

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



**Určení záplavového území a hydrotechnické
posouzení objektů vodního toku Vitický potok**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Diplomantka: Bc. Marie Benešová

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marie Benešová

Krajinné inženýrství

Název práce

Určení záplavového území a hydrotechnické posouzení objektů vodního toku Vitický potok

Název anglicky

Determination of floodplains and hydrotechnical assessment of Vitický water flow

Cíle práce

Sestavení hydrodynamického modelu

Stanovení záplavových území pro jednotlivé N-leté průtoky

Hydrotechnické posouzení vodohospodářských objektů na vybraném úseku vodního toku

Metodika

1. Terénní průzkum Vitického potoka a provedení fotodokumentace
2. Literární rešerše: povodí, objekty na vodních tocích, povodně a ochrana před povodněmi, matematické modely v hydrologii
3. Charakteristika vodního toku a popis vybraného úseku
4. Vytvoření hydrodynamického modelu
5. Vyhodnocení výstupů
6. Diskuze a závěr

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

HEC-RAS, povodeň, průtok, příčný profil

Doporučené zdroje informací

BROŽA, V.; ČIHÁK, F. a SATRAPA, L.: Hydrotechnické stavby. První vydání. Praha : Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 80-902460-5-2.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, – HRÁDEK, F. – KUŘÍK, P. *Hydrologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1744-4.

GARY W. BRUNNER, CEIWR-HEC; HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 5.0, 2016; 960 s.

NOVÁK, P. a kol.: Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování; VÚMOP, v.v.i, 2015. 54 s

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2019

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2019

Prohlášení

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

V Praze 6. 4. 2019

.....

Bc. Marie Benešová

Poděkování

Ráda bych poděkovala především Ing. Radku Roubovi za odborné vedení, rady, ochotu a pomoc při psaní diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat mé rodině, mému příteli a přátelům za podporu při studiu.

V Praze 6. 4. 2019

.....

Bc. Marie Benešová

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá určením záplavových území pro jednotlivé N-leté průtoky a také hydrotechnickým posouzením vodohospodářských objektů na vybraném úseku vodního toku Vitický potok. Tyto informace jsou velice důležité z hlediska protipovodňové ochrany.

Vitický potok je vodní tok tekoucí na území Karlovarského kraje. Pramení v Krušných horách poblíž města Nejdek a vlévá se v Karlových Varech jako levostranný přítok do řeky Ohře. Vybraný úsek, pro který jsou zpracovávána záplavová území, se nachází na 0 – 12,2 říčním kilometru. Počet objektů nacházejících se na řešeném úseku je 26.

Práce je rozdělena na dvě části. Teoretická část popisuje povodí, objekty na vodních tocích, povodně, ochranu před povodněmi a matematické modely.

Praktická část vymezuje a popisuje řešené území. S využitím poskytnutého Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace je v programu ArcGIS vypracován digitální model terénu ve formátu TIN. Na základě tohoto modelu a dalších vstupních dat (hodnoty N-letých průtoků, zaměření objektů), je sestaven hydrodynamický model v prostředí matematického modelu HEC-RAS. Následně jsou schematizována záplavová území pro N-leté průtoky (Q_5 a Q_{100}) v prostředí ArcGIS s využitím extenze HEC-GeoRAS. Nakonec je zde vyhodnoceno hydrotechnické posouzení vodohospodářských objektů.

Výstupy této práce mohou být použity jako podklady k dalšímu zpracování nebo mohou sloužit jako podněty k vypracování protipovodňových opatření a úprav vodního toku.

Klíčová slova: HEC - RAS, povodeň, průtok, příčný profil

Abstract

This thesis deals with the determination of floodplains and it also deals with hydrotechnical assessment of water management objects on selected part of the watercourse Vitický potok. Information like this are very important in terms of flood protection.

A watercourse Vitický potok is situated in the Karlovy Vary region. The strand is located in the mountains called Krušné Hory, near the town Nejdek and as a left-side tributary, it empties into the river Ohře in Karlovy Vary. The selected part for which floodplains are processed, is located at 0 – 12,2 km of the watercourse. On this part is located 26 water management objects.

This thesis is composed of two parts. The theoretical part describes the basin, objects on watercourse, floods, flood protection and mathematical models.

The practical part defines and describes the selected part of the watercourse Vitický potok. Using the provided Digital Relief Model of the Czech Republic's, 5th Generation, a digital terrain model in the TIN format is developed in ArcGIS. Based on this model and other input data (N-year flow rates, object orientation), the hydrodynamic model is constructed in the HEC-RAS mathematical model. Then, floodplains for N-year flows (Q_5 and Q_{100}) in the ArcGIS program are schematized, using the HEC-GeoRAS extension. Finally, the hydrotechnical assessment of water management objects is evaluated.

Outputs of this work can be used as a basis for further processing or may serve as a stimulus for the development of flood protection measures and modifications of the watercourse.

Keywords: HEC - RAS, flood, flow, cross section

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíle práce	12
3	Povodí a jeho charakteristiky	13
3.1	Základní pojmy	13
3.2	Geometrické charakteristiky povodí	14
3.3	Orografické charakteristiky povodí	16
3.4	Říční síť	18
3.5	Vegetační pokryv povodí	18
3.6	Klimatické poměry	19
3.7	Půdní a geologické poměry	20
3.8	Antropogenní činnost.....	21
4	Objekty na vodních tocích	22
4.1	Vzdouvací vodní stavby.....	22
4.2	Soustředovací stavby	26
4.3	Přehrážky	27
4.4	Migrační cesty pro vodní organismy	27
4.5	Objekty zajišťující přístup k vodě	28
4.6	Příčné objekty zajišťující stabilitu dna	28
4.7	Spádové objekty	28
4.8	Křížení toku s komunikacemi	29
5	Povodně a ochrana před povodněmi	30
5.1	Základní pojmy	30
5.2	Rozdělení povodní.....	31
5.3	Stupně povodňové aktivity (SPA).....	32
5.4	Povodňové plány	34
5.5	Povodňové orgány.....	35
5.6	Předpovědní a hlásná povodňová služba	35
5.7	Ochrana před povodněmi	36

5.8	Protipovodňová opatření.....	36
6	Matematické modely.....	38
6.1	Srážko – odtokové modely.....	38
6.2	Hydrodynamické modely	40
6.3	HEC – RAS	40
7	Charakteristika zájmového území	42
7.1	Popis a poloha povodí	42
7.2	Vymezení řešeného území	44
7.3	Identifikace povodí.....	45
7.4	Charakteristiky povodí	47
7.5	Využití území povodí	47
7.6	Půdní a geologické poměry	48
7.7	Klimatické poměry	49
8	Metodika.....	50
8.1	Vstupní data	50
8.2	Tvorba digitálního modelu terénu.....	51
8.3	Tvorba geometrie toku v extenzi HEC-GeoRAS	52
8.4	Sestavení hydrodynamického modelu v programu HEC-RAS.....	54
8.4.1	Import geometrických dat a vložení geometrie objektů	54
8.4.2	Zadání okrajových podmínek.....	56
8.4.3	Spuštění výpočtu	57
8.5	Stanovení záplavového území v prostředí ArcGIS.....	58
8.5.1	Import dat do programu ArcGIS pomocí extenze HEC-GeoRAS	59
8.5.2	Stanovení záplavového území.....	60
9	Výsledky.....	62
10	Diskuze.....	66
11	Závěr.....	67
12	Literatura a použité zdroje	68
13	Seznam obrázků	73

14	Seznam rovnic	74
15	Seznam tabulek	75
16	Seznam příloh	76
17	Přílohy	78

1 Úvod

Bez vody nemůže být života. Život ve vnitrozemí v blízkosti řek s sebou už ale od nepaměti nese určitá rizika. Mezi největší hrozbu patří jeden z hydrologických extrémů, a to povodeň. Na území České republiky se povodně řadí mezi rizikové jevy, jež mají na svědomí lidské oběti a způsobují velké škody na majetku. Výskytu povodní nelze zabránit, jelikož se jedná o přirozený jev. Někdy je možné alespoň ovlivnit jejich průběh, například stavbou protipovodňových opatření či dimenzováním koryt. Co ale v dnešní době již s úspěchem lze předpovídat, je jejich plošný rozsah.

