

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ**

OBOR VODA V KRAJINĚ



**URČENÍ ZÁPLAVOVÉHO ÚZEMÍ A HYDROTECHNICKÉ
POSOUZENÍ VODNÍHO TOKU ŘÍČANSKÝ POTOK**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Autor: Bc. Veronika Bezděková

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Veronika Bezděková

Voda v krajině

Název práce

Určení záplavového území a hydrotechnické posouzení vodního toku Říčanský potok

Název anglicky

Determination of floodplains and hydrotechnical assessment of Říčanský water flow

Cíle práce

Hydrotechnické posouzení objektů a stávajícího stavu toku v zájmovém úseku Říčanského potoka
Sestavení hydrodynamického modelu a určení záplavových čar pro N-leté průtoky

Metodika

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Literární rešerše na téma hydrologické studie povodí, povodní a matematických modelů
4. Charakteristika povodí a zájmového úseku vodního toku
5. Tvorba hydrodynamického modelu
6. Vyhodnocení výsledků
7. Diskuze a závěr
8. Seznam použité literatury

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

HEC-RAS, letecké laserové skenování, hydrodynamický model, příčný profil, povodeň, průtok

Doporučené zdroje informací

HAESTAD METHODS, INC., – BENN, J. – DYHOUSE, G. – HATCHETT, J. *Floodplain modeling using HEC-RAS*.

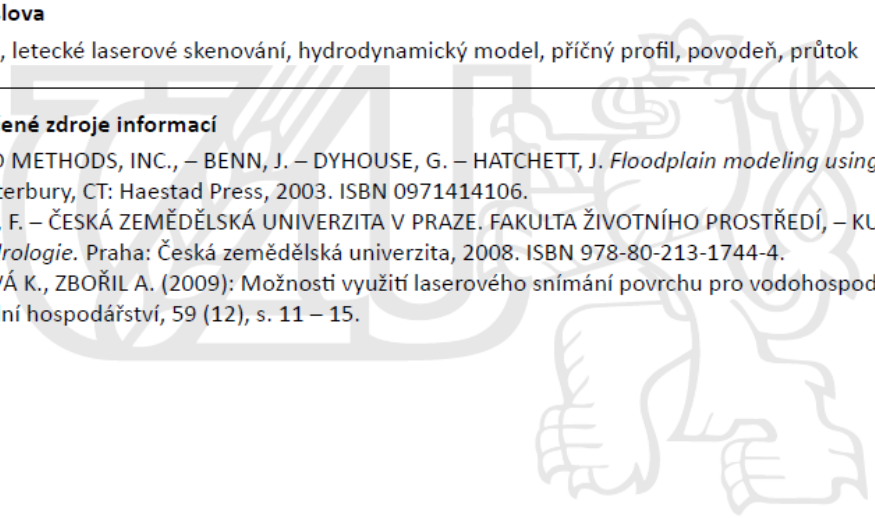
Waterbury, CT: Haestad Press, 2003. ISBN 0971414106.

HRÁDEK, F. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, – KUŘÍK, P.

Hydrologie. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1744-4.

UHLÍŘOVÁ K., ZBOŘIL A. (2009): Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely.

Vodní hospodářství, 59 (12), s. 11 – 15.



Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 11. 4. 2016

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 4. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2016

Prohlášení:

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

V Praze dne 19. 4. 2016

.....

Veronika Bezděková

Poděkování:

Touto formou bych chtěla poděkovat především Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a dále panu Bc. Miroslavovi Čechovi z Povodí Vltavy s. p. za konzultaci a poskytnutí Technickoprovozní evidence Říčanského potoka. Mé poděkování patří také panu Ing. Luděkovi Burešovi za rady a čas, který mi v průběhu práce věnoval a paní Chaloupecké z ČÚZK za vstřícné jednání při poskytování podkladových dat.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá nejen určením záplavového území, ale také hydrotechnickým posouzením vybraného úseku toku Říčanský potok a objektů, které zasahují do průtočného profilu vodního toku. Samotnému hydrotechnickému posouzení předchází hydrologická studie povodí vodního toku. Podkladem této práce je digitální model reliéfu České republiky 5. generace, který vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování. Metoda laserového skenování je sice považována za jednu z nejpřesnějších metod pro získání výškopisných dat, avšak vzhledem k nepropustnosti laserového paprsku skrz vodní hladinu neumí zaznamenat reálný tvar říčního koryta. Důsledkem této chyby je zmenšení průtočné plochy příčných profilů a tím ovlivnění výsledků hydrodynamických simulací. Tuto chybu lze odstranit zahloubením říčního koryta, k čemuž lze použít softwarový nástroj CroSolver. K hydrotechnickému posouzení vybrané části toku je využit hydrodynamický model HEC-RAS. Na základě výsledků modelu jsou pro zájmový úsek vykresleny záplavové čáry pro N-leté průtoky (Q_5 , Q_{20} , Q_{100}). Závěrečná část diplomové práce se zabývá vyhodnocením hydrotechnického posouzení vodního toku, objektů na toku a také záplavovým územím.

Klíčová slova: HEC-RAS, letecké laserové skenování, hydrodynamický model, příčný profil, povodeň, průtok

Abstract

This thesis deals with determining the flood lines and hydrotechnical assessment of the Říčanský water flow and objects that interfere with the flow profile. Hydrotechnical assessment preceding hydrological study of catchment. The basis for this work was digital model relief Czech Republic, which obtained from Airborne Laser Scanning. This method is considered to be of the most accurate methods for altimetry data obtained, but the near-infrared laser beam used in this method cannot penetrate water masses. The result of this problem is error as the extracted cross sections lose a significant portion of their flow area. These errors can be removed to recess the channel using specialized software Crossolver tool. For hydrotechnical assessment is used hydrodynamic model in HEC-RAS. On the basis of results are determined the flood line for N-years flows (5-years flow, 20-years flow and 100-years flow). The final part of this work deals evaluation of hydrotechnical assessment Říčanský water flow, object and floodplains.

Keywords: HEC-RAS, Airborne Laser Scanning, hydrodynamic model, Cross Section, Flood, Flow Rate

Obsah

1. ÚVOD	- 11 -
2. CÍLE PRÁCE	- 12 -
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	- 13 -
1.1 Hydrologické charakteristiky povodí	- 13 -
1.1.1 Geometrické charakteristiky	- 13 -
1.1.2 Orografické charakteristiky	- 15 -
1.1.3 Geologické a půdní poměry	- 16 -
1.1.4 Klimatické poměry	- 17 -
1.1.5 Vegetační pokryv	- 17 -
1.1.6 Říční síť v povodí	- 18 -
1.1.7 Antropogenní činnost	- 20 -
1.2 Charakteristika objektů na MVT	- 21 -
1.2.1 Vodohospodářské objekty	- 21 -
1.2.2 Komunikační objekty	- 23 -
1.2.3 Ostatní objekty	- 24 -
1.3 Problematika povodní	- 25 -
1.3.1 Charakteristika povodní	- 25 -
1.3.2 Ochrana před povodněmi	- 26 -
1.3.3 Stupně povodňové aktivity (SPA)	- 27 -
1.3.4 Záplavová území	- 29 -
1.4 Hydrotechnické posouzení	- 29 -
1.5 Výškopisné podklady pro hydrodynamický model	- 30 -
1.5.1 Geodetické zaměření	- 30 -
1.5.2 Fotogrammetrie	- 30 -
1.5.3 Letecké laserové skenování	- 31 -
1.6 Použitý software	- 34 -
1.6.1 ArcGIS for Desktop	- 34 -
1.6.2 Nástroj CroSolver a CroSolver for ArcGIS	- 34 -
1.6.3 HEC-RAS	- 35 -
4. METODIKA	- 37 -
1.7 Vstupní podkladová data	- 37 -
1.8 Charakteristika povodí Říčanského potoka	- 38 -
1.8.1 Poloha povodí	- 38 -
1.8.2 Hydrologické charakteristiky povodí	- 39 -
1.9 Vymezení zájmového úseku	- 44 -
1.10 Objekty ve vybraném úseku vodního toku	- 45 -

1.11	Problematika povodní ve vybraném úseku	- 52 -
1.12	Tvorba DMT	- 54 -
1.13	Zahloubení koryta pomocí nástroje CroSolver for ArcGIS	- 54 -
1.14	Tvorba příčných profilů v prostředí ArcGIS	- 55 -
1.15	Geometrie toku	- 56 -
1.16	Tvorba hydrodynamického modelu v softwaru HEC-RAS	- 56 -
1.17	Určení záplavových čar a záplavových území	- 60 -
5.	VÝSLEDKY	- 61 -
6.	DISKUZE A ZÁVĚR	- 64 -
7.	SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	- 65 -
8.	PŘÍLOHA	- 69 -

Seznam použitých zkratek

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMP	Digitální model povrchu
DMR	Digitální model reliéfu
DMR 5G	Digitální model reliéfu 5. generace
DMR 4G	Digitální model reliéfu 4. generace
DMP 1G	Digitální model povrchu 1. generace
DMT	Digitální model terénu
Grid	Rastrový formát tvořen pravoúhlu mříží
ArcGIS	Geoinformační systém
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
LiDAR	Light Detection and Ranging
LLS	Letecké laserové skenování
TIN	Triangulated Irregular Network
Q _N	N-letý průtok
ZABAGED	Základní báze geografických dat České republiky

1. Úvod

Důsledkem klimatických změn, které se v posledních letech v ČR stále častěji projevují, jsou nejen ničivé povodně, ale i zvýšení výparů, srážky nestíhají vyrovnávat ztrátu a tím dochází k malým odtokům ze zemědělských půd. Klimatické změny jsou nepřetržitě sledovány, největší význam pro hydrologii mají především srážky či teploty, jejichž měření provádí Český hydrometeorologický ústav. Tato data se dále vyhodnocují, sleduje se především vztah mezi úhrnem srážek a odtokem z povodí. Na základě výsledků měření se navrhuje potřebná vyhovující opatření. V současné době se pro vyhodnocení a návrh používají různé matematické modely v kombinaci s geografickými informačními systémy. Kombinace těchto oblastí je vysoce efektivní, pracuje s prostorovými a geografickými daty. Pomocí těchto modelů jsou předpovídány dlouhodobé i krátkodobé prognózy, hydrologické i jiné extrémy, simulovány povodňové situace, posuzovány protipovodňová opatření, vydávány operativní předpovědi průtoků v říční síti a operativní řízení vodohospodářských děl. Kvalita výsledků hydrodynamického modelování závisí na kvalitě vstupních dat. K získání dat geometrie vodního toku a okolní přilehlé inundace se používá geodetické zaměření, letecké laserové zaměření, či kombinace těchto metod (Novák et al., 2011). Nejvhodnější metodou z hlediska finančních nákladů, technické náročnosti a přesnosti měření je metoda leteckého laserového skenování. Největší nevýhodou této metody mapování terénu je nemožnost zaměření reálného tvaru koryta z důvodu neprostupnosti laserového paprsku skrz vodní hladinu (Oršulák et Pacina, 2012).

Mezi jednu z nejnovějších forem výsledků mapování v České republice patří digitální model reliéfu ČR 5. generace (DMR 5G). Model vznikl z dat, které byly pořízeny metodou leteckého laserového skenování výškopisu a vzhledem k nedostatečným údajům o geometrii koryta pod vodní hladinou je vhodné model doplnit o známý průtok či vytvořit dodatečné zahloubení koryta v již zmíněném programu CroSolver (Uhlířová et Zbořil, 2009).

Tato diplomová práce se zabývá vnesením záplavových čar a hydrotechnickým posouzením objektů ve vybrané části toku Říčanský potok. Zájmový úsek Říčanského potoku se nachází v zastavěném území městské části Praha – Uhřetěves. Během posledních pár let byla obec několikrát postižena bleskovou povodní, která způsobila vybřežení vody z koryta a zaplavení přilehlého území. Vzhledem k této skutečnosti lze předpokládat, že bleskové povodně způsobené přívalovými dešti nebudou nijak ojedinělé.

2. Cíle práce

Jedním ze dvou hlavních cílů této diplomové práce je hydrotechnické posouzení stávajícího toku a průtočnosti koryta. Podkladem pro hydrotechnické posouzení je hydrodynamický model toku, který bude vytvořen v softwaru HEC-RAS s využitím dat digitálního modelu reliéfu 5. generace. Hydrotechnické posouzení slouží k nalezení problematických míst na toku, ve kterých může docházet při povodňových stavech k vybřežení vody z koryta a tím zaplavení přilehlého území.

Dalším cílem práce je určení záplavových čar pro zadané N-leté průtoky. Pro tuto práci jsou zadané průtoky s periodicitou opakování 5, 20 a 100 let.

3. Literární rešerše

1.1 Hydrologické charakteristiky povodí

Základní hydrologickou oblastí, ve které zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků a zkoumáme odtokový proces, je povodí (Kos et Říha, 1996). Povodí je definováno jako území ohraničené rozvodnicí a po hydrologické stránce je uzavřené, tudíž do něj nepřitéká žádná cizí voda (Hubačíková, 2002). Rozvodnice je hranice, která rozděluje odtok do sousedních povodí, je vykreslena v topografické mapě, a její průběh je dán topografickými útvary (Šilar, 1996). Povodí je určeno daným uzávěrovým profilem, ke kterému se rozvodnice vykresluje. Odtok zkoumaný v uzávěrovém profilu povodí vyvolávají srážky spadlé na území a dělí se na odtok povrchový a podpovrchový (Dub et Němec, 1965).

1.1.1 Geometrické charakteristiky

Tyto charakteristiky povodí patří mezi základní vlastnosti povodí a slouží pro vymezení transformační funkce. Tyto vlastnosti se používají jako podklady pro získání rámcové představy o chování sledovaného povodí vodního toku, tzn. komplexní reakce povodí na vstup neboli transformační funkci, podle níž se mění efektivní déšť na povrchový odtok (Kovář, 1990).

Plocha povodí je základní geometrickou charakteristikou povodí, definuje se jako plocha půdorysného povodí vodorovné roviny a udává se v (km²). Plocha povodí se zjišťuje buď planimetrováním z mapy v měřítku 1 : 25 000 či pomocí různých GIS softwarů, což je rychlejší, snadnější a v současnosti používanější metoda. U malých povodí a v jiných odůvodněných případech se doporučuje ověření vykreslené rozvodnice pochůzkou v terénu (Hrádek et Kuřík, 2008).

Součinitel asymetrie povodí a určuje, jak je levá a pravá plocha asymetrická k celkové ploše povodí (Kovář, 1990). Míru asymetrie povodí vyjadřuje součinitel asymetrie a (Hrádek et Kuřík, 2008):

$$a = \frac{F_L - F_P}{F_L + F_P} = \frac{F_L - F_P}{F} \quad (\text{rovnice 1})$$

kde: F_L - plocha povodí vlevo od hlavního toku (km²), F_P - plocha povodí vpravo od hlavního toku (km²), F - celková plocha povodí (km²)

Tvar povodí zpravidla ovlivňuje dobu, za kterou se soustředí odtok z celé plochy povodí v uzavřevém profilu povodí (Hrádek et Kuřík, 2008). Doba soustředování odtoku je závislá nejen na tvaru povodí, ale také na jeho sklonových poměrech. Nejčastějším tvarem povodí je tvar symetrického či nesymetrického protáhlého listu (Pokorná et Zábranská, 2007). Směrem od prameniště se povodí zpravidla rozšiřuje a ve střední části bývá obvykle nejširší. Tvar povodí je ovlivňován také antropogenní činností, zejména vyčleněním honů osevních postupů, oddělených polními cestami s odvodňovací funkcí (Hrádek et Kuřík, 2008).

Součinitel tvaru povodí α patří mezi nejdůležitější charakteristiky tvaru povodí. Tato charakteristika vyjadřuje poměr mezi střední šířkou povodí a délkou údolnice a vypočte se ze vztahu (Hrádek et Kuřík, 2008).

$$\alpha = \frac{B}{L_U} \quad (\text{rovnice 2})$$

kde: B - střední šířka povodí (km), L_U - délka údolnice (km)

Střední šířku povodí vypočteme ze vztahu (Hrádek et Kuřík, 2008):

$$B = \frac{F}{L_U} \quad (\text{rovnice 3})$$

kde: F - celková plocha povodí (km²), L_U - délka údolnice (km)

Definice sice vychází z idealizovaného tvaru povodí na obdélník, ale vzhledem k rozmanitým tvarům se doporučuje používat i jiné geometrické tvary, jako třeba kruh, trojúhelník, či obrazec omezený parabolickou křivkou s vrcholem v uzavřevém profilu. Podle hodnoty součinitele tvaru povodí α se povodí o velikosti 5 – 50 km² rozděluje na povodí protáhlá, povodí přechodného typu a povodí vějířovitá (Hrádek et Kuřík, 2008).

1.1.2 Orografické charakteristiky

Pojem orografické charakteristiky zahrnuje výškové a sklonové poměry, které mají vliv nejen na klimatické a meteorologické vlastnosti, ale proces odtoku vody z povodí. Do klimatických a meteorologických charakteristik patří teplota vzduchu, srážkové úhrny, vlhkost vzduchu, výpar, sluneční záření a další. Podkladem pro získání výškových a sklonových poměrů jsou topografické mapy, pomocí kterých zjišťujeme i další potřebné charakteristiky, jako místa s nejvyšší nadmořskou výškou v povodí či nadmořskou výšku uzávěrového profilu (Pokorná et Záborská, 2007).

K získání závislosti mezi nadmořskou výškou a plochou povodí sestavujeme tzv. hypsografickou křivku (Hrádek et Kuřík, 2008). Tato křivka se sestavuje na základě topografické mapy buď planimetrováním nebo pomocí digitálních dat ve vhodném softwaru. Pomocí této křivky velmi snadno zjišťujeme např. extrémní výšky v povodí, velikost plochy povodí aj. Tvar hypsografické křivky znázorňuje charakter konfigurace povodí (Pokorná et Záborská, 2007).

Vzhledem k nejednotným sklonovým poměrům v povodí se vypočítává střední sklon svahů v povodí. *Střední sklon povodí* zjistíme ze vztahu (Hrádek et Kuřík, 2008):

$$I_{SV} = \frac{\Delta H}{\sqrt{F}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (\text{rovnice 4})$$

kde: ΔH - absolutní spád povodí, spočítáme jako: $\Delta H = H_{MAX} - H_{MIN}$ (m), H_{MAX} - maximální nadmořská výška v povodí (m), H_{MIN} - minimální nadmořská výška v povodí (m), F - celková plocha povodí (m^2)

U malých povodí je významnou charakteristikou také *průměrný sklon údolnice* L_U , který zjistíme ze vztahu (Hrádek et Kuřík, 2008):

$$L_U = \frac{H_{MAX,U} - H_{MIN,U}}{L_U} \cdot 100 \quad (\%) \quad (\text{rovnice 5})$$

kde: $H_{MAX,U}$ - maximální nadmořská výška údolnice (na rozvodnici) (m n.m.), $H_{MIN,U}$ - minimální nadmořská výška údolnice (uzávěrový profil povodí) (m n.m.)

1.1.3 Geologické a půdní poměry

Tyto poměry povodí jsou důležité z hlediska celkové zásoby a úrovně hladiny podzemní vody, zjišťujeme je převážně na velkých povodích, kde má odtok podzemní vody významný vliv na hydrologickou bilanci (Hrádek et Kuřík, 2008).

Geologické poměry přímo ovlivňují vývoj terénu, intenzitu zvětrávání a vznik propustných vrstev, nepřímo je těmito poměry ovlivněn samotný proces odtoku vody z povodí následkem ovlivnění množství vsakující se vody. Těmito poměry je také výrazně ovlivňované rozdělení vodnosti v tocích (Tourková, 2004). Geologické vlastnosti se stanovují na základě geologických map či průzkumem v terénu a musí se pro svůj význam popsat ve studiích ekologického či vodohospodářského zaměření (Kemel, 1994).

Geologické poměry jsou závislé na vlastnostech půd, které vznikají zvětráváním povrchových hornin. Podle stupně propustnosti se horniny dělí do 3 skupin (Tourková, 2004):

Horniny propustné jsou horniny rozrušené, úlomkovité sedimenty, některé celistvé a pórovité vyvěřeliny, zkrasovatělé horniny, patří sem kvartérní fluvialní sedimenty, eolické sedimenty a rozrušené a zkrasovatělé karbonitické horniny ze starších útvarů.

Horniny polopropustné představují hlinité písky, spraše, rašeliny, pískovce, slepence a jemně rozrušené vápence.

