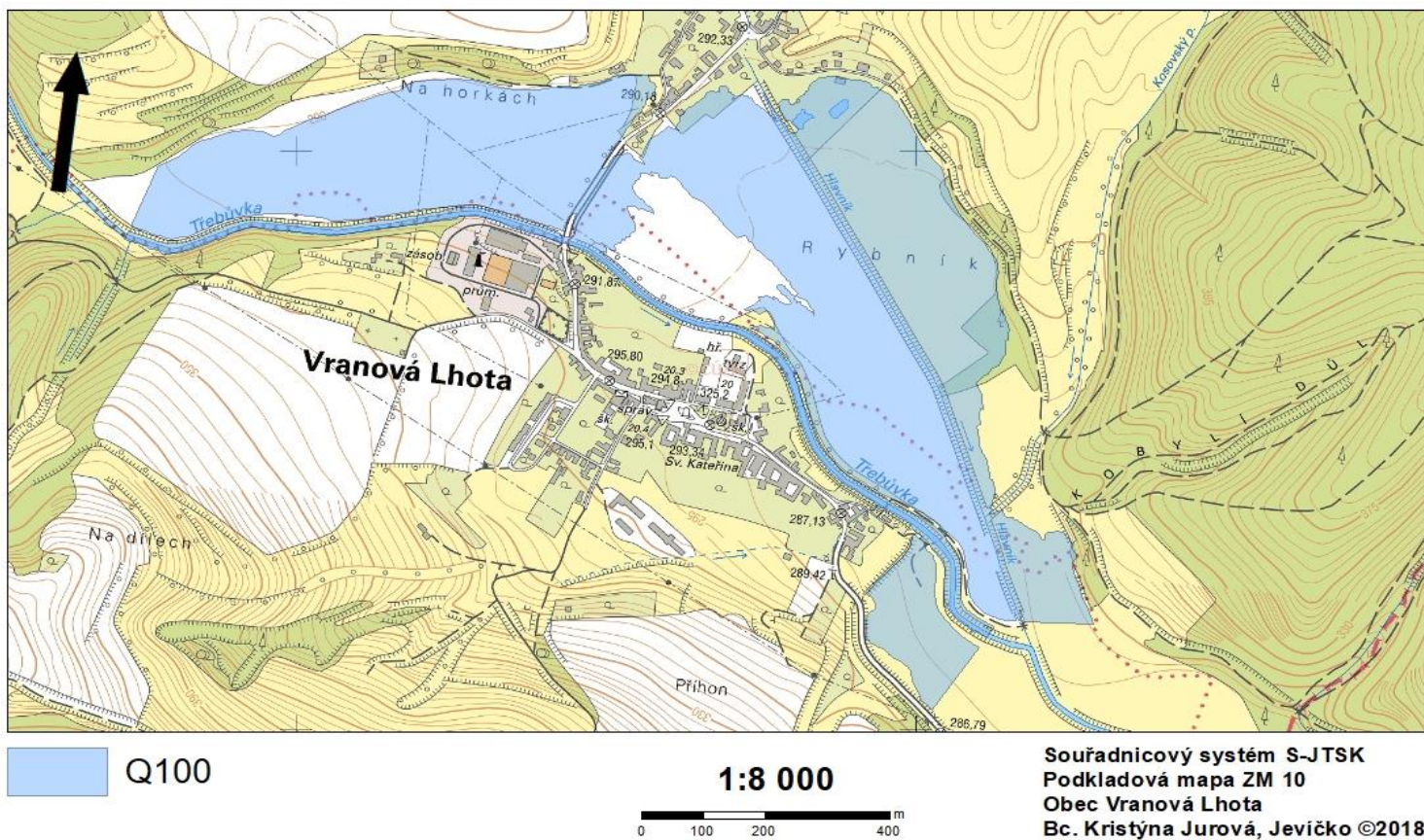
Q50

1:8 000
0 100 200 400 m

Souřadnicový systém S-JTSK
Podkladová mapa ZM 10
Obec Vranová Lhota
Bc. Kristýna Jurová, Jevíčko ©2018

Příloha č. 4 Výsledné záplavové území pro Q100 vytvořené pomocí nástroje CroSolver

Záplavové území v řešeném úseku vodního toku Třebůvka v obci Vranová Lhota



Příloha č. 7 Část řešeného úseku vodního toku Třebůvka



Příloha č. 8 Část řešeného úseku vodního toku Třebůvka



Příloha č. 9 Lávka pro pěší



Příloha č. 10 Pohled na vodní tok z lávky pro pěší



Příloha č. 11 Místo kde dochází k vylití vody z koryta vodního toku do krajiny