K předpovídání rozsahu povodně se s rozvojem počítačových technologií využívá matematického modelování. Matematické modely jsou schopny nám dát informace o tom, jaké výšky bude voda v korytě při povodni dosahovat a jestli koryto samotné vůbec bude schopno daný průtok převést. V případě, že koryto není dostatečně kapacitní, jsme pomocí matematických modelů schopni určit oblast, kterou vyběžená voda zasáhne po zaplnění koryta. Tyto informace jsou velice cenné z hlediska protipovodňové ochrany. Je důležité vědět, kteří obyvatelé a které nemovitosti mohou být ohroženi. Na základě těchto informací lze vybudovat opatření sloužící ke snížení negativních dopadů povodní.

Matematické modelování je v této diplomové práci použito pro zhodnocení kapacity koryta Vitického potoka. V oblastech nedostatečné kapacity koryta se tato diplomová práce zabývá stanovením rozlivu povodně, neboli určením záplavového území. Dále je zde provedeno hydrotechnické posouzení objektů na toku.

2 Cíle práce

Prvním cílem této diplomové práce je sestavení 1D hydrodynamického modelu, který bude vytvořen v programu HEC-RAS 5.0.1. Vstupními daty jsou Digitální model reliéfu České republiky 5. generace, hydrologická a hydrotechnická data.

Dalším cílem je stanovení záplavového území pro jednotlivé N-leté průtoky. Celkem budou vykreslena dvě záplavová území odpovídající průtokům s periodicitou opakování 5 a 100 let. Schematizace bude provedena v programu ArcGIS 10.5.1.

Posledním cílem je hydrotechnické posouzení vodohospodářských objektů na vybraném úseku vodního toku, které mají vliv na průchod povodňových stavů.

3 Povodí a jeho charakteristiky

3.1 Základní pojmy

Povodí je základní hydrologická oblast, u které se zkoumá odtokový proces a vzájemný vztah bilančních prvků. Tato oblast je ohraničena rozvodnicí a je vztažena k určitému uzávěrovému profilu. Povodí je hydrologicky uzavřené, což znamená, že všechny srážky spadlé v této oblasti, které se nevypaří, odtékají ven z povodí jedním uzávěrovým profilem a že do povodí nepřitéká žádná povrchová či podpovrchová voda (Dub, Němec 1969; Kemel 1996).

Rozvodnice je myšlená čára, která odděluje sousedící povodí. Rozlišuje se orografická a hydrogeologická rozvodnice. Povodí určená orografickou a hydrogeologickou rozvodnicí se od sebe příliš neliší, relativně větší rozdíly lze zaznamenat jen u velmi malých povodí (Dub, Němec 1969; Hrádek, Kuřík 2008).

Orografická rozvodnice ohraničuje povodí povrchových vod. Vykresluje se v topografických mapách a vede od uzávěrového profilu, což je nejnižší místo povodí, směrem k nejvyšším topografickým prvkům jako jsou hřebeny, vrcholy nebo sedla. Základem správného určení rozvodnice je postupovat ve vykreslování vždy od nižších míst k místům vyšším a kolmo na vrstevnice (Hrádek, Kuřík 2008).

Hydrogeologická rozvodnice ohraničuje povodí podpovrchových vod. Je určena pomocí nákladného průzkumu, který zkoumá geologické složení a průběh nepropustných vrstev (Dub, Němec 1969).

Uzávěrový profil je místo, kterým odtéká všechna voda z povodí. Často je v tomto místě odtok měřen a určují se k němu veškeré charakteristiky povodí. Většinou se určí v místech, kde je potřebné odtok znát, například před soutokem dvou potoků, nad propustkem atd. (Ředinová a kol. 2009).

Pramen je počátek vodního toku, který může být soustředěný či nesoustředěný. Vzniká v místě styku dvou vrstev s různou propustností.

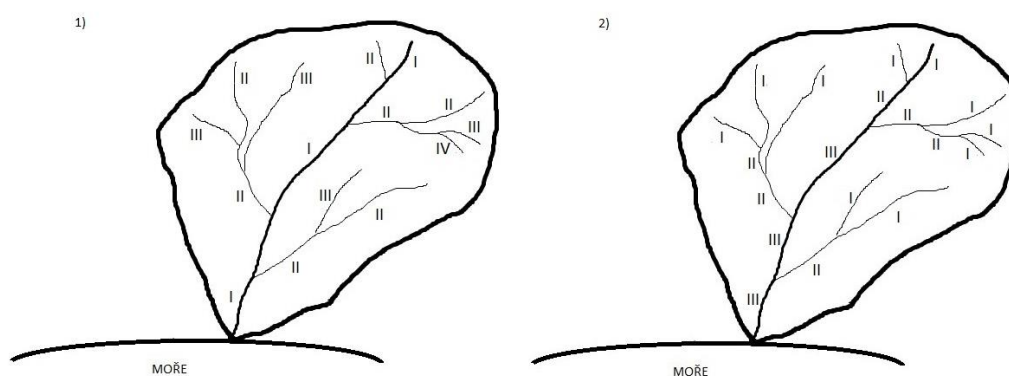
Ústí je místo, kde se tok vlévá do jiného toku, jezera, moře atd. (Pokorná, Zábranská 2008).

Údolnice je myšlená čára spojující uzávěrový profil, pramen hlavního toku a od pramene hlavního toku pokračuje k rozvodnici (Ruda 2014).

Hlavní tok je takový tok v povodí, který je nejdelší, směr toku je stejný jako hlavní směr povodí a také míří k nejvyšší nadmořské výšce na rozvodnici (Krešl 2001).

Hydrologický rok je základní bilanční období trvající 12 měsíců, které je posunuté vůči roku kalendářnímu. Posun závisí na poloze pevniny vůči zeměpisně klimatickým pásmům. Všechny srážky, včetně sněhu a ledu, spadlé v jednom hydrologickém roce, musejí v tomtéž hydrologickém roce i odtéct. Hydrologický rok v České republice začíná 1. listopadu a končí 31. října (Dub, Němec 1969).

Řády vodních toků tvoří klasifikační systém, který identifikuje vodní toky v říční soustavě pomocí řádů. Určují se dvěma způsoby. Řádovost podle Gravelia je řádovost absolutní. Tok prvního řádu je tok vlévající se do moře, tok druhého řádu je přítok toku prvního řádu a tak dále. Řádovost podle Strahlera je řádovost relativní. Pramenný úsek je označen jako tok prvního řádu. Ke zvýšení řádu dojde po soutoku dvou toků stejného řádu. Pokud ale dojde k soutoku dvou toků různých řádů, řádovost se nezmění (Ruda 2014).



Obr. č. 1: Řádovost vodních toků dle Gravelia (1) a dle Strahlera (2) (Benešová 2017)

Hydrologické pořadí identifikuje vodní toky podle příslušnosti k povodím. Je to osmimístné číslo, kde první číslo určuje hlavní povodí (I. řádu), druhé dvoumístné číslo určuje dílčí povodí hlavního povodí (II. řádu), třetí dvoumístné číslo určuje další dělení dílčích povodí (III. řádu) a poslední trojčíslí určuje povodí IV. řádu (Ruda 2014). V České republice jsou 3 hlavní povodí: číslo 1 označuje povodí Labe, číslo 2 označuje povodí Odry a číslo 3 označuje povodí Dunaje (Vyhláška č. 393/2010 Sb.).

3.2 Geometrické charakteristiky povodí

Plocha povodí označuje půdorysný průmět povodí do vodorovné roviny, udává se v [km²], značí se písmenem **F** a určuje se planimetrováním z map v měřítku 1:25 000 nebo pomocí různých GIS softwarů. Pro přehlednost přírůstků plochy po zaústění přítoků do hlavního toku se může zkonstruovat graf vývinu povodí.

Součinitel asymetrie povodí značí míru asymetrie povodí, neboli to, která strana povodí zaujímá větší plochu. Značí se písmenem **a** a je vyjádřen vztahem, ze kterého vyplývá, že součinitel asymetrie může nabývat hodnot od -1 do +1. Pokud součinitel asymetrie bude < 0 , větší plochu zaujímá pravá strana povodí. Pokud součinitel asymetrie vyjde 0, povodí je symetrické a pokud součinitel asymetrie bude > 0 , větší plochu zaujímá levá strana povodí (Hrádek, Kuřík 2008).

$$a = \frac{F_L - F_P}{F} \quad (\text{Rovnice č. 1})$$

F_L plocha povodí vlevo od hlavního toku
[km²]

F_P plocha povodí vpravo od hlavního toku [km²]

F celková plocha povodí [km²]

Délka hlavního toku je délka toku od pramene až po soutok s tokem, který je vyššího řádu. Značí se L_{HT} a jeho jednotky jsou [km] (Hubačíková 2002).