Horniny nepropustné jsou celistvé nerozrušené horniny – žuly, porfyry, syenity, diabasy aj.

Půdní poměry ovlivňují nejen množství a intenzitu vsaku vody, ale i velikost časového a plošného rozložení odtoku. Rychlejší vsakování srážek umožňují půdy drobtovité struktury. Následkem zabránění infiltrace vody na bezstrukturních půdách vznikají z přívalových dešťů extrémní povrchové odtoky. Ve strukturních půdách dochází k dočasné akumulaci vody, snížením rychlosti povrchového odtoku se vyrovnává kolísání srážek a v období sucha umožňuje zásobení rostlin vodou. Půdní poměry se zjišťují buď z pedologických map či hydropedologickým průzkumem terénu (Hrádek et Kuřík, 2008).

1.1.4 Klimatické poměry

Atmosférické srážky vznikají tzv. kondenzací nebo desublimací par v ovzduší, na povrchu země, rostlin či předmětů a v atmosféře. Obecně dělíme srážky podle skupenství na srážky kapalně a pevně (Tamassy et al., 1965). Mezi kapalně srážky patří např. déšť, mezi pevné srážky třeba kroupy. Podle způsobu a místa vzniku rozlišujeme srážky horizontální a vertikální. Horizontální srážky vznikají kondenzací vodních par na povrchu země, rostlin a předmětů a patří mezi ně rosa, jinozatka či ledovka. Vertikální srážky, mezi které patří déšť, sníh a kroupy, vznikají v atmosféře (Kemel, 1994). V podobě deště jsou atmosférické srážky základní příčinou velkých průtoků, a proto se při odvozování povodňových vln vychází především z nich (Dub et al., 1969). Srážky je nutné pozorovat a měřit, sledujeme jejich plošné rozložení, u kapalných srážek sledujeme i trvání, úhrn a intenzitu deště (Kemel, 1994). Intenzita deště je významná charakteristika, vyjadřuje úhrn deště za časovou jednotku a vyjadřuje se obvykle v ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$) (Kemel, 1996).

Teplota vzduchu je závislá na slunečním záření a na typu povrchu terénu. Vzduch je ohříván od slunečního záření dlouhovlnným tepelným vyzařováním od zemského povrchu, tedy nepřímě. Následkem neschopnosti zachycení krátkovlnného záření je nemožné přímé ohřívání vzduchu. Vyjádřením poměru množství dlouhovlnného tepelného záření od země a k množství záření, které dopadá na zemský povrch, získáme tzv. albedo (Hrádek et Kuřík, 2008). Hodnota albeda je ovlivněna intenzitou slunečního záření a ve velkém rozsahu se mění v průběhu dne. Teplota vzduchu má také vliv na jeho pohyb, ale i na rozdělení odtoku v průběhu roku působením na tání sněhu a ovlivňováním výparu (Dub et al., 1969).

1.1.5 Vegetační pokryv

Hlavní funkcí vegetačního pokryvu je zadržení určitého množství srážek (intercepce). Vegetace také ovlivňuje výpar z půdy a rostlin (evapotranspirace), množství vsáklé vody a rychlost stékání vody po svazích povodí. Rostlinný pokryv zjišťujeme na základě topografických, fenologických a lesnických map. Z těchto podkladů dokážeme zjistit, jaké je v dané lokalitě procentuální zastoupení jednotlivých druhů a situování zalesněných ploch, plochy polí a luk, ale i zastavěné území a další. Pokud je lesní porost v povodí dobře situován a má vhodné zastoupení dřevin, dokáže velmi příznivě regulovat povrchový odtok. Např. vyspělý smíšený les s vhodnou druhovou skladbou disponuje dostatečně silnou vrstvou hrabanky a humus, což umožní zachycení velkého množství ze srážek. Zachycené množství vody se infiltuje

a do toku se dostane opožděně, což má za následek snížení kulminačního povodňového průtoku (Hrádek et Kuřík, 2008). Nejvýhodnější z hlediska vsakovací účinnosti jsou lesní výsadby, které jsou tvořeny převážně duby, dále lesy lipové, modřínové či březové. Nejméně výhodné jsou lesy smrkové. Velmi výhodné pro infiltraci vody je zakmenění lesa (Němec, 1965). Hydrologicky nejvhodnější a neúčinnější situování lesa je v horní části povodí. Pokud je les situovaný v dolní části povodí, může být zejména v období tání nepříznivější, dochází totiž k zastínění sněhové pokrývky v lesním porostu a dochází tak ke zpožděnému tání. Výsledkem je vznik vysokých kulminačních průtoků v uzavřevém profilu, z důvodu střetu odtoku z horní nezalesněné a dolní zalesněné části povodí (Pokorná et Záborská, 2007).

Pokud je povodí nezalesněné, může po lijácích či sněhovém tání docházet k velkým povrchovým odtokům, které způsobují značnou erozi a ničí vegetaci. Zatravněný povrch země má určitou drsnost, díky níž dochází ke zpomalení povrchového odtoku a zvyšování infiltrace do půdy. Kromě toho se však voda vrací zpět do ovzduší, zatravnění totiž vsakuje vodu z půdy pro transpiraci (Němec, 1965).

1.1.6 Říční síť v povodí

Říční síť krajiny je tvořena systémem říčních soustav, jejichž hlavním cílem je odvádět vodu z povodí (Kemel, 1994). V horní části povodí, které se také říká pramenná oblast, vzniká přírodní vodní tok. Začátkem toku může být jezero, ledovec či vývěr (Hrádek et Kuřík, 2008).

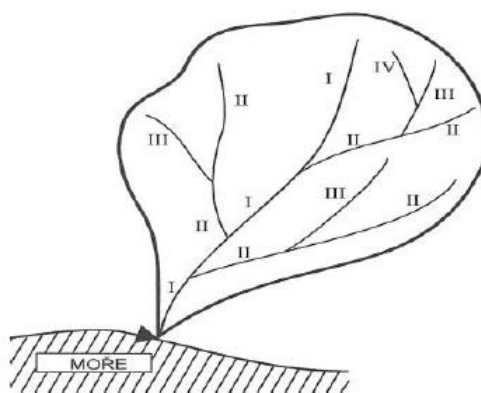
Úsek, kde se tok vlévá do jiného toku, se nazývá ústí toku. Toho místo je dáno průsečíkem osy toku s vodorysem recipientu, moře či jezera. V aridních či krasových oblastech tok mizí dříve, než dosáhne recipientu. Vzdálenosti ústí od pramene se říká délka toku. Tato vzdálenost se měří na střednici, ale lze ji také zjistit měřením přímo v terénu, či z mapy. Za vznik toku považujeme ústí a vzdálenosti, které se měří od počátku, se nazývají staničení. U těchto charakteristik dochází ke změnám, neboť se vodní tok stále vyvíjí. Pokud chceme zjistit stáří vodního toku, vypočítáme ho pomocí tzv. stupně vývinu toku, což je poměr mezi délkou spojnice počátku a konce profilu k jeho opravdové délce. Říční síť vzniká dlouhodobým procesem, spojením horotvorných procesů a erozní činnosti dochází ke vzniku členitého terénu s podélnými a příčnými sníženinami, ve kterých proudí voda (Kemel, 1994).

V povodích rozlišujeme 2 soustavy, a to typickou a složitou. V malých povodích s jedním vodním tokem, který tvoří podélnou osu povodí, je soustava typická, zatímco ve velkých povodích, ve kterém je hlavní tok spolu s přítoky, jsou soustavy složité (Pokorná et Zábranská, 2007).

Definice hlavního toku není jednoznačná, většinou se určuje podle vodnatosti, zda v místě soutoku zachovává svůj původní směr a dno v místě soutoku je níže než dno přítoku. Významný vliv při vzniku povodňového průtoku má tzv. uspořádání říční sítě. V uspořádání říční sítě rozlišujeme 3 typy soustav. Velmi často se vyskytuje soustava stromkovitá, která se charakterizuje tím, že jednotlivé přítoky protékají údolím, které svírají s hlavním tokem ostrý úhel. Pokud probíhá střídání přítoků pravidelně, jde o symetrické stromkovité uspořádání. Další soustavou je soustava perovitá, kterou poznáme podle přítoků protékajícími paralelními údolím, které jsou situovány kolmo na hlavní tok. Poslední soustavou je vějířovitá, která je velmi důležitá z hlediska vzniku velkých povodní. Charakterizuje se soutokem několika přibližně stejně dlouhých toků v jednom místě (Kemel, 1994).

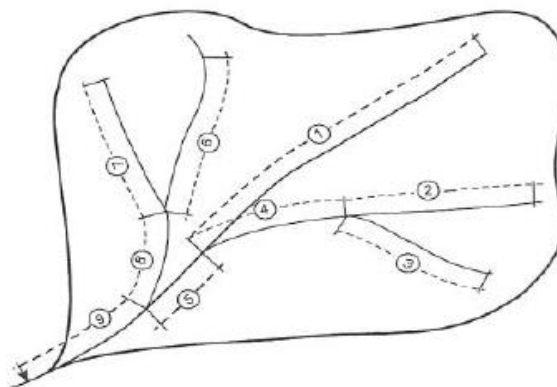
Další charakteristikou je hustota říční sítě, která má jako hlavní funkci schopnost bezpečného odvedení povrchové vody z povodí. Na tuto charakteristiku má vliv povrchový odtok a ostatní činitele, které ovlivňují odtok, např. spád terénu, propustnost půd a podloží v povodí (Němec, 1965). Hustota říční sítě představuje poměr mezi celkovou délkou všech toků v povodí a plochou povodí (Kemel, 1994).

U každého vodního toku určujeme jeho řád. Vodní tok vlévající se do moře je vodním tokem I. řádu, přítok toku I. řádu je tok II. řádu, jeho přítok je tok III. řádu atd. Řád vodních toků je zobrazen na obrázku 1.



Obrázek 1 – Řád vodních toků v říční soustavě (Hrádek et Kuřík, 2008)

Od pramene k zaústění do uzávěrového profilu se toky značí podle hydrologického pořadí, což je daný smluvený systém, podle něhož jsou členěny i hydrologické údaje pro toky a jejich přítoky (Hrádek et Kuřík, 2008). Schéma označení vodních toků dle hydrologického pořadí je na obrázku 2.



Obrázek 2 – Označení vodních toků podle hydrologického pořadí (Hrádek et Kuřík, 2008)

Soustava říční sítě se vyjadřuje hustotou říční sítě r . Hustota říční sítě je poměr mezi celkovou délkou všech toků v daném povodí a plochou povodí (Kemel et Kolář, 1980).

$$r = \frac{\sum L_T}{F} \quad (\text{km/km}^2) \quad (\text{rovnice 6})$$

kde: $\sum L_T$ - celková délka toků v povodí (km), F - celková plocha povodí (km²)

1.1.7 Antropogenní činnost

Antropogenní činnost představuje určité technické zásahy do povodí, které jsou prováděny lidskou činností. Následkem této činnosti dochází k přeměně přirozeného přírodního prostředí na umělé antropogenezované. Veškerá lidská činnost by měla mít pozitivní důsledky, příznivě ovlivňovat jednotlivé složky oběhu vody a měla by brát ohled na komplexní organizaci povodí, kam řadíme pozemkové úpravy, meliorační zásahy, plánovité využívání aj. (Hrádek et Kuřík, 2008). Lidská činnost má především vliv na proces odtoku, na který může působit i prostřednictvím jiných činitelů, jako třeba změnou povrchu či struktury půdy. Povrchový odtok je příznivě i nepříznivě ovlivňován obděláváním půdy. Obdělávání půdy se provádí orbou, která může být vedena po vrstevnicích či po spádu. Orba po vrstevnicích má pozitivní vliv na odtok, zachycuje ho brázdami, poté ho plošně rozděluje a dochází ke vsaku a provlhčení

půdy. Tímto způsobem se snižuje povrchový odtok a zeslabuje erozní účinnost. Naopak orba po spádu odtok zrychluje, dochází k prudkému povrchovému odtoku a velké erozní činnosti (Němec, 1965). Antropogenní činnost ovlivňuje plochu povodí, tvar povodí, orografické poměry, geologické i půdní poměry, vegetační pokryv v povodí, říční síť, ale i akumulaci vody a klimatické poměry (Hrádek et Kuřík, 2008). Nepříznivé odtokové poměry jsou vylepšeny úpravami toků, zásobováním vodou, výrobou elektrické energie, výstavbou nádrží apod. Lidská činnost má za cíl zachování ekologické rovnováhy krajiny, musí plnit požadavky na využívání přírodních zdrojů (Kemel, 1994).

1.2 Charakteristika objektů na MVT

Objekty na malých vodních tocích mohou být různého druhu, za různým účelem i využitím. Mezi hlavní účely objektů patří stabilita koryta, zachycení a usazení splavenin a v neposlední řadě také usměrnění vodního proudu. Využití objektů je buď vodohospodářské, komunikační, či ostatní (Kovář et al., 2014)

Mezi vodohospodářské využití, tedy stabilizační, patří objekty příčné, spádové, přehrážky a soustředovací a usměrňovací stavby. Do komunikačních objektů patří propustky, mostky, brody a objekty zajišťující přístup. Dalším využitím je využití ostatní, kam zařazujeme odběry vody, vodoměrná zařízení, rybí přechody apod. (Kovář et al., 2014).

1.2.1 Vodohospodářské objekty

Objekty zajišťující stabilitu dna

Objekty zajišťující stabilitu dna jsou příčné stavby budované napříč koryta s korunou v úrovni dna či nade dnem. Hlavním účelem konstrukce je zajištění nivelety dna, úprava podélného sklonu koryta a zachycení splavenin. Mezi příčné objekty patří pásy a prahy (Bělský, 2000).

Pásy jsou objekty vybudované na úrovni dna, zapuštěné do dna i břehů. Objekty dělí dno na kratší části, pomocí kterých skýtají oporu splaveninám. Postupem času se přirozeným vývojem tyto vodohospodářské objekty stávají objekty přepadovými. Nejčastěji jsou vybudovány jako konstrukce betonové, dřevěné, zděné, drátokamenné a konstrukce z kamenné rovnaniny (Novák, 1998).

Prahy jsou nízké konstrukce, které svou výškou nepřesahují 0.3 m. Tyto objekty nepřerušují břehové linie, v případě opevněného dopadiště není třeba budovat vývar. Dopadiště je ve většině případů opevněno kamením, dřevem a klestem. Práh je na obou koncích pevně svázán do břehů, v případě vyšších průtoků jsou objekty zaplaveny vodou. Prahy jsou zhotoveny ze stejných materiálů jako pásy, tudíž z betonu, dřeva, zdiva a kamenné rovnániny (Novák, 1998).

Objekty spádové

Mezi tyto objekty patří skluzy, balvanité skluzy a stupně. Hlavním účelem těchto konstrukcí je snížení či vyrovnání podélného sklonu dna.

Stupně jsou přelivné konstrukce, jejichž výška je vyšší než 0.3 m. Koruna stupně se buduje na úrovni dna koryta. Stupně se budují tak, aby výška konstrukce byla co nejnižší z důvodu migrace rybí populace, neoptimálnější výška stupně je tedy 0.4 – 0.6 m s hlubokými vývary. Stavba stupně je pevně svázána do skalního podloží či zeminy. Konstrukce objektu je závislá na použitém materiálu, který je obdobný jako u pásů a prahů (Kovář et al., 2014).

Skluzy se zařazují mezi spádové příčné objekty, přes které proudící voda nepřepadá, ale teče po skluzové ploše. Pro výstavbu základu konstrukce je použit beton, na opevnění skluzové plochy i břehů se používá kamenná dlažba s cementovou maltou. Pro zajištění vyššího stupně drsnosti z důvodu snížení kinetické energie proudící vody by plocha skluzu měla být opatřena výstupky (Kovář et al., 2014).

Balvanité skluzy se budují ve větším sklonu dna koryta a jsou vybudovány z lomového kamene. Konstrukce se buduje buď v jedné vrstvě, či ve více vrstvách, k opevnění se používají velké balvany. Balvanité skluzy vytvářejí přírodní vzhled (Kovář et al., 2014).

Přehrážky

Přehrážky jsou příčné konstrukce budovány převážně na horních úsecích vodního toku v místě bystrinného charakteru. Jsou to příčné konstrukce, které se budují nad úrovní dna koryta. Hlavním účelem přehrážek je zachycení splavenin, z tohoto důvodu je v prostoru nad konstrukcí přehrážky vybudován zádržný prostor. Přehrážky máme dvojího typu, a to retenční přehrážky a přehrážky konsolidační. Hlavní účelem retenčních, tedy ochranných přehrážek, je zachycení splavenin a tím

tedy unášení splavenin do nižších úseků toku. Konsolidační přehrážky mají za úkol zachycení velkých nánosů splavenin, chránit dno proti vodní erozi, zabránit prohlubování koryta toku a zajistit podpora zdevastovaných svahů (Kovář et al., 2014).

Přehrážky se dělí také dle statického působení na přehrážky monolitické, konzolové, klenbové a deskové. Na vybudování přehrážkových konstrukcí se používá kamenné zdivo, beton, betonové prefabrikáty, ocelové profily, srubové konstrukce, gabiony či kombinace těchto materiálů (Kovář et al., 2014).

Soustředovací a usměrňovací objekty

Tyto stavby mohou být jak podélné, tak příčné. Budují se na tocích, kde se pohybuje velké množství splavenin. Hlavním účelem těchto objektů je ochrana břehů v korytě, které je směrově nevyrovnané nebo slouží také k usměrnění proudnice na rozsáhlých štěrkovištích. Tyto stavby by měly odolávat návrhových průtokům, a proto jsou v odpovídající hloubce pevně svázané do břehů. Objekty rozdělujeme na odháňky, hráze a výhony. Ve většině případů se budují z místních materiálů (Kovář et al., 2014).

Příčné objekty jsou hrázového charakteru, rozhraní mezi starým břehem a stavbou je odděleno přepážkami, tím dochází k postupnému usazování a zanášení prostoru mezi nimi a dojde tak k vytvoření nového břehu (Kovář et al., 2014).

Podélné objekty jsou především výhony usměrňující proudící vodu do středu koryta toku. Tyto stavby navazují na původní břeh a ústí v břehu novém (Kovář et al., 2014).

1.2.2 Komunikační objekty

Tyto stavby se budují v místě křížení toku s komunikacemi. Do této kategorie patří mostky, propustky, brody, lávky, a další objekty zajišťující přístup. Tyto objekty jsou z hlediska návrhových průtoků nejdůležitější, protože při velkých vodách dochází k zanesení profilů a tím následné možné havárii (Novák, 1998).

Mostky jsou stavby, které slouží k překlenutí vodních toků. Návrh tohoto mostku je závislý především na návrhovém průtoku, což je daná hodnota maximální výšky hladiny toku. Při návrhu mostních pilířů se zohledňuje proudnice toku tak, aby se předcházelo k postupnému vymílání základů (Kovář et al., 2014).

Propustky jsou trubní objekty, které se budují v místech křížení vodoteče s pozemní komunikací. Hlavním účelem je tedy co nejrychlejší odvedení proudící vody z jedné strany na druhou. Propustky se dimenzují na průtok 50leté vody. Tyto objekty mohou být kamenné, betonové, železo-betonové, plechové, ocelové či polyethylenové. Ve většině případů jsou propustky kruhového vnitřního průřezu, mohou být ale také tlamové, vejčité, elipsovité či rámové. Pokud je třeba převést větší množství vody a je nemožné navyšovat rozměr propustku, je možné vybudovat propustek o dvou či více otvorech vedle sebe (Kovář et al., 2014).

Brody jsou mělká místa na vodním toku, která jsou určena k překonání koryta pěšky, na koni či vozidlem. Toto místo je charakteristické vyrovnanými hloubkami napříč korytem a větším podélným sklonem, v němž proudnice přechází od jednoho břehu k druhému. U brodů, které jsou určeny pro dopravu, se z důvodu únosnosti zarovnává a zpevňuje dno (Zuna, 1984).

Objekty zajišťující přístup slouží k bezpečnému přístupu k hladině vodního toku za účelem např. odběru vody. Mezi tyto objekty patří schodiště, rampy a náplavky. Tyto objekty se budují v místech, kde je vodní tok nepřístupný. Schodiště se buduje ze schodnic a stupňů a je pevně svázáno do nábrežního svahu. Dalším typem objektů, který slouží jako přístup k hladině vodního toku, jsou náplavky. Tyto stavby se budují o šířce 10-15 metrů a délce 30 metrů. Hlavním účelem náplavek je dostupnost k přívozům, mají ale také funkci překladiště či funkci rekreační. Posledním typem jsou rampy, jejichž funkce je spojení náplavky s komunikací.

