

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

HYDROTECHNICKÉ POSOUZENÍ
VODNÍHO TOKU BOTIČ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE:

DIPLOMANT:

Ing. RADEK ROUB, Ph.D.

Bc. ROMAN ŽÁK

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Roman Žák

Voda v krajině

Název práce

Hydrotechnické posouzení vodního toku Botič

Název anglicky

Hydrotechnical assessment of Botič water flow

Cíle práce

Prvním cílem diplomové práce je sestavení hydrodynamického modelu zájmového úseku na vodním toku Botič. Model bude vytvořen v počítačovém softwaru HEC-RAS, za pomoci dat z digitálního modelu reliéfu 5. generace. Budou zadány rozměry objektů na toku, které mohou při povodních zvětšovat vybřežení vody z koryta toku a tím přispět k zaplavení většího území.

Druhým cílem této práce je hydrotechnické posouzení stávajícího stavu vodního toku a průtočnosti objektů s určení záplavových čar při průchodu N-letých průtoků na vodním toku Botič. Průtoky s periodicitou opakování 5, 10, 50 a 100 let a následné vykreslení záplavových čar do stávající situace.

Metodika

1. Úvod
2. Určení cílů práce
3. Zpracování rešeršní části na téma povodně, matematické modelování, objekty na vodních tocích a hydrologické pojmy.
4. Charakteristika zájmového území a vodního toku
5. Sestavení hydraulického modelu
6. Vyhodnocení výsledků
7. Diskuse a závěr
8. Seznam použité literatury

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

HEC-RAS, povodně, DMR 5. generace, objekty na vodním toku, příčný profil

Doporučené zdroje informací

- Armstrong G., Aprahamian M., Fewings A., Gough P., Reader N., Varallo P., 2010. Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales. Environmental Agency. 369 s.
- Becker A., Serban P, 1990. Hydrological models for water – resources system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva, 80 s.
- Brunner, Gary N., 2010: HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Online: ftp://ftp.usace.army.mil/publiwr-hec-web/software/ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf.
- Mareš K. 1997: Upravy toků- navrhování koryt, ČVUT, Praha
- Novák P., Roub R., Veverka M., Hejduk T., Maxová J., Zajíček A., Bureš L., Ptačnicková L., 2015. Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy: Certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací. Výzkumný ústav meliorací a ochrana půdy, Praha, ISBN 978-80-87361-50-4.
- Scharffenberg W., 2016. Hydrologic Modeling Systém HEC-HMS User's Manual. Online:http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf
- Warner J. C., Brunner G. w., Wolfe B. C. et Piper S. s. . 2010: HEC-RAS River Analysis System Applications Guide. Online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.1_Applications_Guide.pdt
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 15. 3. 2018

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 16. 3. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2018

Prohlášení o původnosti práce

Prohlašuji, že celou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. Veškerá literatura a zdroje, z nichž jsem v průběhu vypracovávání diplomové práce čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a zdrojů.

V Praze, dne:.....

.....

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a důležité rady při zpracování této práce, paní Ing. Kateřině Gdulové za ochotu a vstřícné jednání při zapůjčování přístrojů. Poděkování také patří panu Ing. Josefu Šlingerovi z MHMP Odbor ochrany prostředí za poskytnutá data a informace a paní Chaloupecké a paní Dostálkové z ČÚZK za milé a vstřícné jednání při poskytování dat.

Velmi bych chtěl poděkovat celé mé rodině za podporu a trpělivost po dobu mého studia i mimo něj.

V Praze, dne:.....

.....

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá hydrotechnickým posouzením vodního toku Botič, se stanovením záplavových území pro N-leté průtoky (Q_5 , Q_{10} , Q_{50} , Q_{100}). Práce je rozdělena na dvě části.

Teoretická část popisuje povodně, hydrologické pojmy, objekty na toku a matematické modelování.

Praktická část vymezuje a charakterizuje zájmové území, vstupní podkladová data, ze kterých bude vytvořen digitální model terénu a hydrodynamický model v programu HEC-RAS k hydrotechnickému posouzení. Z výsledků modelu je vykreslen rozliv vody do okolí pomocí programu ArcGIS, kde jsou zakresleny záplavové čáry do mapových podkladů.

Závěrečná část je tvořena vyhodnocením hydrotechnického posouzení vodního toku, záplavových území a objektů na toku.

Klíčová slova:

HEC-RAS, povodně, DMR 5. generace, objekty na vodním toku, příčný profil

Abstract

The diploma thesis deals with hydro technological assessment of Botič waterflow with determining flooded area for N-year flow (five, ten, fifty and hundred years – marked as Q_5 , Q_{10} , Q_{50} and Q_{100}). Thesis is divided into two parts.

The first is theoretical in which are stated floods, hydrological terms, objects on watercourse and mathematical modelling.

The second is practical part, which characterize the interested area, the input data (from which will be created digital model of terrain) and the hydrodynamical model from program HEC-RAS for the hydro technological assessment. From these results is in program ArcGIS drawn the spillage of water into the area around watercourse. In this program are even inscribed flood lines into the maps background.

Conclusion consist from evaluation of the hydro technological assessment of the watercourse, floodplains and object on the river.

Keywords:

HEC-RAS, floods, DMR 5th generation, objects on rivers, cross profile

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce	2
I	Teoretická část	3
3	Vymezení pojmů	4
3.1	Pramen	4
3.2	Povodí	4
3.3	Rozvodnice	5
3.4	Údolnice	5
3.5	Uzávěrový profil	5
3.6	Hydrologie	6
3.7	Hydrologické procesy	6
3.8	Hydrologický cyklus	6
3.9	Hydrologický rok	8
3.10	Hydrologická bilance povodí	8
3.11	Srážky	8
3.12	Průtok	9
3.13	Vodní stav	9
3.14	Záplavové území	9
4	Objekty na vodních tocích	9
4.1	Objekty pro odběr vody	10
4.2	Objekty zajišťující stabilitu dna	10
4.3	Spádové objekty	11
4.4	Vzdouvací stavby	11
4.5	Objekty pro migraci živočichů	14
4.6	Inženýrské stavby	15
5	Povodeň	16
5.1	Druhy povodní	16
5.2	Charakteristika a faktory ovlivňující průběh povodně	17
5.3	Stupeň povodňové aktivity	21
5.4	Povodňové orgány	21
6	Matematické modelování	22
6.1	Rozdělení hydrologických modelů	23
6.2	Jednorozměrné modely – 1D	28
6.3	Dvourozměrné modely – 2D	28
6.4	Třírozměrné modely – 3D	29
6.5	Využívané modely v hydrologii	29
II	PRAKTICKÁ ČÁST	33
7	Charakteristika zájmového území a vodního toku	34
8	Data pro hydrologický model	36
8.1	DMR 5G	36
8.2	Data poskytnutá Magistrátem hlavního města Prahy (Magistrát HMP)	36
8.3	Vlastní měření	36
9	Kalibrace modelu	38

10	Vytvoření digitálního modelu terénu v programu ArcGIS	38
11	Součinitele drsnosti	43
12	Export dat do HEC-RASu	44
13	Modelování v programu HEC-RAS	46
13.1	Založení projektu	46
13.2	Import dat	46
13.3	Zadávání mostové konstrukce	47
13.4	Podmínky ustáleného proudění	48
13.5	Simulace ustáleného proudění	49
13.6	Export dat do HEC-GeoRASu	50
13.7	Import do HEC-GeoRASu	50
14	Vykreslení záplavových území	51
14.1	Tvorba mapových výstupů	51
15	Výsledky	53
16	Diskuze	55
17	Závěr:	57
18	Literatura a zdroje	58
19	Obrázky a fotografie	63
20	Přílohy	64
20.1	Seznam příloh:	64

1 Úvod

V poslední době vyskytující se hydrologické a meteorologické extrémní události způsobují značné materiálové škody a také ztráty na lidských životech. Nastává otázka, zda v souvislosti s pozorovaným globálním oteplováním se nezvyšuje četnost, a hlavně intenzita těchto extrémů (Karl, Easterling, 1999). Budoucí vývoje klimatu se v modelech opírají hlavně o průměrné hodnoty. Pro budoucnost mohou mít změny variability klimatu mnohem větší důsledky než nízké změny průměrných hodnot (Katz, Brown, 1992; Houghton a kol., 1996; Houghton a kol., 2001).

V České republice patří mezi nejvýznamnější přírodní extrémní události povodně, protože jiné přírodní katastrofy s ničivějším dopadem jako erupce sopky, zemětřesení nebo vlny tsunami se zde nevyskytují a silný vítr nedosahuje takových účinků, které jsou známé z jiných koutů světa. Povodně jsou způsobené většinou spolupůsobením několika faktorů, meteorologický (např. déšť), antropogenní (např. využití ploch) a fyzicko-geografické (např. vlastnosti a druh povrchu). Faktory velice ovlivňují prostorovou proměnlivost četnosti výskytu a doby trvání povodní, jejich intenzitu, velikost a rozsah napáchaných škod (Brázdil a kol., 2005).

V dnešní době se pro návrh a vyhodnocení používají matematické modely kombinované s geografickými informačními systémy. Tyto modely předpovídají hydrologické extrémní události, dlouhodobé i krátkodobé prognózy, simulují povodňové situace a posuzují kvalitu protipovodňových opatření. Modely pracují s prostorovými a geografickými daty, kde kvalita výsledků hydrodynamického modelu je závislá na kvalitě vstupních dat. Geometrie vodního toku se nejčastěji získává geodetickým zaměřením či leteckým laserovým skenováním, popřípadě kombinací těchto metod (Novák a kol., 2011). Metoda leteckého laserového skenování je nejvhodnější z hlediska finančních nákladů a technické náročnosti, v přesnosti měření je největší nevýhoda nemožnost zaměřit reálné zahloubení koryta toku a to proto, že paprsek laserového skenování neprojde skrz vodní hladinu (Oršulák, Pacina, 2012).

Diplomová práce se zabývá hydrotechnickým posouzením objektů na toku a vynesení záplavových čar na zvolené části vodního toku Botič. Úsek se nachází v pražské části Hostivař. Začíná v ulici U břehu za rybím přechodem a končí několik desítek metrů před mostem u Kozinova náměstí v centru historické Hostivaře.

2 Cíle práce

Prvním cílem diplomové práce je sestavení hydrodynamického modelu zájmového úseku na vodním toku Botič. Model bude vytvořen v počítačovém softwaru HEC-RAS, za pomoci dat z digitálního modelu reliéfu 5. generace. Budou zadány rozměry objektů na toku, které mohou při povodních zvětšovat vybřežení vody z koryta toku a tím přispět k zaplavení většího území.

Druhým cílem této práce je hydrotechnické posouzení stávajícího stavu vodního toku a průtočnosti objektů s určení záplavových čar při průchodu N-letých průtoků na vodním toku Botič. Průtoky s periodicitou opakování 5, 10, 50 a 100 let a následné vykreslení záplavových čar do stávající situace.

I Teoretická část

3 Vymezení pojmů

3.1 Pramen

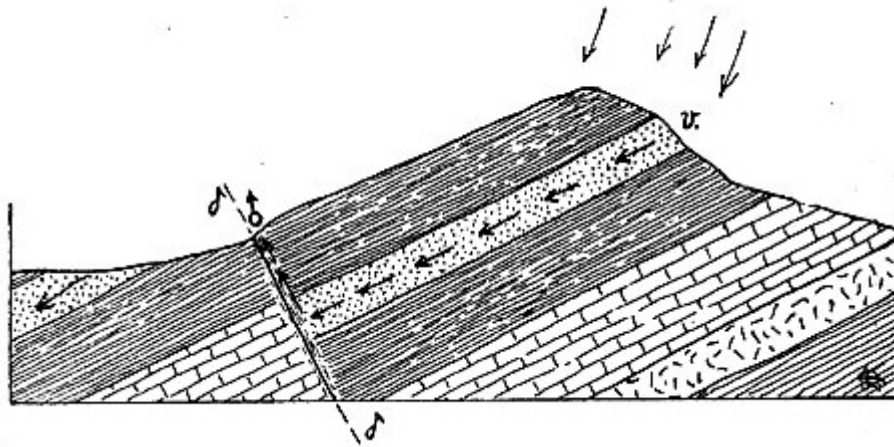
Přirozený soustředěný výtok podzemní vody z horninového komplexu na zemský povrch, který se z hydraulického hlediska dělí na prameny podle původu do dvou skupin sestupné a výstupné a podle vydatnosti na trvalé a občasné (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

3.1.1 Sestupný pramen

U sestupných pramenů voda teče v přirozeném gravitačním směru k prameništi, dělí se na vrstevné (terasové, suťové, dejekčních kuželů), přetékové (synklinální, zlomové), dislokační a puklinové (Dub a kol. 1969; Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

3.1.2 Výstupný pramen

Výstupní pramen vzniká tam, kde voda vyvěrá proti směru gravitace důsledkem přetlaku nebo hydrostatického tlaku vyvolaného vodou, princip spojených nádob. Dělí se na vrstevní a zlomové (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).



Obr. č 1 Výstupný pramen vyvěrající ze zvodnělých vrstev geologickým zlomem. (Groundspeak, Inc., 2016)

3.2 Povodí

Je hydrologická oblast, pro kterou lze vyjádřit bilanční rovnici. Po hydrologické stránce je to území uzavřené, to znamená, že veškeré srážky spadlé na povrch tohoto území odtékají jedním uzávěrovým profilem a nepřitéká do něj žádná jiná voda po povrchu ani pod povrchem. Povodí je ohraničeno rozvodnicí. Povodí povrchových vod se může lišit od povodí podpovrchových, protože podpovrchová je určována geologickým složením a průběhem nepropustných vrstev podloží (Dub a kol., 1969).

3.3 Rozvodnice

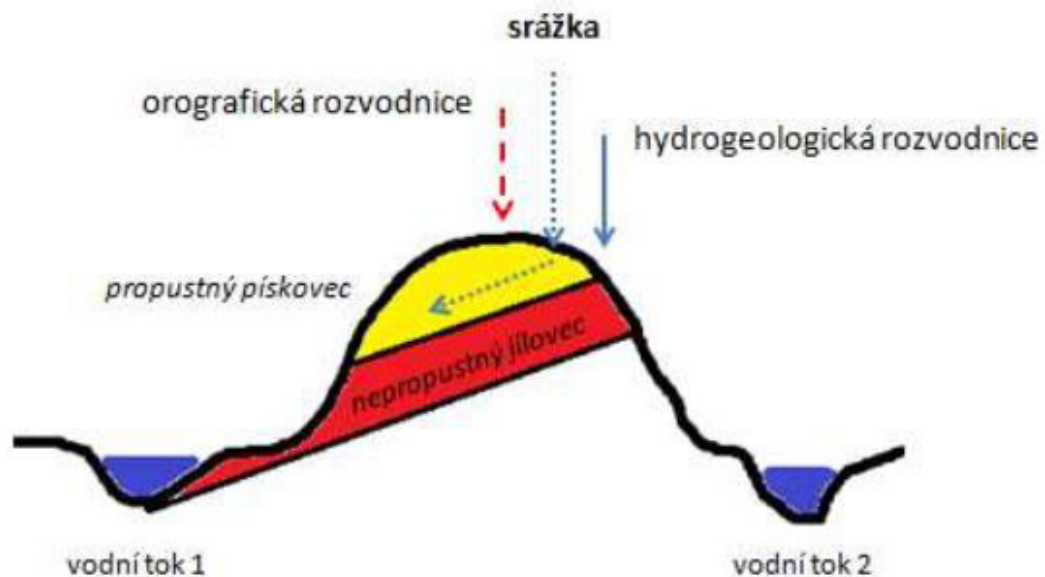
Je myšlená hraniční čára, která určuje hranici mezi sousedními povodími, rozděluje se na orografické a hydrogeologické rozvodnice (Máca, 2014).

3.3.1 Orografická rozvodnice

Vymezuje povodí povrchové vody, probíhá od uzávěrového profilu po nejvyšších bodech okraje povodí, prakticky se jedná o hřbetnici (Máca, 2014).

3.3.2 Hydrogeologická rozvodnice

Často bývá stejná jako orografická rozvodnice, ale v místech se složitější geologickou stavbou může mít průběh úplně odlišný, taková situace může nastat v případě střídání nepropustných a propustných vrstev, kdy voda může odtékat do jiného povodí než povrchová voda v orografickém povodí, jak je vidět na obrázku č. 2 (Ředinová a kol., 2009; Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).



Obr. č. 2 Orografická a hydrogeologická rozvodnice (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013)

3.4 Údolnice

Myšlená čára vedoucí relativně nejnižšími body vyhloubených ploch ve směru spádu, má vždy menší spád než přilehlé hrany (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013).

3.5 Uzávěrový profil

Je místo, do kterého stéká všechna povrchová voda z povodí. Většinou je v tomto místě odtok pozorován, a proto je potřeba k tomuto místu stanovit charakteristiky povodí. Určuje se v místě kde, chceme znát odtok, třeba před vtokem do většího toku nebo nad cestou s propustkem. Má největší hodnotu akumulace odtoku (Jandora a kol., 2002; Ředinová a kol. 2009).

3.6 Hydrologie

Je to věda, která se zabývá popisem a předpovědí výskytu, oběhu a distribuci vody na Zemi a v její atmosféře (Dingman, 2002).

Hlavní zájem hydrologie je „rozdělování vody“, které se popisuje pomocí takzvaného hydrologického cyklu (Dooge, 2003).

3.7 Hydrologické procesy

Sublimace je proces, při kterém dochází ke změně skupenství z pevného na plynné a jde přesně o výpar ze sněhu a ledu.

Evaporace je proces, při kterém dochází ke změně skupenství z kapalného na plynné a jde o výpar z plochy světových oceánů a vodních útvarů na pevnině.

Transpirace je proces, při kterém jde o biologický výpar z povrchu rostlin.

Evapotranspirace je proces, při kterém dochází ke kombinaci transpirace a evaporace.

Infiltrace je proces, při kterém se srážky vsakují do zemského povrchu.

Odtok může být povrchový, nastává, když jsou srážky větší než infiltrace, hypodermický odtok někdy také nazývaný jako podpovrchový, je to voda, která je infiltrovaná do půdy, ale před odtokem z povodí nedosáhla hladiny podzemní vody. Jako poslední je odtok základní, jde o odtok pod hladinou podzemní vody (Eagleson, 2003; Máca, 2014).

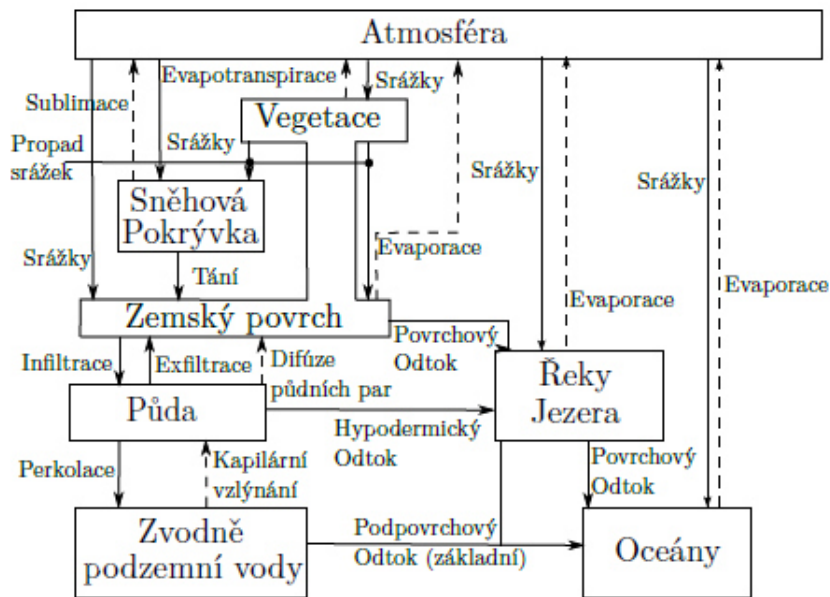
3.8 Hydrologický cyklus

Je možné brát jako systém, který je popisován jako jakékoliv schéma, struktura, zařízení či postup, které dávají do vzájemného vztahu vstup s výstupem. Skládá se ze dvou hlavních částí a to prostorů, kde je voda akumulována neboli zadržována a z procesů, které vodu odvádějí do jiných prostorů.

Prostory pro akumulaci vody se nachází v atmosféře, na i pod zemským povrchem. Vytváří celkem komplikované retenční nádrže, které většinou nemají přesně definovaný objem a jsou mezi sebou úzce propojeny. Tyto prostory pro akumulaci vody často podléhají časovým a prostorovým změnám, třeba při odlesnění povodí se výrazně změní jeho zadržování vody v rezervoáru i zadržování vody na povrchu vegetace.

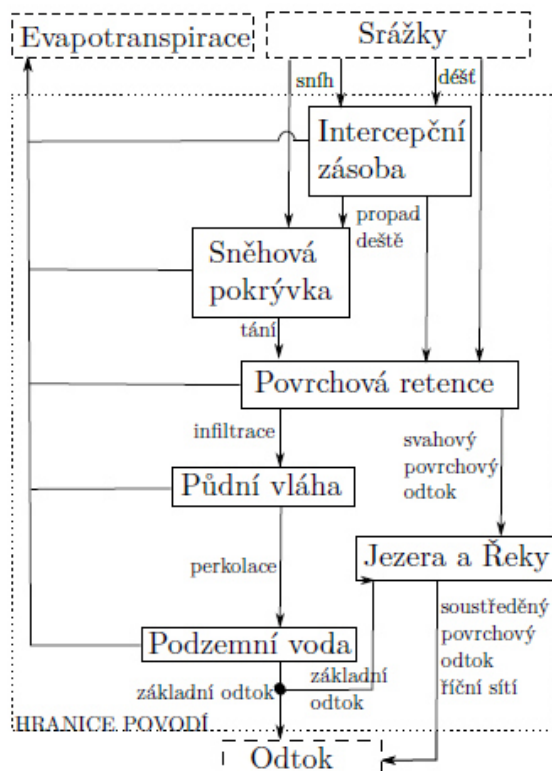
Hydrologický cyklus je možné si představit jako systém nádrží, které jsou propojeny a komunikují mezi sebou pomocí hydrologických procesů, jak je vidět na obrázku č. 3, kde se nachází velký hydrologický cyklus (Dooge, 2003; Eagleson,

2003; Máca, 2014).