Délka údolnice je součet délky hlavního toku a délky prodloužení od pramene hlavního toku až k rozvodnici. Značí se L_U a její jednotky jsou [km] (Krešl 2001).

Délka rozvodnice vyjadřuje obvod povodí, značí se O a její jednotky jsou [km] (Ředinová a kol. 2009).

Tvar povodí je většinou nejširší ve střední části a zužuje se směrem k prameništi. Společně se sklonovými poměry ovlivňuje dobu, za kterou se všechna voda z plochy povodí soustředí v uzávěrovém profilu. Charakteristika vyjadřující tvar povodí se nazývá **součinitel tvaru povodí**, značí se α a je vyjádřena rovnicí, která vychází z idealizovaného tvaru povodí na obdélník (Hrádek, Kuřík 2008):

$$\alpha = \frac{B}{L_U} \quad (\text{Rovnice č. 2})$$

B střední šířka povodí [km]

L_U délka údolnice [km]

Střední šířka povodí **B** je vyjádřena rovnicí:

$$B = \frac{F}{L_U} \quad [\text{km}] \quad (\text{Rovnice č. 3})$$

F celková plocha povodí [km²]

L_U délka údolnice [km]

Z předchozích dvou rovnic se může součinitel tvaru povodí vyjádřit pomocí rovnice:

$$\alpha = \frac{F}{L^2_U} \quad (\text{Rovnice č. 4})$$

Fcelková plocha povodí [km²]

L²_Udélka údolnice na druhou [km]

Tvar povodí lze nahradit i jinými geometrickými obrazci než právě obdélníkem, například kruhem, trojúhelníkem či obrazcem omezeným parabolickou křivkou s vrcholem v uzavírajícím profilu povodí. Podle hodnot součinitele tvaru povodí α se povodí o velikostech 5 – 50 km² rozdělují na různé druhy (Hrádek, Kuřík 2008).

Druhy povodí	α
protáhlá	< 0,24
přechodného typu	0,24 - 0,26
vějířovitá	> 0,26

Tab. č. 1: Druhy povodí v závislosti na součiniteli tvaru povodí α (Hrádek, Kuřík 2008)

Průměrná délka svahů se označuje L_S a vypočítá se ze vztahu (Ředinová a kol. 2009):

$$L_S = \frac{B}{2} \quad [\text{km}] \quad (\text{Rovnice č. 5})$$

Bstřední šířka povodí [km]

3.3 Orografické charakteristiky povodí

Jako orografické charakteristiky povodí se označují výškové a sklonitostní poměry, jež se dobře zjišťují z vrstevnicových map. Tyto poměry ovlivňují klimatologické charakteristiky, například vlhkost a teplotu vzduchu, srážkové úhrny či výpar (Pokorná, Zábranská 2008).

Výškové poměry lze dobře znázornit hypsografickou křivkou. Ta udává jednotkově nebo procentuálně velikost ploch v povodí, na kterých jsou dosaženy nebo překročeny určité nadmořské výšky. Plochy se určují z vrstevnicových map planimetrováním nebo z digitálních map pomocí vhodného počítačového programu,

například programu ArcGIS. V programu ArcGIS se výškové poměry určí pomocí funkce *Zonal Statistics as Table* z rastrových podkladů, konkrétně z digitálního modelu terénu. Jak z hypsografické křivky, tak z počítačových programů lze zjistit údaje, například maximální nadmořskou výšku, minimální nadmořskou výšku či průměrnou nadmořskou výšku (Pokorná, Záborská 2008; Ředinová a kol. 2009).

Sklonové poměry jsou v rámci povodí různé, určuje se proto **střední sklon svahů**, který se značí I_{SV} a vypočítá se ze vztahu (Hrádek, Kuřík 2008):

$$I_{SV} = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{F}} * 100 \quad [\%] \quad (\text{Rovnice č. 6})$$

H_{max} maximální nadmořská výška v povodí [m]

H_{min} minimální nadmořská výška v povodí [m]

F celková plocha povodí [m²]

Pro přesnější určení středního sklonu svahů I_{SV} lze použít vztah dle Herbsta (Hrádek, Kuřík 2008):

- Pokud je Δh konstantní:

$$I_{SV} = \frac{\Delta h * \sum l_{si}}{F} * 100 \quad [\%] \quad (\text{Rovnice č. 7})$$

- Pokud je Δh různé:

$$I_{SV} = \frac{\sum (l_{si} * \Delta h)}{F} * 100 \quad [\%] \quad (\text{Rovnice č. 8})$$

Δh zvolený výškový interval mezi vrstevnicemi [m]

l_{si} průměrná délka vrstevnic v i-tém intervalu [m]

F celková plocha povodí [m²]

Průměrný sklon údolnice je významnou charakteristikou zejména u velmi malých povodí. Značí se I_U a vypočítá se ze vztahu (Hrádek, Kuřík 2008):

$$I_U = \frac{H_{max,u} - H_{min,u}}{L_u} * 100 \quad [\%] \quad (\text{Rovnice č. 9})$$

$H_{max,u}$ maximální nadmořská výška údolnice (na rozvodnici) [m]

$H_{min,u}$ minimální nadmořská výška údolnice (uzávěrový profil) [m]

L_U délka údolnice [m]

Absolutní spád povodí se určuje pro rámcovou charakteristiku sklonových

poměrů. Značí se ΔH a vypočítá se jako rozdíl nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky v povodí, tedy (Hrádek, Kuřík 2008):

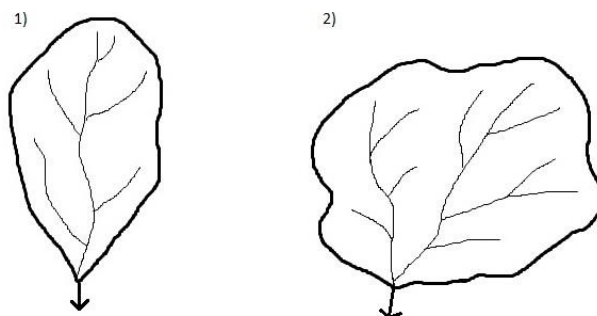
$$\Delta H = H_{max} - H_{min} \quad [\%] \quad (\text{Rovnice č. 10})$$

H_{max} maximální nadmořská výška v povodí [m]

H_{min} minimální nadmořská výška v povodí [m]

3.4 Říční síť

Říční síť se rozumí veškeré povrchové toky na konkrétním území. Zvláště u malých povodí je kromě sítě se stálým průtokem důležitá také přechodná mikrosíť, což jsou všechny erozní rýhy, kterými odtéká srážková voda při povrchovém odtoku. Vliv na uspořádání říční sítě má zejména geologická stavba povodí. Malá povodí s jedním tokem mají nejjednodušší říční síť. U rozsáhlejších povodí se vytváří složitější říční soustavy různého tvaru, například stromovité, perovité či vějířovité (Krešl 2001; Pokorná, Zábranská 2008).



Obr. č. 2: Stromovité (1) a vějířovité (2) uspořádání říční sítě

Hustota říční sítě slouží k posouzení říční sítě, značí se D_s a vyjádří se ze vztahu (Hubačíková 2002):

$$h_{rs} = \frac{\sum L}{F} \quad [\text{km}^{-1}] \quad (\text{Rovnice č. 11})$$

$\sum L$ celková délka toků v povodí [km]

F celková plocha povodí [km²]

3.5 Vegetační pokryv povodí

Množství vody, které se zachytí na těle rostlin nebo se vsákne (intercepci),

rychlost vody, která stéká po svazích (plošný odtok) či množství vypařené vody (evapotranspiraci) reguluje vegetační pokrývka. Velikostní nebo procentuální zastoupení a poloha různých druhů vegetačních pokryvů, jako jsou lesy, pole, louky či zastavěné území, se určuje z topografických map (Hrádek, Kuřík 2008; Pokorná, Záborská 2008).

Lesní pokryv působí příznivě na regulaci povrchového odtoku. Není tomu ale ve všech případech, záleží na situování lesního pokryvu a druhové skladbě. Co se týče situování lesa, nejlépe lesní pokryv působí v horní části povodí. V dolní části povodí v období jara, kdy dochází k tání sněhové pokrývky, má ale negativní vliv, zejména na kulminační průtoky. Lesní pokryv zastiňuje sněhovou pokrývku, tudíž k tání dochází později než v horní části povodí, která není zalesněná, a může dojít ke střetnutí kulminačních průtoků v uzávěrovém profilu povodí z horní a dolní části povodí. Co se týká druhové skladby, nejlépe zadržuje srážkovou vodu vyspělý smíšený les, díky silné vrstvě humusu a hrabanky. Zadržovaná voda se infiltruje, dostane se do toku později, což má za následek snížení kulminačních povodňových průtoků. Pro zjištění podílu lesního pokryvu na ploše povodí se počítá koeficient lesnatosti (Hrádek, Kuřík 2008).