1.2.3 Ostatní objekty

Do této kategorie objektů se řadí odběry vody, vodoměrná zařízení, malé vodní elektrárny či rybí přechody.

1.3 Problematika povodní

1.3.1 Charakteristika povodní

Pojmem povodeň se dle vodního zákona č. 254/2001 Sb. rozumí stav, kdy dojde k výraznému zvýšení průtoků v tocích či zvýšení hladiny v povrchových vodách, což má za následek vyběžení vody do přilehlého nechráněného území a tím poškození komunikací, staveb, zhoršení hygienických podmínek a škody na životním prostředí (Zákon č. 254/2011 Sb.). Vznik přirozených povodní je většinou způsoben nárůstem průtoku vody v tocích, což způsobuje silný déšť, tání sněhu či například zahrazení koryta ledovou krou. Mimo přirozených povodní rozlišujeme ještě povodně zvláštní, které vznikají v důsledku nějaké technické závady či havárie na vodním díle, například protržením přehrady či ochranné hráze (Čamrová et al., 2006).

Na území České republiky rozlišujeme 4 kategorie povodní:

Povodně z tání sněhu vznikají v zimním a jarním období a jsou způsobené táním sněhové pokrývky. Mezi příčiny jejich vzniku patří velké množství sněhové pokrývky, promrzlá půda pod pokrývkou, oteplení, silný vítr, vlhkost vzduchu a dešťové srážky. Tyto povodně nejčastěji ohrožují střední a velká povodí s nízkými výškovými rozdíly (Čamrová et al., 2006).

Povodně ledové vznikají po období silných mrazů. Táním sněhu narůstá průtok a ledové jevy vzniklé během silných mrazů se lámou a pohybují v korytě. Unášené ledové kry se hromadí v místech s mělkým dnem či v zúženém korytě a tvoří se ledové bariéry (Čamrová et al., 2006).

Povodně dešťové jsou způsobeny déletrvajícimi intenzivními srážkami, při kterých dochází postupným nasycením půdy k neschopnosti zadržení vody a tím k výraznému odtoku vody z krajiny. Tyto povodně vznikají především v letním období a ohrožují střední a velká povodí, ve kterých dochází k rozlivům zaplavujícím rozsáhlá území v okolí toků (Čamrová et al., 2006).

Povodně přívalové, často nazývané bleskové, jsou následkem krátkodobými srážkami s vysokou intenzitou a vznikají především v letním období při bouřkách. Půda není schopná pojmout rychlý přísun srážek a voda tak odtéká po jejím povrchu, odnáší půdní sediment a je příčinou vodní eroze. Tyto povodně sice nezasahují velká

území, ale vzhledem k jejich rychlému nástupu jsou velmi ničivé, způsobují velké škody a ohrožují lidské životy (Čamrová et al., 2006).

Základní pojmy

Pojem *záplava* je často používán jako synonymu povodně, ale ve skutečnosti se jedná spíše o následek povodně. Záplava je tedy vylití vody z koryta toku a zaplavení okolí, k záplavě dochází po povodni.

Záplavová čára představuje odpovídající průsečnici vodní hladiny s terémem při zaplavení oblasti vodou (Vyhláška MŽP č.236/2002 Sb.).

Tvar povodňové vlny je závislý na ploše povodí, členitosti povrchu, tvaru říční sítě, morfologických charakteristikách koryta a na srážkách spadlých na plochu povodí. Objem povodňové vlny a velikost kulminačního průtoku jsou ovlivněny především srážkami, jejich velikostí, intenzitou a dobou trvání (Vyhláška MŽP č. 236/2002 Sb.).

Četnost výskytu povodní se vyhodnocuje jako N-leté průtoky. N-letý průtok je kulminační průtok, který je v průměru jednou za N-let dosažen i překročen.

Průtoková vlna znamená přechodné navýšení a následný pokles vodních stavů. Vlna je následkem srážek, táním sněhu či uměle vytvořená.

Kulminační průtok je nejvyšší maximální vrcholový průtok u průtokové vlny.

1.3.2 Ochrana před povodněmi

Ochrana před povodněmi je zejména opatření směřující k předcházení a zamezení škod na životech a majetku občanů, ochrana společností a životního prostředí. Ochrana se provádí systematickou prevencí a operativními opatřeními, jako například zvyšování retenčních schopností povodí a ovlivňováním průběhu povodní. Operativní opatření jsou zajišťována pomocí povodňových plánů a dle krizových plánů se vyhláší krizové stavy (Zákon č. 254/2011 Sb.).

Ochranná opatření se dělí na opatření technického a netechnického charakteru. Do technických opatření se řadí retenční nádrže, zvyšování kapacity koryt, opevňování koryt, budování ochranných hrází, opatření ke snížení eroze a zvýšení retence

v povodí. Do opatření netechnického charakteru se zařazují opatření k definování záplavových zón a předpovědní a varovné systémy (Zákon č. 254/2011 Sb.).

Mezi ochranná opatření před povodněmi patří také opatření přípravná, opatření prováděná při nebezpečí vzniku povodně, opatření při povodni a ochranná opatření po povodni (Zákon č. 254/2011 Sb.).

Přípravná opatření a opatření při nebezpečí povodně jsou řešeny před povodní a patří do nich zpracování povodňových plánů, uskutečnění povodňových prohlídek, příprava hlásné služby a příprava povodňové ochrany, dále také stanovení zátopových míst, příprava hlídkové služby a následná evakuace záplavových míst (Zákon č. 254/2011 Sb.).

Během povodně probíhá především činnost předpovědní a hlásné služby, činnost hlídkové služby, řízení průtoků a odtoků, záchranné práce, zajištění náhradních funkcí a služeb v zasažené oblasti (Zákon č. 254/2011 Sb.).

Poslední fáze opatření probíhá *po povodni* a zahrnuje evidenční a dokumentační práce, posouzení a ocenění vzniklých škod a především obnova narušených funkcí v zaplavené oblasti, vyhodnocení povodňové situace a následný návrh na úpravu protipovodňových opatření (Zákon č. 254/2011 Sb.).

1.3.3 Stupně povodňové aktivity (SPA)

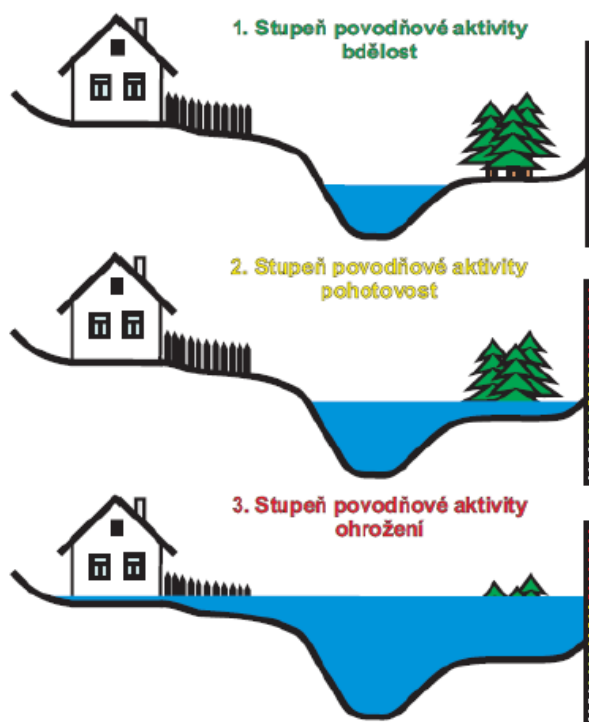
Pojmem stupeň povodňové aktivity se značí míra ohrožení obyvatelstva a jeho majetku před či při právě probíhajícím povodňovém stavu. Tyto stupně jsou hlášeny tzv. povodňovou službou a stanovují se vždy v každém hlásném profilu na vodním toku. Pomocí SPA a aktuálního průběhu vodního stavu v profilu se regulují protipovodňové aktivity v oblasti. SPA jsou většinou vyhodnoceny v cm vodního stavu (Zákon č. 254/2011 Sb.). Stupně povodňové aktivity jsou zobrazeny na obrázku 3.

Rozlišujeme 3 kategorie SPA:

1. SPA (stav bdělosti) charakterizuje stav, při kterém se voda sice drží v korytě, avšak dochází k navýšení průtoku. Tento stupeň slouží jako signál k předběžné přípravě na příchod povodně. Mělo by dojít ke kontrole objektů vodního toku a jeho přilehlého okolí, činnost zahajuje také hlídková a hlásná služba (Zákon č. 254/2011 Sb.).

Při 2. SPA (stav pohotovosti) dochází k postupnému vybřežování vody z koryta a následnému zaplavování okolí toku. V této fázi však voda ještě nepůsobí žádné velké škody, dochází totiž především k zaplavování luk, pastvin, lužních lesů a vegetace kolem toku. Dosažením tohoto stupně je daná situace oficiálně prohlášena za povodeň, aktivizují se povodňové komise a probíhají činnosti ke zmírnění povodňového průběhu (Zákon č. 254/2011 Sb.).

3. SPA (stav ohrožení) je stav, při kterém dochází k zaplavování území a ke vzniku velkých škod. Voda zaplavuje obytná území, průmyslové areály, komunikace atd. V tomto povodňovém stupni probíhají zabezpečovací práce, ve většině případů i záchranné práce a evakuace obyvatel v zasažené oblasti (Zákon č. 254/2011 Sb.).



Obrázek 3 – jednotlivé SPA (portal.chmi.cz)

1.3.4 Záplavová území

Záplavové území je oblast, která může být při povodňovém stavu zaplavena vodou. Rozsah záplavového území provádí vodoprávní úřad na návrh správce daného vodního toku. V zastavěných či zastavitelných plochách vymezí vodoprávní úřad aktivní zónu záplavového území podle nebezpečnosti povodňových průtoků. V aktivní zóně záplavových území je povolena výstavba pouze vodních děl, které slouží k provádění povodňových průtoků, chrání před povodněmi, zlepšují odtokové poměry. Dalšími povolenými stavbami v aktivní zóně jsou stavby pro jímání vod, odvádění odpadních a srážkových vod a nezbytné stavby dopravní a technické infrastruktury. Veškeré další stavby se v zóně umisťovat nesmí. V aktivní zóně dále není povolena těžba nerostů a zeminy, provádění terénních úprav zhoršujících odtok povrchových vod, skladování odplavitelného materiálu, zřizování překážek v podobě plotů, táborů, kempů a další. Záplavová území určená k rozlivům vody jsou převážně pozemky nezbytné pro vzdouvání a akumulaci povrchových vod (Zákon č. 254/2011 Sb.).

1.4 Hydrotechnické posouzení

Hydrotechnické výpočty jsou podkladem pro projekty vodohospodářských staveb, pro posuzování bezpečnosti vodních děl, pro posuzování převedení povodňových průtoků přes objekty na vodních tocích, používají se jako podklad pro projektanty staveb ovlivňujících vodní tok, což jsou např. mostky, propustky, stavby v záplavových územích apod. (Zuna, 2004). Největší průtok protékající profilem toku v místě mostního otvoru je definován jako kapacita mostního otvoru (ČSN 73 6201).

K těmto výpočtům se vzhledem k velkému množství objektů, složitosti proudění a členitosti koryta používají hydrologické a hydraulické matematické modely.

1.5 Výškopisné podklady pro hydrodynamický model

Přesnost výpočtů hydrodynamických modelů je značně ovlivněn podkladovými daty geometrie toku. Nejpoužívanějšími metodami pořizování vstupních dat jsou geodetická zaměření, fotogrammetrie a letecké laserové skenování. Geodetické zaměření patří mezi nejpřesnější metodu, z fotogrammetrie a leteckého laserového skenování umíme vytvořit digitální model terénu. Tabulka 1 znázorňuje porovnání metod z hlediska přesnosti, rychlosti, ceny a rozsahu území.

Metoda	Přesnost [m]	Rychlost	Cena	Velikost území
Geodetické zaměření	0,02 - 0,05	**	+++++	o
Fotogrammetrie	0,2 - 0,5	*****	++	O
LLS	0,1 - 0,2	*****	+++	O

Tabulka 1 – Porovnání uvedených metod (Oršulák et Pacina, 2012)

1.5.1 Geodetické zaměření

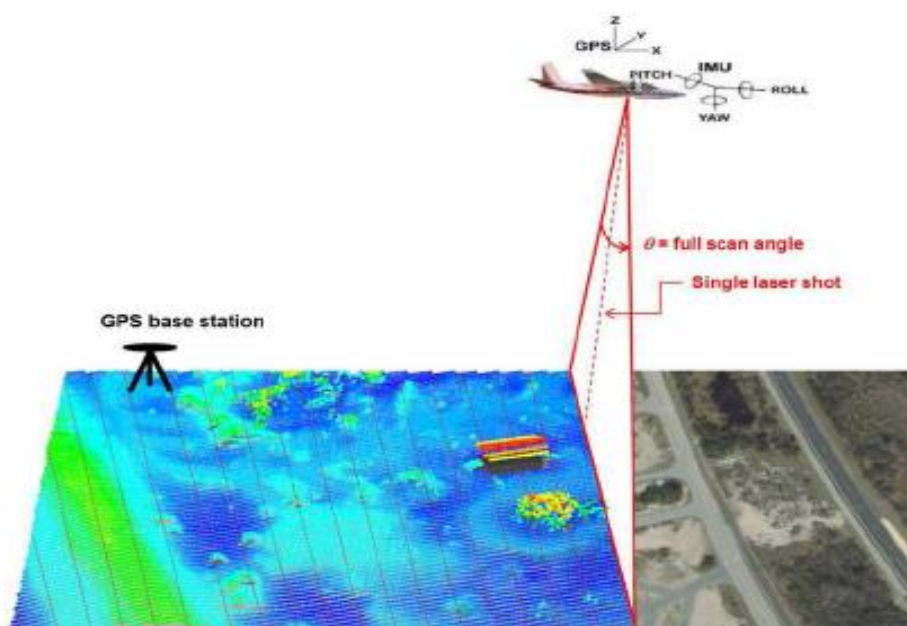
Geodezie je obor, jehož hlavním cílem je určení vzájemné polohy bodů na zemském povrchu ve vertikálním či horizontálním směru. K určení se používají klasické pozemní metody, které jsou sice časově a finančně náročné, jde ale o metodu, pomocí které získáme nejpřesnější data v řádech centimetrů. Jelikož je důležité zaměřit všechny značné změny v geometrii koryta, je největší vzdálenost mezi příčnými profily v rozmezí od několika metrů až po stovky metrů v závislosti na tvaru koryta. Z tohoto důvodu lze metodou zaměřit pouze malé území. Geodetické podklady jsou zaměřovány velmi podrobným geodetickým zaměřením v polohopisném systému S-JTSK a výškopisném systému Balt po vyrovnání (Drbal et al., 2009).

1.5.2 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je geodetické odvětví zabývající se získáváním polohopisných a výškopisných dat pro modelování terénu. Geometrická data získává ze dvou pořízených snímků, na kterých je zobrazeno stejné území. Pomocí automatické korelace je možné zrekonstruovat tvary či rozměr objektů. Metoda je používána především pro mapování ve středních a velkých měřítkách, v porovnání s klasickými geodetickými metodami je méně časově i finančně náročná. Z důvodu růstu vegetace je nejvhodnější doba na snímkování na jaře či na podzim (Novák et al., 2011).

1.5.3 Letecké laserové skenování

Tato metoda je jednou z nejmodernějších způsobů mapování terénu. Skenování umožňuje sběr bodů pro tvorbu digitálních modelů dokonce i v zalesněných územích. Metoda vznikla z důvodu mapování oblastí, ve kterých jsou již standartní metody (tachymetrie, GPS, fotogrammetrie) nedostačující. LLS je řazeno mezi aktivní digitální senzory. Aktivní proto, že je metoda založená na odrazu laserových paprsků, nutností je známý směr paprsku a přesná poloha skeneru (Novák et al., 2011). Princip metody spočívá v zaznamenání doby mezi vysláním paprsků a následný přijetím odrazu, signál je následně převeden na digitální tvar, uložen do počítače a zpracovávána pouze pomocí digitální techniky. (Oršulák et Pacina, 2012). LLS není závislé na slunečním světle, tudíž může skenování probíhat 24 hodin denně. Největšími výhodami této metody je rychlost sběru dat, relativně nízká finanční náročnost, zaměření značně členitého terénu a rozsáhlých oblastí. Nevýhodou této metody je skutečnost, že vodní hladina není schopna propustit laserový paprsek, tudíž není zaznamenáván reálný tvar a geometrie koryta. Důsledkem nezaznamenání skutečné geometrie toku je zobrazení vodních ploch jako oblastí s velmi nízkou hustotou bodů. Ke zjištění přibližné výšky hladiny je nutná interpolace dle výšek bodů odražených od břehových linií (Uhlířová et Zbořil, 2009). Na obrázku 4 je znázorněn princip LLS.



Obrázek 4 – Princip metody LLS (www.researchgate.net)

Pro celoplošné mapování terénu je využívána vlnová délka z oblasti infračerveného spektra, avšak z důvodu problematického měření pod vodní hladinou je třeba využít i jiné spektrum. Tato část spektra je zelená či modrozelená a umožňuje prostupnost paprsku vodní hladinou až ke dnu a zpět, lze tedy zaměřit reálný tvar koryta. V České republice jsou pro mapování vodních toků používány sonary situované na plavidlech (Uhlířová et Zbořil, 2009). Laserové skenery jsou složeny z více mapovacích technologií, z nichž každá musí být určena s vysokou přesností a musí být před měřením kalibrována. Povrch terénu je skenován v příčném směru vůči směru letu, přičemž největší šířka měřitelného pásu je ovlivněna výškou letu a zorném poli optického přijímače.

Výsledkem laserového leteckého skenování jsou surová data ve formě bodů. Zaměřené body jsou různého charakteru, výstupem jsou vrstvy určitých vlastností, např. terén, vegetační doprovod, budovy a také body nazývané šum, což jsou chybně zaznamenané body mimo úroveň terénu. Data jsou ukládány ve formátech LAS (binární formát) a ASCII (XYZ), což je textový soubor s jednotlivými body nesoucí záznam o výšce, poloze a hodnotě intenzity (Filin, 2004).

Z důvodu vytvoření nového digitálního modelu reliéfu byla v roce 2009 na celém území České republiky pozastavena aktualizace vrstevnic fotogrammetrickými metodami. Podkladem nových digitálních modelů reliéfu 2,5. generace bylo vojenské topografické mapování ČSSR z let 1952 až 1957, digitální model reliéfu 3. generace vycházel ze stereofotogrammetrického měření, které probíhalo v letech 2003 až 2008. (ČÚZK, 2015). Po zpracování podkladových dat vznikly na území České republiky tři digitální modely reliéfu:

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) je v digitálním tvaru ve formě mříže v pravidelné síti 5 x 5 m s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném území. Model byl pořízen v letech 2009 až 2013 a slouží k analýzám terénních regionálních poměrů (ČÚZK, 2015a).

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) je v digitální formě nepravidelné sítě výškových bodů s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terén a 0,3 m v zalesněné oblasti. Tento model slouží k terénním analýzám místních poměrů a je podkladem pro tvorbu vrstevnic pro mapy velkých měřítek

a různým vizualizacím. Model by měl být dokončen do konce roku 2016 (ČÚZK, 2015b).

Oba tyto digitální modely (DMR 4G i DMR 5G) zobrazují přirozený či antropogenní činností upravený terén. Výšky diskrétních bodů jsou dány souřadnicemi X, Y, H, kde H znázorňuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (ČÚZK, 2015c).

Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G) zobrazuje území včetně budov a vegetace ve formě nepravidelné sítě výškových bodů s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro konkrétně ohraničené objekty a 0,7 m pro objekty, které nemají konkrétní hranice (lesy). Tento model slouží k analýzám výškových poměrů terénu a geografických objektů v terénu a měl by být dokončen do konce roku 2016. DMP 1G bude aktualizován pomocí metody korelace leteckých měřických snímků a metodou leteckého laserového skenování (ČÚZK, 2015).

1.6 Použitý software

1.6.1 ArcGIS for Desktop

ArcGIS for Desktop, software americké firmy ESRI, je geografický informační systém sloužící k práci s prostorovými daty. Program je tvořen produkty pro tvorbu, správu, analýzu, vizualizaci geodat a lze ho rozšířit o extenze a různé uživatelské nadstavby. Program je distribuován ve třech licenčních úrovních (Hillier, 2011).