Obr. č. 3 Velký hydrologický cyklus (Máca, 2014)

Dále je definován pevninský hydrologický cyklus, někdy také nazýván jako malý. Popisuje pohyb vody pouze nad, na a pod zemským povrchem pomocí hydrologických procesů, Jak je vidět na obrázku č. 4. (Hrádek a Kuřík, 2002)



Obr. č. 4 Pevninský hydrologický cyklus situován na povodí. (Máca, 2014)

3.9 Hydrologický rok

Je to rok, který se využívá v hydrologii a je určen, tak aby se dalo dělat měření na celý rok a mohlo se počítat se sněhem, který napadne, ale i roztaje právě v tomto hydrologickém roce. Pro Českou republiku začíná 1. 11. a končí 30. 10. následujícího roku, podle kterého se i hydrologický rok označuje. (Pavelková Chmelová, Frajer, 2013)

Příklad: hydrologický rok 2017 začíná 1. 11. 2016 a končí 30. 10. 2017.

3.10 Hydrologická bilance povodí

Za jakkoliv dlouhý časový úsek přichází do povodí všemi způsoby voda v libovolném skupenství, a v témž časovém úseku jiné množství odchází (odtok, odběr, výpar), ale na počátku i na konci děje se již v tomto prostoru určité množství nachází, tuto skutečnost nazýváme hydrologická bilance (Dub, Svoboda, 1969).

Rovnice pro jeden hydrologický rok má tvar:

$$H_o = H_s - H_v \pm H_r \pm H_u \text{ [mm]}$$

Kde:

H_o – roční výška odtoku (mm)

H_s – roční výška srážek (mm)

H_v – roční výška výparu (mm)

H_r – roční výška náležící změně zásob vody v povodí na začátku a konci uvažovaného hydrologického roku (mm)

H_u – výška odpovídající přírůstku nebo úbytku vody výměnou se sousedním povodím (mm)

(Starý, 2005)

3.11 Srážky

Jeden z hlavních hydrologických procesů, který přivádí vodu do povodí v České republice. Časové a prostorové rozložení srážek ovlivňuje výrazně všechny hydrologické procesy a prostory pro akumulaci vody v povodí (Maidment, 1993; Hrádek, Kuřík, 2002).

Srážky reprezentuje déšť, sníh, kroupy, námraza a mlha. Pro hydrologické návrhy jsou nejdůležitější déšť a sníh (McCuen, 2004).

3.11.1 Frontální a cyklonální srážky

Frontální a cyklonální srážky jsou závislé na pohybech vzdušných mas (vzdušná masa-oblast atmosféry s podobnou vlhkostí a teplotou (Brutsaert, 2005)), které se vyznačují rozdílným rozložením atmosférického tlaku. Pohyb vzdušných mas je ovlivňován cirkulací atmosféry. Typicky to jsou dlouhotrvající deště, které mají nízkou průměrnou intenzitu. (Máca, 2014).

3.11.2 Orografické srážky

Orografické srážky jsou utvářeny specifickým mechanismem výstupu vzdušných mas. Od frontálních a cyklonálních srážek jsou výstupné fronty vytvořeny vertikálně orientovanou topografickou překážkou (Dingman, 2002; Viessman a kol., 1989).

Překážkou jsou nejčastěji hory nebo horské masivy. Před překážkou na návětrné straně je obvykle vyšší srážkový úhrn, na druhé straně je srážkový stín s nižším úhrnem srážek (Maidment, 1993).

3.11.3 Konvektivní srážky

Vzestupné proudy vznikají rozdílným ohříváním zemského povrchu. Následkem nestabilní atmosféry jsou srážky vytvářeny ohřátím vzduchu na zemském povrchu kondukcí následuje výstup teplého vzduchu, který je spojený s ochlazením k rosnému bodu a následnou kondenzací. Vzniklé srážky se nazývají konvektivní. (Dingman, 2002).

Konvektivní srážky mají kratší dobu trvání a vysokou průměrnou intenzitu. Nejběžnějším výskytem jsou letní intenzivní bouřky, které jsou spojeny s oblačností typu kumulonimbus (Máca, 2014).

3.12 Průtok

Setkáváme se s ním u vodního toku a vyjadřuje objem vody, který proteče daným profilem za jednotku času. Nejčastěji se používá jednotka $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a pro menší toky $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$. Průtok se dá velmi jednoduše vypočítat z průtočné plochy S a průměrné rychlosti proudění v (Hrádek a Kuřík, 2002).

3.13 Vodní stav

Je úroveň hladiny v posuzovaném profilu vodního toku, k měření vodních stavů slouží vodoměrné stanice a limnigrafické stanice (Máca, 2014).

3.14 Záplavové území

Část údolní nivy, která obvykle přiléhá k vodnímu toku a při průtocích přesahujících kapacitu koryta vodního toku je zaplavována. Bylo zavedeno hlavně z hlediska orgánů státní správy, jako jsou administrativně vymezená území, která při výskytu přirozené povodně mohou být zaplavena vodou. Někdy se také užívají termíny záplavová oblast, záplavové pásmo, inundační oblast a inundační pásmo, které jsou věcně správné (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2009).

4 Objekty na vodních tocích

Na vodních tocích se vyskytují objekty různého druhu, účelu, případně využití.

Patří sem objekty:

- Pro odběr vody
- Zajišťující stabilitu dna
- Spádové objekty
- Vzdouvací stavby
- Soustředovací a usměrňovací objekty
- Objekty pro migraci živočichů
- Přístupové objekty
- Inženýrské objekty

(Křovák a kol., 2014, Tlapák a Herynek, 2002)

4.1 Objekty pro odběr vody

Odběrné objekty jsou stavby sloužící k odběru vody z vodního toku, nádrže nebo jezové zdrže, které odebírají vodu v požadovaném množství s nevyšší možnou spolehlivostí. Musí být navrženy tak, aby splňovali požadavky i v době extrémních hydrologických situací. Návrh odběrných objektů je omezen několika důležitými zásadami. Objekty musí být dobře hydraulicky řešeny, aby docházelo k co nejmenším tlakovým ztrátám a neměly by být zanášeny splaveninami, popřípadě musí být možnost splaveniny odstraňovat.

Umístění odběrných objektů dělíme na beztlakové odběrné objekty, které jsou umístěny na tocích, kde hladina kolísá velmi málo. Dále na tlakové odběrné objekty, které mají umístění pod hladinou v celém rozsahu kolísání hladiny.

Objekty se podle účelu dělí na odběry:

- Pitné a průmyslové vody
- Vody pro závlahu
- Pro odlehčení hlavního vodního toku při povodních
- Vody pro výrobu elektrické energie

(Broža a kol., 1998)

4.2 Objekty zajišťující stabilitu dna

Pro stabilizaci dna se využívají pásy a prahy. Zabraňují dnové erozi a tím i následnému prohlubování dna koryta toku. Objekty jsou budovány kolmo na směr toku, kde hlavním úkolem je snížit podélný sklon dna a tím vyrovnávat výšku nivelety. Objekty jsou využívány hlavně u bystřinného typu proudění.

4.2.1 Pásy

Budují se na úrovni dna, ale zakládají se hlouběji, kvůli předpokládanému vzniku výmolů. Jsou zapuštěny do břehů i do dna vodního toku. Zhotovují se zpravidla

z kamenného zdiva, drátošterku, kamene a v ojedinělých případech i z betonu. Při špatné volbě nevhodného materiálu mohou mít negativní estetický efekt (Křovák a kol., 2014).

4.2.2 Prahy

Jsou to nízké objekty nepřesahující výšku 0,3 m vybudované v příčném směru. Pevně zavázány do břehů, aby bylo zamezeno protékání vody pod prahy. Při větších průtocích jsou zcela zaplaveny vodou. Staví se především z kamene, drátošterku a kamenného zdiva (Tlapák a Herynek, 2002).

4.3 Spádové objekty

Slouží ke zmenšení sklonu nivelety v podélném profilu toku. Nejpoužívanější jsou skluzy, balvanité skluzy a stupně ve dně.

4.3.1 Stupně

Příčné přelivné objekty, kde se voda odděluje od povrchu, vyšší než 0,3 m. koruna je v úrovni nivelety upraveného dna horního koryta. Stupeň je zavázán do rostlé zeminy nebo do skalního podloží s únosností odpovídající zatížení. Konstruován je z různých stavebních hmot a podle toho se také dělí na betonové, zděné, prefabrikované, dřevěné, kamenné a kombinované.

4.3.2 Skluzy

Objekty konstruované v příčném směru koryta toku, kde voda proudí po skluzné ploše a neodděluje se od povrchu. Skluzové plochy mají tvar rovinný, kružnicový nebo parabolický (Křovák a kol., 2014, Tlapák a Herynek, 2002).

4.4 Vzduvací stavby

Hydrotechnické stavby na vodních tocích, mezi které patří jezy, hráze, přehradby a na menších tocích male vodní nádrže. Tyto stavby pomáhají člověku již dlouhé roky ovládat povrchové zdroje vody a přizpůsobovat se chování klimatu a sezónním potřebám.

Všechny vzduvací stavby mají jeden společný znak, který přináší potenciální riziko pro území situované pod vodním dílem a to, že trvale nebo dočasně zvyšují úroveň hladiny nad původní terén někdy i nad terén v okolí. V případě poruchy vzduvací stavby je území pod vodním dílem zasaženo průlomovou vlnou, která může být ohrožením na životech či vznikem hospodářských ztrát (Broža a kol., 1998).

4.4.1 Jezy

Stavby zajišťující požadovanou hloubku v toku pomocí vzduť hladiny. Slouží především k zajištění dostatečné hloubky pro lodní dopravu, pro odběry za

účelem pitné vody a závlahové vody. Jezy se podle konstrukce dělí na dvě základní skupiny:

a) Pevné jezy:

- betonové
- zděné
- dřevěné

(Broža a kol., 1998)

b) Pohyblivé jezy

podle charakteristiky konstrukce a funkčních znaků se rozdělují do jezových soustav na pokloповé, segmentové, válcové, stavidlové, hradidlové, hydrostatické, hradlové a zvláštní. Nejčastěji se používají pro výstavbu pohyblivých jezů uzávěry pokloповé, segmentové a hydrostatické (Broža a kol., 1993).

4.4.2 Přehrady

Stavby většinou mohutného charakteru vybudované napříč údolím, a to za účelem vytvoření vodní nádrže. Patří mezi vzdouvací stavby, které vytváří nádrž pro akumulaci vody a následné hospodaření s ní. Nejčastěji se umísťuje na tok, ale budují se i boční nádrže, do kterých se přivádí voda zvláštním přivaděčem ať už jde o podzemní štolu nebo otevřené umělé koryto. Přehrada je tvořena přehradním tělesem (hrází) což je samotný vzdouvací objekt. Přehradní tělesa se budují buď jako klenuté nejčastěji z betonu nebo jako sypané, kde se používají hlavně materiály z místních zdrojů, a to zemní, popřípadě kamenné hráze. Funkční objekty slouží pro provoz přehrady a zejména pro možnou manipulaci s vodou v přehradě. Vypouštěcí zařízení zajišťuje průchod vody přehradním profilem, ale také udržuje minimální průtok vody v korytě toku pod nádrží. Bezpečnostní přelivy slouží k bezpečnému převedení povodňových situací a ochraně přehradního tělesa při povodních. Objekty pro odběr vody slouží pro zásobování obyvatelstva a závlahu zemědělských pozemků (Broža a kol., 1993, Broža a kol., 1998).

4.4.3 Malé vodní nádrže

Jsou definovány dle ČSN 75 2410 (2011) jako nádrže se sypanými hrázemi, u kterých jsou splněny tyto podmínky:

a) objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru neboli po normální hladinu nepřesahuje více než 2 mil. m³.

b) hloubka v nádrži nepřesahuje 9 m.

Tyto podmínky neplatí pro přečerpávací nádrže vodních elektráren, pro odkaliště a šterkoviště, kde je přítok a odtok propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže

Zemní hráz malé vodní nádrže má nejčastěji lichoběžníkový tvar.

Hráze dělíme dle:

a) terénního uspořádání:

- čelní
- boční
- dělicí

b) půdorysného uspořádání:

- přímé
- zaoblené
- lomené

c) materiálu:

- Rybochovné
- homogenní (pouze jeden typ zeminy, většinou jílovito – písčité)
- nehomogenní (dva a více druhů zeminy s těsnícím jádrem)

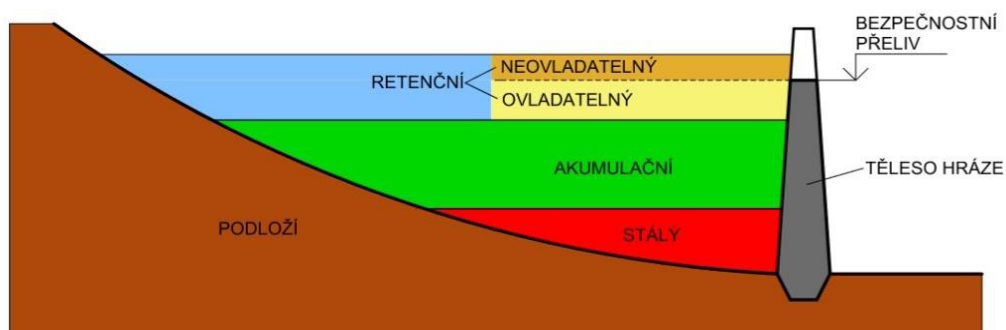
Dle funkce nádrže dělíme na:

- Rybochovné
- Závlahové
- Ochranné
- Rekreační
- Hospodářské
- Zásobní
- Speciální

(Šálek, 1987, Tlapák a Herynek, 2002)

Horizontální členění nádržného prostoru je možno vidět na obrázku č.5. nejnižše se nachází prostor stály (mrtvý). Leží mezi dnem nádrže a nejnižší provozně přípustnou hladinou nádrže. Vypouští se jen velmi výjimečně. Dále navazuje prostor akumulací nebo také zásobní. Je omezen nejvyšší provozní hladinou a stálým prostorem. Je to prostor pro zásobu vody a je plně řízen výpustným zařízením. Poslední prosto z horizontálního členění je retenční, který je nad zásobním prostorem. Slouží k transformaci povodňových vln a k nadržení vody. Tento prostor je bezpečnostním přelivem rozdělen na ovladatelný prostor, který je pod korunou

bezpečnostního přelivu a neovladatelný nad korunou bezpečnostního přelivu (Tlapák, 2002)



Obr. č. 5. Horizontální členění nádrže (autor, 2018a)

4.5 Objekty pro migraci živočichů

4.5.1 Rybí přechody

Slouží k migraci živočichů proti proudu i po proudu a jsou většinou částí příslušenství jezu. Dle normy ČSN 75 2106-1 (2016) je kladen důraz na respektování migrační potřebnosti a výkonosti ryb, jako podmínky nezbytné k maximální funkčnosti rybích přechodů, významných předpokladů obnovy a zachování biodiverzity původního říčního ekosystému. Jsou to stavby za účelem zajištění migrace ryb, přes příčné překážky v korytech vodních toků. Umožňují také migraci vodním bezzobratlým živočichům, třeba rakům anebo obratlovcům, kteří jsou vázáni na vodní prostředí jako je bobr, obojživelníci a vydra. (TNV 75 2321, 2011)

Rybí přechod je ze stavebního pohledu vnímán jako koryto, žlab nebo zařízení pro protiproudni migrace ryb. Úprava nebo konstrukce By měla poskytovat rybám podobné podmínky, na jaké jsou adaptovány ve volném toku a tím jim nabídnout přijatelné prostředí pro překonání překážky s místem pro úkryt i odpočinek. Mezi základní typy přechodů v žlabech a korytech se řadí bazénové přechody, zdrsněné skluzy propustkové přechody a speciální přechody pro úhoře.

Kromě tohoto členění se v praxi používá členění podle prostorového vedení trasy, a to na rampy a obtoková koryta (neboli „bypass“). Obtokové koryto se při obcházení migrační překážky dostává až za břehovou linii koryta. Rampa přetváří říční koryto v celé šíři nebo v nějaké části pro překročení migrační překážky.

Rybí přechody se dělí také podle konstrukce jako přírodě blízké a technické (Broža a kol., 1993; Slavík a Vančura, 2012).

„Přírodě blízké rybí přechody“ jsou označovaná navrhovaná koryta podle geometrických charakteristik přirozených koryt s použitím přírodních materiálů, která poskytují nejen vhodné podmínky ro migraci ryb, ale i pro ostatní vodní organismy (Armstrong a kol., 2010).

4.6 Inženýrské stavby

4.6.1 Mosty

Jsou to inženýrské stavby, které slouží k překonání vodního toku, silnice, dálnice, železnice a terénních nerovností. Mosty přes vodní toky se navrhují na 100 – leté průtoky a spodní hrana konstrukce mostovky musí být minimálně 0,5 metru nad hladinou tohoto návrhového průtoku. Opevňují se břehy a stabilizuje dno koryta pod mostem, aby se zajistily dobré podmínky pro údržbu mostu a také i toku. Vodní tok by měl nejlépe protékat v kolmém směru pod mostem, ale minimálně vždy větším než 60°.

Konstrukčně se mosty dělí na:

- Zavěšené
- Trámové
- Visuté
- Obloukové
- Konzolové
- pohyblivé

Dle materiálu, z kterého je most postaven:

- dřevěné
- kamenné
- ocelové
- betonové
- železobetonové
- kombinované

(ČSN 73 6201, 2008; Dušan, 1984)

4.6.2 Propustky

Stejně jako mosty se využívají v místech křížení vodního toku s komunikacemi. Jde o objekt tunelového a většinou kruhového nebo klenutého tvaru s vnitřní světlostí menší než 2 metry. Sklon v propustku se pohybuje od 0,5 až maximálně do 6 %, rychlost vody zde nesmí překročit $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Propustek by měl být veden kolmo na danou komunikaci, hlavně kvůli úspoře materiálu, ale také kvůli hydrotechnickým a statickým účinkům. Propustky mohou být z různých materiálů od betonových prefabrikátů, přes trubní, klenuté z cihel, popřípadě z ocelového plechu (Holič a kol., 1992; Kučera, 2009, ČSN 73 6201).

5 Povodeň

Může být definována z různých hledisek a v České republice měla svůj vývoj. Podle ČSN (1975) se povodní rozumělo „přechodné výrazné zvýšení hladiny toku, způsobené náhlým zvětšením průtoků anebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta (např. ledovou zácpou)“ v poznámce u této definice se uvádělo, že povodeň „zpravidla působí na některých úsecích toku hospodářské škody podle stupně vybudované ochrany“. Později v normě ČSN (1983) povodeň byla definována jako „fázi hydrologického režimu vodního toku, která se může vícekrát opakovat v různých ročních obdobích; vyznačuje se náhlým, obvykle krátkodobým zvětšením průtoků a vodních stavů; je vyvolána dešti nebo táním sněhu z oblevy“. Podle vodního zákona č.254/2001 Sb. se v § 64 povodní rozumí „přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může působit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředném odtoku srážkových vod“.

Povodňová katastrofa je událost s rozsáhlými lidskými a materiálními ztrátami nebo škodami na životním prostředí, které přesahují možnosti postižené části společnosti vypořádat se s nimi z vlastních zdrojů (Matějček a Hladný, 1999).

5.1 Druhy povodní

Podle příčiny vzniku se povodně dělí na dešťové, sněhové a smíšené, kde pojem dešťová povodeň se myslí případ pouze z dešťových srážek, sněhová povodeň je vzniklá jen táním sněhu a smíšená povodeň vzniká kombinací dešťových srážek a táním sněhu. Jako zvláštní povodeň je případ ledové povodně, která je způsobená dočasným zmenšením průtočnosti koryta v důsledku ledových ker a jejich zácpou. Vznik těchto povodní je způsoben několika meteorologickými příčinami, které budou dále charakterizovány. (ČSN, 1975)

5.1.1 Dešťové povodně

Jsou tvořeny kapalnými srážkami a podle způsobu vzniku, intenzity a doby trvání deště je lze dále rozdělit na povodně z trvalých srážek a z přivalových srážek.

Z trvalých srážek jsou zpravidla vázány na jednodenní až několikadenní trvalé srážky, které jsou někdy přerušované časovými úseky bez deště. Bývají spojené s některými srážkově významnými synoptickými situacemi, kde jsou vesměs vázány na výskyt srážkotvorné tlakové níže neboli cyklóny přímo na území České republiky

nebo v její blízkosti. Hlavní roli přitom hraje poloha, směr a rychlost postupu tlakové níže vzhledem k postiženému území a také zesílení srážek. (Brázdil a kol., 2005)

Z přívalových srážek, které tvoří srážky s krátkou dobou trvání od několika minut, ale zpravidla několik hodin, ale hlavně mají velkou intenzitu desítky milimetrů dokonce i výjimečně přes 100 milimetrů za hodinu, dost často doprovázeny bouřkami. Tyto povodně mají velmi rychlý nástup, někdy se jim také říká bleskové povodně, ostrou povodňovou vlnu s velmi rychlými vzestupy hladin ve velmi krátkém časovém trvání. Místy mohou způsobit velmi značné škody v důsledku velké kinetické energie tekoucí vody. Ve výjimečných případech mohou mít takové povodně i větší územní rozsah. (Brázdil a kol., 2005, Votruba a Petera, 1983)

5.1.2 Sněhové povodně

Jsou tvořeny rychlým táním sněhové pokrývky při kladných teplotách v zimních a jarních měsících a mohou být také doprovázeny i ledovými jevy. Kulminační průtoky při sněhových povodních většinou nedosahují na území České republiky větších N-letostí. (Matoušek, 1989, 2000)

5.1.3 Smíšené povodně

Příčiny této povodně je kombinace dešťových srážek a tání sněhové pokrývky a mohou být také ještě doprovázeny ledovými jevy. Často se objevují na konci zimy a začátku jara, kdy se otepluje a teploty dosahují kladných hodnot, doprovázené i silnějším větrem. Tání sněhu je hodně urychlováno dopadajícími kapalnými srážkami, které zároveň samy dost přispívají ke zvětšení průtoků. Takovéto povodně mohou mít v České republice větší územní rozsah než povodně z trvalých srážek. (Matoušek 1980; Votruba, Petera, 1983)

5.1.4 Povodně ledové

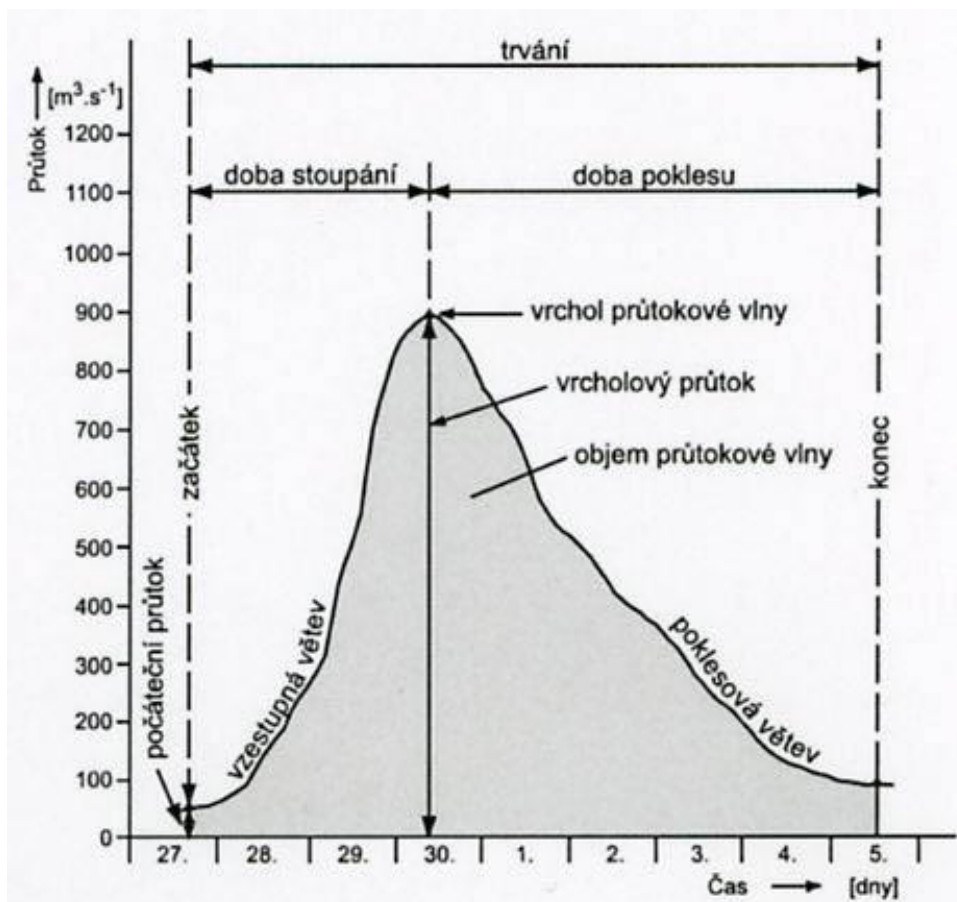
Vznikají po období déle trvajících mrazů, ve kterém zamrznou řeky, náhlé oteplení může způsobit odchod ledu, při kterém dochází k zácpám a zatarasním průtočného profilu nahromaděním ledu. Toto může vést k dočasnému zmenšení průtočnosti koryta a způsobit vzduť vodní hladiny do výšky, které zapříčiní rozlití mimo koryto toku. (Matoušek, 2000; Votruba a Petera, 1983)

5.2 Charakteristika a faktory ovlivňující průběh povodně

5.2.1 Charakteristika

Průtoková vlna popisuje průběh odtoku, který představuje náhlé zvětšení a následuje pokles průtoků u vodního toku, vyvolaný srážkovým úhrnem, táním sněhové pokrývky nebo umělým zásahem. Také to může být časový průběh

popsaného jevu v určitém profilu toku. Průtoková vlna je popsána na histogramu v obr. č. 6.