Koeficient lesnatosti udává míru vlivu působení lesa. Značí se **K** a vypočítá se jako součet zalesněných ploch vydělený celkovou plochou povodí, tedy (Hubačíková 2002):

$$K = \frac{\sum P_l}{F} \quad (\text{Rovnice č. 12})$$

P_l zalesněné plochy [m²]

F celková plocha povodí [m²]

3.6 Klimatické poměry

Atmosférické srážky jsou nejvýznamnějším zdrojem vody, z tohoto důvodu je nezbytné zajistit jejich maximální akumulaci v povodí (Soukupová 2012). Vznikají, pokud je vzduch maximálně nasycen vodními parami a dojde-li k poklesu teploty vzduchu pod teplotu rosného bodu. V té chvíli dochází ke kondenzaci vodních par a k tvoření malých kapiček vody. Ty se postupně spojují a padají na zemský povrch. Označují se jako vertikální srážky. Horizontální srážky, jako jinovatka, rosa, mlha, námraza, jsou z hydrologického pohledu bezvýznamné (Hubačíková 2002). Atmosférické srážky se dále rozdělují podle skupenství na kapalné, například déšť či rosa, na tuhé, například sníh, kroupy či jinovatka a na smíšené, které se vyskytují

okolo 0°C. Dále se srážky rozdělují podle délky trvání na trvalé srážky a přeháňky (Soukupová 2012). Charakter srážek se hodnotí podle množství spadlých srážek, které se vyjadřuje výškou sloupce vody v mm na jednotku plochy (m²), doby trvání a plochy, na kterou dopadly. Podíl výšky spadlých srážek a doby trvání se nazývá intenzita deště, která rozlišuje srážky na běžné a extrémní. Právě intenzita deště, doba trvání a zasažená plocha jsou důležité veličiny ovlivňující odtok z povodí (Dub, Němec 1969).

Vlhkost vzduchu je označení pro množství vodních pár v atmosféře. Vodní páry vznikají výparem, nejvýznamnější je výpar z oceánů (Krešl 2001).

Výpar je označení pro stálé vypařování vody, jenž se stává součástí atmosféry. Výpar může být dvojího typu. Jako evaporace se označuje výpar z vodní hladiny či z povrchu pevné půdy a jako transpirace se označuje výpar vody rostlinami (Soukupová 2012).

3.7 Půdní a geologické poměry

Průběh odtoku, vsakování vody, hladinu podzemní vody, diferenciaci celkového odtoku na odtok povrchový a na odtok podzemní nejvíce ovlivňují půdní a geologické poměry, které se zjišťují z geologických a pedologických map nebo průzkumem (Němec 1965). Vsakování vody závisí na míře propustnosti hornin, na vlastnostech zvětralého pláště a na půdních poměrech, které ovlivňují hlavně velikost a intenzitu vsaku vody. Pokud daná oblast obsahuje dobře propustné horniny, dojde ke vsaku vody do spodních horizontů a tím se sníží povodňové průtoky. Lepší vsakovací vlastnosti mají strukturované půdy, oproti tomu půdy bezstrukturní vytvářejí nepropustný škraloup, který brání vsakování srážkové vody (Hubačiková 2002; Hrádek, Kuřík 2008).

Horniny se podle míry propustnosti rozdělují do tří skupin. Propustné horniny vodu lehce přijímají i propouštějí, polopropustné horniny vodu lehce přijímají, ale pomalu propouštějí a nepropustné horniny, které vodu nepřijímají (Němec 1965). Zde jsou příklady jednotlivých druhů hornin:

1) Propustné horniny

- rozrušené horniny, úlomkovité sedimenty
- kvartérní fluvialní sedimenty: aluviální a diluviální náplavy
- rozrušené karbonitické horniny: vápence, dolomity
- eolické sedimenty: štěrk a písek v nepropustných sedimentech

2) Polopropustné horniny

-hlinité písky, rašeliny, spraše, slepence, pískovce

3) Nepropustné horniny

-celistvé nerozrušené horniny: žuly, znělce, čediče, jíly, jílové břidlice, porfyry, syenity, diabasy

Co se týče druhů půd, nízkou propustnost mají jíly, hlína a písčité hlína, střední propustností disponuje hlinitý písek, vysokou propustnost má jemnozrný písek a velmi vysokou propustnost mají středně zrný písek, drobný štěrk a hrubý štěrk s pískem (Hrádek, Kuřík 2008).

3.8 Antropogenní činnost

Lidé mají významný vliv na hydrologický režim. Antropogenní činností se rozumí hlavně technické úpravy v povodí, kterými se mění charakter povodí a dochází k jeho přeměně. Technické úpravy mohou změnit plochu a tvar povodí, orografické poměry, půdní poměry, vegetační kryt, akumulaci vody, říční síť či klimatické poměry (Hrádek, Kuřík 2008). Obhospodařování pozemků může mít negativní vliv na odtokový proces, zejména plošné odlesňování, které vede k navýšení povodňových odtoků (Pokorná, Zábranská 2008).

4 Objekty na vodních tocích

Objektů na vodních tocích, konkrétněji hydrotechnických staveb, označovaných také jako vodní stavby, je velké množství. Rozmanitost vodních staveb odpovídá jejich specifickým účelům. Patří do větší skupiny označované jako vodohospodářské stavby spolu s hydromelioračními a technickými stavbami. Tyto stavby slouží k využívání povrchových vod, jejich ochraně a zároveň ochraně před možnými škodlivými účinky vod samotných (Broža a kol. 1998).

4.1 Vzduvací vodní stavby

Vzdouvací vodní stavby jsou takové stavby, které trvale nebo dočasně zvyšují hladinu vody, akumulují vodu a umožňují ovládat zadržovaný objem vody. Mezi vzdouvací stavby patří jezy, hráze a přehrady (Broža, Satrapa 1992; Broža a kol. 1998).

Jezy

Jako jezy jsou označovány nízké stavby vybudované napříč tokem. Stavějí se především kvůli zajištění hloubky ve vodních tocích. Jedná se o dostatečnou hloubku pro odběry vody na zásobování či hloubku potřebnou pro plavbu i v období malých průtoků. Dále jezy slouží k soustředění spádu, neboli výšky vzduť, což je nejvíce možný rozdíl výšky hladin před a za jezem. Tento veliký rozdíl slouží nejčastěji pro využití energie vody. Mimo jiné jezy slouží i k vytvoření rekreačních možností a zajištění stálé vodní hladiny ve městech (Broža, Satrapa 1992; Broža a kol. 1998).

Přehrazením toku jezem vzniká jezová zdrž, ve které klesá rychlost proudění směrem k jezu. V úseku jezové zdrže je vzduť hladina. Zvýšená hladina toku ovlivňuje ekologické podmínky, tah ryb, podmínky pro plavbu a další věci. Kvůli tomu se současně se vzdouvacím objektem staví i další stavby, například rybí přechody, sportovní propusti, plavební komory a šterkové propusti (Broža a kol. 1993).

Technologická zařízení pro manipulaci jsou oproti přehradám menší. Také kapacita technologických zařízení je u jezů navrhována na padesátileté až stoleté průtoky, zatímco u přehrad na tisícileté a větší průtoky. Jezy se dělí na pevné a pohyblivé (Broža, Satrapa 1992; Broža a kol. 1998).

Pevné jezy

Běžně se pevné jezy používají při úpravách toků, při stabilizaci toků a také

na menších a středních tocích. Pevné jezy se rozdělují podle hlavního použitého stavebního materiálu (Broža, Satrapa 1992; Broža a kol. 1993).

Dřevěné jezy jsou stavěné z modřínového, borového a dubového dřeva. Prvním typem dřevěných jezů je srubový jez, který se staví nejčastěji na horských tocích. Těleso jezu tvoří srub postavený z trámů, vyplněný lomovým kamenem. Hmotnost lomového kamene zajišťuje stabilitu konstrukce jezu. Další typy dřevěných jezů jsou dřevěný jez s výplní, který je nejdokonalejší z dřevěných jezů a skládá se ze štětových stěn a pilotů a jez s jednoduchou hradicí stěnou.