ArcGIS for Desktop BASIC je určen k prohlížení a poskytuje základní nástroje k tvorbě dat či mapových výstupů.

ArcGIS for Desktop STANDARD je od základní verze rozšířen o další možnosti v editaci shapefilů a geodatabází.

ArcGIS for Desktop ADVANCED je od předchozích verzí rozšířen o prostorové operace a dalších pokročilých nástrojů.

Uvedené licenční úrovně obsahují sadu aplikací, do níž patří ArcMap, ArcCatalog, ArcScene, ArcGlobe, ModelBuilder a ArcToolbar.

V této diplomové práci je program ArcGIS využit pro zpracování vstupních dat, k tvorbě digitálního modelu terénu a pro přípravu geometrických dat z dat LiDAR skenování.

1.6.2 Nástroj CroSolver a CroSolver for ArcGIS

Při měření metodou leteckého laserového skenování dochází vzhledem k již zmíněné nepropustnosti vodní hladiny ke zkreslení a zanedbání reálného tvaru a geometrie koryta. Vzhledem k této problematice byl vyvinut software CroSolver, který existuje ve dvou formách: program CroSolver (Cross-section Solver) založený jako knihovna funkcí v programovacím jazyku R a program CroSolver ToolBox založený na jazyku Python a tudíž použitelný v softwaru ArcGIS (Novák et al., 2014).

Program CroSolver slouží k výpočtu průtočného profilu koryta na základě souřadnicových bodů břehů. Základním tvarem průtočného profilu je lichoběžník, upravením parametru sklonu svahu příčného profilu lze však dosáhnout i obdélníkového profilu. Průtočný profil je vypočítán na základě Chézyho rovnice, která je dosazena do rovnice spojitosti, výpočet probíhá v ustáleném rovnoměrném

proudění. Mezi vstupní parametry výpočtu patří souřadnicové body ve formátu X, Y, H, návrhový průtok, Manningův součinitel drsnosti, sklon svahu příčného profilu a minimální vzdálenost mezi profily. Výsledkem je textový soubor obsahující vstupní i nově vypočítané souřadnice (Novák et al., 2014).

CroSolver for ArcGIS byl vyvinut jako nástroj ArcToolBox pro ArcGIS a slouží k přípravě geometrických dat na podkladě hydrologického měření a leteckého laserového skenování. Tento nástroj byl použit v této diplomové práci. Na základě vzdálenosti mezi profily a šířky vodního toku se v rámci preprocessingu vytvoří příčné profily. Mezi parametry koryta, které je nutné znát k zahloubení koryta, patří průtok, Manningův součinitel drsnosti, sklony svahů, vzdálenost vyhlazení hladiny a především také výměr metody zahloubení. Parametry musí odpovídat době pořízení LLS (Roub et al., 2015). Na základě dat vzniklých z preprocessingu a charakteristik toku je proveden výpočet zahloubení. Výpočet je proveden na základě Chézyho rovnice a rovnice spojitosti (Novák et al., 2014).

Výstupem jsou textové soubory, které zahrnují vypočtené souřadnice bodů a hydraulické charakteristiky profilů a soubory ve formátu shapefile, které obsahují polygony oblasti zahloubeného koryta, liniové spojnice profilů, břehů, pat svahů, osy a lomových bodů.

1.6.3 HEC-RAS

Tento hydrodynamický model byl vyvinut pro jednorozměrný výpočet říční sítě a je založen na 4 jednorozměrných říčních případech. Mezi největší výhody patří fakt, že všechny čtyři komponenty používají stejná geometrická data a výpočetní postupy (BENN J. et al., 2003).

Analýza ustáleného proudění slouží k výpočtu profilů povrchových vod v ustáleném proudění. K výpočtu se používá jednorozměrná energetická rovnice:

$$H = z + y + \frac{\alpha v^{-2}}{2g} \quad (\text{rovnice 7})$$

kde: v – rychlost (m/s), α - opravný koeficient kinetické energie, g – gravitační zrychlení (m/s), H – energetická výška (m), v – průměrná rychlost v příčném profilu (m/s), y – výška průtočné hladiny v příčném profilu (m), z – výška dna koryta v příčném profilu (m)

Na základě tření (Manningova rovnice) jsou vypočítány energetické ztráty:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (\text{rovnice 8})$$

kde: v – rychlost (m/s), n – Manningův součinitel drsnosti (-), R – hydraulický poloměr (m), i – sklon dna (-)

Do výpočtu lze brát v úvahu i různé objekty, mostky, propustky, jezy a další. Analýza ustáleného proudění slouží především k povodňovým řízením, studii protipovodňových opatření či jejich vyhodnocení (HEC-RAS, 2015).

Analýza neustáleného proudění se zabývá simulací proudění v otevřených kanálech. Tento nástroj umožňuje provádět analýzu především průlomu hráze, přelítí a protržení ochranných hrází, čerpací stanice, provozy přehrad, ale počítá i s různými objekty (HEC-RAS, 2015).

Transport sedimentu se používá pro simulaci 1D transportu sedimentu za určité časové období, nejčastěji rok, avšak lze provádět simulaci i při jednotlivých povodních. Výpočet je založen na zrnitostních frakcích sedimentů. Simulace transportu je založena na dlouhodobých trendech vyplavování a usazování v korytě. Model se používá pro posouzení usazování nádrží, odhad samočistící schopnosti vodního toku při povodních či jako výpočet možného usazování v korytech opevněných (HEC-RAS, 2015).

Analýza kvality vody je model využívající kvalitativní složky ke kontrole kvality vody. V současné době se využívají tyto kvalitativní složky: rozpuštěný dusík, rozpuštěný fosfor, řasy, rozpuštěný kyslík a uhlíko-biochemická spotřeba kyslíku (HEC-RAS, 2015).

Výstupem jsou nejen grafická data, jako grafy říčních systémů, příčných profilů a další, ale také tabulkové výstupy. Vytvořená data mohou být dále exportována z HEC-RASU do dalších programů s využitím HEC-DSS.

4. Metodika

Prvním krokem ke splnění zadání diplomové práce bylo získání podkladů z příslušných úřadů a softwarů potřebných k výpočtům. V části hydrologické studie byly na základě vstupních dat odvozeny charakteristiky povodí Říčanského potoka, které byly zjištěny buď pomocí programu ArcGIS či vypočítány dle uvedených rovnic. Na základě výškopisu 3D vrstevnic, který byl poskytnut Českým zeměměřickým úřadem, byl v softwaru ArcGIS zpracován výškový model terénu, model sklonitosti znázorňující sklonové poměry v povodí a model orientace svahů ke světovým stranám. Další část této práce se zabývá popisem zájmového úseku Říčanského potoka, objektů ve vybrané části toku a povodněmi v území. Podkladová data objektů a celé situace byla poskytnuta Povodím Vltavy. Na základě dat z ČÚZK byl v programu ArcGIS vytvořen digitální model terénu (TIN), pomocí kterého byl v prostředí HEC-RAS vytvořen hydrodynamický model. V softwaru ArcGIS byly na základě výsledných bodů záplavových čar vykresleny záplavová území pro jednotlivé definované N-leté průtoky. Hydrotechnické posouzení vodního toku a objektů v zájmovém úseku Říčanského potoka bylo provedeno pomocí simulovaného modelu a výsledných záplavových čar.

1.7 Vstupní podkladová data

Základním podkladem hydrologické studie povodí Říčanského potoka byl výškopis 3D vrstevnic ZABAGED získaný z Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a hodnoty N-letých průtoků poskytnuté Český hydrometeorologickým úřadem v Praze Komořanech. Vstupními podklady pro hydrotechnické posouzení objektů a určení záplavových čar byla Technickoprovozní evidence Říčanského potoka získaná z Povodí Vltavy s. p. a výškopisná data digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace, která byla poskytnuta ČÚZK. Digitální model reliéfu 5. generace byl dodán v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém retenčním systému Balt po vyrovnání v ASCII kódování a formátu X, Y, Z. N-leté průtoky jsou v tabulce 2.

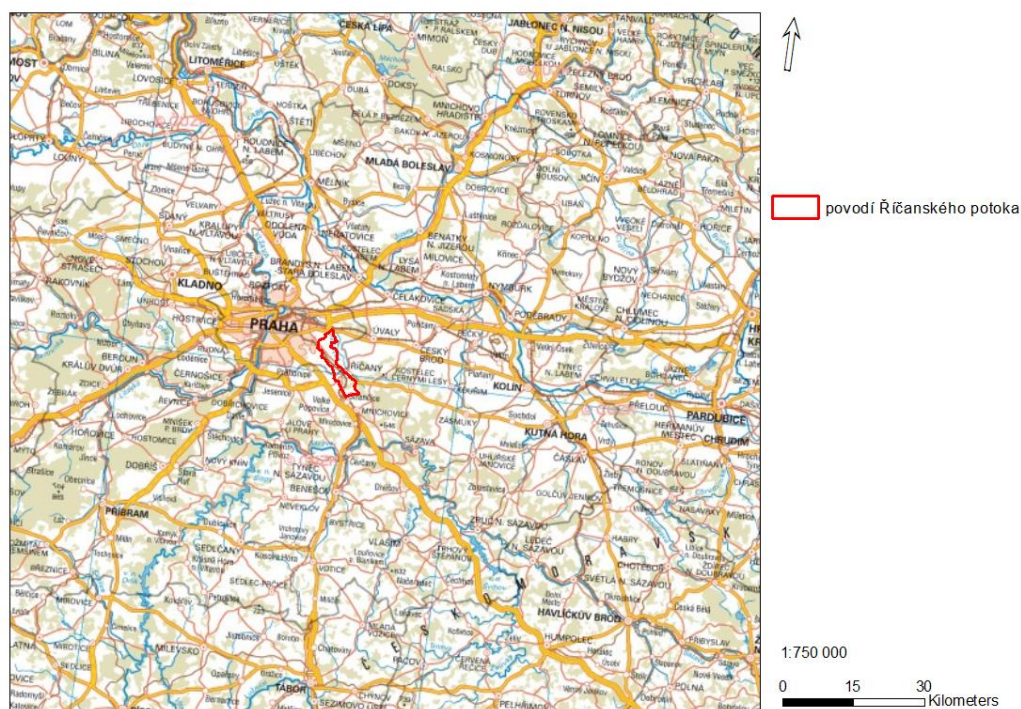
N-letý průtok	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀
(m ³ /s)	5,8	11.5	21

Tabulka 2 – N-leté průtoky v zájmovém úseku Říčanského potoka

1.8 Charakteristika povodí Říčanského potoka

1.8.1 Poloha povodí

Povodí tohoto Říčanského potoka se nachází částečně na území Prahy a částečně ve Středočeském kraji. Říčanský potok pramení jihovýchodně od Řičan u Prahy v obci Tehov. Tok protéká obcí Světice, Říčany, Kolovraty, Uhříněves, Dubeč a Běchovice, kde potok ústí do vodního toku Rokytky. Na Říčanském potoce je situována soustava několika rybníků. Pod pramenem toku za obcí Tehov leží Panský rybník, v okolí města Řičan jsou rybník Rozvadov, Marvánek a rybník Mlýnský. V Uhříněvsi a jeho přilehlém okolí jsou situované rybníky Vodice, Nadýmač I a Nadýmač II, Cukrovarský rybník a Podleský rybník. Podleský rybník patří mezi největší rybníky v Praze a jeho historie sahá až na počátek 16. století. Říčanský potok dále protéká Dubečským rybníkem a ústí do toku Rokytky. Na obrázku 5 je zobrazena poloha povodí Říčanského potoka u Prahy.



Obrázek 5 – Poloha povodí Říčanského potoka u Prahy

1.8.2 Hydrologické charakteristiky povodí

Geometrické charakteristiky povodí

Geometrické charakteristiky byly odvozeny v softwaru ArcGIS či vypočítány dle rovnic uvedených v řešeršní části této práce. Odvozené charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 3.

Celková plocha povodí F	36,923 km ²
Plocha pravého svahu F_P	19,707 km ²
Plocha levého svahu F_L	17,216 km ²
Délka hlavního toku L	21,029 km
Délka údolnice L_U	22,201 km
Součinitel tvaru povodí α	0,075
Střední šířka povodí B	1,663 km
Míra asymetrie povodí a	- 0,067

Tabulka 3 – Geometrické charakteristiky Říčanského potoka

Součinitel tvaru povodí znázorňuje podobnost povodí se čtvercem. Na základě výsledné hodnoty součinitele tvaru povodí bylo zjištěno, že povodí má značně protáhlý tvar a vykazuje tedy tvar obdélníku.

Z výsledné hodnoty součinitele asymetrie vyplývá, že povodí Říčanského potoka je téměř symetrické. Součinitel asymetrie se pohybuje v intervalu od -1 do 1. Čím více se výsledná hodnota blíží ke krajním hodnotám, tím více je povodí nesymetrické.

Orografické charakteristiky povodí

Tyto charakteristiky byly odvozeny v programu ArcGIS a vypočteny dle vzorců popsanych v řešeršní části práce. Nadmořské výšky v povodí určeny na základě výškopisu se pohybují v intervalu 232 – 488 m n. m. Výsledné orografické charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 4.

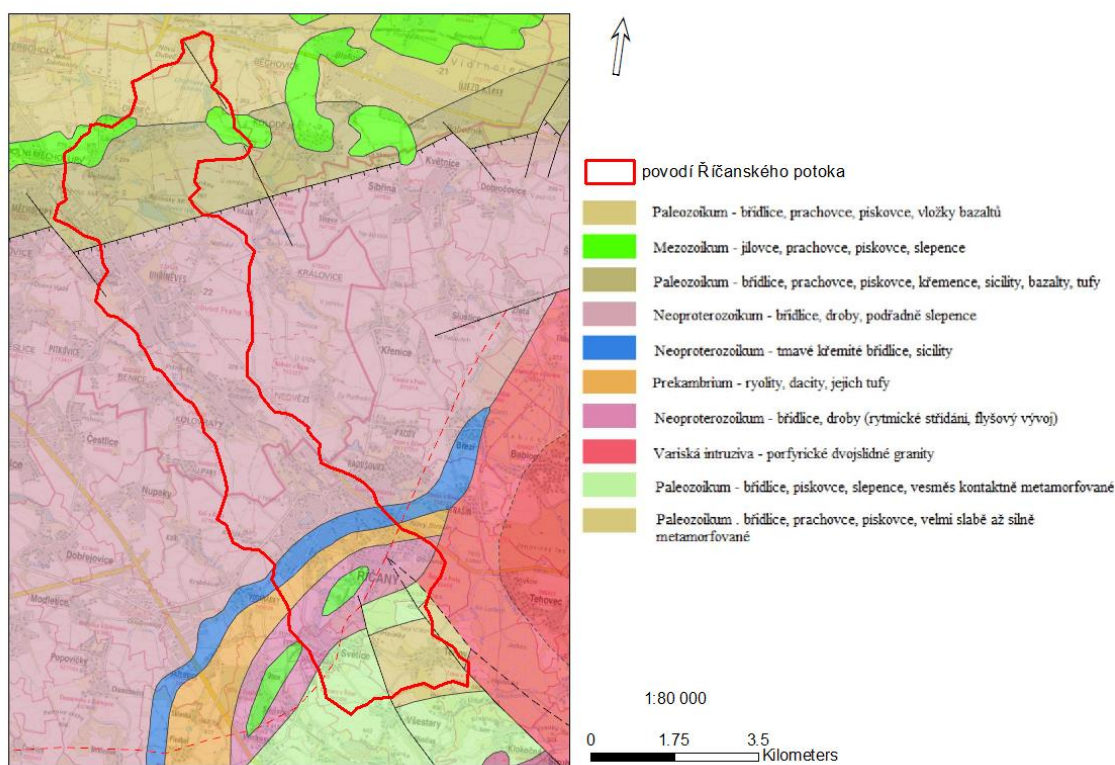
Maximální nadmořská výška H_{\max}	488 m n. m.
Minimální nadmořská výška H_{\min}	232 m n. m.
Průměrná nadmořská výška H_p	326 m n. m.
Nadmořská výška uzávěrového profilu	232 m n. m.
Maximální výška údolnice	480 m n. m.
Střední sklon povodí I_{sv}	4,21 %
Průměrný sklon údolnice I_u	0,67 %

Tabulka 4 – Orografické charakteristiky v povodí Říčanského potoka

Geologické a půdní poměry v povodí

Geologické poměry v povodí

Povodí Říčanského potoka je situováno v Českém masívu, v jedné z nejzachovalejších a nejrozsáhlejších oblastí evropského variského horstva. Povodí toku je geologicky velmi rozmanité. V oblasti prameniště se nacházejí břidlice, prachovce, metamorfované pískovce a v malé míře také porfyrické dvoj slídné granity. Mezi další horniny, které se v povodí nacházejí, patří především jílovce a slepence, v malé míře také bazalty, droby, sicility, křemence či tmavé křemité břidlice. Převážná část povodí leží ve Štěchovickém souvrství, které je charakteristické droby, břidlicemi či slepenci. Na obrázku 6 jsou zobrazeny geologické poměry v povodí.

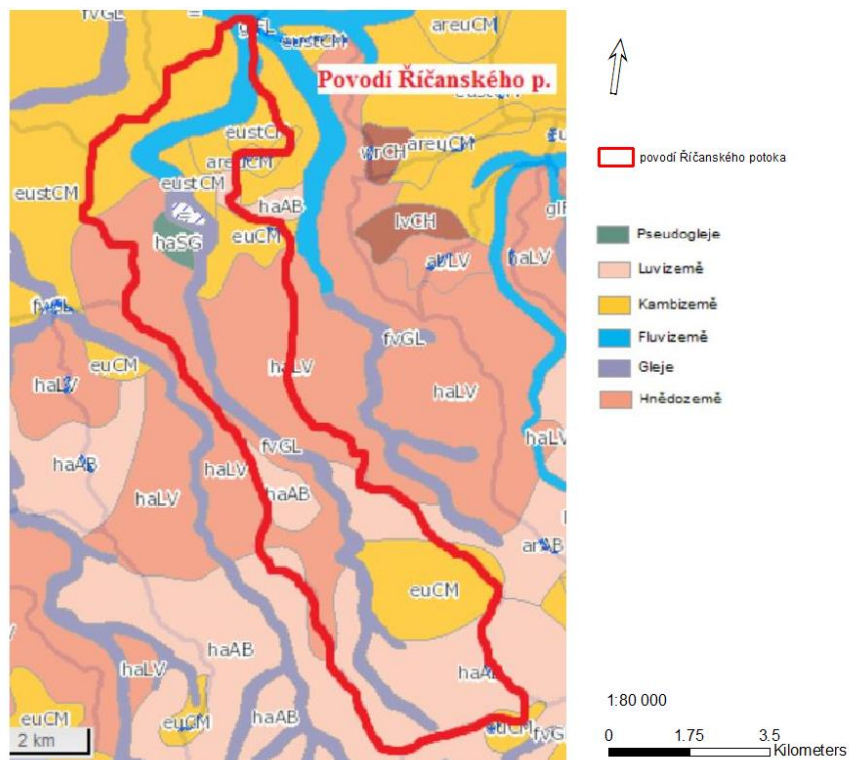


Obrázek 6 – Geologické poměry v povodí Říčanského potoka

Půdní poměry v povodí

Největší zastoupení v povodí Říčanského potoka má skupina illimerických půd, jejíž typickými představiteli je hnědozem a luvizem. Ve velké míře jsou také zastoupeny hnědé půdy, do kterých patří kambizem. V úseku od pramene Říčanského potoka až k Podleskému rybníku je v přilehlém okolí toku pás tvořený glejem fluvickým. Okolí Podleského rybníku je tvořeno skupinou hydromorfních půd, do které patří půdy oglejené. V úseku od Podleského rybníku až k ústí do Rokytky se

podél Říčanského potoka nachází fluvizem glejová. Půdní poměry jsou zobrazeny na obrázku 7.



Obrázek 7 – Půdní poměry v povodí Říčanského potoka

Hnědozem se řadí většinou mezi středně těžké, ale i těžší půdy. Díky velmi dobrým fyzikálním vlastnostem jsou tyto půdy značně hodnotné z hlediska zemědělství. Největší zastoupení těchto půd v České republice je v nízkých pahorkatinách či v okrajových částech nížin. Hnědozemě vznikají pomocí illimerizace, při které dochází k ochuzení svrchních částí o jílnaté části, které jsou pomocí zasakování přemísťovány do hlubších vrstev (Kutílek et al., 2004).