Obr. č. 6: Hydrogram průtokové vlny s popisem (Herber, 2010)

Zvláštní případ průtokové vlny je vlna povodňová, která vzniká při překročení průtočné kapacity koryta, kdy se voda začne přelévat přes břehové hrany do okolního prostoru a zde se může stát potenciálně škodlivým živlem.

Povodeň lze určit kulminačním průtokem, je to největší vrcholový průtok u průtokové vlny. Z hodnot kulminačních průtoků se při jednotlivých povodních určuje N-letý průtok Q_N , „který je v uvažovaném profilu dosažen nebo překročen průměrně jednou za N-let“ (ČSN, 1975). Například pokud je ve vodním toku v určitém profilu $Q_{100} = 80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tak to znamená, že v průměru jednou za sto let bude tento kulminační průtok dosažen nebo překročen, ale reálně se takový průtok může vyskytnout i vícekrát než jednou za sto let nebo i vícekrát v jednom roce (Kříž a kol., 1964).

Další charakteristikou, která je neméně důležitá je objem průtokové vlny, většinou uváděn v milionech m^3 , proto se také stanovují N-leté povodňové objemy. Většinou však neplatí, že kulminačnímu průtoku s jistou pravděpodobností překročení odpovídá objemu vlny se stejným číslem pravděpodobnosti překročení. Důvod je ve složitosti vzájemného působení příčinných faktorů, kdy při jejich souhře může nastat

povodeň s větším objemem průtokové vlny, než by v průměru odpovídalo kulminačnímu průtoku průtokové vlny či naopak (Brázdil a kol., 2005).

5.2.2 Faktory ovlivňující vznik a průběh povodně

Jsou především ovlivňovány meteorologickými faktory předběžnými a příčinnými. Předběžné faktory vytváří několik dnů až měsíců před vznikem povodně. Mezi hlavní patří zejména nasycenost povodí, výška sněhové pokrývky a objem vody, který skrývá a promrznutí půdy. Z předběžných faktorů z hydrologického hlediska hraje velmi důležitou roli míra naplnění koryt vodních toků před začátkem povodně.

Příčinné meteorologické faktory působí hodiny až dny před vznikem povodně jako její spouštěcí mechanismus, patří sem trvalé a přivalové dešťové srážky, kladné teploty vzduchu a rychlost větru, které ovlivňují tání sněhové pokrývky (Brázdil a kol., 2005)

a.) Povodně zimního typu

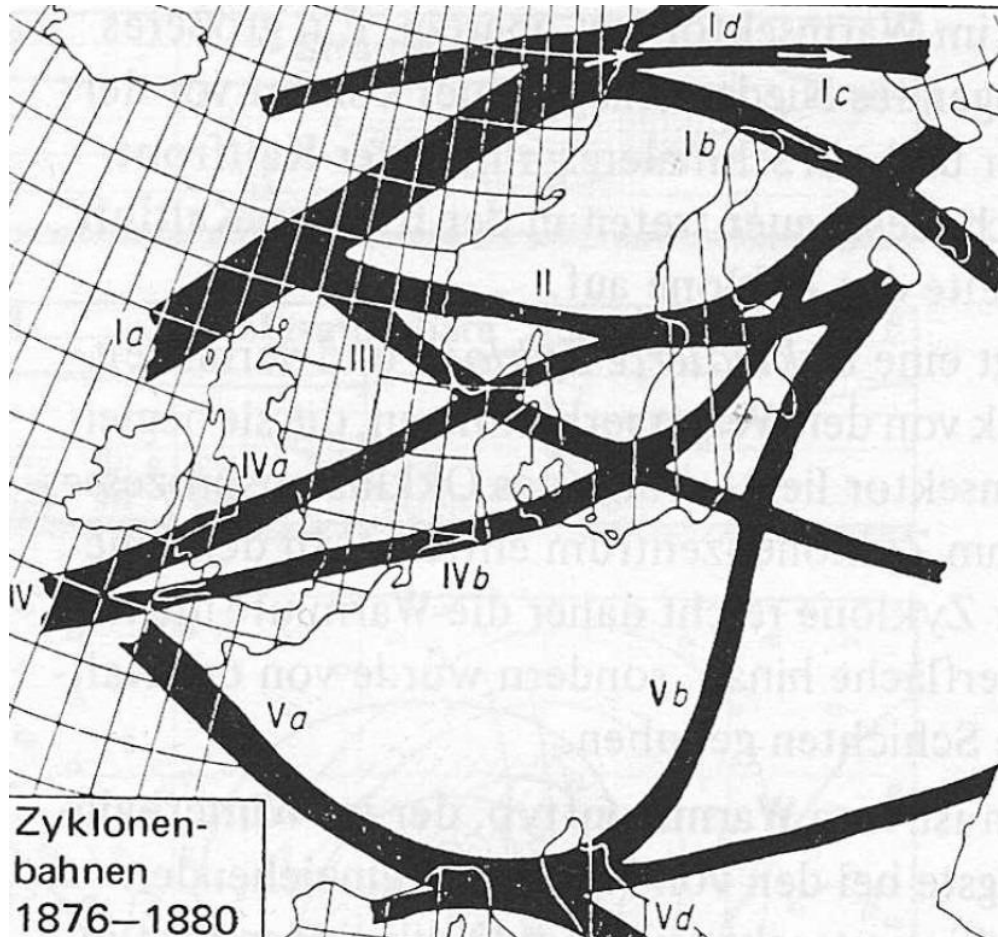
Jsou známé, že pro vznik smíšených povodní jsou kromě dostatečné zásoby vody ve sněhu nutné pro jeho tání i vysoké teploty vzduchu, které musí trvat aspoň dva nebo tři dny za sebou, aby se vytvořila obleva (Meteorologický slovník, 1993). S rostoucí teplotou a rychlostí větru se přenos tepla do vrstvy sněhové pokrývky urychluje a tím je tání intenzivnější. Zásoby vody naakumulované ve sněhové pokrývce jsou velice závislé na fyzikálním stavu pokrývky. V jednom centimetru prachového sněhu po rozpuštění odpovídá jeden milimetr vody (1 l na jeden m²), ale když se změní krystalická struktura sněhové pokrývky zhutňováním, táním, tlakem vlastní hmoty a promrznutím, tak vznikne rozpuštěním jednoho centimetru starého slehlého sněhu vrstva vody o výšce 4 i více milimetrů.

Sníh však může roztátou i dešťovou vodu zadržovat ve svých dutinách mezi sněhovými krystaly až do doby, než vyčerpá retenční schopnost sněhu. Mohutnější výška sněhové pokrývky má brzdicí účinky na formování povodňových průtoků na rozdíl od tenké rychle tající vrstvy sněhu. Ale pokud je tání doprovázeno deštěm a zmrzlá půda brání vsakování, odtéká voda ze sněhu spolu s vodou dešťovou a nebezpečí povodně vzrůstá (Matějček, Hladný, 1999).

V zimních měsících (prosinec až únor) se průměrné teploty skoro na celém území České republiky pohybují kolem 0 °C nebo se drží slabě pod touto hranicí, a proto pro vznik povodní zimního typu je potřeba výskyt výrazně nadnormálních teplot. Pro srážkový úhrn na větší části určitého povodí jsou v zimních a jarních měsících příznivé podmínky hlavně při pohybech hlubokých cyklon severně od České republiky, kdy ve frontálních zónách přecházejí přes naše území atmosférické fronty, často i opakovaně. Vydatnější srážky padají na teplých frontách a na zvlněných

frontálních rozhraní v oblasti výškových frontálních zón, které jsou podle Šteklvy typizace (Brázdil, Štekl, 1986).

Krásně jsou vidět dráhy cyklón na obr. č. 7, na kterém je pohyb cyklón v Evropě mezi roky 1876-1880 podle van Bebbler označených číslicemi I až IV. (Bebber, 1881)



Obr. č. 7: Dráhy cyklón v Evropě v rozmezí let 1876-1880 (Bebber, 1881)

b.) Povodně letního typu

Vznikají z dešťových povodní a jsou nutné vydatné srážky. Hirschboeck a kol. (2000) obecně klasifikují příčinné srážky pro vznik povodní podle měřítka odpovídajících atmosférických procesů. Makro-prostorové procesy (např. planetární vlny) a procesy synoptického měřítka (např. cyklony, brázd nízkého tlaku vzduchu) přispívají k vydatným srážkám na relativně velkém území, takže povodně s nimi spojené se vyvíjejí v intervalu od desítek hodin až po několik dnů a geograficky ovlivňují poměrně velkou část oblasti České republiky. Naproti tomu procesy mezoměřítka (např. čáry instability) a měřítka bouří (např. bouřkové cely) jsou krátkého trvání a způsobují místní omezené extrémní srážky, při kterých dochází k rychlému odtoku velkého množství vody a někdy se jim také říká bleskové povodně (Štekl a kol., 2001).

5.3 Stupeň povodňové aktivity

Podle Vodního zákona (2001) se stupni povodňové aktivity rozumí „míra povodňového nebezpečí vázaná na směrodatné limity, jimiž jsou zpravidla vodní stavy nebo průtoky v hlásných profilech na vodních tocích, popřípadě na mezní nebo kritické hodnoty jiného jevu uvedené v příslušném povodňovém plánu“.

Dělí se na tři stupně protipovodňové aktivity, a to stav bdělosti, stav pohotovosti a stav ohrožení.

První stupeň (stav bdělosti) se vyhláší při nebezpečí přirozené povodně a končí, pominou-li příčiny takového nebezpečí, také se uplatňuje při vydání výstražné informace předpovědní povodňové služby, je potřeba věnovat zvýšenou pozornost vodnímu toku a jiným zdrojům povodňového nebezpečí. Je třeba zahájit činnost hlásné a hlídkové služby, dále tento stav nastává na vodních dílech při dosažení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností z hlediska bezpečnosti díla nebo při zjištění mimořádných okolností s možností vzniku zvláštní povodně.

Druhý stupeň (stav pohotovosti) nastává, když nebezpečí přirozené povodně přeroste v povodeň, ale nedochází k větším škodám a rozlivům mimo koryto. Zahajuje se také při překročení mezních hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním díle z hlediska bezpečnosti o toto dílo. Uvádějí se do stavu pohotovosti povodňové orgány a další účastníci ochrany před povodněmi. Provádějí se opatření a zabezpečovací práce pro zmírnění průběhu povodně dle povodňového plánu.

Třetí stupeň (stav ohrožení) nastává při bezprostředním nebezpečí nebo vzniku škod většího rozsahu, ohrožením životů a majetku v záplavovém území. Na vodním díle se vyhláší při dosažení kritických hodnot sledovaných jevů a skutečností z hlediska jeho bezpečnosti a zároveň se zahajují nouzové opatření, provádí se zabezpečovací práce podle povodňových plánů, záchranné práce, popřípadě se vyhláší evakuace.

V povodňových plánech jsou uváděny směrodatné limity vodních stavů pro vyhlášení stupňů povodňové aktivity, kdy druhý a třetí stupeň vždy vyhláší a odvolávají povodňové orgány pro dané území a mají zároveň povinnost při tomto kroku informovat vyšší povodňový orgán (Punčochář, 2004).

5.4 Povodňové orgány

Zabezpečují řízení ochrany před povodněmi. Řízení ochrany zahrnuje přípravu na povodňové situace, řízení a organizaci povodňových situací a kontrolu příslušných činností v době povodně a v období, které následuje bezprostředně po povodni.

Mimo povodeň jsou povodňovými orgány:

- Orgány obcí (v Praze orgány městských částí)
- Obecní úřady obcí s rozšířenou působností
- Krajské úřady
- Ministerstvo životního prostředí

V době povodně jsou povodňovými orgány:

- Povodňové komise obcí (v Praze povodňové komise městských částí)
- Povodňové komise s rozšířenou působností
- Povodňové komise krajů
- Ústřední povodňová komise

Povodňové orgány v období povodně mohou udělat opatření a vydávat operativní příkazy k zabezpečení a ochraně před povodněmi. V některých případech dokonce i nad rámec platných povodňových plánů, ale musí neprodleně uvědomit dotčené osoby. Všechny vydané příkazy a přijatá opatření se zapisují do povodňové knihy. Tato kniha musí být přístupná k možnosti osobního nahlédnutí nebo dálkovému přístupu osobám vykonávající příslušný povodňový orgán (Punčochář, 2004)

5.4.1 Povodňový plán

Je dokument, obsahující způsob zajištění spolehlivých a včasných informací o průběhu vývoje povodně. S možností ovlivňování odtokového režimu, organizace a příprav zabezpečovacích prací (ČSN 75 0101, 2003)

5.4.2 Povodňová kniha

Deník vedený dle příslušných předpisů povodňovými orgány či účastníky ochrany před povodněmi. Vedou se zde údaje o průběhu povodně, vydaných příkazech a přijatých opatřeních povodňovým orgánem (ČSN 75 0101, 2003)

6 Matematické modelování

K detailnímu popisu a předpovídání průchodu povodňové vlny korytem řek se v dnešní době používají různé druhy matematických modelů (Valentová a Valenta 2006). Model zjednodušeně reprezentuje části přírodního, popřípadě člověkem formovaného světa, který může nahrazovat některé z jeho charakteristik (Dooge, 1986). Je definován jako systém, kde převládají fyzikální procesy, působící na vstupní proměnné, které pak převádí na veličiny výstupní. V matematickém vyjádření jde o

algoritmus, který řeší soustavy rovnic popisující strukturu a chování daného systému (Clarke, 1973).

Matematické modelování v hydrologii a hydraulice bylo do roku 1950 vázáno především na teoretickou rovinu. Zejména proto, že byla snaha řešit parciální diferenciální rovnice, kterými jsou popsány hydraulické a hydrologické děje, analytickým způsobem. Ale po roce 1950 se začíná objevovat nový vědní obor hydroinformatika, která podporuje hlavně využívá metody numerické matematiky (Abbott, 1991).

Výrazný pokrok vpřed pro matematické modelování přichází s rozvojem informačních technologií a výpočetní techniky (Jeníček, 2005).

Hydrologické a hydraulické modely jsou v současné době velmi využívány. Přednost modelů je syntetický popis daného hydrologického nebo hydraulického jevu, jehož zkoumání by bylo v praxi velmi obtížné a někdy i zcela nemožné. Z modelů dostáváme do rukou informace o chování předpokládaného hydrologického nebo srážko-odtokového procesu (Daňhelka a kol., 2003).

Matematické modely proudění vody lze rozdělit podle různých kritérií. Byla vyvinuta celá řada modelů, které se odlišují různým přístupem k jednotlivým komponentám srážko-odtokového procesu nebo k složení zkoumaného povodí, a to má za následek pro jaký účel nebo oblast byl model vyvíjen. Postupem času, dle různých malých odlišností v jednotlivých pojetích se hydrologické modely zařadily do různých kategorií. Členění by mělo uživateli pomoci k výběru správného modelu, který je použitelný pro řešení dané problematiky (Becker a Serban, 1990).

6.1 Rozdělení hydrologických modelů

Klasifikace World Meteorological Organisation (WMO) vychází z několika principů (Becker a Serban, 1990) dle:

- Účelu aplikace
- Typu systému
- Typu hydrologického procesu
- Stupně kauzality
- Míry časové a prostorové diskretizace
- Přístupu k prostorové schematizaci

6.1.1 Rozdělení dle účelu aplikace modelu

Modely se dělí na tři kategorie:

1. Modely používané v operativní hydrologii

Vstupní data zde tvoří stavové veličiny, ale také okamžité údaje z automatických meteorologických stanic a radarů. Data jsou automaticky předávána modelu a hlavní prioritou je rychlost zpracování dat a převedení na krátkodobou predikci vodního stavu či průtoku ve vybraném profilu. V praxi se používá více specializovaných modelů (proudění podzemní vody, postup povodňové vlny), které společně s prostředky pro sběr a zpracování dat tvoří předpovědní systémy (Flood Forecast System).

2. Modely aplikované pro návrhovou a projekční činnost v oblasti vodního hospodářství

Jde o modely s dlouhodobějším řešením protipovodňové ochrany, jako jsou stavby poldrů, přehrad a hydrotechnická nebo hydromeliorační opatření. Použití hydrologických a hydraulických modelů je užitečné při řešení technických staveb od mostů, přes plavební kanály až po čističky odpadních vod. Pro různé vstupní podmínky lze modelovat srážko-odtokové procesy v povodí.

3. Modely využívané ve výzkumu

Hydrologické modely jsou využívány k dalším zdokonalování modelu, který zahrnuje výzkum jednotlivých částí srážko-odtokového procesu a přesnější popis komponent (Jeníček, 2005)

6.1.2 Klasifikace z hlediska typu systému

Podle systému lze modely dělit na elementární a komplexní.

Elementární systém má jednotku s konstantními charakteristikami, tzv. hydrotopem. Může to být například zvodnělá vrstva, malá odtoková plocha, jezero nebo nádrž.

Komplexní systém je tvořen z velkých odtokových ploch, povodí nebo systém říčních sítí jezer a nádrží (Daňhelka a kol., 2003)

6.1.3 Klasifikace z hlediska typu hydrologického procesu

U typu procesu, který je modelován se rozlišuje model podle výpočtu:

- evapotranspirace
- půdní vlhkosti
- proudění podzemní vody
- postup povodňové vlny
- proudění v korytě
- režim splavenin
- šíření znečištění

6.1.4 Klasifikace podle stupně kauzality

Jedná se o jedno z nejpoužívanějších dělení v hydrologii. Kauzalita je tvořena vztahem příčina – důsledek. Modely se dělí na deterministické a stochastické.

I. Deterministické modely

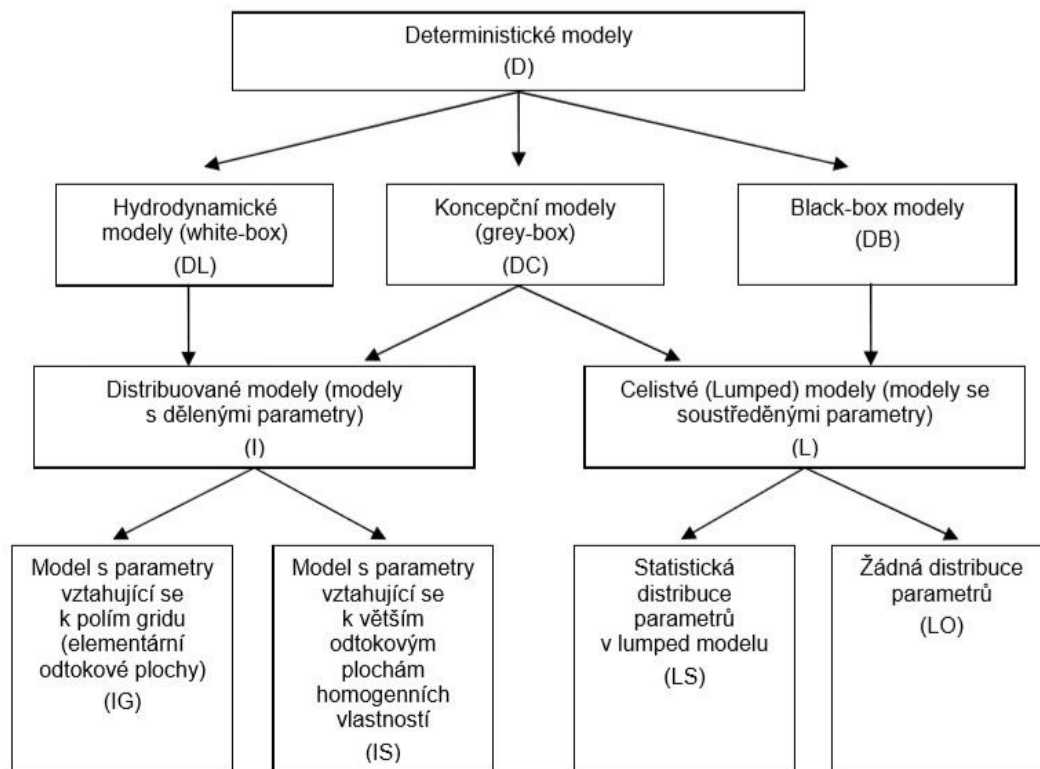
Modely jsou popsány vztahem závislých proměnných, které zastupují výstupní veličiny a nezávislé proměnné jako vstupní stavové veličiny.