Kamenné jezy patří mezi nejjednodušší jezové konstrukce. Jsou složeny z kamenitého násypu. Násyp občas bývá vyztužen, a to štětovou stěnou či pilotami. Protože jsou tyto jezy velmi propustné a málo odolné proti proudící vodě, používají se jen pro dočasné vzdutí hladiny.

Zděné a betonové jezy patří mezi nejvýhodnější typ pevných jezů z hlediska provozu. Kámen a beton je totiž velmi odolný proti proudící vodě, a tudíž starosti s údržbou jsou minimální. Ale kvůli pracnosti a vysokým nákladům se dnes již tyto jezy nestaví (Broža, Satrapa 1992).

Pohyblivé jezy

Pohyblivé jezy se skládají ze spodní stavby, jezových uzávěrů, jezových pilířů a manipulačních a komunikačních prostorů. Spodní stavba je nejčastěji navržena jako pevný práh ve tvaru proudnicové přelivné plochy. Pohyblivá hradicí konstrukce umožňuje udržovat hladinu vody na potřebné úrovni. V případě potřeby, například při povodních, musí jezová konstrukce umožnit plné zahrazení jezových polí. Pohyblivé jezy se rozdělují podle konstrukčního uspořádání.

Pokloповé jezy patří k nejrozšířenějším pohyblivým jezům, a to kvůli své jednoduchosti. Pohyblivá hradicí konstrukce je většinou deskovitého tvaru, ale někdy je v příčném řezu hradicí stěna mírně zakřivená. Zakřivenost je kvůli hydraulickým a statickým důvodům. Tato stěna se v období manipulace otáčí kolem své vodorovné osy.

Pokloповé jezy jsou členěny do tří skupin, a to podle umístění hradicí stěny. Nejpoužívanější pokloповé jezy jsou jezy s osou otáčení na spodní straně, u kterých se hradicí uzávěry nazývají klapky. Nejlepší geometrický tvar je dutá klapka, která je tvořena ze dvou válcových stěn. Celá klapka s ovládacími a upevňovacími prvky je vyrobena ve výrobě a na místo určení je dovezena vcelku a ukotvena. To je také důvod, proč je tento typ pokloповého jezu nejpoužívanější. Používá se pro hrazenou

výšku do 6 metrů a délku do 40 metrů. Další dvě skupiny pokloповých jezů jsou jezy s osou otáčení nad spodní stavbou a s osou otáčení nad hladinou vzduché vody. Tyto dva typy se stavějí pouze ve zvláštních případech (Broža, Satrapa 1992).

Stavidlové jezy se skládají z vodorovné nosné konstrukce a hradící stěny. Hradící stěna deskovitého tvaru se při manipulaci pohybuje ve svislém směru po drážkách. Stěna je dnes nejvíce vyráběna z ocelového plechu, dřívě bylo používáno dřevo. Výhodou stavidlových jezů je jejich bezpečnost, jsou odolné proti namrzání, nárazům a snadno se opravují (Broža, Satrapa 1992; Broža a kol. 1993).

Stavidlové jezy jsou členěny do skupin v závislosti na konstrukčním uspořádání a na manipulaci se stavidlovým uzávěrem. U zdvižných stavidel se hladina vody reguluje výtokem pod stavidlem, u spustných se hladina reguluje přepadem. U stavidel s klapkou a dvoudílných stavidel se hladina reguluje kombinací výtoku a přepadu.

Segmentové jezy mají válcovou hradící stěnu. Segmentový uzávěr se pohybuje okolo osy, která je mimo hradící stěnu.

Tyto jezy jsou děleny podle manipulace s uzávěrem. U zdvižných segmentů se hladina vody reguluje pomocí výtoku pod uzávěrem. Tento typ regulace není vhodný k převádění plovoucích předmětů. U spustných segmentů probíhá regulace přepadem. U segmentů s klapkou a dvoudílných segmentů se používá kombinace výtoku a přepadu přes jezový uzávěr. Segmentové jezy mají oproti stavidlovým jezům výhodu, a to dobrou manipulaci i v proudící vodě. Díky tomu jsou velmi rozšířené (Broža, Satrapa 1992).

Válcové jezy se v současnosti již nepoužívají, protože spotřebují veliké množství ocele. Dělí se na jezy zdvižné, spustné a s klapkou (Broža, Satrapa 1992; Broža a kol. 1993).

Hydrostatické jezy jsou provozně velmi spolehlivé. Využívají k pohybu působení hydrostatických sil, které působí v tlačné komoře jezu. Přetlak vody v komoře zvedá hradící těleso. Je důležité správné těsnění tlačné komory, v opačném případě jez neplní svou funkci. Hydrostatické jezy se dělí na pokloповé, segmentové, sektorové a tabulové (Broža, Satrapa 1992).

Vakové jezy jsou dnes navrhovány stále častěji. Náklady u vakových jezů patří mezi nejmenší. Princip vakového jezu je založen na nepropustné textilií vaku. Ta je připevněna ke spodní stavbě jezu, na březích ke svislé stěně a také je spojena s čerpadlem, které plní vak vodou. Pokud je potřeba vyhrazení, dojde k vypouštění tlakové vody. Bohužel je vak náchylný k mechanickému poškození od plovoucích

předmětů a k obrušování od splavenin (Broža, Satrapa 1992; Broža a kol. 1993).

Hráze

Hráze jsou ochranné nebo inundační. Ochranné hráze plní funkci protipovodňové ochrany. Inundační hráze jsou stavěné podél dolních částí toků a zabraňují rozlívání vody z koryt. Pokud nedojde k povodni, voda až k inundačním hrázím nedosáhne (Broža a kol. 1998).

Přehrady

Jako přehrady jsou označovány velké stavby, které jsou vybudované napříč údolím. Funkcí zásobní přehrady je vytvoření vodní nádrže, funkcí ochranné přehrady je zachycení povodňových průtoků. Dále se mohou stavět smíšené přehrady, které plní obě funkce. Součástí přehrady je vždy manipulační zařízení, které zajišťuje manipulaci s akumulovanou vodou v nádrži a s průtoky, které protékají přehradou. Výstavba přehrady s sebou nese různé následky a vždy je výrazně ovlivněno přirozené prostředí, jako například změna ekosystémů v okolí přehrady (Thoř 1981; Broža, Satrapa 1992).

Dělení přehrad podle hlavní stavební hmoty

Stavební hmota je volena podle poměrů na místě stavby, konkrétně podle základových poměrů, tvaru údolí, rozměrům stavby či možnosti dopravy materiálu.

Zemní přehrady jsou nejpoužívanější typ přehrad kvůli mnoha výhodám. Nejsou náročné na základovou půdu, lze je stavět v seismických oblastech, protože snesou nerovnoměrné sedání základu. Na stavbu se využívá místních materiálů, které jsou velmi odolné a tyto přehrady mají tudíž skoro neomezenou životnost.

Hráze zemní přehrady mají průřez tvaru lichoběžníku. Povrch hráze na straně přehrady se nazývá návodní svah a povrch na druhé straně vzdušný svah. Horní plocha hráze se nazývá koruna hráze. Návodní pata přehrady je průnik návodního svahu se dnem přehrady a vzdušná pata přehrady je průnik vzdušného svahu se dnem přehrady. Zemní hráze mají stabilizační část, těsnící část a ochrannou část. Typy zemních hrází jsou například sypané, naplavované, polonaplavované, homogenní a nehomogenní.

Kamenité a balvanité přehrady se stavějí z kamenů, které jsou pevné v tlaku a jsou odolné proti zvětrávání. Musí se použít vhodné těsnění, kvůli značnému množství velikých dutin, jejichž objem je až 33%. Nejčastěji se jako těsnící materiál používá jíl, beton, železobeton, ocel nebo dřevo. Jako balvanité přehrady jsou označené přehrady z velikých kamenů (Fiala a kol. 1980).

Přehrady z kamenného zdiva jsou velmi pracné a nákladné, proto se dnes již nebudují, ale probíhají jejich rozsáhlé rekonstrukce.

Přehrady z betonu jsou velmi náročné na kvalitu základů. Základy se musejí stavět na únosném skalním podloží, kvůli vysokému napětí v základové spáře. Novější technologie umožnila stavět přehradu z válcovaného betonu, jejichž stavba není tak technologicky náročná jako u klasických betonových přehrad (Broža a kol. 1998).

Dělení přehrad podle konstrukce

Tízné přehrady odolávají silám způsobeným tlakem vody svou vlastní tíhou.