Luvizem je illimerizovaná půda vyskytující se převážně v pahorkatinách a vrchovinách, kde je humidnější podnebí. Matečním substrátem jsou většinou sprašové hlíny, smíšené svahoviny či středně těžké glaciální sedimenty. Jako zemědělské půdy jsou méně vhodné, než hnědozemě (Zábranská et Pokorná, 2007).

Kambizem patří do skupiny hnědých půd a v České republice je to nejvíce zastoupený půdní typ. Nachází v místech, kde je klima humidnější a mírně teplé, tedy ve vrchovinách. Hlavním půdotvorným procesem je intenzivní vnitropůdní zvětrávání. Kambizem se dělí na dva hlavní subtypy: kambizem eutrofní vyznačující se vysokým obsahem humusu a kambizem kyselá (Kutílek et al., 2004).

Glej se vyskytuje převážně v nivách vodních toků či v terénních depresích, kde je vysoká hladina podzemní vody. Glej vzniká tzv. gelovým procesem. Fyzikální a sorpční vlastnosti půd jsou nepříznivé. Typickou charakteristikou glejových půd je zápach sulfanu (Zábranská at Pokorná, 2007).

Pseudoglej je oglejená půda, řadí se do skupiny hydromorfních půd, které vznikají dlouhodobým vlivem zvýšené půdní vlhkosti vzduchu v půdě. V České republice je tento půdní typ typický pro Českobudějovickou, Třeboňskou a Chebskou pánev. Fyzikální vlastnosti půdy většinou nejsou příznivé (Kutílek et al., 2004).

Fluvizem je nivní půda pařící do skupiny lužních půd. Lužní půdy vznikají z povodňových sedimentů v nivách vodních toků. V závislosti na rychlosti toku a na vzdálenosti od toku se mění zrnitostní složení (Kutílek et al., 2004).

Klimatické poměry v povodí

Veškeré hodnoty určující klimatické poměry v povodí Říčanského potoka byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým ústavem v Praze. Na základě průměrné roční teploty má povodí klima chladné. Nejdůležitější charakteristiky jsou uvedené v tabulce 5.

Průměrná roční teplota vzduchu	6 – 8°C
Průměrná teplota vzduchu v letním období	17°C
Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu	75%
Průměrný roční úhrn srážek	550 – 620 mm

Tabulka 5 – Klimatické poměry v povodí Říčanského potok

Vegetační pokryv v povodí

Povodí Říčanského potoka je velmi málo zalesněné, převažují zemědělsky využívané plochy. Největší zalesněná část povodí se nachází v horní části povodí, kde se nachází Říčanský les. V přílehlém okolí obce Světice je značný přírůstek lesních ploch, především lesů jehličnatých. Další zalesněnou oblastí v povodí je Uhříněveská obora. Uhříněveská obora se stala roku 1982 přírodní památkou. Plocha obory zaujímá 34,8 ha. Lesní porost tvoří smíšené stromy, převážně habrová doubrava a střemchová jasanina, habr obecný, dub letní a vtroušená lípa srdčitá. Obora je významná cennými starými duby, z nichž nejstarší dosahuje 350 let. V keřovém patře můžeme nalézt dřín jarní, svídu krvavou či lísku obecnou, typickým představitelem bylinného patra je sasanka hajní. Dalším zalesněným územím, kterým Říčanský potok protéká, je přírodní památka Rohožník. Rohožník se nachází u obce Dubeč a přírodní památkou byl vyhlášen v roce 1988. Rohožník je významný pro výskyt zbytků zachovalého

teplomilného společenstva, roste tu např. šmelek, šalvěj, srpek, ale i ovsík vyvýšený a mateřídouška panonská.

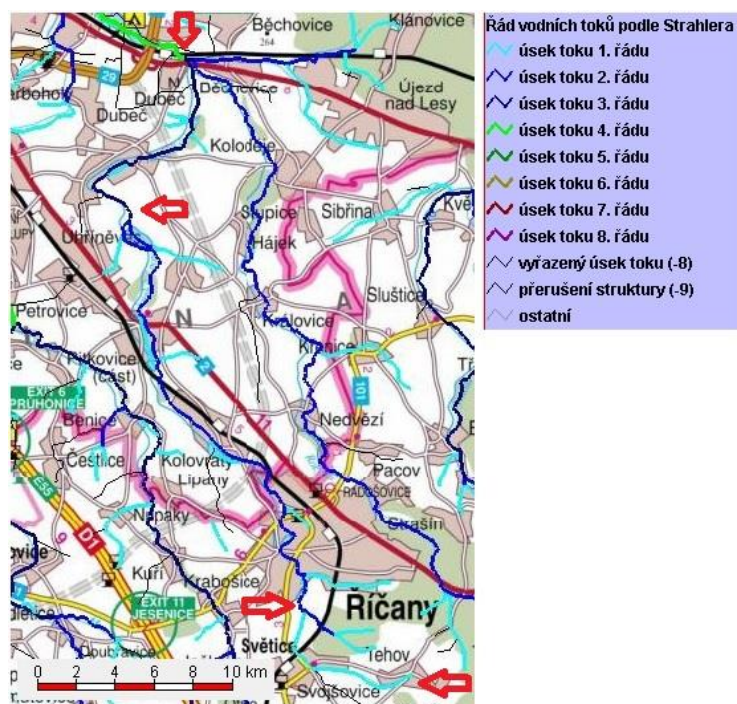
Říční síť v povodí

Řád vodního toku dle Strahlera

Podkladem pro určení řádu vodního toku byla internetová stránka heis.vuv.cz. Jednotlivé úseky a jejich řády jsou uvedeny v tabulce 6 a znázorněny na obrázku 8.

řád	úsek
1. řád	pramen – rybník Rozpakov
2. řád	Rozpakov – Podleský rybník
3. řád	Podleský rybník – uzávěrový profil

Tabulka 6 – Řády vodního toku dle Strahlera



Obrázek 8 – Řád vodních toků podle Strahlera (<http://heis.vuv.cz>)

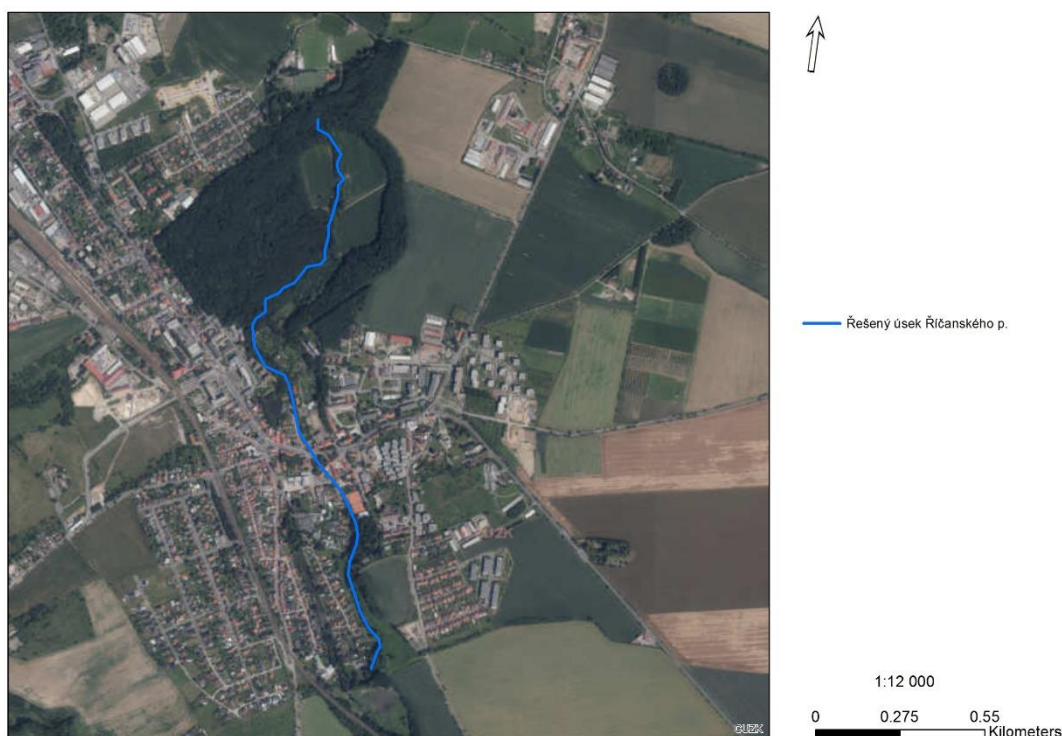
Číslo hydrologického pořadí vodního toku je 1-12-01-029. Na základě rovnice 6 uvedené v rešeršní části této práce byla vypočtena hustota říční sítě. Hustota říční sítě činí 1,29 k m/km².

Antropogenní činnost

Povodí Říčanského potoka je významně antropogenní činností. Převážná část území je tvořena zemědělsky využívanými plochami. Následkem malého zalesnění povodí je rychlejší odtokový proces. V současné době je snaha o přírůstky lesních ploch. Cílem lidské činnosti v území je vyšší estetická a ekologická hodnota. Revitalizace a protipovodňová opatření byly navrženy tak, aby byly blízké přírodě, zachovávaly ekologickou rovnováhu krajiny, respektovaly historickou trasu koryta a především zpomalily odtok a průběh povodní. Podél Říčanského potoka byly vybudovány parkové a travnaté plochy, i cyklostezky sloužící i pro rekreaci obyvatel.

1.9 Vymezení zájmového úseku

Vybraný úsek Říčanského potoka se nachází v městské části Praha – Uhřetěves. Řešený úsek toku se nachází na 7,81 až 10. říčním kilometru a protéká zastavěným územím a v části extravilánu Uhřetěveskou oborou. Celková délka řešeného úseku je 2,117 km. Zájmový úsek Říčanského potoka je zobrazen na obrázku 9.



Obrázek 9 – řešený úsek Říčanského potoka

1.10 Objekty ve vybraném úseku vodního toku

Panelový brod – 025B

Prvním objektem v řešené části Říčanského potoka je panelový brod. Tento objekt se nachází v říčním kilometru 8,053, kde Říčanský potok protéká mezi bloky orné půdy. Celková délka brodu je 44m a šířka 7,2 m. Objekt je zobrazen na fotografiích 1 a 2.



Fotografie 1, 2 – panelový brod na 8,053 ř. km (Autorka).

Betonový most – 026M

Dalším objektem v řešené části toku je betonový most umístěný v říčním kilometru 8,167. Celková délka objektu je 6 m, šířka 3,9 m. Objekt se nachází v místě, kde vodní tok protéká Uhříněveskou oborou ve značně zarostlém terénu. Výška světlého otvoru je cca 2m. Objekt je zobrazen na fotografiích 3 a 4.



Foto 3, 4 – betonový most na 8,167 ř. km (Autorka).

Betonový most – 027L

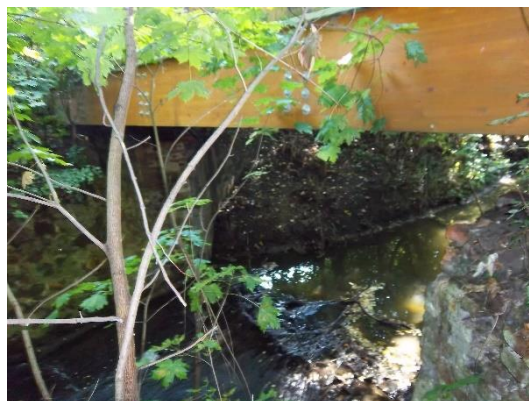
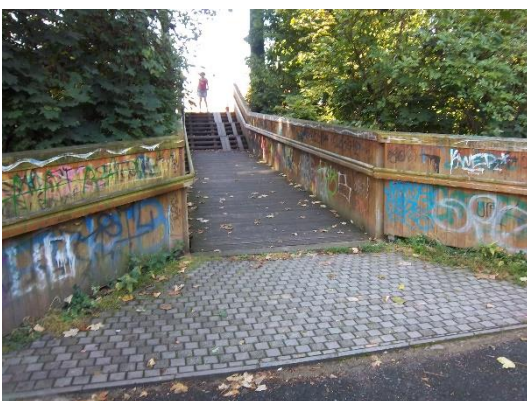
Objekt umístěný na říčním kilometru 8,608 se nachází v Uhříněveské oboře a slouží pro pěší přechod přes Říčanský potok, který má v tomto místě velmi nízký průtok. Celková délka betonového mostu je 7,7 m, šířka 1,3 m. Most je zobrazen na fotografii 5 a 6.



Fotografie 5, 6 – betonový most na 8,608 ř. km. (Autorka).

Lávka pro pěší – 028L

Tento objekt je spojnicí zahrádkářské kolonie a Nového náměstí v Uhříněvsi a nachází se na říčním kilometru 8,737. Celková délka lávky je 10,6 m, šířka 2,3 m. Lávka je zobrazena na fotografii 7 a 8.



Fotografie 7, 8 – lávka pro pěší na 8,737 ř. km. (Autorka).

Železný most – 029M

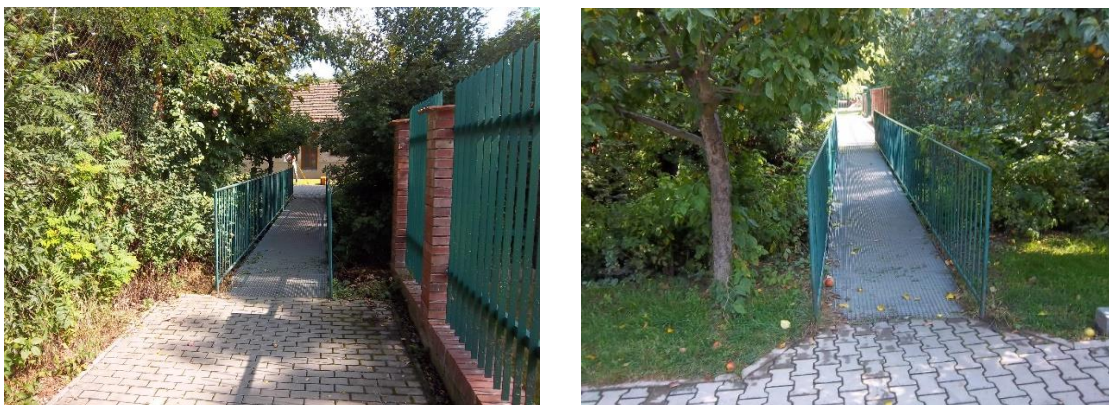
Dalším objektem na Říčanském potoce je železný most, jehož celková délka je 8,5 m a šířka 3,5 m. Most je umístěn na říčním kilometru 8,957. Most leží na hranici zastavěného území s Uhříněveskou oborou ve značně porostlém terénu. Objekt zobrazen na fotografii 9 a 10.



Fotografie 9, 10. – železný most 8,957 ř. km. (Autorka).

Lávka pro pěší – 030L

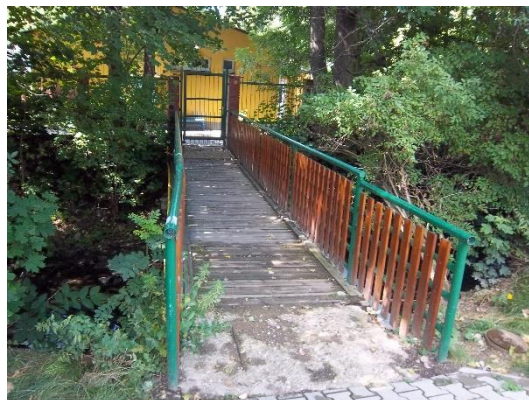
Tato železná lávka se nachází na říčním kilometru 9,001 a spojuje zastavěné území s MŠ Bří Jandusů. Celková délka lávky je 12,1 m, šířka 1,2 m. Břehy koryta jsou v tomto místě porostlé vrbami. Lávka je zobrazena na fotografii 11 a 12.



Fotografie 11, 12 – lávka pro pěší 9,001 ř. km. (Autorka).

Lávka pro pěší – 031L

Další lávka ve vybrané části toku se nachází v říčním kilometru 9,021. Celková délka lávky činí 9,1 m, šířka 1,4 m. Objekt je umístěný v zastavěné části Uhříněvsi. Břehy vodního toku jsou osázeny převážně stromovými, ale i keřovými porosty. Objekt je zobrazen na fotografii 13 a 14.



Fotografie 13, 14 – lávka pro pěší 9,021 ř. km. (Autorka).

Betonový most – 032M

Dalším objektem v zájmové lokalitě je betonový most umístěný na říčním kilometru 9,067. Celková délka objektu je 4,5 m, šířka 4,5 m. Objekt slouží jako vjezd na zahradu k rodinnému domu. Světlá výška mostního otvoru je cca 1,5 m. Objekt je zobrazen na fotografii 15 a 16.



Fotografie 15, 16 – betonový most 9,067 ř. km. (Autorka).

Betonový most – 033M

Betonový most v říčním kilometru 9,129 se nachází v zastavěném území nedaleko ZŠ Bří Jandusů. Celková délka objektu je 10,4 m, šířka 4,5 m. Výška mostního otvoru je 1,5 m. Břehy vodního toku jsou osázeny travnatým a keřovým porostem. Objekt je zobrazen na fotografii 17 a 18.



Fotografie 17, 18 – betonový most 9,129 ř. km. (Autorka).

Silniční most – 034M

Největším a nejvýznamnějším objektem v zájmovém úseku Říčanského potoka je silniční most umístěný na říčním kilometru 9,165. Celková délka mostu je 9,8 m, šířka 17,4 m. Přes tento objekt vede silnice I. třídy, hlavní silniční tah do Prahy a z Prahy, směrem do města Říčany. Levý břeh koryta je osázen keřovými porosty, zatímco pravý břeh travním porostem. Objekt je zobrazen na fotografii 19 a 20.



Fotografie 19, 20 – silniční most 9,165 ř. km. (Autorka).

Lávka pro pěší – 035L

Další lávka určená pro pěší se nachází na říčním kilometru 9,219. Objekt je umístěn poblíž v zastavěném území. Celková délka lávky je 7,3 m a šířka 1,5 m. V tomto místě jsou břehy porostlé travním porostem. Lávka je umístěna 1m nad vodní hladinou, průtok v tomto úseku je velmi malý. Objekt je zobrazen na fotografii 21 a 22.



Fotografie 21, 22 – lávka pro pěší 9,219 ř. km. (Autorka).

Betonový most – 036M

Betonový most na říčním kilometru 9,270 slouží k přístupu na zastavěný pozemek. Celková délka mostu je 7 m, šířka 2,8 m. Břehy koryta vodního toku jsou zatravněné, průtok v tomto místě je velmi malý. Betonový most je umístěn asi 80 cm nad vodní hladinou. Most je zobrazen na fotografii 23 a 24.



Fotografie 23, 24 – betonový most 9,270 ř. km. (Autorka).

Betonový most – 037M

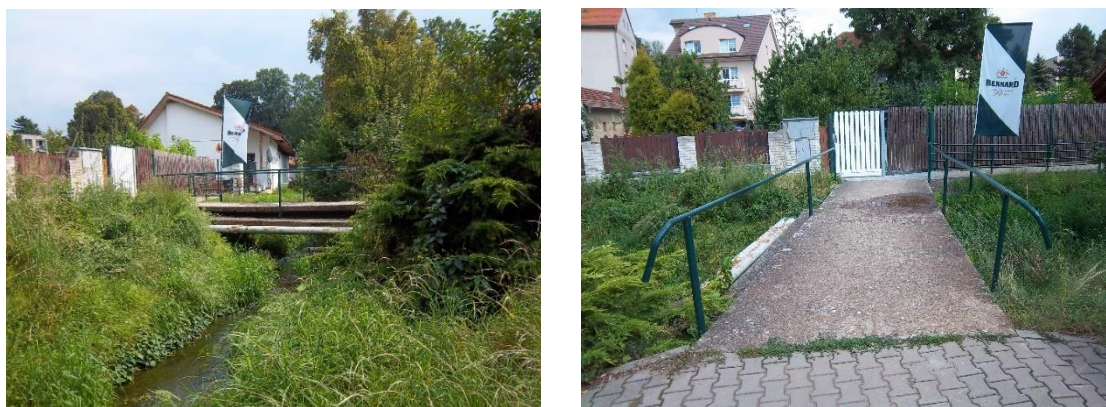
Na říčním kilometru 9,301 je umístěný další betonový most, který slouží k zajištění přístupu na pozemek. Celková délka objektu je 7,2 m, šířka 3,6 m. Břehovými porosty v tomto místě je trvalý trvaný porost a keřové patro. Objekt je zobrazen na fotografii 25 a 26.