Existuje celá řada deterministických modelů, které se odlišují strukturou, časovou a prostorovou diskretizací nebo fyzikálním přístupem. Mezi hlavní skupiny patří:

DL (Deterministic, Hydrodynamic Laws) nebo také označované jako „**white-box**“ - jsou to modely založeny na fyzikálním popisu srážko-odtokového procesu se snahou respektovat zákony zachování hmoty, hybnosti a energie (Kulhavý a Kovář, 2000). Také mohou využívat teoretické poznatky chemie, biologie, hydrodynamiky a termodynamiky (Daňhelka a kol., 2003)

DC (Deterministic, Conceptual) – tento přístup odráží fyzikální zákony v koncepční (zjednodušené) formě a obsahuje i určitou složku empiricky odvozených vztahů (Becker a Serban, 1990). Prostorová složka je v koncepčních modelech potlačena, protože předpokládá, že ke změně stavových parametrů dochází v určitých bodech, které jsou pro tuto hodnotu reprezentativní (Kulhavý a Kovář, 2000). Systém, který byl původně spojitý je tímto prostorově diskretizován. Modely se řeší pomocí obyčejných diferenciálních rovnic. Tím že je spojen fyzikální a empirický přístup, je tato skupina označována jako „**grey-box**“ modely.

DB (Deterministic, Black-box) – modely vůbec neberou v úvahu řídicí zákony, ale používají empiricky odvozené vztahy mezi vstupními a výstupními veličinami. Procesy, které probíhají uvnitř systému zůstávají skryté (proto pojmenování „**black-box**“). Modely použité pro operativní účely jsou vhodné spíše u malých povodí. Se zvětšující se dobou předpovědi (cca 6 hod.) se už lépe jeví použití fyzikálně strukturovaných koncepčních modelů (Buchtele, 2002). Typickým vzorem DB modelů jsou neuronové sítě.



Obr. č. 8. Klasifikace deterministických modelů (Becker a Serbant, 1990).

II. Stochastické modely

Stochastické modely primárně neobsahují spojitost mezi příčinou a důsledkem. Dělí se do dvou základních kategorií (Becker a Serban, 1990):

SP (Stochastic, Probabilistic) - pravděpodobnostní modely. Jednotlivé hydrologické parametry těchto modelů jako třeba minimální či maximální průtok, podzemní odtok nebo vodní stavy jsou charakterizovány specifickým pravděpodobnostním rozdělením.

ST (Stochastic, Time series generation) – modely generování časových řad. Modely se používají při extrapolaci časových řad pozorovaných parametrů, aniž by nebyly změněny jejich statistické charakteristiky. Jako příklad to mohou být ARMA modely (Autoregressive Moving Average) (Jeníček, 2005).

V praxi se využívají jak deterministické, tak stochastické modely. Stochastická složka je přítomná nejen ve většině modelů z projekční činnosti a plánování vodohospodářských staveb, ale občas se využívá i v operativní hydrologii, hlavně pro dlouhodobé předpovědi (Daňhelka a kol., 2003). Obecně však lze říci, že deterministický přístup v dnešní době převažuje.

6.1.5 Klasifikace podle míry časové a prostorové diskretizace

I. Časová diskretizace

Většinou určována podle způsobu použití modelu. Pro operativní předpovědi, modelování šíření znečištění, povodňové studie nebo transport splavenin či plavenin se normálně udává hodinový až denní krok. Pro bilanční modely může být časová délka výpočtového kroku i vyšší (týden, měsíc). Dokonce i jednotlivé časové proměnné mohou mít jiný časový krok a taky nemusí být stejný časový úsek stejných vstupních a výstupních veličin.

Dále se dělí na modely kontinuální (simulují delší víceleté období) a epizodní (simulace probíhá jen pro určité dílčí události, jako jsou povodně nebo hydrologické sucho).

Kontinuální modely se používají na velkých územích, kde jsou povodně způsobeny převážně regionálními dešti a epizodní modely mají uplatnění při simulaci přívalových srážek zasahující menší povodí (Jeníček, 2005).

II. Prostorová diskretizace

Problematika u prostorové diskretizace je o něco složitější. Uživatel výběrem vhodného modelu vytváří jeho topologii. Rozlišují se dvě hlavní kategorie a to celistvé (lumped) a distribuované modely. I když v poslední době se vyskytuje ještě jedna kategorie modelů, a to semi-distribuovaných.

Celistvé

Většinou označované jako lumped modely. Parametry charakterizující povodí, ať už stavové veličiny nebo časové řady, jsou vztahovány k celému povodí nebo k jeho části. Většinou se jedná o bodově měřené hodnoty (průtoky v uzavěrovém profilu, srážky na stanici), které se pomocí geostatistických metod převádí na hodnoty plošné. Americký model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) je skvělým příkladem celistvého modelu, ale i zároveň modelu se soustředěnými parametry (Jeníček, 2005; Scharffenberg, 2016).

Distribuované modely

Jsou to modely založené na distribuovaných parametrech. V úvahu se bere prostorová variabilita vstupních parametrů, které jsou přeměněny na parametry výstupní, vykazující taktéž variabilitu v prostoru. Toto pojetí přesněji vystihuje skutečné chování systému a je v povodí rozděleno do sítí gridem (čtvercového nebo trojúhelníkového tvaru) na základní (elementární) odtokové plochy. Velikost gridu je různá, ale maximálně do jednoho kilometru, proto aby byla zaručena platnost řídicích rovnic. (Becker a Serban, 1990).

Semi-distribované modely

Princip spočívá v rozdělení povodí na základní (elementární) odtokové plochy (hydrotopy), které se vyznačují homogenními prostorovými parametry stejným půdním druhem a vegetačním pokryvem. Semi-distribované modely se stále častěji používají, protože představují ideální kombinaci obou výše uvedených přístupů. Při určování odtokových ploch semi-distributivních modelů je třeba brát v potaz jednak prostorovou distribuci jednotlivých parametrů hydrologického systému povodí a také uznávat rozdělení územních charakteristik, které ovlivňuje odtokový režim jako jsou půdní podmínky, topografie, hydrogeologie nebo vegetační pokryv (Becker a Serban, 1990; Jeníček, 2005)

6.1.6 Rozdělení podle přístupu k prostorové schematizaci

- Jednorozměrné (1D)
- Dvourozměrné (2D)
- Třírozměrné (3D)

6.2 Jednorozměrné modely – 1D

1D matematické modely mají nejširší uplatnění při řešení ustáleného i neustáleného proudění v otevřených korytech toku. Pro ustálené nerovnoměrné proudění jde o to pochopit proudění jako jednorozměrné podél toku, pro příčné složky proudění je zavedeno zjednodušené řešení (aktivní a pasivní zóny v povodňovém režimu, možnost podélného ohrazování, zavedení různých druhů odporů proudění v korytě toku nebo v inundacích). Modelovaná oblast je schematizovaná soustavou příčných profilů, předpokládá se, že proudění probíhá ve směru spojnic mezi jednotlivými profily a zjednodušeně se dá popsat v každém profilu pomocí střední průřezové rychlosti ve směru osy koryta a polohy hladiny. Modely vychází především ze zákona zachování mechanické energie. Proudění vody je ustálené nezávislé na čase a ztráty jsou vyjádřeny pomocí drsnosti koryta (Balvín a kol., 2009; Havlík a kol., 2001).

6.3 Dvourozměrné modely – 2D

Proudění je vnímáno jako dvourozměrné, popisované prostorovým průběhem hladiny a prostorovým rozložením průměrných svislicových rychlostí se složkami ve směrech os souřadnicového systému. Modely vycházejí často ze soustavy svisle integrovaných Reynoldsových rovnic pro prostorové turbulentní proudění a mohou být navrhovány pro řešení ustáleného i neustáleného proudění vody v prostředí. Soustava rovnic je někdy také označována jako „shallow water equations“ neboli

rovnice mělké vody. Rovnice je vhodné použít v případech, kdy půdorysné rozměry v dané oblasti, ve které voda proudí, výrazně přesahují hloubku vodního sloupce.

Výpočetní schéma vychází z číselného řešení soustavy řídicích rovnic. Založené na metodě sítí (konečných diferenciací), konečných objemů a metodě konečných prvků. Při metodě sítí se používá pravidelná pravoúhlá výpočetní síť, ale pro popsání složitější geometrie modelované oblasti je výhodnější použít metodu konečných objemů nebo konečných prvků, které umožňují použití nepravidelné křivočaré či nestrukturované výpočetní sítě.

Dvourozměrné modely využívají k digitální prezentaci modelované oblasti komplexní třírozměrný popis území ve tvaru podrobného digitálního modelu terénu. Tyto modely nejsou zatížené zjednodušením, které je použito v jednorozměrných modelech, a proto poskytují podrobnější a komplexnější výsledky.

Výstupem z těchto modelů jsou podélné i příčné složky rychlostí v korytě i v navazujícím inundačním území a také prostorový tvar hladiny. Modely se používají v komplikovanějších případech proudění, kde schematizace pomocí 1D modelů to není možné nebo přípustné (třeba urbanizované oblasti, tvarově složitá území a posuzování objektů na proudění vody) (Havlík a kol., 2001; Novák a kol., 2015)

6.4 Třírozměrné modely – 3D

Tyto modely jsou v dnešní době zatím ve fázi vývoje. Jsou hlavně v lokálních aplikacích pro řešení specifických případů detailních studií proudění vody v těsné blízkosti hydraulických objektů (mosty, propustky, jezy, přepady, plavební komory a jiné). Kategorie třírozměrných modelů je v současné době zastoupena docela malým počtem komerčních produktů a ve vodohospodářské praxi jsou tyto aplikace využívány ojedinelé (Novák a kol., 2015; Patera, 2002).

6.5 Využívané modely v hydrologii

6.5.1 MIKE-SHE

Patří mezi srážko-odtokové modely, které vyvíjí dánská firma DHI (Danish Hydraulic Institute) a patří do skupiny koncepčních distribuovaných, popřípadě semi-distribuovaných modelů. Hlavní schopnost modelu je modelovat kontinuálně, ale umí i pouze epizodně. Jde poměrně o propracovaný model, který má vazbu i na GIS (geografické informační systémy). S tímto modelem je možné řešit široké spektrum hydrologických úkolů (Jeníček, 2005)

Hlavní komponenty:

- Srážky (dešťové i sněhové)
- Povrchový odtok z povodí

- Evaporace (včetně intercepce)
- Odtok v korytě
- Podzemní odtok
- Povrchový odtok v nenasycené zóně půdního profilu

(Jeníček, 2005)

6.5.2 MIKE 11

Hydrodynamický model vyvíjen Dánským hydraulickým institutem, který je matematickým 1D modelem. Popisuje neustálené proudění v přirozených nebo umělých otevřených korytech a jim přilehlých inundačních územích, v extravilánu i intravilánu. Model je založen na modulech, které jsou navzájem propojeny společnými datovými soubory. Jde o to, že dva různé moduly mohou využívat stejná data jako vstupní soubory nebo výsledkový soubor jednoho modulu je vstupním souborem dat do modulu druhého. Takovýmto uspořádáním získáme výhodu efektivního nasazení vybraných modulů podle potřeb a zaměření v projektu či studii (Hrnčíř, 1997).

6.5.3 HEC-1

Jde o srážko-odtokový model, který je vyvíjený od 60. let armádní hydrologií v USA. Je volně dostupný a zakomponovaný v systému WMS. V modelu je řešen výpočet odtokové ztráty pomocí několik variant, nejpoužívanější varianta je metoda CN-křivek, a to pro svoji jednoduchost. Jednotkový hydrogram je využíván při transformaci odtoku z povodí. Z nejčastěji nabízených možností se používá jednotkový hydrogram dle Clarka.

Model umožňuje modelovat také odtok z tání sněhu, transformaci povodňové vlny v korytě a simulovat průchod povodňové vlny nádrží, při zadání hydrotechnických parametrů a parametrů nádrže. V systémech HEC-HMS a WMS se používá pro modelování povodňových epizod z přívalových srážek, ale plocha povodí by neměla překročit 500 km² (Havlík a Šercl, 2001)

6.5.4 HEC-HMS

Hydrologický model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) je pokračovatelem modelu HEC-1 vyvíjený armádou Spojených států amerických. Jedná se o celistvý (lumped) model, ale některé komponenty se svými znaky řadí do modelů distribuovaných, jako například „gridded SCS CN“ kdy jde o upravenou metodu CN křivek a komponenta „ModClark“, která se využívá při výpočtu přímého odtoku.

6.5.5 HEC-WMS

Nejvyšší generační verzí je model WMS (Watershed Modeling System) vyvíjený na Birgham Young University ve Spojených státech amerických, a to od začátku 90.

let. Jde o nadstavbu, řídicí chod, pod ní fungujících starších modelů (Daňhelka a kol., 2003). Vývoj modelu se více ubírá směrem k distribuovaným modelům a modelům spolupracujícím s geografickými informačními systémy (GIS).

Modely HMS i WMS jsou velice používané srážko-odtokové modely, které lze využít k řešení celé skupiny hydrologických úkolů. Model HMS je vedený jako freeware a je dostupný na internetu a WMS je šířen pouze komerčně.

Hlavní výpočty modelu:

- Přímí odtok (Direct-runoff models)
- Podzemní odtok (Baseflow models)
- Počítající objem odtoku (Runoff-volume models)
- Korytový odtok (Routing models)
- Modely s možností simulovat speciální případy jako nádrže a rozdělovací objekty.

(Chow, 1988, Jeníček, 2005, O'Connor, 1976)

6.5.6 HEC-RAS

Program vyvinutý v USA pro jednorozměrný hydraulický výpočet říční sítě. S propracovaným uživatelským rozhraním v prostředí Microsoft Windows, kde se zpracovává problematika hydrauliky ustáleného proudění v otevřených korytech a objektech na přirozených a umělých tocích (Křovák, 2001).

Skládá se ze čtyř výpočetních postupů jednorozměrné říční sítě:

- Analýza ustáleného proudění (Steady Flow Water Surface Profiles)
- Simulace neustáleného proudění (Unsteady Flow Simulation)
- Transport sedimentu (Sediment Transport)
- Analýza kvality vody (Water Quality Analysis)

Velkou výhodou je, že všechny analýzy používají společná hydrologická a geometrická data k modelu sítě vodních koryt a navazující inundace. Předností programu je rozdělení profilu na vlastní koryto, pravou a levou inundaci. Je možnost zadávat drsnosti prostředí jak v horizontálním, tak i dokonce vertikálním směru. Program umožňuje zadávat a modelovat neaktivní části záplavového území, které se velmi podílejí na transformaci povodňové vlny (Havlík a Šercl, 2001).

6.5.7 HEC-GeoRAS

Nástavba programu HEC-RAS, která je zavedena do prostředí ArcGIS (program na zpracování geografických informačních dat od firmy Esri). Jedná se o soubor pomůcek a nástrojů umožňující přípravu geometrických dat jako jsou příčné řezy, břehové linie a osy toku s možností následného importu do prostředí HEC-RAS, kde se provádí samotný výpočet modelu. Výsledky je možné exportovat zpět do GIS pro

tvorbu různých analýz, vytvoření záplavových území nebo zakreslování do mapových podkladů (Brunner, 2016).

6.5.8 Hydrog

Je předpovědní systém vyvíjený od roku 1991 a jeho autorem je profesor Miloš Starý z VUT v Brně. Jde o srážko-odtokový distributivní model k simulaci povodňových situací v povodí, operativnímu řízení vodohospodářských děl a vydávání operativních předpovědí průtoků v povodí říční sítě. Používáný v ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) pro výpočet regionálních předpovědí na pracovištích v Ostravě (povodí Odry, horní Moravy a Bečvy) a v Brně (povodí Dyje).

Model respektuje počáteční ztrátu infiltrací podle Hortona při srážko-odtokovém modelování. Ostatní srážky tvoří plošný odtok, který se transformuje použitím jednotkového hydrogramu do koryta toku. Povrchový odtok se tak skládá z plošného odtoku ze zavěšených ploch a soustředěného odtoku v říční síti. Číselně se odtok řeší přes kinematickou vlnovou aproximaci Saint-Venantových rovnic pro neustálené proudění.

Předpověď průtoků vychází z:

- Měření srážek (v hodinovém kroku)
- Měření průtoků (v hodinovém kroku)
- Měření teploty (v hodinovém kroku)
- Měření sněhové pokrývky (výšky sněhu a vodní hodnoty, 1-2 týdne, u některých stanic denně)
- Předpověď teplot (v 6hodinovém kroku)
- Předpověď srážek (v 6hodinových úhrnech)

(ČHMÚb)

6.5.9 HBV

Jde o model vyvíjený od počátků 70. let Švédským meteorologickým a hydrologickým institutem SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute). Patří do modelovacího systému IHMS (Integrated Hydrological Modelling System). Řadí se mezi koncepční modely využívané jak pro krátkodobé, tak i kontinuální simulace odtoku z povodí. V České republice není moc rozšířený, ale v zahraničí patří mezi častěji využívané.

Hlavní komponenty:

- Sněhový modul – založený na metodě degree-day. Srážky se započítávají s korekčním faktorem s ohledem na teplotu a nadmořskou výšku.
- Modul půdní vlhkosti
- Modul výpočtu nádrže
- Model geneze odtoku (Bergström, 1995, Jeníček, 2005)

II PRAKTICKÁ ČÁST

7 Charakteristika zájmového území a vodního toku

Zájmové oblast se nachází v jihovýchodní části Prahy, městská část Praha – Hostivař, která tvoří s Horními Měcholupy městskou část Prahy 15. Před připojením k Praze, které bylo 1. ledna 1922 byla Hostivař samostatně ležící obcí u vodního toku Botič, dříve nazývaného Vinný potok. První historická zmínka o Hostivaři je z roku 1068 a to v Kosmově kronice.

Historická část Hostivaře si zachovala dobový ráz, po zrekonstruování některých částí její kulturní hodnota ještě více vynikla. Stará Hostivař je památkovou zónou, kde je například krásný farní kostel Stětí sv. Jana Křtitele, postavený v románském až raně gotickém stylu kolem 11. století, historické prostředí Hostivaře dotváří uličky Selská, Chalupnická a Domkářská v blízkosti kostela a chodníček kolem levého břehu Botiče (Praha Neznámá, 2018).

Přírodní památka Meandr Botiče se nachází v blízkosti přírodního parku Hostivař-Záběhlce. Dominantní osu této památky tvoří přirozeně meandrující vodní tok Botič s navazujícím úzkým pásem pobřežní a nivní vegetace. Nadmořská výška se zde pohybuje mezi 220–235 m n. m.

Meandry Botiče jsou významným biotopem vlhkomilné a lesní fauny ve velmi urbanizované a silně zastavěné krajině. Mezi nejvýznamnější druhy vázané na vodní ekosystémy se zde nachází kriticky ohrožený ježdík žlutý (*Gymnocephalus schraetser*). Vodní tok se zařezává do vlastních aluviálních náplav z hlín či písčitých hlín, pouze v malé oblasti blízko Hostivařské přehrady se vyskytují štěrkopísky. Geologické podloží je složené převážně z břidličného souvrství ordovického stupně beroun (Havránek, 2009; Hlavní město Praha, 2013).

Botič se může pyšnit tím, že je nejdelší pražský potok a protéká velmi rozmanitým terénem. Jeho břehy lemují hustě zastavěné plochy, ale i relativně neporušené přírodní lokality. Jednou z těchto lokalit je přírodní památka meandry Botiče, které tvoří údolní niva potoka Botiče. Potok zde vytvořil meandrující koryto s hloubkou dosahující až ke dvěma metrům. Na soutoku s Hostivařskou přehradou vytváří rozlehlý mokřadní biotop u Hostivařské přehrady. Vodní vegetace není příliš bohatá, protože je poznamenána eutrofizací (obohacování vod o živiny) (Hlavní město Praha, 2013)

Vodní tok pramení jihovýchodně od Prahy mezi obcemi Křížkový Újezdec a Nebřenicemi v lese Okrouhlík. Protéká zámeckým parkem Průhonice, jež je veden jako národní kulturní památka. Meandruje zalesněným údolím Průhonic až do Petrovic, kde se vzdouvá vodní hladina nádrže Hostivař. Pod nádrží vodní tok pokračuje meandrovitým korytem patřící do přírodní památky Meandry Botiče a dále

koryto vede městskou částí Hostivař a Záběhlíce. Protéká skrz areál Pražských tepláren a nadále teče michelským údolím přes Vršovice a kolem divadla na Fidlovačce. Pod Nuselským mostem se na pravém břehu koryta rozléhá park Folimanka a vyšehradské hradby. Posledních 700 m teče tok v zaklenutém profilu a pod železničním mostem ústí zprava do Vltavy.

Číslo hydrologického pořadí toku: 1-12-01-020

Délka toku: 34,5 km

Plocha povodí: 134,85 km²

Správce toku:

-Povodí Vltavy s.p. (úsek 17,447 – 34,5 km)

-Hlavní město Praha zastoupená organizací Lesy hl. m. Prahy (úsek 0 – 17,447 km)

Průměrný roční průtok: 0,373 m³*s⁻¹

Významnější přítoky (název, orientace přítoku, kilometr od soutoku s Vltavou):

- Labeška, levostranný, km 32,33
- Jesenický, levostranný, km 24,53
- Dobřejovický, pravostranný, km 23,57
- Pitkovický, pravostranný, km 17,73
- Milíčovský, levostranný, km 16,31
- Košíkovský, levostranný, km 13,18
- Chodovecký, levostranný, km 8,43
- Slatinský, pravostranný, km 6,65

(Magistrát hl. m. Prahy, 2013)

N-leté průtoky vodního toku Botič ze stanice vodní dílo Hostivař jsou uvedeny v tabulce č.1

N-leté průtoky	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
[m ³ *s ⁻¹]	4.8	18	26	48.9	60.3

Tab. č. 1. N-leté průtoky VD Hostivař. (ČHMÚa)

Názvy i stupně povodňové aktivity (SPA) jsou uvedené v tabulce č. 2, kde jsou uvedeny hodnoty průtoků, při kterých se SPA vyhláší i s četností hlášení. Veškeré tyto informace jsou pro stanici VD Hostivař.

Název SPA	SPA	průtok [m ³ *s ⁻¹]	četnost hlášení
Bdělost	I.	10	1x denně
Pohotovost	II.	15	4x denně
Ohrožení	III.	35	v intervalu 3 hodin

Tab. č. 2 Stupně povodňové aktivity VD Hostivař. (ČHMÚa)

8 Data pro hydrologický model

Model bez vstupních dat nefunguje, proto bylo zapotřebí data získat nebo naměřit. Povedlo se mi obstarat tyto data:

8.1 DMR 5G

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace byl zakoupen od ČÚZK (Český úřad zeměměřický a katastrální). Zájmové území se rozkládá na rozhraní dvou mapových listů o rozměrech 2,5 x 2 km, proto byly tyto dva listy pořízeny.