Klenbové přehrady přenášejí zatížení od tlaku vody do boků údolí za pomoci účinku klenbového tvaru přehrad. Podmínkami stavby klenbové přehrady jsou správné základové poměry a vhodný tvar údolí.

Členěné přehrady vznikly kombinací pilířových a klenbových přehrad. Lze u nich oddělit konstrukční prvky s různou funkcí na ty, které přebírají zatížení od tlaku vody a na ty, které zatížení přenášejí do podloží.

Přehrady zvláštní konstrukce jsou v podstatě jakkoliv upravené výše zmíněné přehrady. Úpravy se týkají různých druhů materiálů, změn statiky či kombinací různých typů přehrad (Fiala a kol. 1980).

4.2 Soustředovací stavby

Soustředovacích staveb se používá při budování nového koryta u vodních toků, které mají nestálé koryto a dochází u nich k přenášení splavenin vodním proudem. Splaveniny jsou poté ukládány za soustředovací stavby, mimo nové koryto, kde je velikost vodního proudu menší, a tudíž i schopnost přenášení splavenin výrazně zmenšena. Soustředovací stavby se dělí na příčné a podélné.

Příčné stavby jsou stavěné napříč korytem toku a mají hrázovitý charakter. Usměrnují proudnici do středu nového koryta. Důležité je, aby jedna strana byla pevně spojena s původním břehem a druhá strana příčné stavby končila na úrovni nového břehu. Stavby mohou být buď kolmé k proudnici, odchýlené po vodě nebo vychýlené proti vodě.

Podélné stavby se staví na okraji nového koryta, kde hrana stavby vytvoří nový břeh. Výhoda podélných staveb oproti příčným je, že zhotovení nového koryta je velmi rychlé, ale zbytek původního koryta oddělený podélnou stavbou je zanášen

splaveninami pomaleji (Thoř 1981).

4.3 Přehrážky

Přehrážky jsou příčné objekty zkonstruované nad úrovní dna, sloužící k vytvoření prostoru nad přehrážkou zachycujícího splaveniny. Přehrážku tvoří těleso a opevněné spadiště. Těleso obsahuje přeliv pro průtok vody a otvory, které odvádějí vodu a malé splaveniny. Rozlišují se retenční a konsolidační přehrážky.

Retenční přehrážky zabraňují přenosu splavenin dále po proudu. Nejvíce se stavějí před začátkem obcí nebo nad objekty na toku.

Konsolidační přehrážky zabraňují prohlubování koryta, zachycují veliké množství splavenin a slouží jako opora pro poškozené svahy (Kovář, Křovák 2002).

4.4 Migrační cesty pro vodní organismy

Rybí přechody jsou zařízení, díky kterým vodní živočichové, obzvláště ryby, překonají překážku ve vodním toku. Živočichové pravidelně migrují k místům, kde dochází k rozmnožování. Výměna genetických informací při reprodukci je nezbytná k zachování populace. Jako překážky se myslí člověkem postavené stupně, například jezy nebo hráze. Jejich funkčnost je dána mírou průchodnosti, která má dva ukazatele. Prvním je ukazatel kvalitativní, který říká, že nejlepší je umožnit migraci co nejvíce druhů v široké velikostní míře. Druhým je ukazatel kvantitativní, který říká, že je důležité umožnit migraci významné části všech druhů. Rybí přechody se významně podílejí na zvýšení účinnosti revitalizací.

Rozlišují se tři hlavní druhy rybích přechodů podle toho, jak moc došlo k začlenění do vodního toku a okolní krajiny. Přírodě blízké rybí přechody mohou být prahy, balvanité skluzy, zdrsňené rybí rampy, odtokové kanály či tůňové přechody. Nedochází u nich k porušení krajinného rázu. Mezi technické rybí přechody se řadí komůrkové, šterbinové, lamelové, cik-cak, výtahy, úhoří přechody a plavební komory. Kombinované rybí přechody jsou kombinací předchozích dvou druhů.

Dále se rybí přechody mohou technicky rozlišovat na přechody v korytě toku a v okolním terénu, trvalé a přenosné, bez pohonu a s pohonem a obsluhou, s nepravidelnou tratí a s rovnou, lomenou nebo vícenásobně obrácenou tratí. Podle ekofyziologických nároků vodních živočichů se rybí přechody rozlišují na přechody s migrací proti proudu, po proudu a s migrací oběma směry (Hartvich 1997).

4.5 Objekty zajišťující přístup k vodě

Přístupu k vodě se využívá kvůli možnostem hospodaření s vodou v tocích.

Schodiště by nemělo přesáhnout šířku 80 cm. Je zhotoveno ze schodnic a stupňů, schodnice jsou zapuštěny do svahu. Schodiště nesmí bránit přirozenému odtoku vody.

Rampy jsou stavěny rovnoběžně s proudnicí, od břehu směrem ke dnu koryta. Maximální sklon nesmí být větší než 1:8.

Náplavky jsou větší plošiny, které se používají jako místo pro překládání materiálu u lodní dopravy či pro zajištění kontaktu s přívozem. Jejich sklon je 1:10, široké jsou 10 až 15 metrů a dlouhé 20 až 30 metrů (Thoř 1981).

4.6 Příčné objekty zajišťující stabilitu dna

Tyto objekty jsou postavené napříč tokem a slouží k úpravě nivelety dna, podélného sklonu a zachycují splaveniny, což vede k zajištění stability dna. Jejich koruna se nachází v úrovni dna.

Pásky jsou zapuštěny do dna a břehů toku. Jejich zapuštěním je koryto rozděleno na více kratších částí. Lze je vyrobit z betonu, kamenného zdiva, dřeva či gabionů.

Prahy jsou připevněny ke břehu a jsou zajištěné proti podtékání vodou. Jejich výška musí být do 0,3m a dopadiště musí být opevněno klestem, dřevem či kamenem. Výrobní materiály prahů jsou podobné jako u pásů a nejvíce používaný materiál je dřevěná kulatina (Kovář, Křovák 2002).

4.7 Spádové objekty

Spádové objekty jsou budované z důvodu vytvoření vyrovnaného podélného sklonu dna a jejich koruna se nachází v úrovni dna horního koryta.

Stupně jsou přelivné stavby, jejichž výška je větší než 0,3 m a menší než 1 m, kvůli umožnění migrace ryb. Konstrukci stupně tvoří střední přelivná část a křídla, která upevňují těleso do břehů tak, aby nedocházelo k obtékání tělesa vodou. Břehy musí tvořit dostatečně únosná zemina. Stupně mohou být zděné, betonové, kamenné, dřevěné, drátokamenné či prefabrikované. V závislosti na charakteru proudění se pod stupněm nachází vývar nebo opevněné dopadiště, na které navazuje stabilizační práh. Dno, dopadiště a břehy nad dopadištěm jsou opevněny.

Skluzy jsou příčné stavby, u kterých nedochází k oddělení proudící vody od povrchu, ale voda teče po skluzové ploše. Ta obsahuje výstupky, díky kterým se zajistí vysoký stupeň drsnosti. Břehy skluzu jsou opevněny.

Balvanité skluzy jsou úseky s větším sklonem dna (1:6 – 1:15), které jsou opevněny velikými balvany a jejich vzhled je přírodní (Kovář, Křovák 2002).

4.8 Křížení toku s komunikacemi

Mosty by měly křížovat tok pod úhlem 90°. Pilíře mostu nesmějí být postaveny v proudnici, docházelo by totiž k vymílání kolem základů pilířů a také k poškození základů splaveninami. Světlá výška mostu u splavných toků, neboli prakticky využitelná výška, by měla být 6,5 metrů nad hladinou toku.

Propustky jsou objekty, které mají otvor zajišťující převod drobných vodních toků či srážkové vody z kanálů. Otvor má kruhový, pravoúhlý či parabolický průřez. Jako materiál je nejčastěji použito betonové a železobetonové potrubí nebo vlnitý ocelový plech. Rozlišují se propustky deskové, klenuté a s parabolickou klenbou.

Shybky jsou finančně náročné, stavějí se jen v nejnútnejších případech. Shybka je prostor pod komunikací, kde je nutné vodní tok uložit hlouběji než v okolí. Není zde totiž dostatečné množství místa pro převedení vodního toku propustkem. Voda je do shybky přivedena pozvolným snižováním dna či vytvořením svislých šachet na koncích shybky a je většinou pod tlakem (Thoř 1981).