Fotografie 25, 26 – betonový most 9,301 ř. km. (Autorka).

Lávka pro pěší – 038L

Předposledním objektem v zájmovém úseku vodního toku je lávka pro pěší v říčním kilometru 9,320. Objekt zajišťuje přístup na zastavěný pozemek. Celková délka lávky je 8,9 m, šířka 2,2 m. Lávka je umístěna 1,2 m nad hladinou vody. Břehy jsou osázeny travním a keřovým porostem. Objekt je zobrazen na fotografii 27 a 28.



Fotografie 27, 28 – lávka pro pěší 9,320 ř. km. (Autorka).

Betonový most – 039M

Posledním objektem v řešeném úseku toku je betonový most umístěný v říčním kilometru 9,566. Celková délka objektu je 5,8 m, šířka 2,2 m. Objekt se v Pivovarském parku a je spojen s vilovou čtvrtí u rybníka Nadýmač. Břehy jsou osázeny stromovým a keřovým porostem. Světlá výška mostního otvoru činí 1 m. Betonový most je zobrazen na fotografii 29 a 30.



Fotografie 29, 30 – betonový most 9,566 ř. km. (Autorka).

1.11 Problematika povodní ve vybraném úseku

V této kapitole jsou stručně charakterizovány nejničivější povodně v městské části Uhřetěves, kterými jsou povodně v letech 2002 a 2013. Nejproblémovější částí toku v zájmové lokalitě je úsek tekoucí zastavěným územím. V tomto místě dochází k vybřežení i při nízkých N-letých průtocích. V zájmové oblasti není žádná protipovodňová ochrana, avšak v současné době probíhá zpracování projektové dokumentace na komplexní protipovodňová opatření.

2002

Následkem vydatných dešťů se v srpnu roku 2002 vznikla jedna z největších povodní v historii České republiky. Dne 7. srpna přišel přívalový déšť a na území Uhřetěvesi spadlo během dvou hodin velké množství srážek. Prvním postiženou oblastí byly Říčany, kde došlo k vybřežení vody z Říčanského potoka a zaplavení přilehlého okolí. Intenzivní vytrvalý déšť zapříčinil prudce stoupající hladinu vody v rybnících i v Říčanském potoce. Z důvodu stále stoupající hladiny vody byla svolána povodňová komise města Říčan, bohužel však pozdě. Mezitím došlo k vybřežení vody z rybníku

Nadýmač v Uhříněvsi a následným zaplavením celého blízkého okolí, především mlýnskou zahradu, Pivovarský park, nově vybudované tenisové kurty, ale i fotbalové hřiště pod Uhříněveskou oborou, prostory ZŠ Vachkovy. Voda s sebou vzala i několik mostků na toku. Teprve po této události začalo opatření proti velké vodě. Aby se zamezilo přetékání rybníku Nadýmač, byla voda vedlejšího rybníku, Vodice, odváděna převážně původním korytem. Domy v zastavěném území pod hrází chránila hradba pytlů s pískem. Hadina kulminovala kolem 19. hodiny. V úterý 13. srpna, několik dní po první povodňové vlně, způsobily nové přívalové deště další nebezpečné stoupání vodní hladiny. Voda z rybníku Nadýmač byla svedena ulicí do Říčanského potoka. Nejkritičtější chvíle nastala kolem 11.30 hod, kdy došlo k přelití vody přes hráz rybníku Vodice, naštěstí již nedošlo z důvodu kulminačního průtoku Říčanského potoka k protržení hráze.

2013

Povodeň v roce 2013 vzniklá představovala více než padesátiletou vodu. Následkem vytrvalých dešťů došlo k přelití vody z rybníku Nadýmač a vyběžení Říčanského potoka z koryta. Voda zaplavila opět celé přilehlé okolí, domy byly zaplaveny i spodní vodou prosakující do sklepů. Po přelití břehu Nadýmače byl svolán krizový štáb Uhříněvsi a Integrovaný záchranný systém. V rizikových místech byly rozmístěny pytle s pískem. Z důvodu snížení hladiny vody v Nadýmači byl prohrnut břeh rybníka a voda byla svedena ulicí Za Pivovarem zpět do Říčanského potoka. Následkem průsaků a hrozby protržení hráze Mlýnského rybníka v Říčanech došlo k evakuaci nejohroženějších zastavěných částí Uhříněvsi. Celkem bylo evakuováno 126 osob. Po kulminaci hladiny Říčanského potoka byly zahájeny sanační práce, čerpání vody ze zaplavených domů, zmapování povodňových škod a následná revitalizace v podobě čištění koryta.

1.12 Tvorba DMT

Z důvodu formátu *.xyz v ASCII kódování podkladových dat DMR 5G bylo nejprve nutné převést data na bodovou vrstvu v prostředí ArcGIS, pomocí funkce *ASCII 3D to feature class* z extenze 3D Analyst. V dalším kroku byl pomocí funkce *Create TIN* z výsledné bodové vrstvy vytvořen digitální model terénu ve formátu TIN. Výsledný nezahluobený TIN je zobrazen na obrázku 10.



Obrázek 10 – nezahluobený TIN

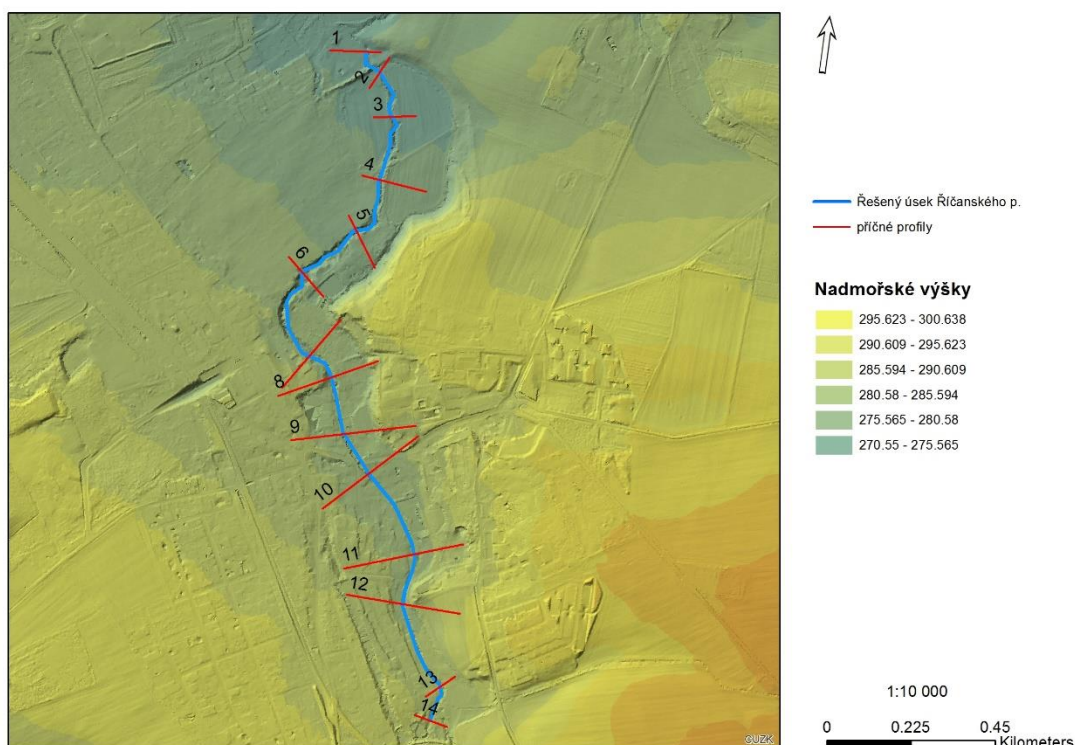
1.13 Zahloubení koryta pomocí nástroje CroSolver for ArcGIS

Do nástroje CroSolver vstupují dvě hlavní vrstvy, a to osa toku a digitální model reliéfu v textovém souboru. Osa Říčanského potoka byla zvektorizovaná proti směru proudění vody. Digitální model reliéfu byl převeden z formátu poskytnut *.xyz do formátu *.txt. První částí výpočtu je automatická tvorba profilů, do které vstupuje vrstva osy vodního toku a volí se dva parametry, vzdálenost příčných profilů po ose toku a průměrná šířka toku. Pro řešený úsek Říčanského potoka byla zvolena vzdálenost profilů 30m a šířka toku 3,5 m. Výsledkem tohoto kroku je rozmístění

profilů ve formátu *.shp a *.txt. Dalším krokem je převedení 2D linií na 3D linie, kam vstupuje výsledný soubor z předchozí části a digitální model terénu v textovém formátu. Vzhledem k šířce vodního toku byl poloměr hledání nejnižšího bodu nastaven na 1 m. Vytvoření podkladů pro zahlobení koryta nebylo možné dokončit, jelikož se vzhledem k nízkému průtoku a malé šířce vodního toku nepodařilo vytvořit vrstvu 3D profilů, která vstupuje do třetí fáze výpočtu. Z tohoto důvodu bylo zahlabování koryta v tomto nástroji ukončeno a tvorba hydrodynamického modelu pokračovala s nezahlobeným korytem.

1.14 Tvorba příčných profilů v prostředí ArcGIS

Na základě nově vytvořené liniové vrstvy s názvem Příčné profily byly pomocí nástroje *Editor* vykresleny příčné profily. Profily byly vykresleny z levého břehu na pravý a od začátku staničení řešeného úseku. Celkový počet profilů je 14. Profily jsou zobrazeny na obrázku 11.



Obrázek 11 – příčné profily v zájmovém úseku Říčanského potoka

Dalším krokem byla interpolace příčných profilů přes funkci *Interpolate Shape*. Do této funkce vstupuje vrstva modelu terénu (TIN) a vrstva s příčnými řezy. Parametr *Sampling distance* byl zvolen 10. Každý profil nově vytvořené interpolované vrstvy byl exportován do textového souboru.

1.15 Geometrie toku

Poslední částí před tvorbou modelu v prostředí HEC-RAS bylo zjištění ostatních geometrických hodnot vodního toku, kterými jsou délka osy toku (Channel), levého (LOB) a pravého (ROB) břehu mezi jednotlivými profily a délka staničení. V programu ArcGIS byla vytvořena nová vrstva s názvem Body a pomocí nástroje *Editor* byly vykresleny na každém profilu tři body – levá břehová linie, osa toku a pravá břehová linie. Mezi těmito body byly následně nástrojem *Measure* změřeny vzdálenosti a vepsány do vytvořené tabulky v Excelu. Výsledné geometrické hodnoty jsou v tabulce 7.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
LOB	0.00	78.13	130.97	176.95	169.15	187.22	168.58
Channel	0.00	80.15	134.49	187.39	168.51	188.54	264.96
ROB	0.00	83.95	137.91	186.41	172.89	189.25	159.45
staničení	0.00	80.15	214.64	402.03	570.54	759.08	1024.04
	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
LOB	90.45	155.02	120.02	251.01	145.61	235.55	100.57
Channel	87.45	159.02	119.87	247.28	140.85	240.98	97.56
ROB	84.32	165.92	117.55	243.61	151.67	241.77	95.87
staničení	1111.49	1270.51	1390.38	1637.66	1778.51	2019.49	2117.05

Tabulka 7 - Geometrické hodnoty levého břehu, osy toku, pravého břehu a staničení

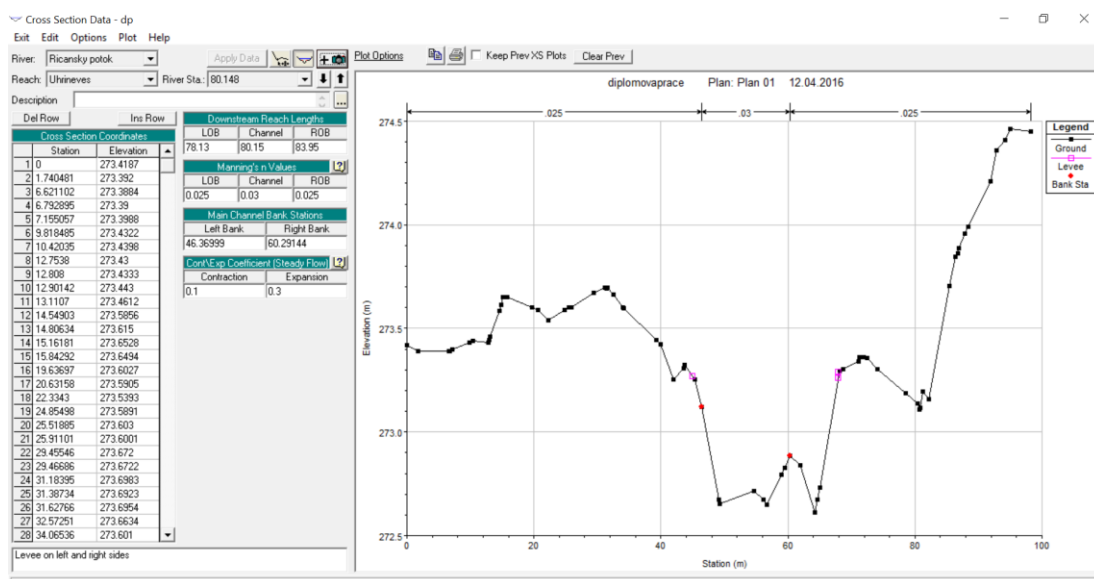
1.16 Tvorba hydrodynamického modelu v softwaru HEC-RAS

Prvním krokem bylo založení nového projektu v prostředí HEC-RAS a nastavení metrických jednotek.

Do vytvořeného projektu byla importována podkladová mapa řešeného úseku Říčanského potoka. Pomocí funkce *River Reach* byla ve směru toku proudu vykreslena osa koryta a pojmenována - RIVER = Ricansky potok, REACH – Uhrineves.

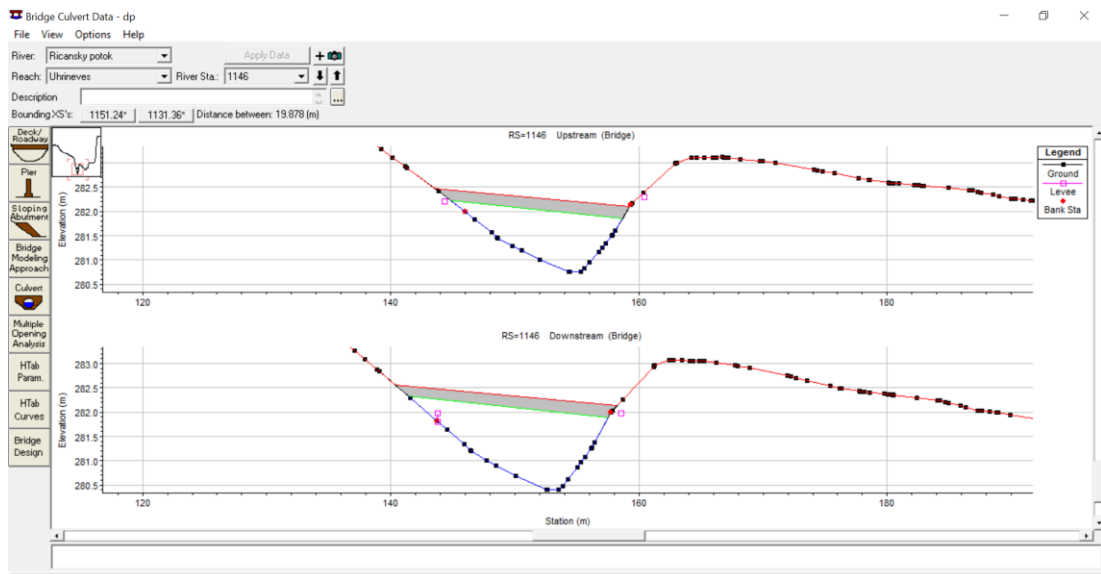
Na základě vyexportovaných interpolovaných příčných řezů z předchozího kroku byly zadávána pomocí nástroje *Cross Section* geometrie jednotlivých profilů.

V textových souborech jednotlivých řezů se nacházejí interpolované podrobné body, které mají specifickou nadmořskou výšku a vypočítanou vzdálenost bodu od osy vodního toku. Poté byla k jednotlivým profilům definována drsnost Manningovým součinitelem. Na základě opevnění koryta a břehů byly zvoleny tyto hodnoty drsnosti: koryto – 0,03 a břehy – 0, 025. Tyto hodnoty byly z důvodu stejného opevnění po celé délce řešeného úseku stejné. Hodnoty LOB, Channel a ROB byly zkopírovány z tabulky geometrických hodnot toku. Vzorový příčný profil je zobrazen na obrázku 12.



Obrázek 12 – zadávání parametrů příčného profilu v Cross Section

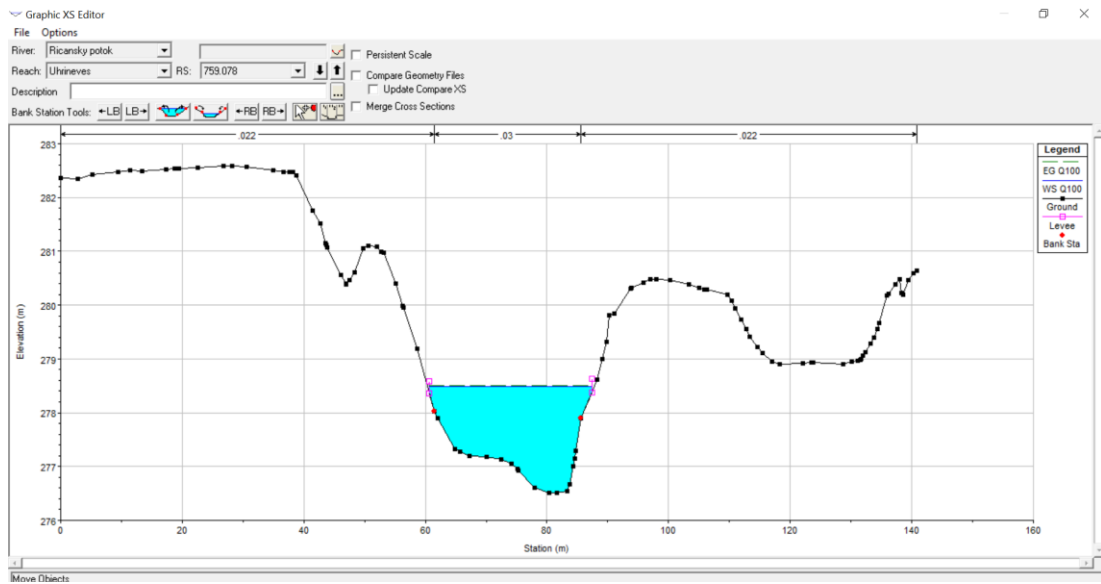
Další částí po vložení jednotlivých profilů bylo zadání objektů umístěných v zájmovém úseku Říčanského potoka. Celkový počet objektů v řešeném úseku je 15. Objekty byly zadávány pomocí funkce *Bridge/Culvert data*. Po určení staničení byl objekt automaticky přiřazen na geometrii toku. Pomocí funkce *Deck/Roadway* bylo vloženo několik parametrů, mezi které patří vzdálenost od nejbližšího profilu nad objektem, šířka objektu a součinitel přepadu, jehož standardní hodnota byla ponechána. Staničení a nadmořské výšky mostní desky a stěn mostu u jednotlivých objektů byly vkládány z podkladů poskytnutých Povodím Vltavy. Vzorový objekt je zobrazen na obrázku 13.