Data zobrazují zemský povrch ať už přirozený nebo lidskou činností upravený ve formě diskrétních bodů a jejich výšek v nepravidelné trojúhelníkové síti bodů o souřadnicích X, Y, Z, kde Z znázorňuje nadmořskou výšku v referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv), kde střední chyba výšky v odkrytém terénu je 0,18 m a v zalesněném 0,3 m. Data se získávají pomocí metody leteckého laserového skenování zemského povrchu. V České republice toto měření probíhalo v rozmezí let 2009 až 2013. DMR 5G se používá k analýzám terénních poměrů s lokálním rozsahem a charakterem, např. projektování vodohospodářských, dopravních a pozemních staveb, plánování pozemkových úprav a modelování přírodních jevů (ČÚZK ©2010).

Ve vodním hospodářství má letecké laserové skenování jednu nevýhodu, a to že paprsek nezaměří koryto toku, protože se od hladiny vody odrazí a data v korytu toku jsou nepřesná. Data z DMR 5G jsou v této diplomové práci použita pro vykreslení terénu v zájmovém území okolo koryta toku.

8.2 Data poskytnutá Magistrátem hlavního města Prahy (Magistrát HMP)

Byla mi poskytnuta data z Magistrátu HMP z Odboru ochrany prostředí Oddělení péče o zeleň k části zájmového území z projektu Rybářské bašty. Jednalo se o úsek začínající před Rybářskou baštou a končící pár metrů za mostem v ulici K Horkám. Bohužel tato data nebyla vhodná, protože data neobsahují zaměření koryta toku, ale pouze zaměření jeho břehových částí, lávky a stromů okolo řešeného toku.

8.3 Vlastní měření

Měření bylo uskutečněno ve čtvrtek 8.3.2018 za použití zapůjčených přístrojů z České zemědělské univerzity v Praze Fakulty životního prostředí z Katedry vodního hospodářství a environmentálního modelování.

Seznam použité aparatury:

2x Přístroj Leica GPS 1200

2x ATX-1230-GNSS + třífrekvenční Smart anténa

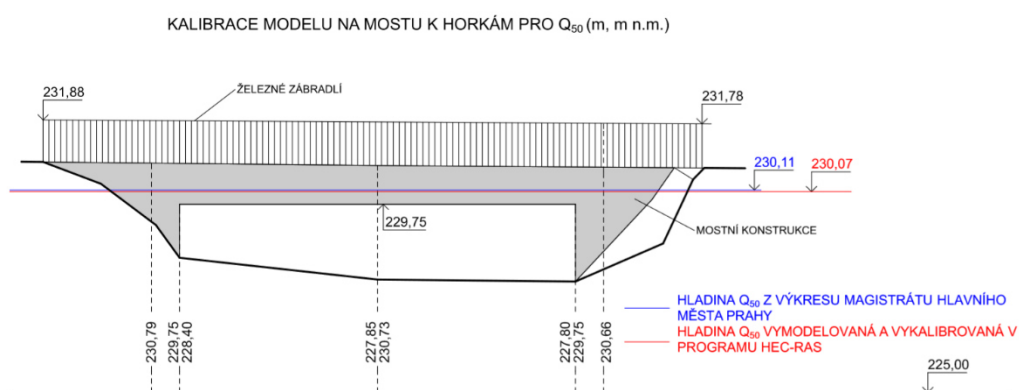
- 2x RX-1250Xc Windows CE kontroler
- 2x Radiomodem SATELLINE
- 2x Radioanténa Kathrein
- 2x GHT52 úchyt na výtyčku pro GHT56
- 2x GHT56 držák pro RX1250
- 1x GHT57 úchyt pro zavěšení přístroje na stativ
- 1x MCF256 paměťová karta Compact Flash 8 GB
- 1x MCFAD1 PCMCIA adaptér pro Compact Flash kartu
- 2x GEV173 kabel, délka 1,2 m
- 1x telefon Nokia
- 1x nabíječka Nokia
- 1x nabíječka baterií Leica + kabel
- 6x GEB221 vnitřní baterie Li-ion, 4Ah
- 4x GEB221 vnitřní baterie Li-ion, 2Ah
- 2x GVP640 kufr pro přenos součástí aparatury
- 1x stativ
- 1x výtička

Aby byla docílena velmi dobrá přesnost měření bylo zapotřebí dvou přístrojů Leica GPS 1200. První přístroj se využíval jako referenční stanice, která byla postavena na místo vytipované, tak aby nebylo moc blízko koryta a nebyl tím rušen signál od vysílače se šířící. Poloha přístroje byla zaměřena pomocí mobilního přístroje Nokia a poté se už tento přístroj nechal, aby vysílal do okolí zpřesňující informace o poloze referenční stanice. Referenční stanice je v zaměřených bodech označena názvem RTCM-Ref 0006 a má nadmořskou výšku 229,8986 m n. m.

Druhý přístroj Leica GPS 1200 byl používán k samotnému měření v korytě toku. Během necelých 6 hodin bylo naměřeno 324 bodů s odchylkou 3D kvality menší než 0,05 m. Začátek měření koryta toku byl pod rybím přechodem a postupovalo se po proudu kolem restaurace Selský dvůr, kde byla zaměřena také lávka i most v ulici K Horkám. Měření končí asi 50 m před mostem na Kozinově náměstí. Byla zaměřena proudnice spolu s levou a pravou stranou dna.

9 Kalibrace modelu

Kalibrace proběhla na mostu v ulici K Horkám, kde z výkresu od Magistrátu hlavního města Prahy byla zjištěna přesná výška hladiny, která je 230,11 m n.m., pro Q_{50} . V programu HEC-RAS pro jednodušší práci byla zvolena pouze povodňová vlna pro Q_{50} , která je 48,9 m³/s. S daty byla namodelovaná kalibrace, postup se shoduje s popisem, který byl popsán níže pro celou práci. Výsledky byly zobrazeny na obrázku č.9, kde modrou barvou byla znázorněna data z Magistrátu a červenou namodelovaná data. Rozdíl mezi těmito daty je 4 cm ve výšce hladiny. Tímto byl model zkalibrován a bylo možné pokračovat v samotné práci modelování s programem HEC-RAS pro všechny zvolené povodňové vlny.

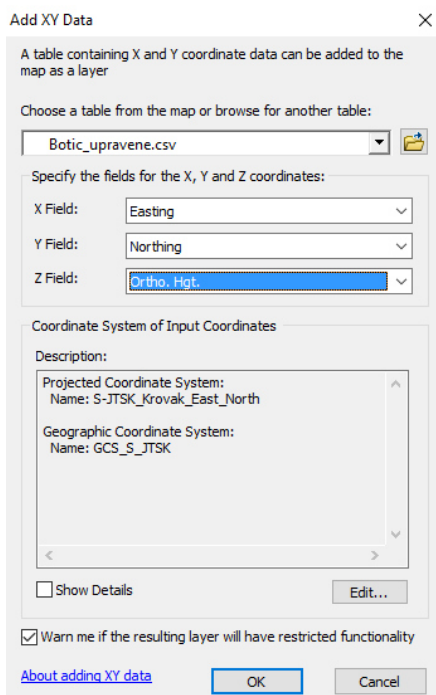


Obr. č. 9 Znázornění dat Q_{50} z výkresu a z kalibrace v programu HEC-RAS (autor, 2018a).

10 Vytvoření digitálního modelu terénu v programu ArcGIS

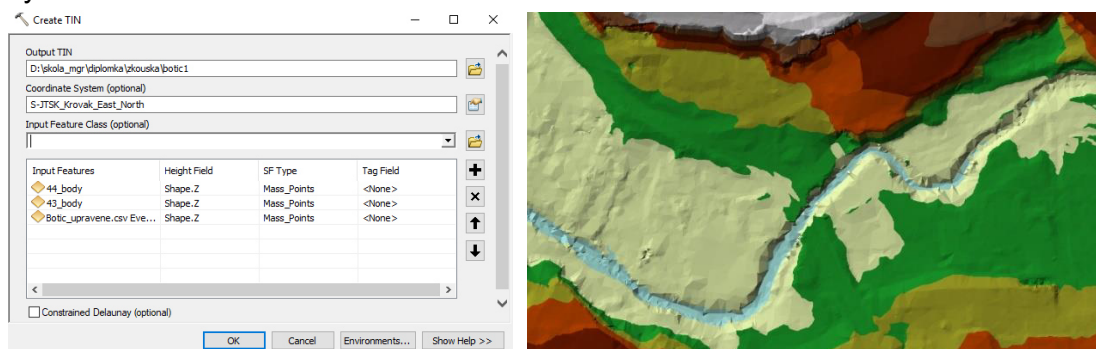
Data DMR 5G byla potřeba před nahráním do rozhraní ArcGIS ještě upravit. Byla přepsána koncovka z .xyz na .txt (koncovka textového souboru) a poté byla otevřena v aplikaci Microsoft Excel. Zde se upravily x a y hodnoty pomocí funkce *Vložit jinak* a byly vynásobeny číslem -1. Tímto byly hodnoty ve správném formátu a následně bylo zapotřebí soubor uložit s koncovkou .csv (textový soubor s oddělovači).

Nyní už bylo možné nahrát data do ArcGIS přes funkci *Add XY Data ...* zde byl vybrán soubor z adresáře, který byl vložen s nastavením sloupců X, Y a Z souřadnic. Jak je vidět na obrázku č.10 *X Field* sloupec v Excelu pojmenovaný Easting, *Y Field* Northing a *Z Field* jako Ortho. Hgt. Ještě bylo zapotřebí nastavit koordinační systém, v celém projektu byl používá S-JTSK_Krovak_East_North (zkratka v ArcGIS 5514).



Obr. č. 10 Nahrání dat do programu ArcGIS (autor, 2018b).

Stejně byla upravena data z vlastního měření a byla vložena do prostředí ArcGIS, kde z těchto bodových dat byl vytvořen digitální model terénu pro zájmové území pomocí funkce *Create TIN*. To je vidět na obrázku č. 11, který znázorňuje nastavení funkce TIN (**t**riangulated **i**rrregular **n**etwork-nepravidelná trojúhelníková síť bodů), tj. kam byl výsledek uložen, jaký koordinační systém byl použit a z jakých vrstev byl TIN vytvořen.

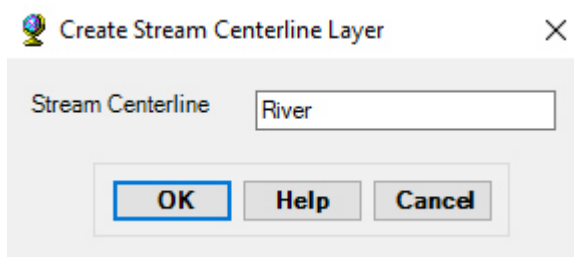


Obr. č. 11 a č. 12 Vlevo vytváření digitálního modelu terénu a vpravo vytvořený TIN (autor, 2018b).


Pomocí prostředí HEC-GeoRAS vestavěné do programu ArcGIS byla vytvořena geometrická data vodního toku v zájmovém území a následně byla data

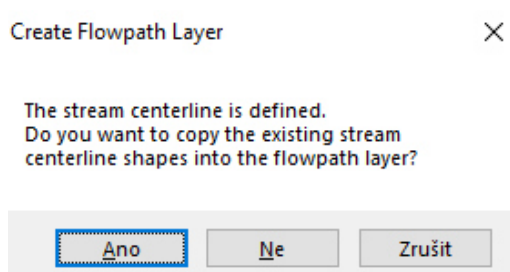
vyexportovány do samotného prostředí programu HEC-RAS. Bylo zapotřebí zvektorizovat linie vodního toku přes *RAS Geometry – Create RAS Layers*:

- *Stream Centerline* (osa toku) vždy je to první vrstva která se vytváří. Při vytváření bylo zapotřebí vložení názvu toku, jak se bude výsledná vrstva jmenovat (Obr. č.13) Byla spuštěna standartní editace v ArcGIS a zakreslena osa toku. Zakresluje se po směru proudu toku v zájmovém území.



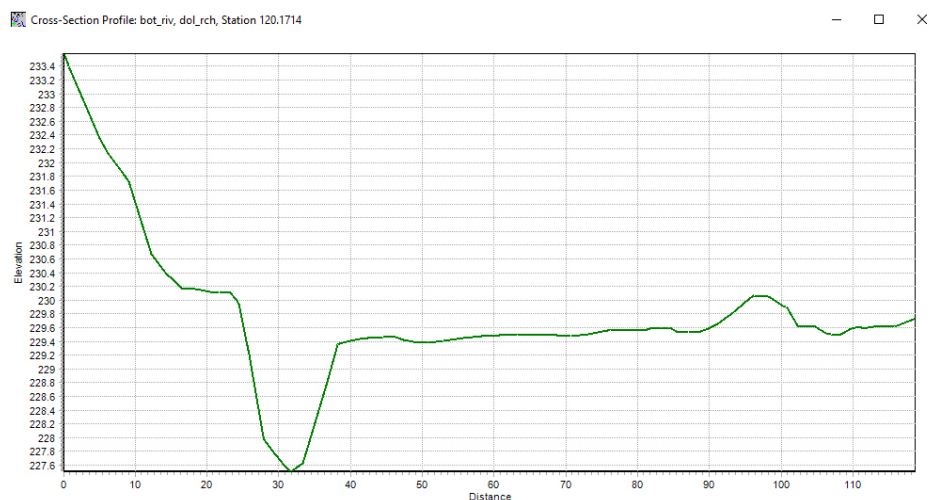
Obr. č. 13 Vytváření Stream centerline. (autor, 2018b).

- *Bank Lines* (břehové linie) v editaci byly zakresleny linie levého a pravého břehu a vrstva byla pojmenována Banks.
- *Flow Paths Centerlines* (osa proudění) vrstva reprezentuje břehovou čáru a slouží k propočítávání vzdáleností mezi osou toku a pravým a levým břehem. Při vytváření vyskočí upozornění s možností zkopírování páteřního toku do nové vrstvy (Obr. č. 14). Po potvrzení tohoto kroku byla vytvořena nová vrstva se zkopírovanou osou toku a byla označena „Channel“. V editoru byly vytvořeny břehové linie po směru toku proudění. Pro zkompletování celé vrstvy bylo zapotřebí označení linií proudění, jestli se jedná o hlavní tok (*Channel*), pravý (*Right*) nebo levý břeh (*Left River Bank*). Pomocí nástroje *Select Flowpath and Assign Line Type Attributes*, který má tuto ikonu . Při označení objektu vyskočí okno s tabulkou, kde bylo zapotřebí přiřadit o jakou část (Channel, Right, Left) Flowpaths se jedná.



Obr. č. 14. Upozornění pro zkopírování osy toku při vytváření Flowpaths. (autor, 2018b).

- *XS Cut Lines* (příčné profily) vrstva sloužící k převedení terénního modelu do jednotlivých příčných profilů. Příčné profily v sobě nesou spousty dat sloužících k simulaci výpočtů proudění toku. Linie se musí kreslit od levého břehu k pravému, nikdy ne naopak. Vytvoření vrstvy jde pomocí dvou způsobů v této práci byl použit způsob manuální, kdy byla vytvořena vrstva a pomocí editace byly zakresleny příčné profily vždy podle pravidla kreslení od levého břehu k pravému. Příčné profily se nesmí křížit a profil může procházet pouze jednou přes linii toku. U mostu a lávky byl vždy vyčleněn profil před mostovou konstrukcí a za mostovou konstrukcí. Vytvořené příčné profily lze pomocí nástroje *Plot Cross Section* zobrazit a podívat se na délkové a výškové rozložení vybraného příčného profilu (Obr. č. 15)

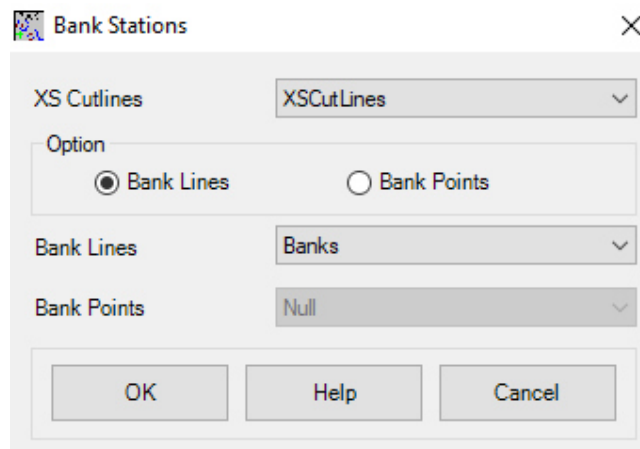


Obr. č. 15 Zobrazený příčný profil přes nástroj *Plot Cross Section*. (autor, 2018b).

Po vytvoření příčných profilů bylo zapotřebí doplnit atributové tabulky. Atributy se ručně nevkládají, ale byly využity nástroje, které se nachází v *RAS Geometry – XS Cut Lines Attributes*. Atributy jsou propočítávány vždy na základě nějaké vrstvy.

- *River/Reach Name* propočet závislý na hlavním toku. Ke každému příčnému profilu je přiřazeno specifické jméno toku.
- *Stationing* (staničení) přidává ke každému příčnému profilu umístění, vzdálenost každého příčného profilu od počátku toku. Tento nástroj závisí na funkci „*Stream line*“.

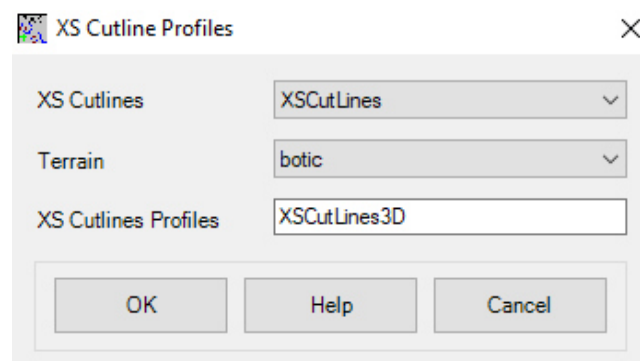
- *Bank Stations* k příčným profilům přiřazuje břehové body. Při zadávání této vrstvy je potřeba zvolit název vrstvy XSCutLines a jestli se jedná o liniový nebo bodový formát břehové vrstvy (Obr. č. 16)



Obr. č. 16 Zvolení *Bank Lines* při doplňování atributů do příčných profilů (autor, 2018b).

- *Downstream Reach Lenght* ke každému příčnému profilu je přidělena jeho vzdálenost od následujícího příčného profilu po směru proudění toku. Atributy se přiřazují z vrstvy nazvané *Flowpaths*.

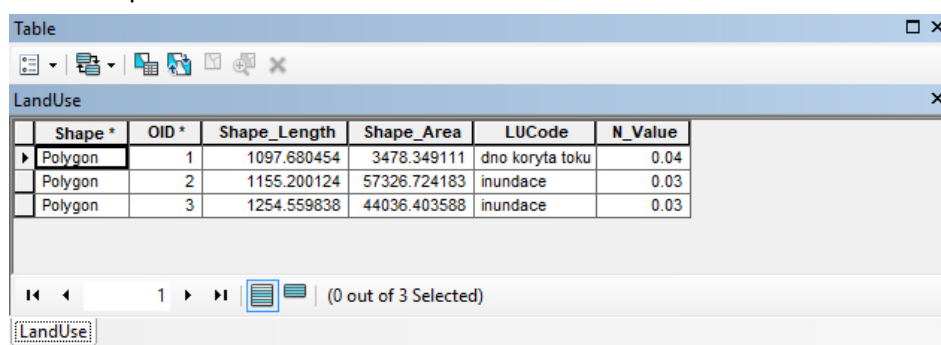
Po doplnění všech atributových prvků byly skrz nástroj *Elevation* vytvořeny 3D příčné profily (*XSCutLines3D*). Tento nástroj realizuje předělání příčných profilů z 2D prostoru do 3D prostoru. Byla vytvořena nová vrstva s překopírovanými atributy z již předem vytvořených 2D příčných profilů. Při zadávání bylo zapotřebí vyplnit z jakých příčných profilů se mají extrahovat výškopisná data (*XSCutLines*), musí být v ArcGIS nahrána vrstva s digitálním modelem terénu (TIN s názvem „botic“), která se zadává v záložce *Terrain* (Obr. č. 17). Jako poslední byl vyplněn údaj, jak se bude jmenovat nově vytvořená vrstva 3D příčných profilů, po potvrzení byla vrstva vytvořena.



Obr. č. 17 Okno s tvorbou 3D příčných profilů. (autor, 2018b)

11 Součinitele drsnosti

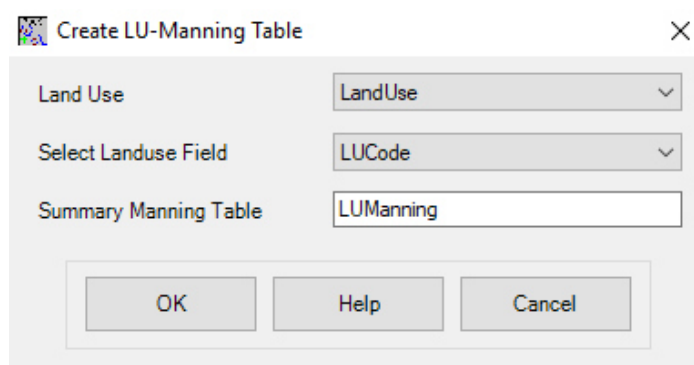
Jde o vrstvu, ve které je vyznačeno, zda se jedná o dno koryta toku nebo inundaci. K vrstvám byly přiřazeny součinitele drsnosti. Přes nástroj *RAS Geometry – Create RAS Layer – Land Use Area* byla vytvořena datová vrstva. V editačním režimu byla upravena podle toho, zda se jednalo o koryto toku nebo přilehlou inundaci a tyto údaje byly zapsány do sloupce *LUCode* v atributové tabulce. Do sloupce *N_Value* byly přiřazeny součinitele drsnosti pro dno koryta toku 0,04 a pro inundaci 0,03 (Obr. č. 18), v příloze č.1 a 2 jsou zobrazeny fotky pro určení drsnostních součinitelů pro dno toku a pro inundaci.



Shape *	OID *	Shape_Length	Shape_Area	LUCode	N_Value
Polygon	1	1097.680454	3478.349111	dno koryta toku	0.04
Polygon	2	1155.200124	57326.724183	inundace	0.03
Polygon	3	1254.559838	44036.403588	inundace	0.03

Obr. č. 18 Vyplnění *LandUse* atributové tabulky součinitelem drsnosti (autor, 2018b).