5 Povodně a ochrana před povodněmi

Pojmem povodeň je označován stav, kdy dochází k přechodnému a výraznému zvýšení hladiny vody ve vodních tocích (či jiných povrchových vodách), způsobené náhlým zvětšením průtoků nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta. Tento stav má za následek zaplavování území mimo koryto vodního toku a možný vznik škod, či ohrožení lidských životů. Z hlediska vyhlášení povodňového nebezpečí, povodeň začíná druhým či třetím stupněm povodňové aktivity a končí jejich odvoláním. Povodní se také rozumí i stav, kdy k zaplavování území dochází při soustředěném odtoku srážkových vod (Zákon č. 254/2001 Sb.; Hrádek, Kuřík 2008).

5.1 Základní pojmy

Inundace je jev, při kterém dochází v průběhu povodně k zaplavování území, jenž přiléhá k vodnímu toku.

Inundační území je plocha, která je zaplavována, když korytem vodního toku protéká průtok, který přesahuje kapacitu koryta.

Záplavová čára je křivka, která se stanovuje kvůli ochraně před povodněmi při zaplavení území. Představuje průsečnici hladiny vody a zemského povrchu (Vyhláška č. 79/2018 Sb.).

Záplavová území jsou části zemského povrchu vymezené záplavovou čarou. Jsou to území, která při výskytu přirozených povodní mohou být zaplavena vodou. Rozsah těchto území je povinen stanovit vodoprávní úřad na návrh správce vodního toku. Vodoprávní úřad navíc v zastavěných územích a v zastavitelných plochách stanovuje aktivní zónu záplavového území, na základě nebezpečnosti povodňových průtoků. V této zóně se mohou vyskytovat pouze stavby (vodní díla), jenž slouží k převádění povodňových průtoků, k ochraně před povodněmi či k úpravě vodních toků. Dále se zde mohou nacházet stavby pro jímání vod, k odvádění odpadních a srážkových vod či jiné nezbytné infrastrukturní stavby. Výskyt ostatních staveb je zde zakázán, stejně jako těžba zhoršující odtok povrchových vod, skládkování odplavitelného materiálu, výskyt oplocení či jiných překážek a umístění táborů či kempů.

Území určená k řízeným rozlivům povodní zahrnují pozemky, jež jsou nezbytné pro akumulaci povrchových vod z důvodu protipovodňové ochrany nebo jsou nezbytné pro vzdouvání povrchových vod.

Území ohrožená zvláštními povodněmi jsou taková území, u nichž

je možnost zaplavení vodou v případě výskytu zvláštních povodní. Na základě zákona č. 240/2000 Sb. (krizový zákon) se pořizuje krizový plán, ve kterém je vymezen rozsah těchto území (Zákon č. 254/2001 Sb.).

Doba opakování povodně se určuje na základě N-letých průtoků. Tyto průtoky jsou takové maximální průtoky, které se vyskytují nebo jsou překročeny jednou za N let. Nejčastěji se určuje 5, 20, 100 a 500 letá doba opakování povodně (Vyhláška č. 79/2018 Sb.).

Největší známá povodeň je taková povodeň, jejíž povodňová vlna dosahovala největší kulminace ze všech ostatních povodních a vyskytla se v daném profilu toku během celé doby pozorování (Hrádek, Kuřík 2008).

5.2 Rozdělení povodní

Povodně vznikají za působení různých druhů jevů, podle nichž se povodně rozdělují na dvě hlavní kategorie. První kategorií jsou přírozené povodně, způsobené přírodními jevy, mezi které se řadí zejména tání sněhové pokrývky, dešťové srážky a chod ledů. Druhou kategorií jsou zvláštní povodně, jenž vznikají v důsledku technických závad a havárií, například protržením hráze vodního díla (Zákon č. 254/2001 Sb.). Charakteristika jednotlivých typů povodní, které ohrožují území České republiky, je uvedena níže.

Přírozené povodně

Dešťové povodně jsou způsobené vícedenními srážkami. Tyto srážky mají velkou intenzitu, vysoké úhrny a v horských regionech mohou být zesílené. Ke vzniku dešťových povodní dochází v období, kdy je půda postupně nasycena dlouhotrvajícími srážkami a ztrácí schopnost zadržovat vodu. Další voda, která se dostane na povrch půdy, už pouze odtéká výrazným povrchovým odtokem. Projevy tohoto typu povodní jsou výrazné na středních a větších vodních tocích.

Přívalové povodně jsou způsobené krátkodobými srážkami, které mají velkou intenzitu. Tyto srážky se označují jako přívalové a nejčastěji se vyskytují v letních obdobích při bouřkách. Půda takto rychlý přísun srážek nestíhá vsakovat a většina vody odtéká rychlým povrchovým odtokem, který často způsobuje vodní erozi. Tento druh povodní představuje lokální ohrožení na menších vodních tocích, které odvodňují převážně sklonitá území. Právě zde mohou mít katastrofální důsledky. Přívalové povodně se těžko předpovídají, přicházejí velmi náhle, což zvětšuje míru jejich nebezpečí.

Povodně z tání sněhu jsou způsobené rychlým táním sněhové pokrývky a vyskytují se v zimním a jarním období. Když se k tání současně přidají také vydatné dešťové srážky, označuje se tento stav jako **smíšená povodeň**. Projevy těchto povodní se týkají hlavně podhorských vodních toků. Když dojde právě ke kombinaci s deští, většinou při výraznějším oteplení, pak povodně zasahují i velké nížinné vodní toky.

Povodně způsobené ledovými jevy v zimních obdobích jsou zapříčiněné zejména chodem ledů. Tento proces nastává, pokud v předchozím období kvůli silnému mrazu zamrzla hladina vodního toku a následně došlo k oteplení. Oteplení zapříčiní zvětšení průtoků v důsledku tání sněhové pokrývky a ledy se na hladině vodního toku namísto postupného roztávání rozlámou a začnou se pohybovat v korytě toku. V místech, kde se nachází mělké dno, či je koryto zúžené, dojde k hromadění ker a vytváření ledových bariér, jenž vzdouvají vodu výše po toku. Tento druh povodně se může projevovat na všech kategoriích vodních toků. Její intenzitu určuje kombinace místních podmínek v korytech vodních toků a výskyt příčinných meteorologických jevů (MZe & MŽP 2010; ČHMÚ ©2018).

Zvláštní povodně

Zvláštní povodně vznikají v důsledku působení vlivů umělých. Jako umělé vlivy jsou označovány technické závady, jež mohou nastat při stavbě či provozu vodních děl. Dále jsou takto označovány havárie, kterými jsou například narušení vzdouvacího tělesa nebo porucha hradících konstrukcí výpustných zařízení (MZe & MŽP 2010).

5.3 Stupně povodňové aktivity (SPA)

Stupně povodňové aktivity slouží pro vyjádření míry nebezpečí, kterou představují jednotlivé povodně a dále pro sledování vývoje povodňové situace. Pro dílčí stupně se liší rozsah operativních opatření prováděných na ochranu před konkrétními povodněmi. SPA jsou vázány na směrodatné limity, jako jsou zejména vodní stavy či průtoky, které jsou vždy stanovovány v hlásných profilech vodních toků. Mohou se stanovovat i jiné limity, v závislosti na příslušných povodňových plánech (Zákon č. 254/2001 Sb.). Rozlišovány jsou 3 kategorie SPA, které jsou popsány níže.

1. SPA – stav bdělosti

Stav bdělosti je charakterizován zvýšením rychlosti proudění vody a zvýšením

hladiny vody v korytě toku, nicméně zatím ještě nedochází k vybřežení vody. Jelikož nedochází k vybřežení, nedochází tedy ani k hmotným škodám na majetku.

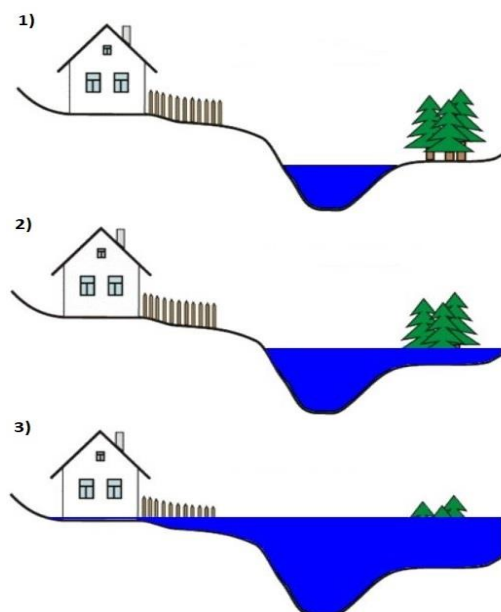
1. SPA upozorňuje na nebezpečí možnosti vzniku přirozených povodní a slouží k včasné přípravě na možné zhoršení situace. Po jeho vyhlášení předpovědní povodňovou službou ČHMÚ zahajuje činnost hlídková služba, která věnuje nepřetržitou pozornost vodnímu toku. Dále je doporučeno veřejnosti neprovádět žádné aktivity v jeho korytě či v jeho bezprostřední blízkosti. Těmito aktivitami se rozumí například koupání, lodní doprava či stavební činnost.