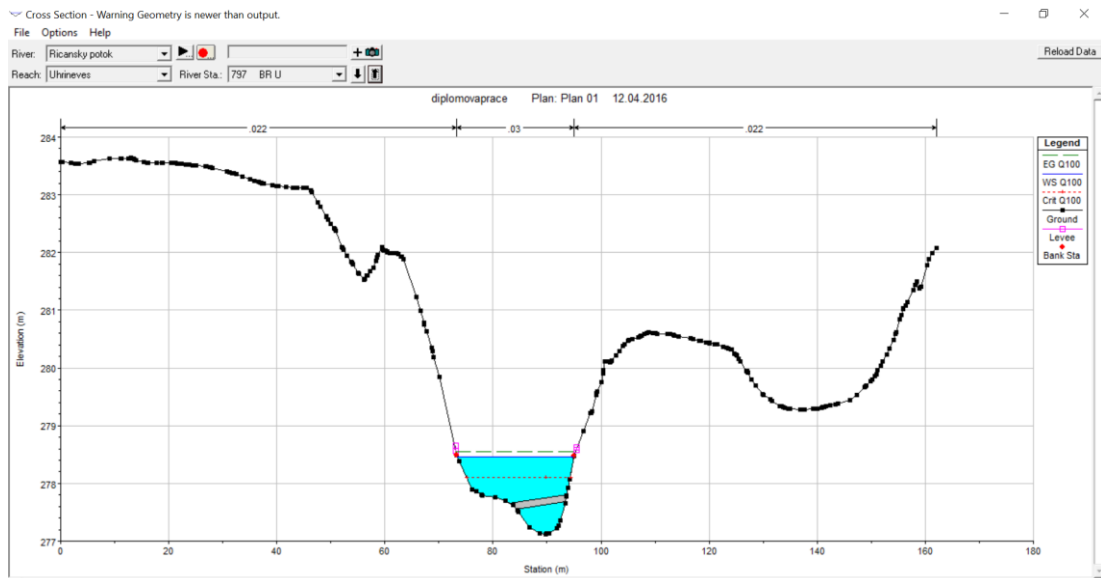
Obrázek 13 – Vzorový objekt – lávka pro pěší

Pro tvorbu modelu bylo nutné zadat okrajové podmínky. Model byl simulován pro ustálené nerovnoměrné proudění. Podmínky byly zadány pomocí funkce *Steady flow data*. Na základě hodnot N-letých průtoků pro dobu opakování 5, 20 a 100 let byly vytvořeny horní okrajové podmínky ustáleného nerovnoměrného proudění. Jednotlivé N-leté průtoky v řešeném úseku vodního toku jsou stejné. Dolní okrajovou podmínkou byly nastaveny kritické hloubky.

Spustění simulace bylo provedeno funkcí *Perform a steady flow simulation*. Po prvním spuštění byly zjištěny chyby v geometrii koryta, především nedostatečná kapacita příčných profilů. Tyto nedostatky byly odstraněny rozšířením příčných profilů v prostředí ArcGIS a následně nové interpolace, vyexportování podrobných bodů a poté vložení nových bodů k danému profilu nástrojem *Cross Section*. Poté byla simulace znovu spuštěna. Na obrázku 14 je zobrazen příčný profil ve staničení 759.078 m simulovaný na stoletou vodu. Na obrázku 15 je zobrazen příčný profil s vykresleným objektem, který je zatopen stoletým průtokem. Tímto objektem je lávka pro pěší na říčním kilometru 8,608.



Obrázek 14 – Příčný profil simulovaný na N-letý průtok Q_{100}

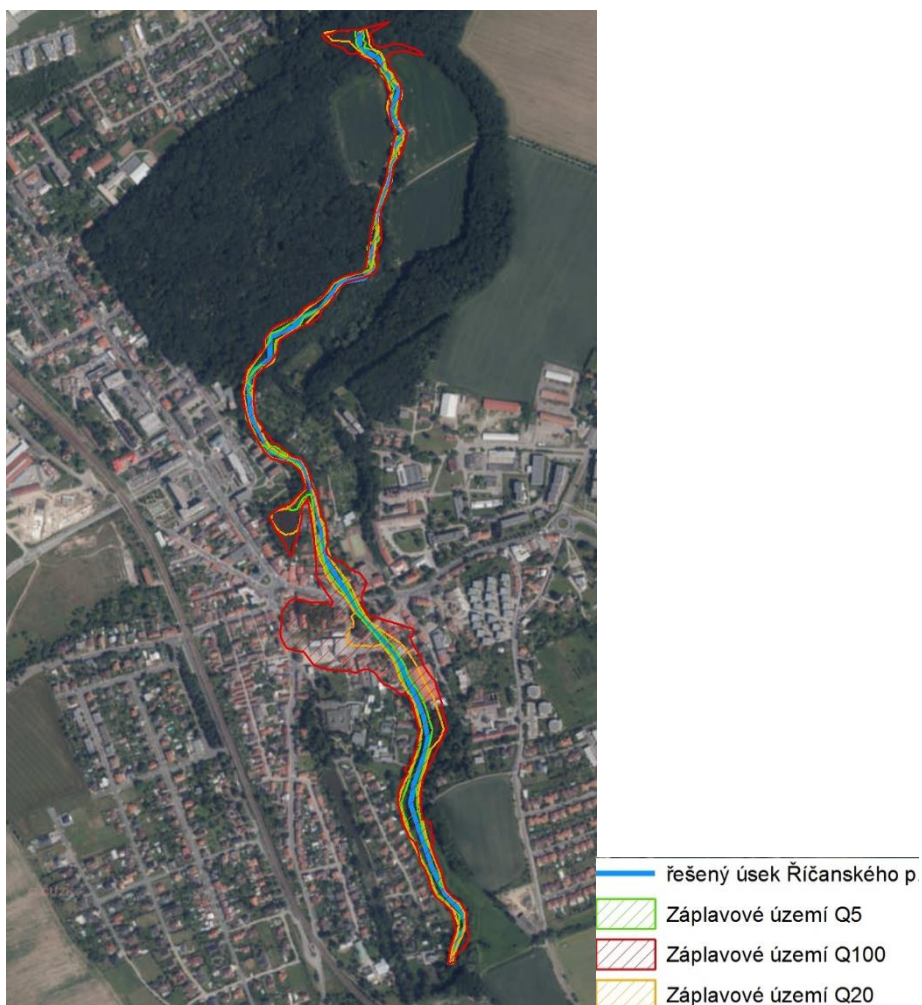


Obrázek 15 – Příčný profil se zatopeným objektem simulovaný na N-letý průtok Q_{100}

Posledním krokem bylo vyexportování záplavových polygonů jednotlivých průtoků pomocí nástroje *Export GIS data*. Vytvořené soubory byly v programu Excel upraveny a exportovány do textových souborů.

1.17 Určení záplavových čar a záplavových území

V prostředí ArcGIS byly vyhledány textové soubory jednotlivých N-letých průtoků a následně převedeny na shapefile vrstvy, ze kterých pak byla vykreslena záplavová území pro všechny průtoky. Výsledné záplavové území je zobrazeno na obrázku 16.



Obrázek 16 – Výsledné záplavové území

5. Výsledky

Při simulacích v prostředí HEC-RAS byly určeny záplavové čáry N-letých průtoků pro dobu opakování 5, 20 a 100 let vybrané části vodního toku Říčanský potok. Řešený úsek toku se nachází mezi 7.811 a 10. říčním kilometrem. Pro vykreslení záplavových území byl použit software ArcGIS.

Na základě záplavových území bylo vyhodnocena místa, kde při větších průtocích dojde ke vzduťí vodní hladiny a následnému vybřežení toku. Nejrizikovější úsek vybrané části Říčanského potoka se nachází na 9,281 až 9,481. říčním kilometru. V tomto úseku dochází již při N-letém průtoku Q_{20} k velkému rozlivu do přilehlého zastavěného území a může tak dojít k ohrožení života obyvatel. Rizikový úsek je zobrazen na obrázku 17.



Obrázek 17 – Záplavové území průtoku Q_{100} v zastavěném území

K dalšímu většímu zaplavení dochází v úseku v 9,536 až 9,642. říčním kilometru. K vybřežení vody z koryta vodního toku zde dochází již při N-letém průtoku Q_5 . Následkem malého sklonu dna dochází ke vzduťí vodní hladiny a následným rozlitím vody mimo koryto toku. V tomto úseku však voda přímo neprotéká zastavěnou částí města a dojde tak k zaplavení zatravněného území vedle toku, což je z hlediska ohrožení obyvatel přijatelné. Při průtoku Q_{100} dojde k zatopení sklepů nejbližších budov podzemními vodami. Úsek je zobrazen na obrázku 18.



Obrázek 18 – Záplavové území průtoku Q_{100}

Na začátku řešeného úseku v 7,811 říčním kilometru je tzv. inundační území, které je určeno pro zaplavení vodou vybřeženou z koryta vodního toku. Úsek je zobrazen na obrázku 19.



Obrázek 19 – Záplavové území 100letého průtoku

Hydrotechnickým posouzením vodního toku Říčanský potok se zjistilo, že vodní tok má nedostatečnou kapacitu koryta. Téměř každý větší průtok způsobí vybřežení vody z koryta. Největší nebezpečí hrozí v zastavěném území, kde dochází k největšímu rozlivu. Při stoletých průtocích dojde následkem vody vybřežené z koryta k zaplavení celého okolí, především Pivovarského parku, nových rodinných domů v lokalitě a tenisových kurtů.

Pomocí simulace modelu v prostředí HEC-RAS bylo vyhodnoceno hydrotechnické posouzení objektů. Na základě výsledné výšky hladiny N-letého průtoku Q_{100} bylo vyhodnocena kapacita objektů v řešeném úseku toku. Výsledné vyhodnocení je uvedeno v tabulce 8.

objekt	staničení (km)	posouzení
betonový most	8,167	nevyhovuje
betonový most	8,608	nevyhovuje
lávka pro pěší	8,737	vyhovuje
železný most	8,957	vyhovuje
lávka pro pěší	9,001	nevyhovuje
lávka pro pěší	9,021	nevyhovuje
betonový most	9,067	nevyhovuje
betonový most	9,129	vyhovuje
silniční most	9,165	vyhovuje
lávka pro pěší	9,219	nevyhovuje
betonový most	9,270	nevyhovuje
betonový most	9,301	nevyhovuje
lávka pro pěší	9,320	nevyhovuje
betonový most	9,566	nevyhovuje

Tabulka 8 - Hydrotechnické posouzení objektů

Na základě výsledků simulace modelu v prostředí HEC-RAS bylo zjištěno, že pouze 4 objekty jsou schopny přenést N-letý průtok Q_{100} . Mezi tyto objekty patří lávka pro pěší na říčním kilometru 8,737, dále železný most na říčním kilometru 8,957, betonový most na říčním kilometru 9,129 a silniční most na 9,165. říčním kilometru. Ostatní objekty nesplňují požadavky a nejsou kapacitně dostačující.

6. Diskuze a závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo určení záplavových čar a vyhodnocení hydrotechnického posouzení vodního toku Říčanský potok. Posouzení bylo provedeno na základě nezahlobeného modelu terénu a specifikovaných N-letých průtoků získaných z Českého hydrometeorologického ústavu v Praze. Jednalo se o průtoky s dobou opakování 5, 20 a 100 let. Výsledné vyhodnocení znázorňuje, že vodní tok má v současné době nedostatečnou kapacitu koryta a nedokáže bezpečně převést větší průtoky. Při 5letém průtoku dochází k vybřežení vody z koryta toku v úseku 9,281 až 9,481. říčním kilometru a dále v úseku 9,536 až 9,642. říčním kilometru. V těchto místech dochází ke vzduťi hladiny a následnému zaplavení okolí. Při 20letém průtoku dochází k vybřežení na začátku řešeného úseku, 7,811 říčním kilometru, kde se nachází inundační území určené k rozlivu. Dalším kritickým místem je opět úsek v 9,281 až 9,481. říčním kilometru a dále v úseku 9,536 až 9,642. říčním kilometru. V úseku 9,281 až 9,481. říčním kilometru dochází k vylití vody z vodního toku a k následnému povrchovému odtoku po silnici. Při 100letých průtocích není kapacita koryta dostačující, voda zaplavuje okolní území, zastavěná území a povrchově odtéká obcí. Na základě simulace v prostředí HEC-RAS bylo provedeno hydrotechnické posouzení mostních konstrukcí ve vybrané části toku. Vyhodnocení bylo posuzováno 100letým průtokem. Pouze čtyři objekty v řešené části toku splňují požadavky a jsou schopny přenést 100letý průtok. Vyhovujícími objekty je lávka pro pěší na říčním kilometru 8,737, dále železný most na říčním kilometru 8,957, betonový most na říčním kilometru 9,129 a silniční most na 9,165. říčním kilometru. Kapacita ostatních objektů je nedostatečná. Na základě výsledků posouzení byly určeny záplavové čáry pro zadané průtoky.

Hlavním přínosem této diplomové práce je celkový náhled na současný stav vodního toku Říčanský potok v městské části Uhřetěves. Kapacita vodního toku v tomto území je nedostatečná. Řešením tohoto problému by mohla být revitalizace toku a vybudování suchého poldru, který by byl schopen pojmout a zadržet velké množství vody. Tato práce by mohla být podkladem pro dodatečnou úpravu koryta toku Říčanský potok.

7. Seznam literatury a použitých zdrojů

BENN J., DYHOUSE G., HATCHETT J., 2003: *Floodplain modeling using HEC-RAS*. Waterbury, CT: Haestad Press.

BĚLSKÝ J., 2000: *Hrazení bystřin*. Studie MZe ČR.

BRÁZDIL V., 2011: *Aplikace modelů v oblasti životního prostředí*. Cenia, Praha.

CroSolver, 2014: *CroSolver for ArcGIS, Nástroj Crosolver pro práci v prostředí Arcgis*, Ver 1-0 – MANUAL. Online: <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>, cit 9. 3. 2015.

ČAMROVÁ L., JÍLKOVÁ J., 2006: *Povodňové škody a nástroje k jejich snížení*. 1. vyd. Praha.

ČÚZK, Geoportál ČÚZK - *Výškopisná data území České republiky*. Český úřad zeměměřický a katastrální. Online: http://geoportal.cuzk.cz/%28S%280llkkepady4fgbgrn25y1yr%29%29/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopis&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30, cit. 5. 4. 2015.

ČÚZK, 2015a: *Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)*. Online: http://geoportal.cuzk.cz/%28S%28wazapidbv5n1zhwhpptsahmr%29%29/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=301, cit. 5. 4. 2016.

ČÚZK, 2015b: *Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)*. Online: <http://geoportal.cuzk.cz/%28S%28wnbabejxgbwnjlo3usatgnrr%29%29/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302>, cit. 5. 4. 2016.

ČÚZK, 2015c: *Digitální model reliéfu České republiky 1. generace (DMP 1G)*. Online: http://geoportal.cuzk.cz/%28S%28iyar5evqwrsofa2jhuzr0pqx%29%29/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMP1G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=303, cit. 5. 4. 2016.

ČÍŽEK P., 1957: *Hydrologie stokových sítí*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

ČSN 73 6201, 2008: Projektování mostních objektů. Český normalizační institut, Praha, 76 s.

DRBAL K., ŠTĚPÁNKOVÁ P., LEVITUS V., ŘÍHA J., DRÁB A., SATRAPA L., HORSKÝ M., VALENTA P., VALENTOVÁ J., FRIEDMANNOVÁ L., 2012: *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. Ministerstvo životního prostředí. Online: http://cde.chmi.cz/dokumentace/Methodika_mapovani_2012-03-13.pdf, cit. 20. 3. 2016.

DUB O., NĚMEC J a kol., 1969: *Hydrologie*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

FILIN S., 2004: *Surface classification from airborne laser scanning data*. Computers & Geosciences 30: 1033–1041.

GEOPORTAL, 2014: Mapy-prohlížení. Online: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map..>, cit: 12. 4. 2016.

HEC-RAS, 2015: Online: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>., cit. 4. 4. 2016

HILLIER A., 2011: *Manual for working with ArcGIS 10*. Online: http://works.bepress.com/amy_hillier/24/.

HRÁDEK F., KUŘÍK P., 2001: *Maximální odtok z povodí*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

HRÁDEK F., KUŘÍK P., 2008: *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

HUBAČÍKOVÁ V., 2002: *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická universita v Brně, Brno.

JANEČEK M., 2008: *Základy erodologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

JENÍČEK M., 2007: *Modelování srážko-odtokových procesů na malých a středně velkých povodích*. Přírodovědecká fakulta University Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.

KEMEL M., KOLÁŘ V., 1980: *Hydrologie*. České vysoké učení technické v Praze, Praha.

KEMEL M., 1994: *Hydrologie*. České vysoké učení technické v Praze, Praha.

KEMEL M., 1996: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha.

KOS Z., ŘÍHA J., 1996: *Vodní hospodářství*. Vydavatelství ČVUT, Praha.

KOVÁŘ P., 1990: *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*. Vysoká škola zemědělská, Praha.

KOVÁŘ P., KŘOVÁK F., KADLEC V., 2014: *Technická protierozní opatření, hrazení bystřin a strží*. Vysoká škola zemědělská, Praha.

KUTÍLEK M., KURÁŽ V., CÍSLEROVÁ M., 2004: *Hydrogeologie 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha.

NĚMEC J., 1965: *Hydrologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

NOVÁK L., 1998: *Hrazení bystřin*. FL, Česká zemědělská univerzita v Praze.

NOVÁK P., ROUB R., HEJDUK T., 2011: *Využití hydrologického měření při tvorbě hydrodynamických modelů z dat leteckého laserového skenování*. Vodní hospodářství 8/2011, s. 297-303.

NOVÁK P., ROUB R., HEJDUK T., VYBÍRAL T., HÁNOVÁ K., URBAN F., 2014: *Comparison of the longitudinal and lateral profile of watercourses using sonar – based methods (ADCP) and hydrological analogy*. AUC Geographica, 49/ 2: 111–119. online: <http://dx.doi.org/10.14712/23361980.2014.20>.

ORŠULÁK T., PACINA J., 2012: *3D modelování a virtuální realita*. Ing. Tomáš Mikulenka, Ústí nad Labem. online: <http://cevramok.ujep.cz/files/opora-3.pdf>, cit. 20. 4. 2016.

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2007: *Hydrologie a hydrogeologie*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.

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

ŠILAR J., 1996: *Hydrologie v životním prostředí*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

TAMASSY R., KEMEL M., KOMÁREK R., 1965: *Klimatologie a hydrologie*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

TOURKOVÁ J., 2004: *Hydrogeologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha.

UHLÍŘOVÁ K., ZBOŘIL A., 2009: Možnosti využití Laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. *Vodní hospodářství* 59, 12: 11 - 15. Online: http://www.dibavod.cz/data/lls_clanek_vtei.pdf?PHPSESSID=vcbxqcdbl, cit: 8. 4. 2016.

VÚV, 2014: *Charakteristika toků a povodí ČR*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Oddělení geografických informačních systémů a kartografie. Praha. online: <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>, cit 9. 4. 2015)

Vyhláška MŽP 236/2002 ze dne 24. května 2002 o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.

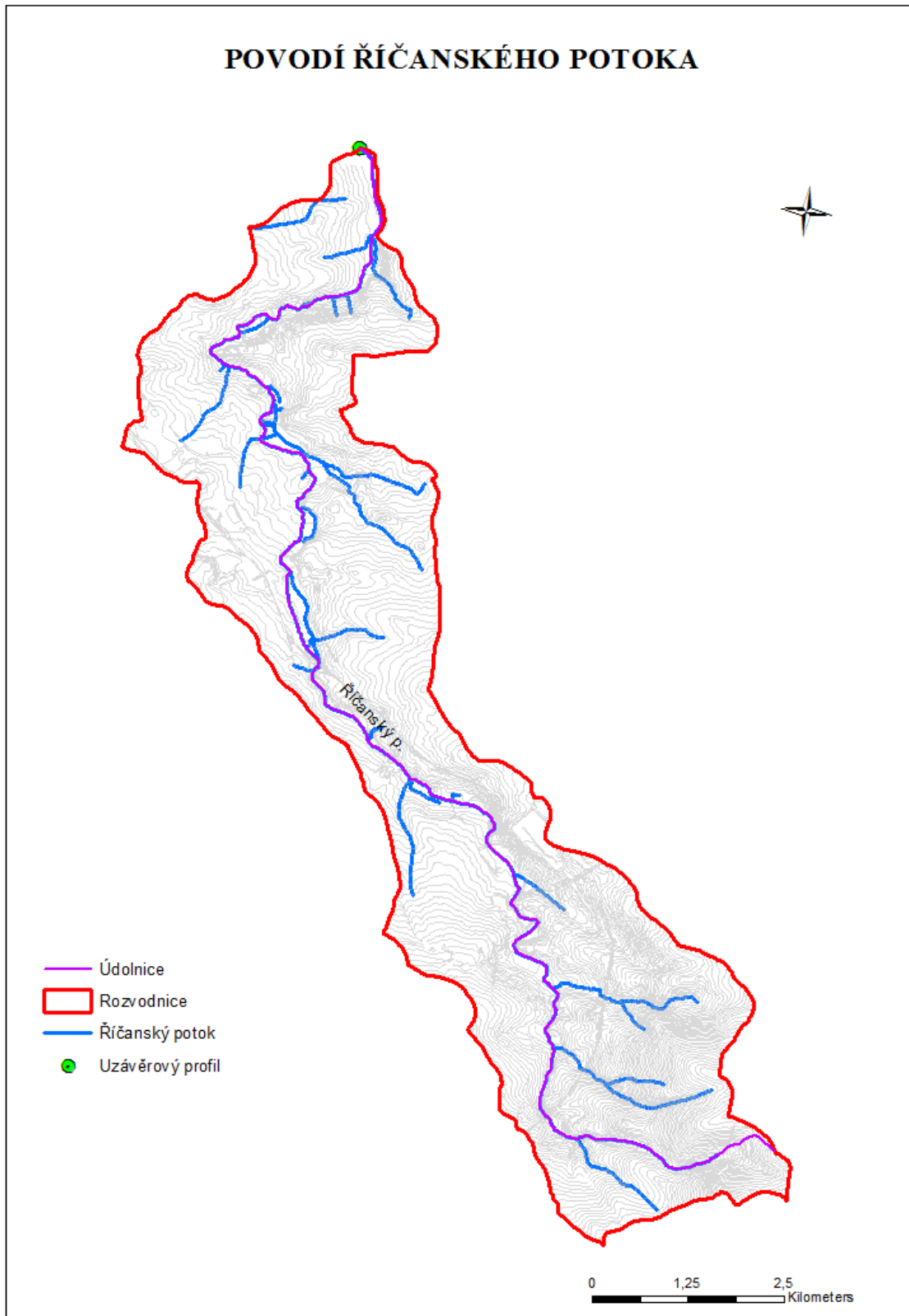
ZÁKON 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění zákona č. 150/2011 Sb.