Po vytvoření polygonu s vyplněnými součiniteli drsnosti bylo zapotřebí vytvořit dvě atributové tabulky pomocí nástroje *RAS Geometry – Manning’s n Values – Create LU – Manning Table*, kde bylo potřeba zadat z jaké vrstvy bude tabulka extrahována (*LandUse*) a sloupec podle kterého byly atributy rozlišeny (*Select Landuse Field*) byl vybrán sloupec *LUCode* a jako poslední byl vyplněn název nové atributové tabulky (Obr. č. 19).



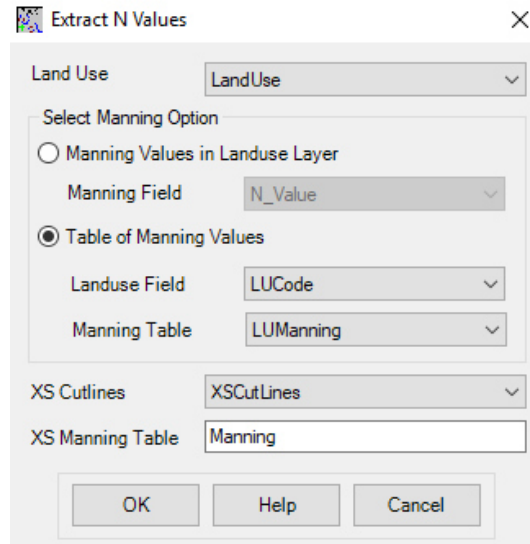
Obr. č. 19 Vytvoření *LU-Manning Table* (autor, 2018b).

Po potvrzení byla vytvořena atributová tabulka se sloučenými stejnými vrstvami. K položkám byl přes editaci přiřazen do sloupce *N_Value* součinitel drsnosti.

Poté bylo potřeba součinitele drsnosti přiřadit ke každému příčnému profilu. Byl použit nástroj *RAS Geometry – Create RAS Layer – Extract N Values*. Zobrazí se tabulka (Obr. č. 20), kde bylo zvoleno odkud se součinitele drsnosti nakopírují, jestli

z vrstvy LandUse a ze sloupce N_Value nebo se budou přiřazovat z vytvořené tabulky LU Manning. Vybrala se vrstva s příčnými profily, a nakonec byl vyplněn název nové atributové tabulky.

Příčný řez může obsahovat více než jeden součinitel drsnosti, a to je uvedeno ve sloupci s názvem XS2DID a jedná se o čísla příčných profilů.



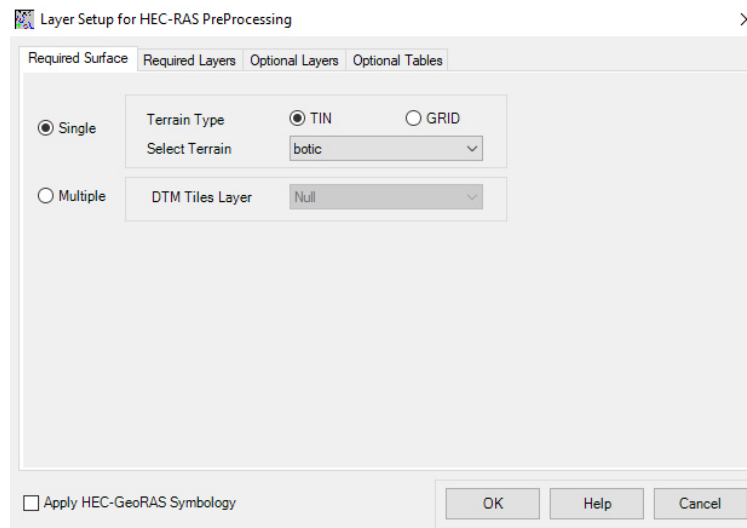
Obr. č. 20 Výběr odkud byly zkopírovány součinitele drsnosti (autor, 2018b).

12 Export dat do HEC-RASu

Byly vytvořeny všechny potřebné vrstvy a bylo na čase přejít k exportu dat z HEC-GeoRASu do HEC-RASu. Přes nástroj *RAS Geometry – Layer Setup* se zobrazí okno (Obr. č. 21) se záložkami:

- *Required Surface*, kde bylo nutné zadat model terénu a vybrat, jestli se jedná o TIN nebo GRID.
- *Required Layers* zde byl zadán hlavní tok s příčnými profily, a to ve formátu 2D (XSCutLines), tak ve formátu 3D (XSCutLines3D)
- *Optional Layers* zde se zadávají vytvořené vrstvy jako třeba LandUse a Banks

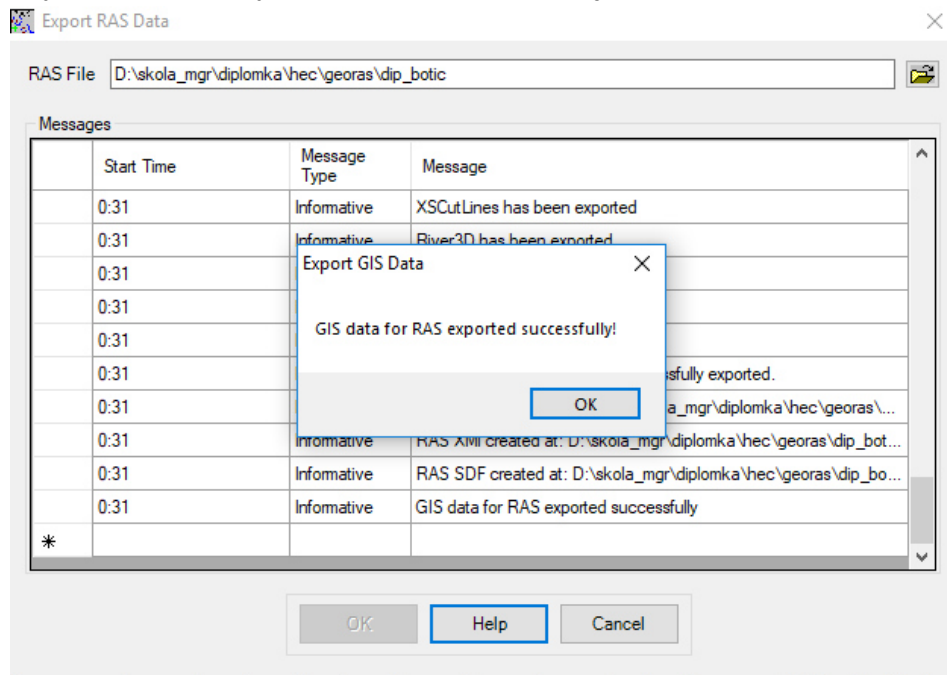
- *Optional Tables* je poslední záložka a zadávají se tu tabulky např. Manning



Obr. č. 21 Okno Layer Setup s povinným zadáváním terénu (autor, 2018b).

Před exportem je vždy důležité zkontrolovat všechny vrstvy, které se budou exportovat, zda jsou umístěny správně. V pojmenování souboru a cestě k němu nesmí být žádné interpunkční znaménka a místo mezer je v názvu potřeba používat _ (podtržítka).

Po zkontrolování veškerých vrstev bylo přistoupeno k exportu dat přes funkci *RAS Geometry – Export RAS Data*. Zobrazí se okno (Obr. č.22), ve kterém bylo potřeba zadat do *RAS File*, kam vzniklý soubor bude umístěn a jak se bude nazývat. Pokud byl export úspěšný zobrazí se hláška, která je na obrázku č.22.



Obr. č. 22 Hláška o úspěšném exportu dat z HEC-GeoRASu a okno Export RAS Data (autor, 2018b).


13 Modelování v programu HEC-RAS

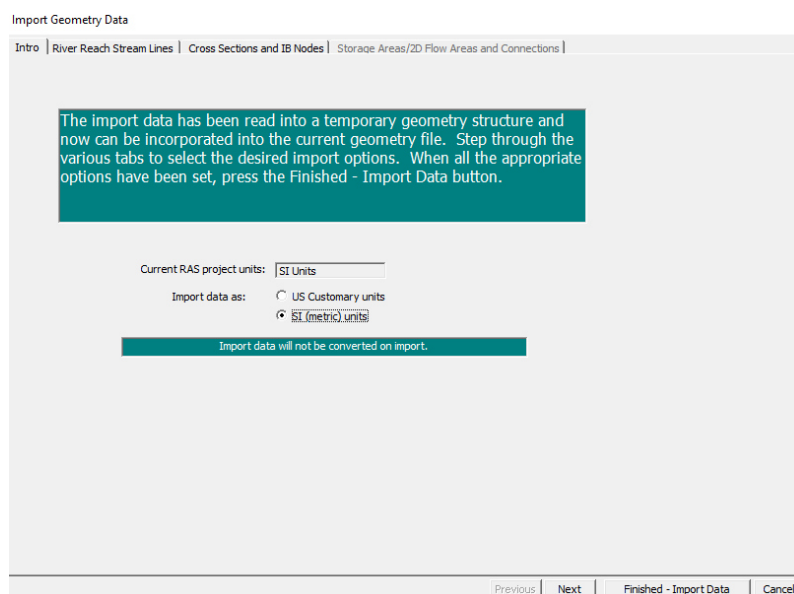
V programu HEC-RAS dochází k vlastnímu výpočtu průtokové vlny, v nastavbě HEC-GeoRASu došlo pouze k přípravě datových vrstev pro výpočetní proces. HEC-RAS vytváří jednorozměrný model v režimu ustáleného nebo neustáleného proudění v korytě toku a blízké inundaci.

13.1 Založení projektu

Pokud je program spuštěn, tak přes záložku *File – New Project* se vytvoří nový projekt, ale ještě před importováním dat bylo změněno nastavení předvolených amerických měrných jednotek na mezinárodně uznávaný metrický systém, a to pomocí záložky *Options – Unit System*.

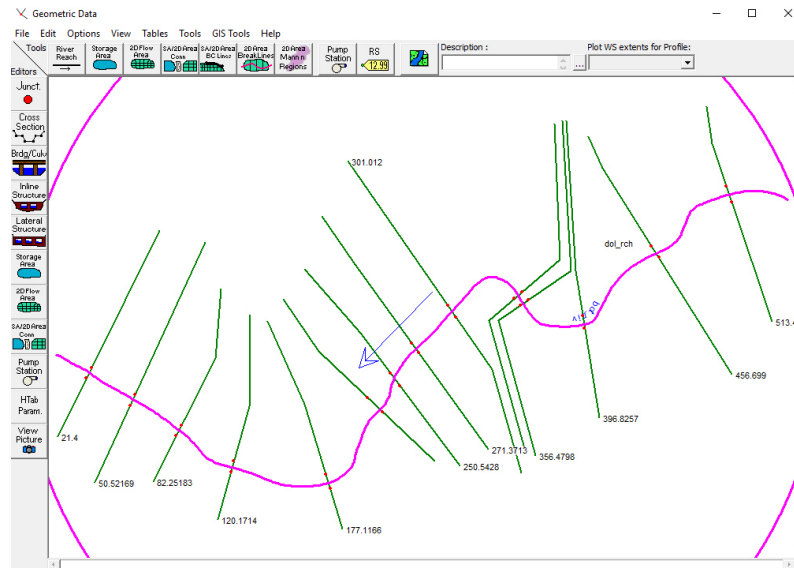
13.2 Import dat

Přes nástroj *View/Edit geometric data*  se otevře okno, ve kterém bylo zvoleno *File – Import Geometric Data – GIS Format*. Zvolí se, který soubor otevřít a vyskočí okno (Obr. č. 23), kde byly zvoleny jednotky SI. V další záložce byly zobrazeny importované linie a v poslední záložce byla zobrazena tabulka s vrstvami ohledně příčných profilů. Byly zvoleny vrstvy, které bylo potřeba exportovat.



Obr. č. 23 Výběr jednotek SI při exportu dat (autor, 2018b).

Po importování byla data zobrazena v pracovní ploše HEC-RASu, jak je možné vidět na obrázku č. 24.



Obr. č. 24 Plocha HEC-RASu s importovanými daty (autor, 2018b).

13.3 Zadávání mostové konstrukce

Mosty byly zadávány ručně přes nástroj *Edit and/or create bridges and culverts*, ve kterém se zadávají mostní konstrukce. Přes nástroj *Edit bridge deck/road way* byla otevřena tabulka, do které byly zadávány údaje o mostu v ulici K Horkám. Mostovka se zadává do dvou příčných profilů *Upstream* (horní profil) *Downstream* (dolní profil). Do kolonky *Distance* byla napsaná vzdálenost mezi profilem *Upstream* a nejbližším příčným profilem proti proudu toku. *Width* byla šířka mostní konstrukce. Do sloupce *High Chord* byla zaznamenána výška horní hranice mostovky. Do sloupce *Station* byly zadávány hodnoty světlé výšky pro editaci mostního otvoru. *Low Chord* byla zadána výška spodní hrany mostovky. Rozdíl mezi *High Chord* a *Low Chord* je výška mostovky (Obr. č. 25).

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
1	15.5	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

	Upstream			Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	87.5	230.939		87.5	231.13	
2	89.5	231.12	230.12	89.5	231.13	230.13
3	100	231.16	230.16	100	231.17	230.17
4	102	231.21		102	231.17	
5						
6						
7						
8						

U.S Embankment SS: 0 D.S Embankment SS: 0

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

OK Cancel

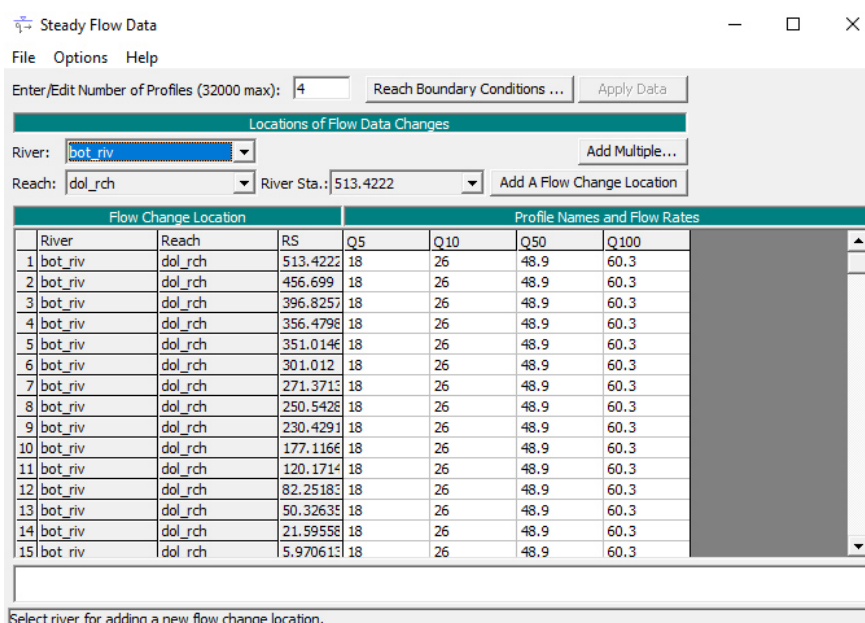
Enter deck/roadway width in direction of flow. (m)

Obr. č. 25 Zadávání rozměru mostové konstrukce mostu v ulici K Horkám (autor, 2018b).

Stejným způsobem byla zadána do programu HEC-RAS lávka za restaurací Selský dvůr.

13.4 Podmínky ustáleného proudění

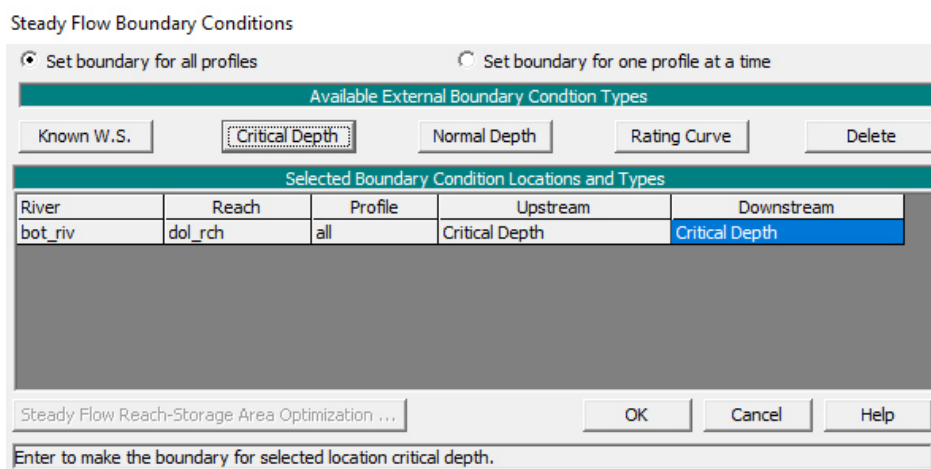
Před zahájením simulací bylo potřeba nastavit okrajové podmínky. Mezi nejdůležitější patří výše simulovaného průtoku v m³/s. Pomocí nástroje *Edit – Steady flow data* v hlavním menu HEC-RASu bylo otevřeno okno (Obr. č. 26), ve kterém byly v *Enter/Edit Number or Profiles* zvoleny 4 profily pro Q₅, Q₁₀, Q₅₀, Q₁₀₀. Přes příkaz *Add Multiple* byly přidány příčné profily. Průtok byl zadán do sloupců podle n-letých průtoků z ČHMÚ pro stanici vodní dílo Hostivař. Název sloupců jde měnit přes *Options – Edit Profile Names*



Obr. č. 26 Zadávání dat ustáleného proudění (autor, 2018b).

Po doplnění všech hodnot bylo ještě zapotřebí určit okrajové podmínky přes *Reach Boundary Conditions*. Bylo otevřeno okno (Obr. č. 27), zde zvoleno smíšené proudění a byly vyplněny oba sloupce jak *Upstream*, tak *Downstream*. Okrajová podmínka byla zvolena *Critical Depth*, u které se nemusí zadávat další parametry, a program jednoduše spočítá kritickou hloubku pro každý příčný profil. Další možností je *Normal Depth*, zde je ale potřeba doplnit sklonitosti. *Raiting Curve* je možnost založena na vložení průtoku a výšky hladiny neboli konsumpční křivky. Poslední

možnost je *Known W. S.* (Known Water Surface Elevations) jde o volbu, která se využívá, když známe výšku hladiny ke každému příčnému profilu.



Obr. č. 27 Určení smíšeného proudění a podmínky *Critical Depth* (autor, 2018b).

Pokud by šlo o bystřinné proudění vyplňuje se pouze pole *Upstream* nebo pokud by bylo proudění pouze říční vyplňovaly by se hodnoty pouze do sloupce *Downstream*. Po zadání veškerých okrajových podmínek bylo zapotřebí data přidat, a to v okně *Steady flow data* přes funkci *Apply Data*. Veškerá data se touto funkcí uloží a tím bylo možné přejít k samotné simulaci povodňové vlny.

13.5 Simulace ustáleného proudění

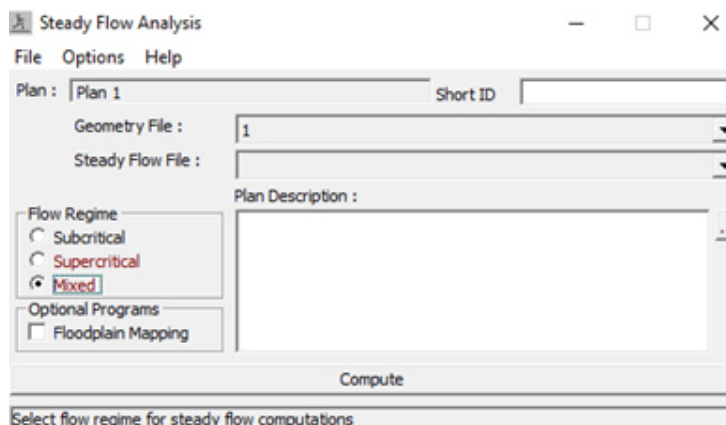
Když byla veškerá data připravena mohlo dojít k vlastní simulaci. Ta byla spuštěna v hlavním menu HEC-RASu přes záložku *Run – Steady Flow Analysis*. Bylo otevřeno okno a zvoleno, v jakém režimu proudění simulace proběhne (Obr. č. 28).

Supercritical – pro simulaci bystřinného proudění

Subcritical – simulace v říčním proudění

Mixed simulace kombinovaná v bystřinném i říčním proudění

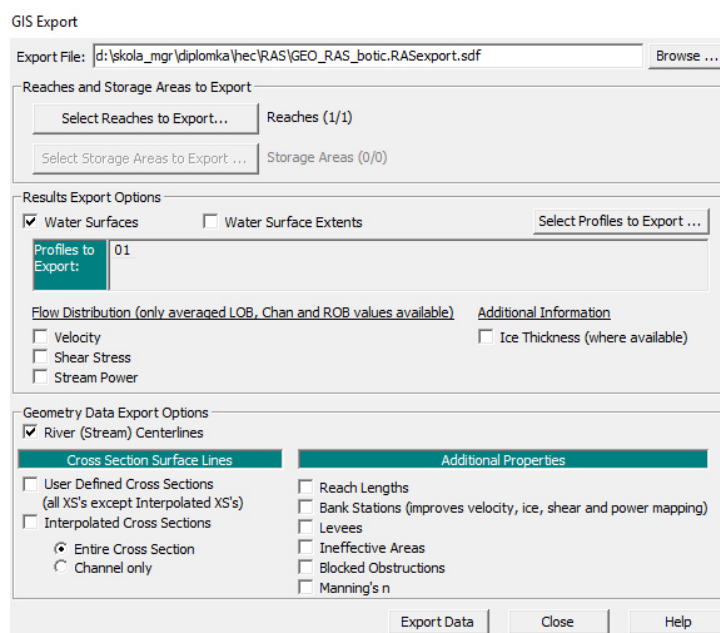
Bylo zvoleno *Mixed* a poté byla puštěna simulace pomocí tlačítka *Compute*.



Obr. č. 28 Zvolení režimu proudění v analýze ustáleného proudění (autor, 2018b).

13.6 Export dat do HEC-GeoRASu

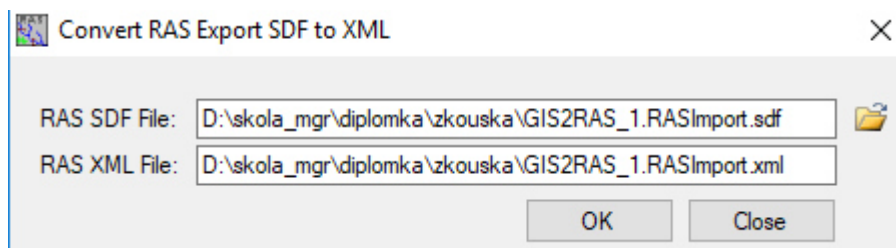
V hlavním menu HEC-RASu skrz záložku *File – Export GIS data..* bylo otevřeno okno (Obr. č. 29), ve kterém byly navoleny vrstvy pro export.