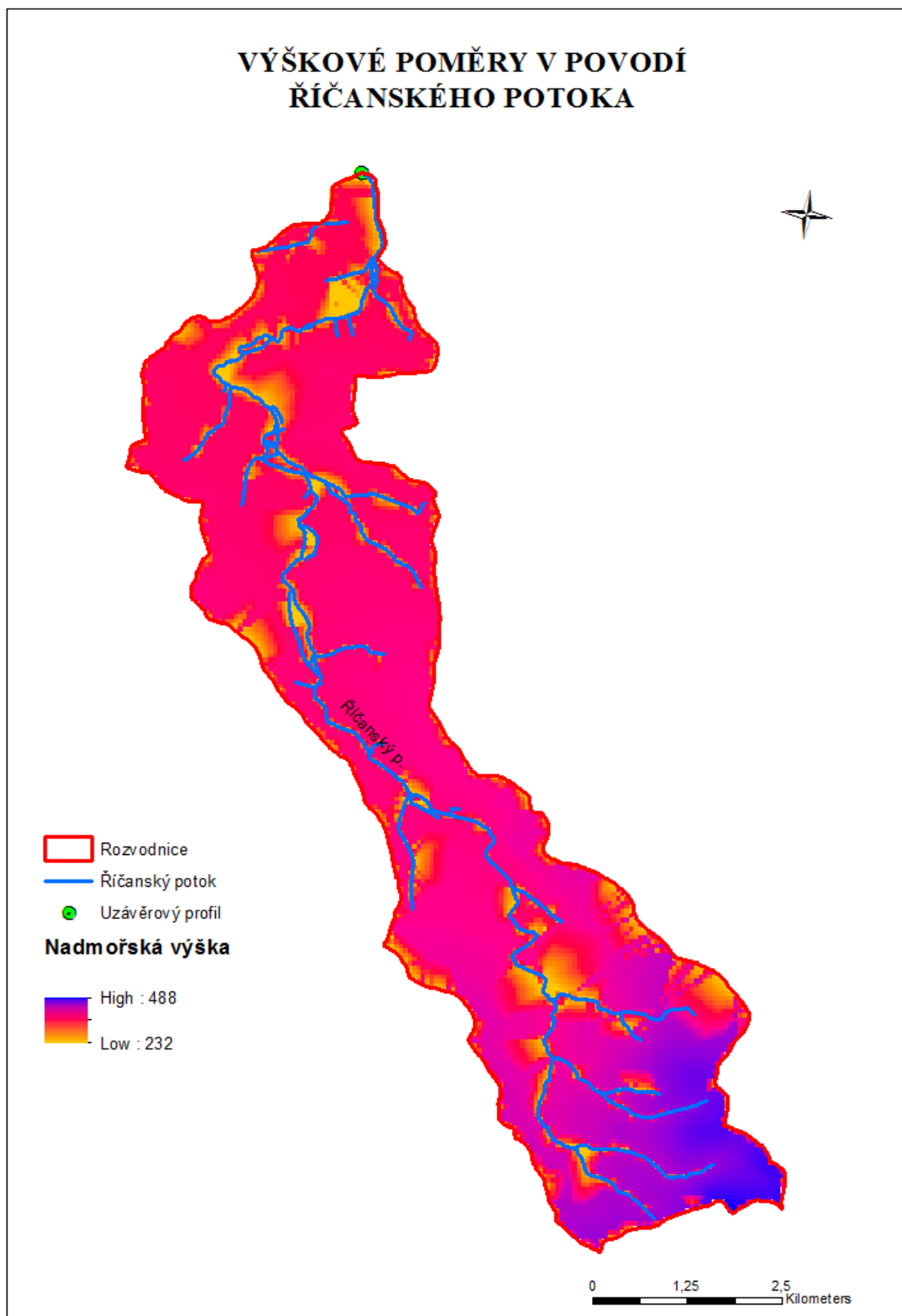
ZUNA j., 1984: *Návrh příčného řezu koryta při hrazení bystřin*. Vodní hospodářství, Praha.

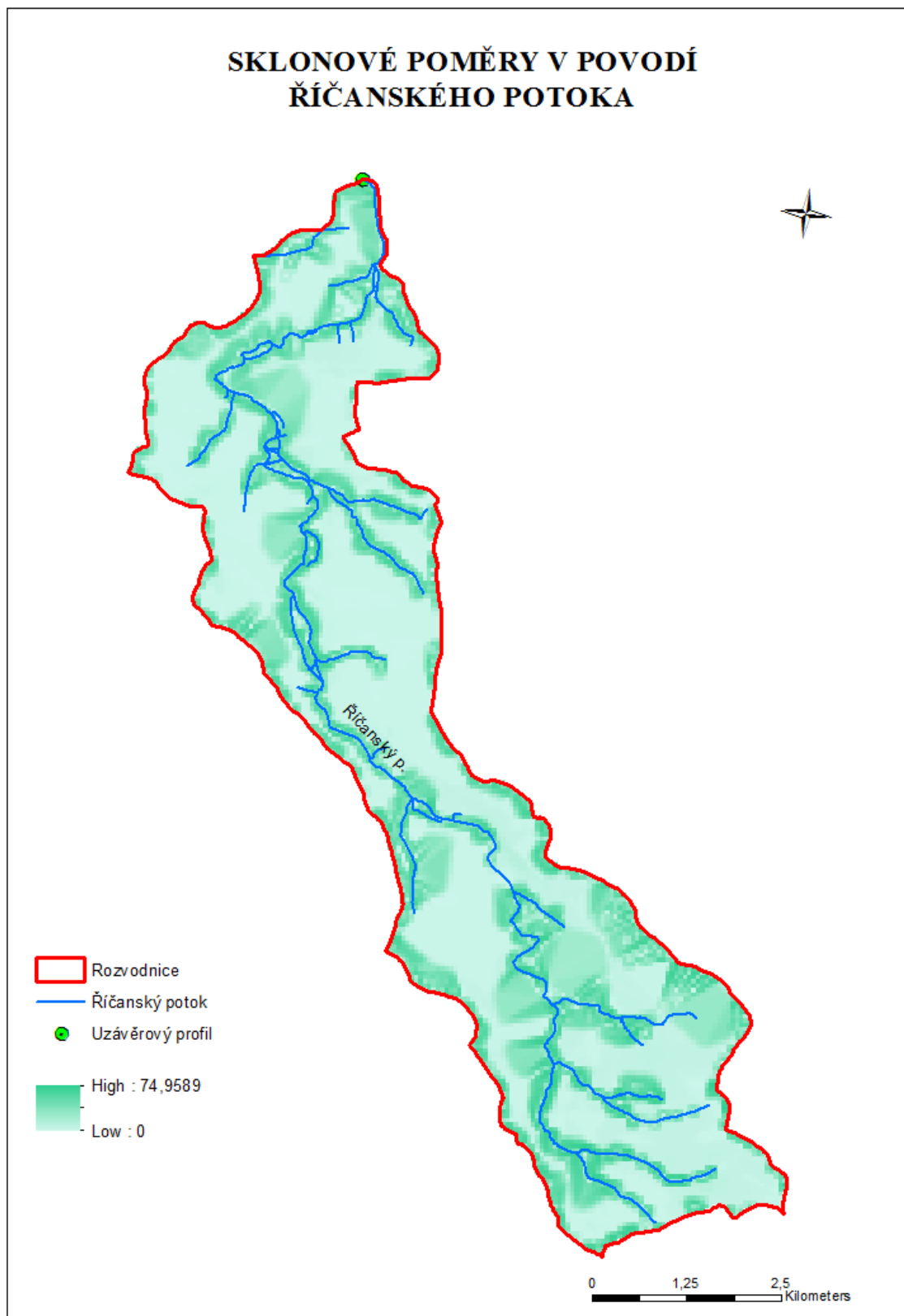
ZUNA J., 2004: *Hydrotechnické posouzení objektů hrazení bystřin*. Praha.

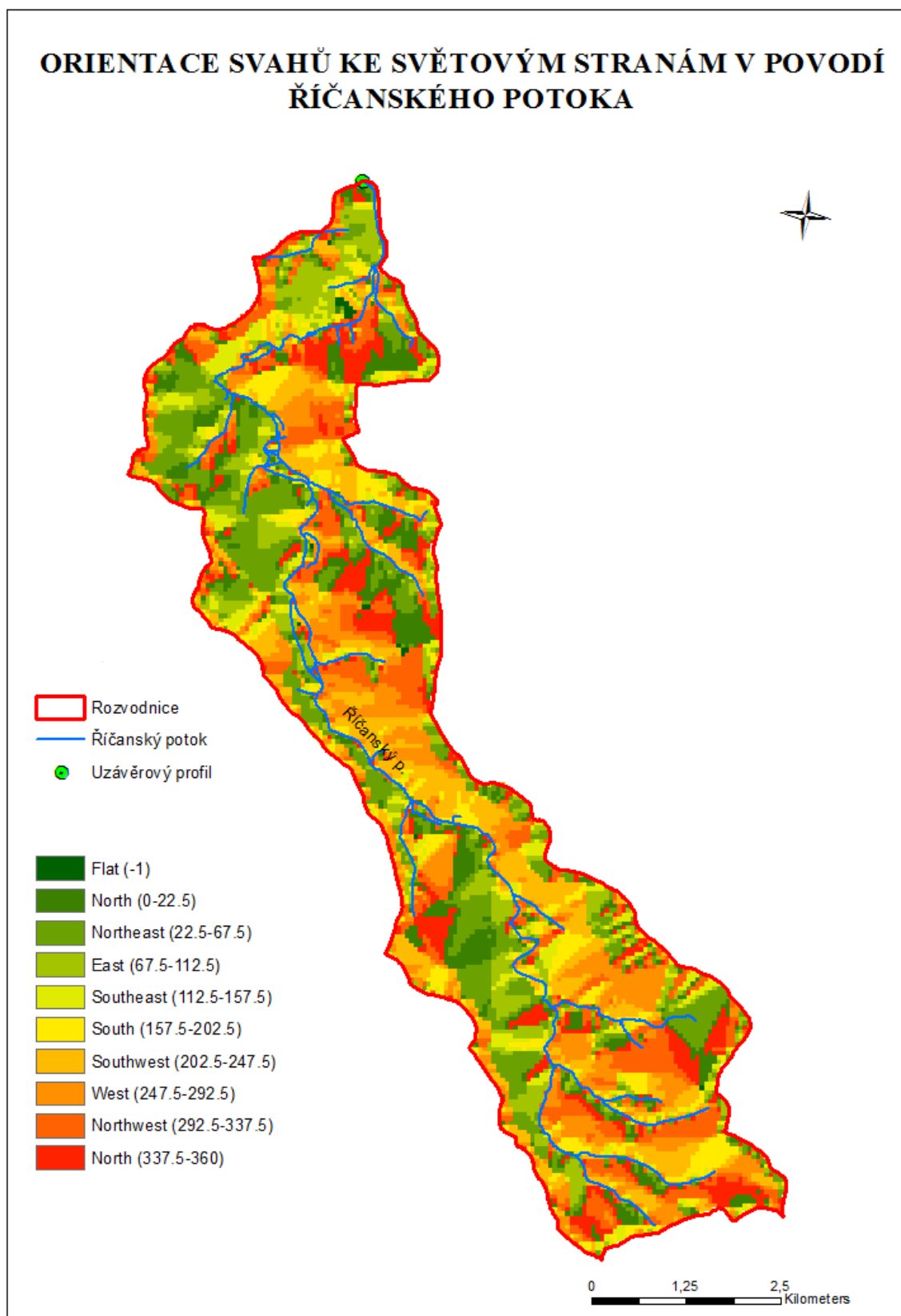
8. Příloha

Příloha 1 – Povodí Říčanského potoka









ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ PĚTILETÉ VODY

1:10 000



0 0.225 0.45
Kilometers

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ DVACETILETÉ VODY

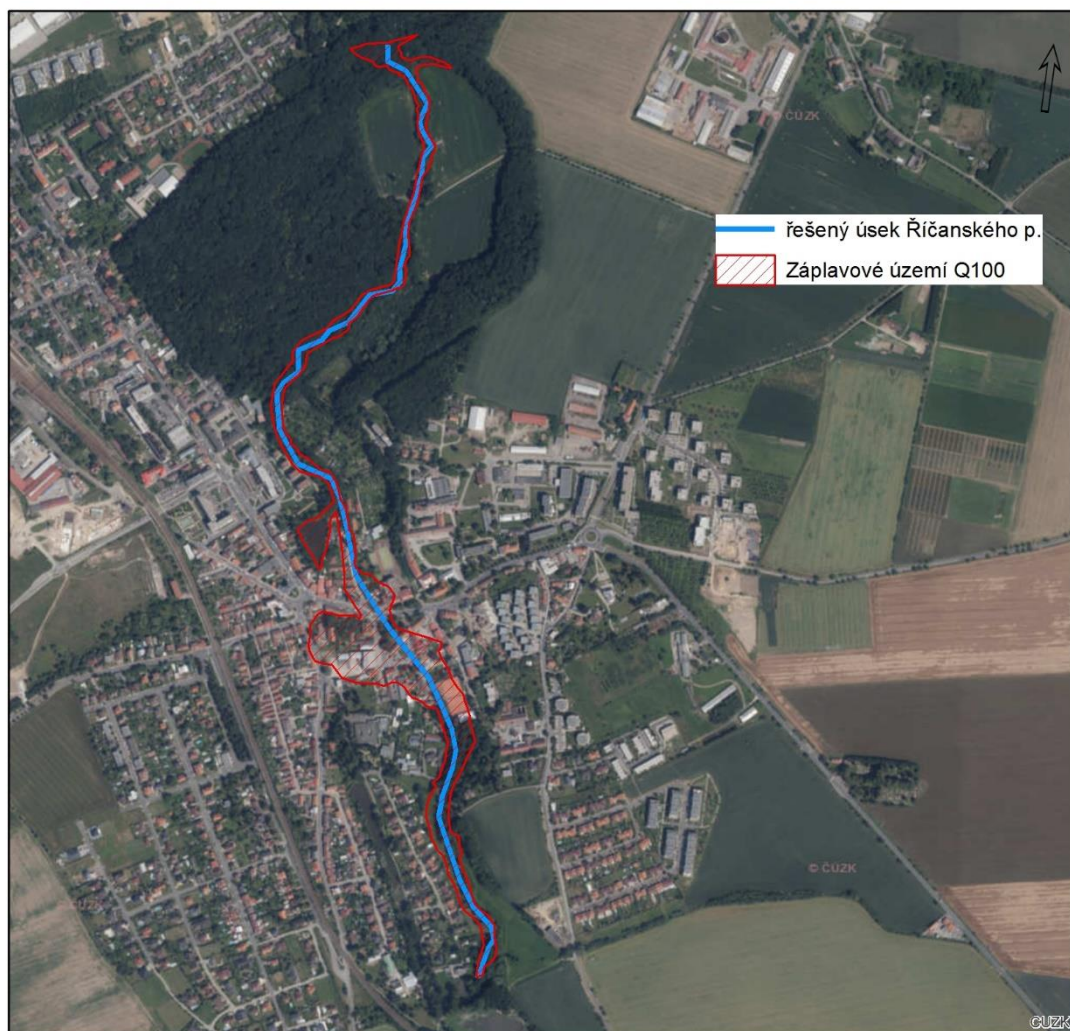
1:10 000



0 0.225 0.45
Kilometers

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ STOLETÉ VODY

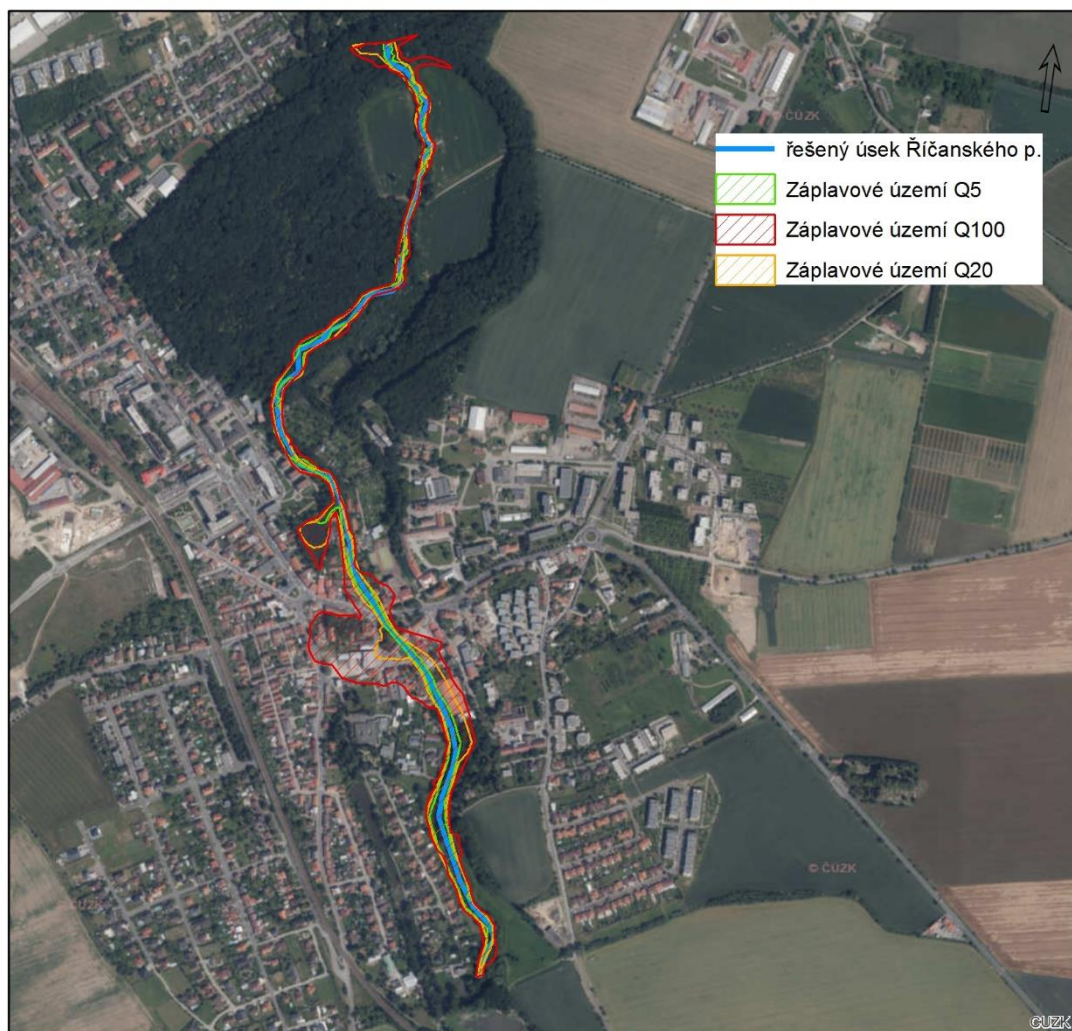
1:10 000



0 0.225 0.45
Kilometers

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ

1:10 000



0 0.225 0.45
Kilometers