Obr. č. 29 Export dat do prostředí GIS (autor, 2018b).

13.7 Import do HEC-GeoRASu

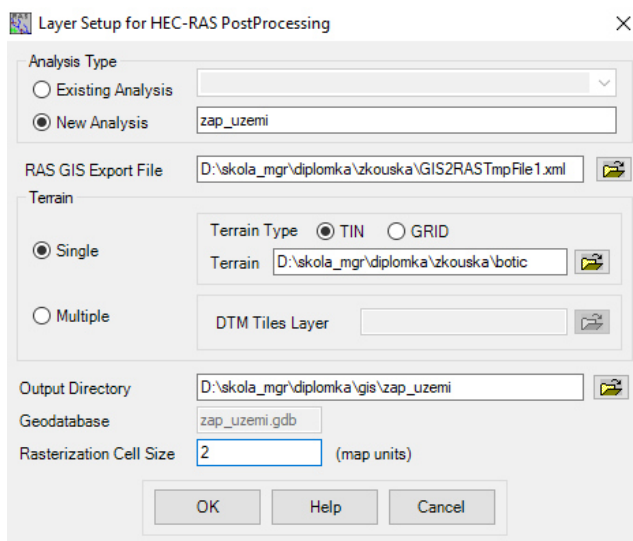
Před importem bylo zapotřebí konvertovat soubor z formátu SDF do formátu XML, a to přes nástroj Import RAS SDF File . V obrázku č. 30 se zadá cesta k RAS SDF File.



Obr. č. 30 Konvertování SDF formátu do XML (autor, 2018b).

Import bylo potřeba nastavit v *Layer Setup*. Cesta je přes *RAS Mapping – Layer Setup* otevře se okno (Obr. č. 31), kde byl zvolen název vrstvy, typ digitálního modelu terénu, cestu k tomuto souboru. V „Output Directory“ byla zvolena cesta kam má být soubor uložen (pouze složka). Jako poslední byla zvolena velikost rastrového pixelu. Po potvrzení byla vytvořena nová skupina vrstev, se zvoleným digitálním modelem terénu. Byl potřeba zadat souřadnicový systém, aby se dala data vůbec nějak použít. Po zvolení souřadnicového systému byl skrz nástroj *RAS Mapping – Import RAS Data* spuštěn import.

Import byl úspěšný a v okně vyskočilo „RAS data imported to GIS successfully“. Tímto byla data naimportována zpět do ArcGIS, kde bylo možné data zakreslit do mapových podkladů.



Obr. č. 31 Okno Layer Setup a nastavení importu (autor, 2018b).

14 Vykreslení záplavových území

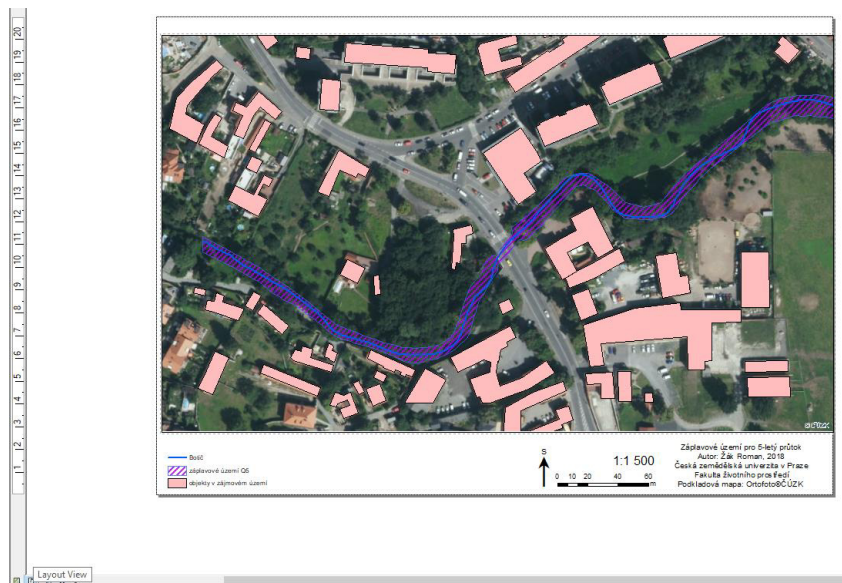
Vykreslení proběhlo v programu ArcGIS, přes editaci byly data zakresleny do nově vytvořených vrstev, které popisovali vždy zvolené záplavové území. Zvoleno to bylo hlavně z důvodu, že v programu ArcGIS pracuji několik let a práce s vrstvami, které jsem si vytvořil, byla pro mě jednodušší a efektivnější. Další z důležitých vrstev bylo vytvoření vrstvy objektů v zájmovém území, které budou rozlišené jako ohrožené a neohrožené objekty vodou dané záplavové vlny. Vrstva byla vytvořena v editačním režimu a objekty překresleny z ortofoto snímku mapového podkladu ©ČÚZK. Pomocí záplavových území pro 50-ti a 100letou vodu, a vrstvy objekty, byly přes funkci *clip* vytvořeny nové vrstvy „objekty zaplavené Q50“ a „objekty zaplavené Q100“.

14.1 Tvorba mapových výstupů

Mapové výstupy byly tvořeny v záložce *Layout View* (Obr.č. 32), která je v programu ArcGIS k tomu určena.

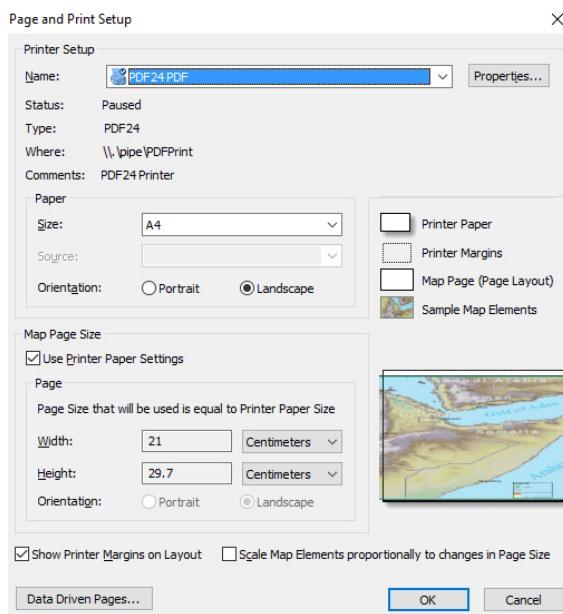
Přes *File - Page and Print Setup...* byla nastavena velikost papíru a orientace (Obr. č. 33). Do připraveného výkresu stačilo zvolit zájmové území a přes *Insert – Legend../North Arrow../Scale Bar..* vložit legendu, severku a grafické i číselné měřítko mapového podkladu.

Do pravého dolního rohu byly doplněny údaje o názvu mapového podkladu, autorovi, škole a fakultě a údaje o podkladové mapě, která byla použita pro mapový výstup.



Obr. č. 32 Layout View s mapovým výstupem (autor, 2018b).

Takto byly vytvořeny všechny mapové podklady, které jsou v přílohách této práce.



Obr. č. 33 Nastavení stránky mapového dokumentu (autor, 2018b).

15 Výsledky

Cílem diplomové práce bylo určit hydrotechnické posouzení stávajících objektů a hranice záplavových čar při průchodu N-letých průtoků na vodním toku Botič s periodicitou opakování 5, 10, 50 a 100 let.

Byl vybrán úsek, na kterém jsou pouze dva objekty, a to most v ulici K Horkám a lávka za restaurací Selský dvůr.

Po simulaci bylo zjištěno, že lávka není kapacitní už při dvacetileté vodě. Při větších průtocích se lávka ocitne pod vodou a konstrukce lávky se zábradlím částečně fungují jako překážka v proudění a přispívají k většímu vyběžení vody z koryta vodního toku.

Most v ulici K Horkám byl po simulaci zařazen do kategorie nevyhovující, protože jeho průtočná kapacita nepojme padesátiletou vodu. Při průtoku této vody hladina naráží do mostové konstrukce a tím se stává mostová konstrukce překážkou v proudění povodňového průtoku a zvětšuje rozliv do okolí koryta toku.

Při simulaci průtoku pětileté vody zůstala voda v korytě vodního toku, jak je možné vidět v příloze č. 3. Koryto je pro toto množství vody kapacitní a převede ji bez problémů.

Výsledek simulace desetileté vody znázorňuje příloha č. 4, kde je vidět, že koryto ve více jak 50 % zájmového území vodu nepřevede a voda se v malé míře začíná rozlévat z toku do okolní inundace. Žádný objekt při této výšce hladiny není zasažen.

Modelace průtoku padesátileté vody zasahuje do blízké zástavby okolo toku a několik objektů částečně zaplavuje, jak je vidět v příloze č. 5. Mezi nejvíce postižený objekt patří restaurace Selský dvůr, která je skoro z poloviny zaplavena. Koryto vodního toku Botič v zájmovém území nevyhovuje pro převedení průtoku 48,9 m³/s, který odpovídá padesátileté vodě a inundace v okolí toku je zaplavena. Nejvíce se voda rozlévá na pravé straně do zahrad, před Kozinovým náměstím.

Modelovaná záplava stoletého průtoků půdorysně zcela zaplaví 12 objektů z celkově 23 objektů postižených tímto průtokem, jak je vidět v příloze č. 6. Plocha zasažených objektů je 6779 m² a je zaplaveno 36 % plochy objektů ve zvoleném zájmovém území vodního toku. Na začátku zájmového území se voda rozlévá na obě strany okolní inundace, zcela zaplaví restauraci Selský dvůr a most v ulici K Horkám, který je díky takové hladině vody neprůjezdný. Za mostem se voda rozlévá do zahrad na pravé straně břehu, které jsou na velmi rovinném území a voda se tu rozlévá až do vzdálenosti 100 m od koryta toku. Zástavba na levém břehu je zasažena jen v blízkosti koryta toku, protože terén se zástavbou stoupá do kopce. Zájmové území

má rozlohu 0,105 km² a záplavová oblast pro průtok stoleté vody zaujímá plochu 0,037 km². Více jak třetina zájmového území bude při stoleté vodě zatopena.

V příloze č. 7 je vidět porovnání záplavových území z portálu Dibavod (**D**igitální **b**áze **v**odohospodářských **d**at) Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka a vymodelované záplavové území v programu HEC-RAS pro průtok 100leté vody v zájmové území vodního toku Botič. I když záplavová území jsou si podobná, vymodelované v programu HEC-RAS je v některých místech menší. Někaký podíl na tom budou mít vstupní data do obou modelů a součinitelé drsnosti. V programu HEC-RAS na tom může mít podíl samostatně nebo v nějaké kombinaci triangulace při vytváření digitálního modelu terénu, nesouměrné rozložení bodů z dat DMR 5G z leteckého laserového skenování, body z vlastního měření geometrie koryta toku a zvolené součinitele drsnosti přilehlé inundace a dna koryta toku.

16 Diskuze

V dnešním světě digitalizace a zjednodušení práce vyplouvá otázka, zda by letecké laserové skenování (LLS) nemohlo nahradit data získávané pomocí geodetického zaměření. Geodetická data jsou z časového i finančního hlediska mnohem nákladnější na pořízení. Bohužel postavit hydrodynamický model pouze na datech z LLS není možné, jednak z důvodu velké odchylky v porovnání s geodeticky zaměřenými daty, ale hlavně z důvodu, že data LLS neumí oskenovat geometrii koryta vodního toku (Uhlířová, Nováková, 2011). V této diplomové práci byla použita data z LLS od ČÚZK pouze pro vytvoření DMR inundace. Ale i tak u dat s hustotou přesahují 750 tisíc bodů na plochu 2,5*2 km, bylo zjištěno, že v inundaci zájmového území je vodorovná vzdálenost mezi některými sousedními body přesahující 15 m. Proto by bylo vhodné data i pro zakreslení inundace kombinovat s dalšími zdroji polohopisných i výškopisných souřadnic, ale Uhlířová a Zbořil (2009) předpokládají, že data z LLS je možné použít jako základní geodetický podklad. Dokonce je vidí jako vhodné k určování inundace a geometrie toku na některých drobných vodních tocích, kde se nachází malá hloubka vody.

Data LLS jsou hojně využívána ve vodohospodářství v kombinaci s daty jiných metod, jako jsou geodetická měření, pomocí sonaru ADCP nebo s daty z hydrologického měření. Pokud by měly být data z LLS používány samostatně ve vodním hospodářství, muselo by se změnit zaměření. Využívat při skenování povrchu dva typy laserového paprsku. Jeden, podle kterého se měří dnes, a to paprsek o vlnové délce 1064 nm, který nepronikne vodní hladinou. Druhý paprsek o vlnové délce 532 nm, který by byl schopen průchodu vodní hladinou a tím i zmapovat geometrii dna vodního toku, ale i plochy nádrží. Toto mapování by bylo přínosné zejména pro hydrodynamické modelování, ale také pro určení kvantifikace retenčních objemů ve vodních nádržích a rybnících (Novák a kol., 2014, Podhoranyi, Fedorcak, 2015).

Vytvoření jednorozměrného hydrodynamického modelu v programech HEC-GeoRAS a HEC-RAS bylo pro posouzení úseku zájmovém území na vodním toku Botič v městské části Praha-Hostivař vhodnou volbou. Volba těchto programů byla hlavně z důvodů že jsou k dostání zdarma, ale také k jejich přehlednému uživatelskému rozhraní se snadným ovládáním v podobě menu s ikonami. Mezi výhody patří okamžitá vizualizace při zadávání příčných profilů.

Výsledné simulace záplavových čar poskytují reálný pohled na situace při N-letých průtocích. Tyto výsledky však nelze považovat za zcela přesné, protože se do

záplavových čar promítá kvalita vstupních dat, možnost vzniku nepřesností při vytváření DMR při triangulaci, která většinou ne zcela přesně definuje břehové linie. Odhad součinitelů drsností pro inundaci a koryto vodního toku, které proběhlo na základě terénního průzkumu a pořízených fotografií a hustota příčných profilů. V programu také nejsou nijak zaneseny překážky v blízkosti koryta vodního toku nebo v jeho samotném průtočném profilu. Tyto překážky, jako jsou spadlé a vyvrácené kmeny stromů, balvany a jiné předměty v korytě toku, ploty, zábradlí a předměty umístěny v blízkosti břehů mohou způsobovat vliv na průběh povodně a zvětšit zaplavené území.

17 Závěr:

Cílem diplomové práce bylo sestavení hydrodynamického modelu zájmového úseku, posouzení objektů na vodním toku Botič, určení záplavových čar a vykreslení záplavových území do stávající situace s dobou opakování 5, 10, 50 a 100 let.

Pro práci bylo nutné použít programy ArcGIS, HEC-GeoRAS, HEC-RAS, ve kterých proběhla příprava a úprava vstupních dat, vymodelování průtokových vln a určení a vykreslení záplavových území.

Výsledná záplavová území byla zobrazena v mapových přílohách a ukazují, že koryto při větších průtocích nezvládá převést vodu a dojde k vyběžení do okolní inundace vodního toku. Při největším modelovaném průtoku $60,3 \text{ m}^3/\text{s}$, který představoval stoletý průtok došlo k zaplavení více jak třetiny zájmového území. Ohroženo vodou bylo 23 objektů a plocha objektů zasažených dosahovala k 6800 m^2 . Při porovnávání se záplavovým územím z portálu Dibavod, vyšlo vymodelované území v programu HEC-RAS menší. Může to být zapříčiněno jinými vstupními daty do vytvořených hydrodynamických modelů nebo zvolením jiných koeficientů součinitelů drsnosti.

Koryto vodního toku Botič není v zájmovém úseku v městské části Praha-Hostivař velmi kapacitní, a proto by se tento problém měl řešit. Vytvořit taková opatření v horní části toku i přítoků do Hostivařské nádrže, aby se voda o záplavových průtocích nikdy neobjevila v korytě vodního toku Botič. Záplavové území vykreslené s dobou opakování 50 či více let by mělo zůstat vymodelované pouze v mapových podkladech nebo programech a nepustošit blízké okolí vodního toku Botič a krásu historického centra Hostivaře.

18 Literatura a zdroje

- Abbott M. B., 1991. Hydroinformatics: Information Technology and the Aquatic Environment. Aldershot, Brookfield, USA: Avebury Technical, Aldershot, 158 s.
- Armstrong G., Aprahamian M., Fewings A., Gough P., Reader N., Varallo P., 2010. Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales. Environmental Agency. 369 s.
- Balvín P., Gabriel P., Bouška P., Havlík A., 2009. Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 91 s.
- Bebber J. van, 1883, Typische Witterungserscheinungen. Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie, 18, 447-458 s.
- Becker A., Serban P, 1990. Hydrological models for water – resources system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva, 80 s.
- Bergström S., 1995. The HBV Model. In (Eds.) Computer models watershed hydrology. Water Resource Publications. Highland Ranch, s. 443-476.
- Brázdil a kol., 2005, Historical and recent floods in the Czech Republic. Masaryk University in Brno and Czech Hydrometeorological Institute in Prague, Brno 370 s.
- Brázdil R., Štekl J., 1986, Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyně, Brno 298 s.
- Broža V., Čihák F., Satrapa L., 1998. Hydrotechnické stavby. Český svaz stavebních inženýrů, Praha. ISBN 80-902460-5-2.
- Broža V., Kazda I., Patera A., Přenosilová E., 1993. Vodohospodářské stavby. Vydavatelství ČVUT, Praha, 162 s.
- Brunner G. W., 2016. HEC-RAS River Analysis System. (online) [cit. 2018.02.05.], dostupné z <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>
- Brutsaert W., 2005, Hydrology: An Introduction. Cambridge University Press. ISBN 0-5218-2479-6.
- Buchtele J., 2002. Okolnosti ovlivňující využití modelů a tendence v uplatňování různých přístupů. In Patera A. a kol. Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. ČVUT, Praha, s. 51-55.
- Clarke R. T., 1973. A review of some mathematical models used in hydrology, with observations on their calibration and use. Journal of Hydrology, Vol 19, No 1: s. 1–20.
- ČHMÚa, evidenční list hlásného profilu č. 210. (online) [cit. 2017.11.16.], dostupné z http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=37816755
- ČHMÚb, Předpovědní systém HYDROG. (online) [cit. 2018.01.13.], dostupné z <http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/c52.pdf>
- ČSN 73 6201, 2008. Projektování mostních objektů. Český normalizační institut, Praha, 76 s.
- ČSN 75 0101, 2003. Vodní hospodářství – základní terminologie. Český normalizační institut, Praha, 28 s.

ČSN 75 2106-1, 2016. Hrazení bystřin a strží-Část 1: Obecně. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 24 s.

ČSN 75 2410, 2011. Malé vodní nádrže. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 48 s.

ČSN, 1975, Názvosloví v hydrologii. Československá státní norma 73 6511. Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, Praha 154 s.

ČSN, 1983, Názvosloví hydrologie. Československá státní norma 73 6530. Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, Praha 96 s.

ČÚZK ©2010: (online) [cit. 2017.12.11.], dostupné z [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(prslu4wnaalijhkbkbf1ncue\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis#metadata](http://geoportal.cuzk.cz/(S(prslu4wnaalijhkbkbf1ncue))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis#metadata)

Daňhelka J., Krejčí J., Šálek M., Špercl P., Zezulák J., 2003. Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. ČZU, Praha, 196 s.

Dingman S., 2002, Physical Hydrology, 2nd Edition. Prentice Hall, ISBN0-1309-9695-5, 656 s.

Dooge J. C. I., 1986. Looking for Hydrologic Laws. Water resources reseach, Vol 22, No 9: s. 468-588.

Dooge J. C. I., 2003, Linear Theory of Hydrologic Systems. EGU Reprint Series 1, ISBN 978-3-936586-10-7.

Dub O., Němec J. a kol., 1969, Hydrologie. In: DUB O., SVOBODA A. [eds.] Povrchový odtok, SNTL, Praha 180–237 s.

Dub O., Němec J. a kol., 1969, Hydrologie. SNTL, Praha 378 s.

Dušan J., 1984. Mosty: naše mosty historické i současné. Nakladatelství dopravy a spojů, 226 s.

Eagleson P. S., 2003, Dynamic Hydrology. EGU Reprint Series 2, ISBN 978-3-936586-09-1.

Havlík A. a kol., 2001. Matematické modely v ochraně před povodněmi. MŽP, ČVUT, Praha, 11 s.

Havlík A. Šercl P., 2001. Testování nových matematických modelů. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds]: Extrémní hydrologické jevy v povodích. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, s. 293-300.

Havránek J., 2009. Plán péče pro přírodní památku Meandry Botiče. (online) [cit. 2017.11.23.], dostupné z <http://www.praha-priroda.cz/priloha/51d2be12e39c5/plan-pece-pp-meandrbotice-2010-2020-51d2be572a0fd.pdf>

Hirschboeck K. K., Ely L. L., Maddox R. A., 2000, Hydroclimatology of meteorologic floods. In: Wohl E. [eds.] Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities. Cambridge University Press, New York, s.39-72.

Hlavní město Praha, 2013. Botič. (online) [cit. 2017.12.08.], dostupné z <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/botic/>

Holič V., Kozumplík R., Krpenská L., Pokorná J., 1992. Trubní propustky pozemních komunikací. Dopravoprojekt Brno a.s., 141 s.

- Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J., Xiaosu D., eds., 2001, *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, 944 s.
- Houghton J. T., Meira Filho L. G., Callander B. A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K., eds., 1996, *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 572 s.
- Hrádek F., Kuřík P., 2002, *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta ve vydavatelství Credit, ISBN 978-80-213-0950-0.
- Hrnčíř V., 1997. *Matematický model pro řešení protipovodňové ochrany Prahy*. In *Konference vodní toky 1997. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Ostrava*, s. 49–54.
- Chow V. T., Maidment D. R., Mays L. W., 1988. *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Jandora J., Stará V., Starý M., 2002, *Hydraulika a hydrologie*. Akademické nakladatelství CERM, Brno 186 s.
- 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*. PŘF UK, Praha, s. 112–126.
- Karl T. R., Easterling D. R., 1999. *Climate extremes: selected review and future research directions*. *Climatic Change*, 42, č. 1, s. 309-325.
- Katz R. W., Brown B. G., 1992, *Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages*. *Climatic Changes*, 21 č. 3, s. 289-302.
- Kříž V., Sochorec R., Kříž H., 1964, *Opakování velkých vod v povodí Odry*. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu ČSSR* 5, Praha 132 s.
- Křovák F., 2001. *Revitalizace toků s ohledem na extrémní průtoky*. In Patera A., Váška J., Jakubíková A (eds.) *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. *Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost*, Praha, s. 173-182.
- Kučera V., 2009. *Architektura inženýrských staveb*. Grada Publishing a.s., Praha, ISBN 978-80-247-2504-8
- Kulhavý Z., Kovář P., 2000. *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. VÚMOP, Praha, 123 s.
- Máca P., 2014, *Hydrologie pro bakaláře*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 126 s.
- Magistrát hl. m. Prahy, Odbor městské zeleně a odpadového hospodářství, 2013, *Zpráva o povodni 1. 6. – 2. 6. 2013 na vodním toku Botič*. Praha 101 s.
- Maidment D., 1993, *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill Professional, ISBN 978-0-07-039732-3.
- Matějček J., Hladný J., 1999, *Povodňová katastrofa 20.století na území České republiky*. Ministerstvo životního prostředí, Praha 60 s.
- Matoušek V., 1980, *Teplotní a ledový režim vodních toků*. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Státní zemědělské nakladatelství, Praha 408 s.

- Matoušek V., 1989, Zimní režim toků a vodních cest. Státní zemědělské nakladatelství, Praha 282 s.
- Matoušek V., 2000, Vznik a vývoj ledových nápěchů. Práce a studie, seš. 197 Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha 232 s.
- McCuen R. H., 2004, Hydrologic analysis and design, 3rd Edition. Prentice Hall. ISBN 978-0-13-142424-1.
- Meteorologický slovník výkladový a terminologický, 1993. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 594 s.
- Novák P., Roub R., Hejduk T., 2011. Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování. Vodní hospodářství. Roč. 61, č.8, 297-303, ISSN:1211-0760
- Novák P., Roub R., Hejduk T., Vybíral T., Hánová K., Urban F., 2014. Comparison of the longitudinal and lateral profiles of watercourses using sonar-based methods (ADCP) and hydrological analogy. AUC Geographica 49/2, 111–119, (online) [cit. 2018.02.18.], dostupné z <http://www.aucgeographica.cz/index.php/aucg/article/view/34/32>
- Novák P., Roub R., Veverka M., Hejduk T., Maxová J., Zajíček A., Bureš L., Ptačnicková L., 2015. Geografické informační systémy pro podporu řešení krizových situací a jejich propojení na automatické vyrozumívací systémy: Certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací. Výzkumný ústav meliorací a ochrana půdy, Praha, ISBN 978-80-87361-50-4.
- O'Connor K. M., 1976. A discrete linear cascade model for hydrology. Journal of Hydrology, 29, s. 203-242.
- Oršulák T., Pacina J., 2012. 3D modelování a virtuální realita. Ing. Tomáš Mikulenka, Ústí nad Labem. ISBN 978-80-904927-4-5 (online) [cit. 2018.01.17.], dostupné z <http://cevramok.ujep.cz/files/opora-3.pdf>
- Patera A., 2002. Povodně: prognózy, vodní toky a krajina: sborník výsledků výzkumu dosažených v rámci grantového projektu č.103/99/1470 „Extrémní hydrologické jevy v povodích“. ČVUT, Praha, 436 s. ISBN 80-01-02561-6.
- Pavelková Chmelová R., Frajer J., 2013 Základy fyzické geografie 1: Hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci Katedra geografie, Olomouc 141 s.
- Podhoranyi M., Fedorcak D., 2015. Inaccuracy introduced by LiDAR-generated cross sections and its impact on 1D hydrodynamic simulations. Environmental Earth Sciences, (online) [cit. 2018.02.20.], dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-014-3390-7>
- Praha Neznámá, 2018. Stará Hostivař – historie a statky. (online) [cit. 2017.11.21.], dostupné z <https://www.prahaneznama.cz/praha-10/hostivar/stara-hostivar-historie-a-statky/#fotogalerie>
- Punčochář P., 2004 Zákon o vodách č. 254/2001 Sb., v úplném znění k 23. lednu 2004 s rozšířeným komentářem. Praha: Soudy, ISBN 80-86846-00-8.
- Ředinová J., Pavlásek J., Máca P., 2009, Hydrologie návody ke cvičení. ČZU, Praha 79 s.
- Scharffenberg W., 2016. Hydrologic Modeling Systém HEC-HMS User's Manual. (online) [cit. 2018.01.15.], dostupné z http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf

- Slavík O., Vančura Z., a kol., 2012. Migrace ryb, rybí přechody a způsob jejich testování. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 139 s.
- Starý M., 2005: Hydrologie MODUL 02, © Miloš Starý, Brno (online) [cit. 2017.11.03] dostupné z <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BS02-Hydrologie/M02-Hydrologie%20-%20pokracovani.pdf>
- Šálek J. 1987. Malé vodní nádrže a životní prostředí. 1. vyd. Dům techniky ČSVTS, Brno, 72 s.
- Štekl J., Brázdil R., Kakos V., Jež J., Tolasz R., Sokol Z., 2001, Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny. Národní klimatický program Česká republika, sv. 31, Praha 140 s.
- Thoř, Z., 1981. Vodohospodářské stavby. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, ISBN 04-817-81.
- Tlapák, V. a HERYNEK, 2002. J. Malé vodní nádrže. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 198 s. ISBN 80-7157-635-2
- TNV 75 2321, 2011. Zprůchodňování migračních bariér rybími přechody. Hydroprojekt CZ, Praha, 27 s.
- Uhlířová K., Nováková H., 2011. Využití dat leteckého laserového skenování na tocích a příbřežních zónách. GIS Ostrava 2011, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, (online) [cit. 2018.02.17] dostupné z http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2011/sbornik/papers/Uhlirova.pdf
- Uhlířová K., Zbořil A., 2009. možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. Vodní hospodářství 59, 12, (online) [cit. 2018.02.17] dostupné z http://www.dibavod.cz/data/lis_clanek_vtei.pdf?PHPSESSID=vcbxgcdbl
- Valentová J., Valenta P., 2006. Vliv prostorovéschematizace na kvalitu numerického modelování proudění vody při povodních. Journal of Hydrologi and Hydromechanics Vol 54, No 1: 58-70 s.
- Viessman W., Lewis G. L., Knapp J. W., 1989, Introduction to Hydrology, 3rd Edition. Harper&Row. ISBN 978-0-06-046822-4.
- Vodní zákon, 2001, Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) § 70
- Votruba L., Petera A., 1983, Teplotní a ledový režim toků. Academia, Praha 552 s
- Výzkumný Ústav Vodohospodářský T. G. Masaryka, 2009, Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 86 s.

19 Obrázky a fotografie

Autor Žák Roman, 2018a, Obrázky vytvořeny v programu Archicad 18.

Autor Žák Roman, 2018b, Screeny pracovní plochy v programech ArcGIS, HEC-RAS a HEC-GeoRAS.

Autor Žák Roman, 2018c, Fotografie pořízené při terénním průzkumu vodního toku Botič .

BEBBER W. J. van, 1881: Die geographische Vertheilung und Bewegung, das Entstehen und Verschwinden der barometrischen Minima in der Jahren 1876 bis 1880. Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie, 16, 414 – 419s.

Becker A., Serban P, 1990. Hydrological models for water – resources system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva, 80 s.

GROUND SPEAK, INC., 2016: RS#1 / Pramen/ the spring. Geocaching, online: https://www.geocaching.com/geocache/GC1CH0J_rs-1-pramen-the-spring, cit. 21. 2. 2016.

HERBER V., 2010: Fyzická geografie Slovenska. Department of Geography, Faculty of Science Masaryk University, Brno, (online) [cit. 2017.10.05.], dostupné z http://www.herber.webz.cz/www_slovakia/case_studies/povod-01.jpg

Máca P., 2014, Hydrologie pro bakaláře. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 126 s.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ R., FRAJER J., 2013: Základy fyzické geografie 1: Hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci Katedra geografie, Olomouc 141s.

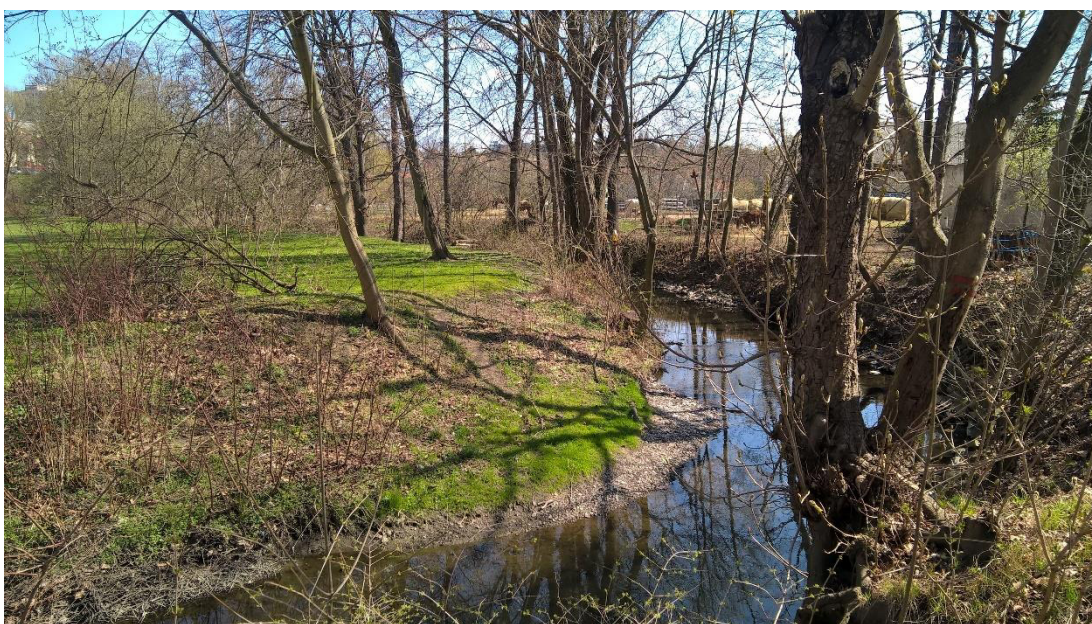
20 Přílohy

20.1 Seznam příloh:

- Příloha č. 1 Fotografie pro určení součinitele drsnosti dna koryta toku
- Příloha č. 2 Fotografie pro určení součinitele drsnosti přilehlé inundace
- Příloha č. 3 Záplavové území pro 5letý průtok
- Příloha č. 4 Záplavové území pro 10letý průtok
- Příloha č. 5 Záplavové území pro 50letý průtok
- Příloha č. 6 Záplavové území pro 100letý průtok
- Příloha č. 7 Porovnání záplavových území pro 100letý průtok



Příloha č. 1 Fotografie pro určení součinitele drsnosti dna koryta toku (autor, 2018c)



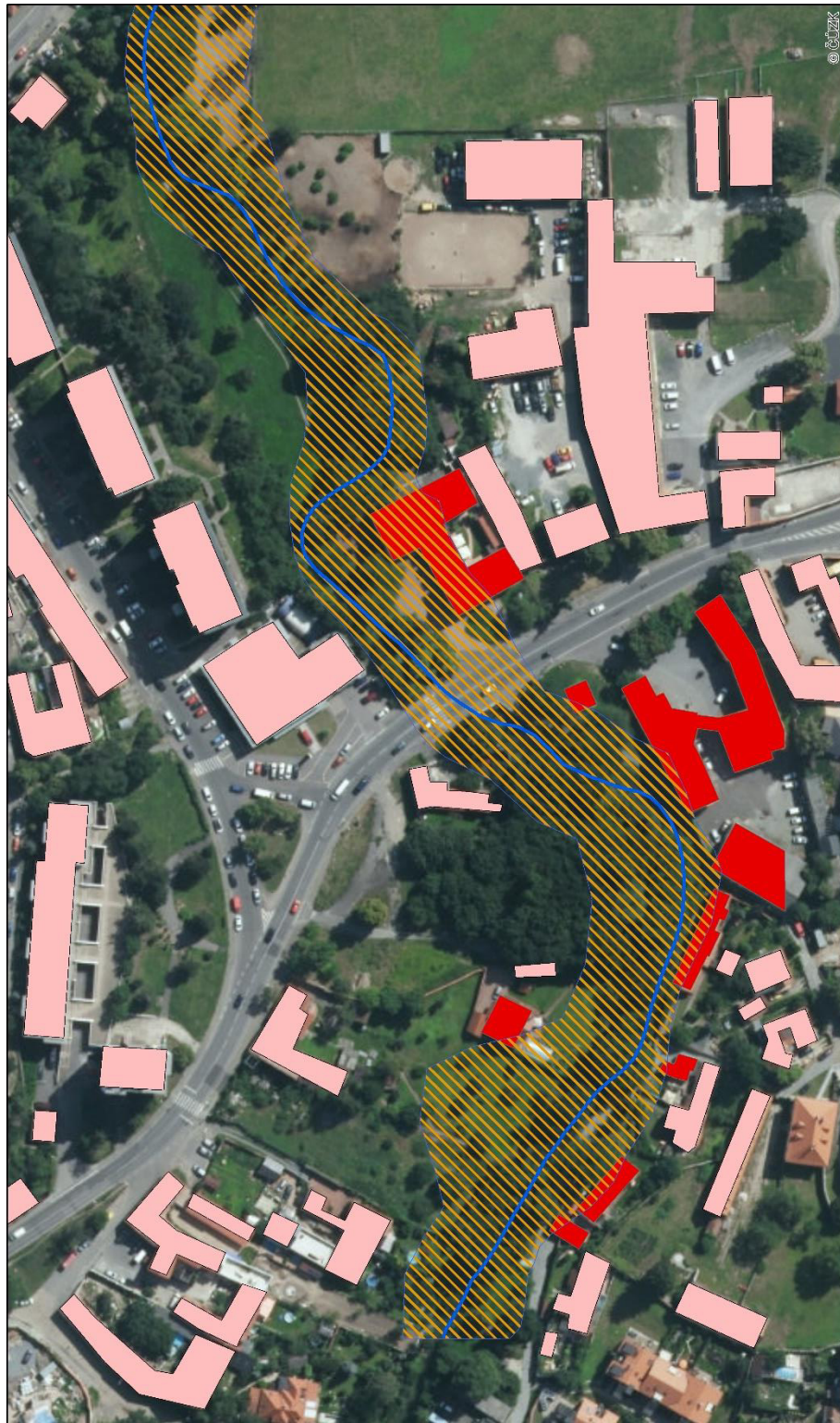
Příloha č. 2 Fotografie pro určení součinitele drsnosti přilehlé inundace (autor, 2018c)



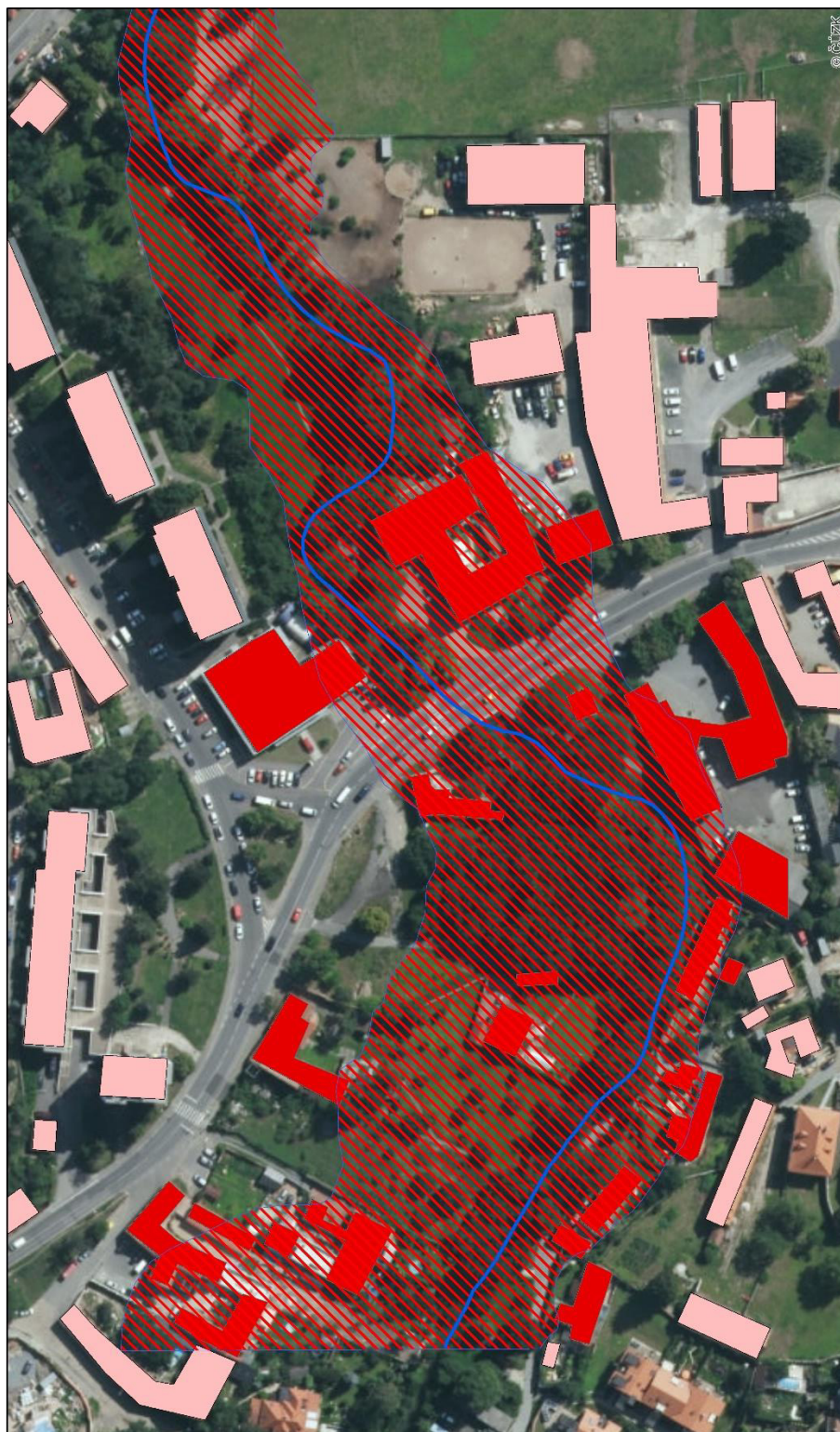
Příloha č. 3 Záplavové území pro 5letý průtok.



Příloha č. 4 Záplavové území pro 10letý průtok.



Příloha č. 5 Záplavové území pro 50letý průtok.

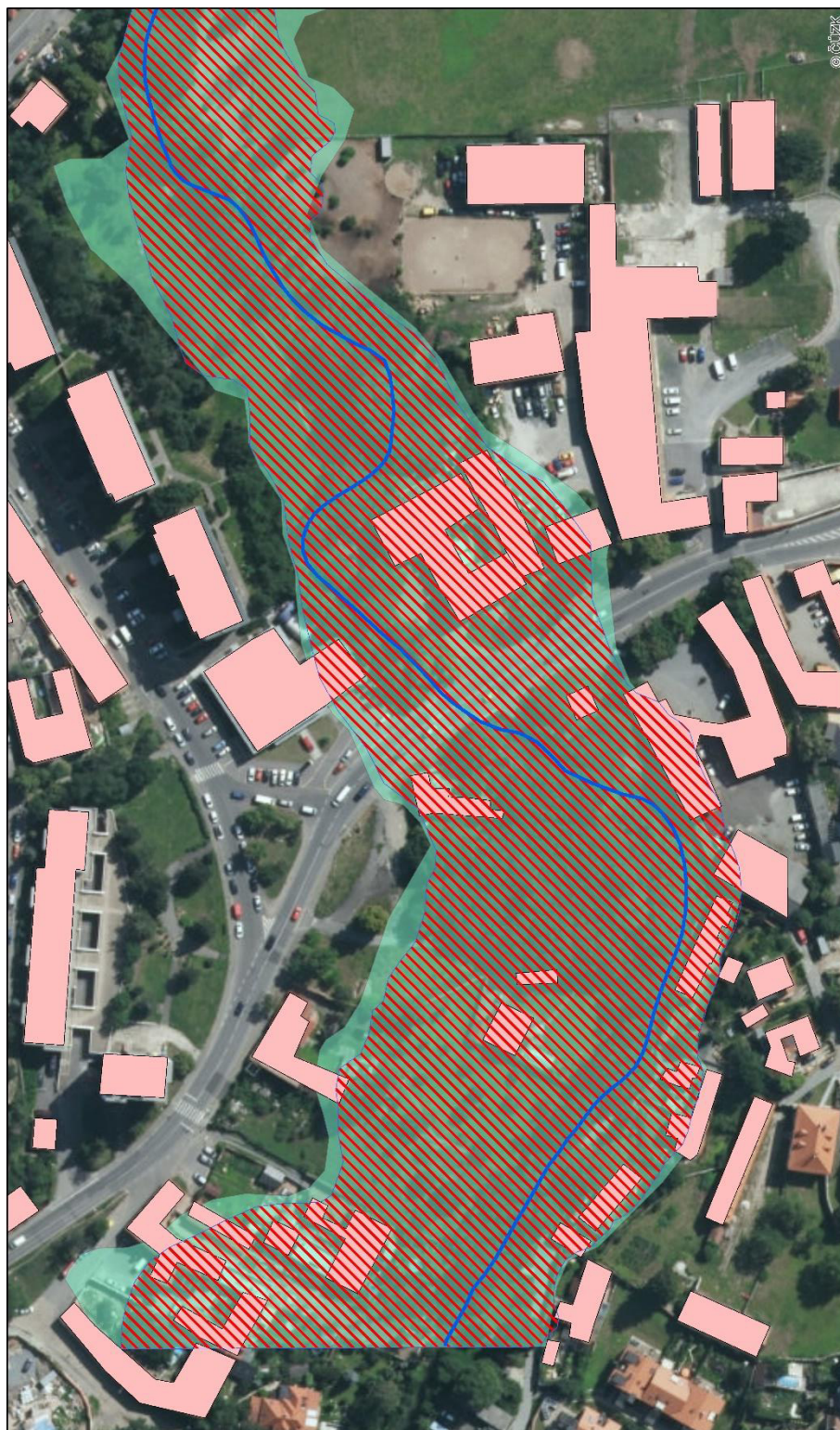


Záplavové území pro 100-letý průtok
 Autor: Zák Roman, 2018
 Česká zemědělská univerzita v Praze
 Fakulta životního prostředí
 Podkladová mapa: Ortofoto©ÚZK

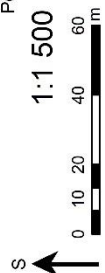


- Botič
- ▨ záplavové území Q100
- objekty zaplavené Q100
- objekty v záplavovém území

Příloha č. 6 Záplavové území pro 100letý průtok.



Porovnání záplavových území pro 100-letý průtok
 Autor: Zák Roman, 2018
 Česká zemědělská univerzita v Praze
 Fakulta životního prostředí
 Podkladová mapa: Ortofoto@ČÚZK



- Bolč
- ▨ záplavové území Q100
- ▨ Dibavod záplavové území Q100
- objekty v zájmovém území

Příloha č. 7 Porovnání záplavových území pro 100letý průtok.