2. SPA – stav pohotovosti

Stav pohotovosti je dle zákona č. 254/2001 Sb. (vodní zákon) už oficiálně považován za povodňový stav. Tento stupeň je vyhlášen, když nebezpečí možnosti vzniku povodně přeroste v samotnou povodeň. Při tomto stupni již dochází k vybřežení vody z koryta a k následným prvním rozlivům vody. Jedná se o menší rozlivy do blízkého okolí, zaplavovány jsou okolní louky, porosty či menší komunikace. Nedochází k žádným větším škodám na majetku. Činnost zahajují povodňové orgány a na základě povodňových plánů se realizují kroky pro zmírnění průběhu povodní (evakuace) a připravují se do pohotovostního stavu prostředky na zabezpečovací práce (protipovodňové bariéry). Při tomto stupni povodňové aktivity jsou zakázány veškeré aktivity v korytě vodního toku a také v zaplavených územích.

3. SPA – stav ohrožení

Stav ohrožení nastává při bezprostředním ohrožení majetku či životů v záplavovém území a při vzniku větších škod. Dochází při něm k rozsáhlým rozlivům, zaplavovány jsou komunikace, obce či města. Může dojít také ke škodám na inženýrských sítích. Při tomto povodňovém stupni dochází k realizaci protipovodňových opatření a k činnosti záchranných složek, které provádějí zejména evakuaci obyvatel (Zákon č. 254/2001 Sb.; ČHMÚ ©2018; Povodňový plán České Republiky 2018). Na *obrázku číslo 3* jsou schematicky zobrazeny jednotlivé stupně povodňové aktivity.



Obr. č. 3: 1. (1), 2. (2) a 3. (3) stupeň povodňové aktivity (ČHMÚ ©2018)

5.4 Povodňové plány

Povodňové plány jsou dokumenty obsahující návod ve věcech zajištění spolehlivého a včasného informování o vývoji povodní, o možných způsobech ovlivnění odtokového režimu, o přípravě a postupu zabezpečovacích prací. Dále informují o tom, jak včas zaktivizovat příslušné povodňové orgány, jak zajistit fungování hlásné a hlídkové služby či jak ochránit objekty. Také poskytují návod na přípravu a organizaci záchranných prací. Povodňové plány dále obsahují směrodatné limity vodních stavů, na jejichž základě jsou vyhlášovány jednotlivé SPA. Tyto limity jsou závazné i pro povodňové plány nižších stupňů.

Obsah povodňových plánů:

- Věcná část – údaje potřebné k ochraně objektů, územních celků (obcí, ORP, krajů, ČR) a směrodatné limity pro vyhlásování SPA
- Organizační část – jmenné seznamy a kontaktní informace účastníků ochrany před povodněmi, úkoly těchto účastníků, organizace hlásné a hlídkové služby
- Grafická část – mapy a plány obsahující zakreslení záplavových území, evakuačních tras, míst soustředění, hlásných profilů a informačních míst

Povodňové plány podléhají pravidelnému prověřování aktuálnosti zpracování. U plánů územních celků probíhá prověřování každoročně, nejčastěji v období před jarním táním. Ostatní plány jsou přezkoumávány po nastolení podstatných změn

podmínek, na jejichž základě byly plány zpracovány (Zákon č. 254/2001 Sb.).

5.5 Povodňové orgány

Povodňové orgány zajišťují řízení ochrany před povodněmi. Do této činnosti spadá příprava na povodňové situace, organizace a kontrola odpovídajících činností v průběhu povodní, organizace a kontrola činností bezprostředně po povodních a kontrola činností dalších účastníků protipovodňové ochrany. Povodňové orgány také v svém územním obvodu vyhláší a odvolávají druhý a třetí stupeň povodňové aktivity. Řídící činnost povodňových orgánů je závislá na povodňových plánech.

Období mimo povodeň

- Orgány obcí a městských částí
- Obecní úřady obcí s rozšířenou působností a úřady městských částí
- Krajské úřady
- Ministerstvo životního prostředí

Období v průběhu povodně

- Povodňové komise obcí a povodňové komise městských částí
- Povodňové komise obcí s rozšířenou působností a povodňové komise městských částí
- Povodňové komise krajů
- Ústřední povodňová komise (Zákon č. 254/2001 Sb.)

5.6 Předpovědní a hlásná povodňová služba

Předpovědní povodňová služba má za úkol informovat povodňové orgány či další účastníky ochrany před povodněmi. Informuje o nebezpečí vzniku povodní, poté o samotném vzniku povodní a o dalším nebezpečném vývoji povodní. Dále informuje o hydrometeorologických prvcích, které charakterizují vznik a vývoj povodní. Do těchto prvků patří srážky, vodní stavy a průtoky v určitých profilech. Předpovědní povodňovou službu zajišťuje Český hydrometeorologický ústav, který spolupracuje se správci povodí.

Hlásná povodňová služba má za úkol informovat povodňové orgány z důvodu varování obyvatelstva před očekávanou povodní v místě dané povodně a v místech níže na vodním toku. Dále tato služba informuje o vývoji povodňové situace a předává

zprávy, které jsou potřeba k vyhodnocování, jakých opatření je nutno použít na ochranu. Hlásnou povodňovou službu zajišťují povodňové orgány obcí a obcí s rozšířenou působností. V případě potřeby pro dobré fungování hlásné povodňové služby jsou zřizovány hlídkové služby (Zákon č. 254/2001 Sb.).

5.7 Ochrana před povodněmi

Ochranou před povodněmi jsou označovány veškeré činnosti či opatření, které vedou ke snížení povodňového rizika na ohroženém území. K zajištění ochrany před povodněmi dochází pomocí systematické prevence a operativních opatření, která jsou realizována podle povodňových plánů při vyhlášení krizových stavů (Zákon č. 254/2001 Sb.).

5.8 Protipovodňová opatření

Protipovodňová opatření lze dělit podle mnoha aspektů. Dle zákona č. 254/2001 Sb. (vodní zákon) se rozlišují 3 základní kategorie opatření – přípravná opatření, opatření za povodně a opatření po povodni.

Přípravná opatření jsou řešena v období před povodní a zahrnují stanovení záplavových území, vymezení směrodatných limitů SPA, vyhotovení povodňových plánů a realizaci povodňových prohlídek. Dále do přípravných opatření patří příprava předpovědní a hlásné povodňové služby, organizační a technická příprava, vytvoření hmotných rezerv a příprava účastníků povodňové ochrany.

Opatření vykonávaná během povodně zahrnují činnost předpovědní a hlásné služby, varování před povodněmi, činnost hlídkové služby, vyklízení záplavových území. Dále probíhá řízené ovlivňování odtokových poměrů, zabezpečovací práce, záchranné práce a zabezpečení náhradních služeb v povodni zasaženém území.

Po povodni probíhají evidenční a dokumentační práce, vyhodnocení povodňové situace, zjištění povodňových škod a také odstranění těchto vzniklých škod a obnova zasaženého území (Zákon č. 254/2001 Sb.).

Další možností klasifikace protipovodňových opatření je jejich rozdělení na dvě hlavní skupiny, a to na technická opatření a na netechnická opatření. Účelem technických opatření je zadržovat povodeň dál od lidí a účelem netechnických opatření je držet lidi dál od povodně. Zde je zobrazena podrobnější klasifikace těchto dvou hlavních skupin:

- Technická opatření – retence, stabilizace koryt, zkapacitnění koryt, regulace lesního hospodářství, ochranné hráze, regulace zemědělské činnosti
- Netechnická opatření – definování záplavových zón, varovné systémy, právní zajištění záplavových zón, výchova veřejnosti, předpovědní systémy

Z hlediska ochrany životů obyvatel jsou technická opatření důležitější zejména na těch tocích, kde je doba reakce povodí kratší než 3 hodiny. V takto krátkém časovém intervalu nelze dostatečnou ochranu zajistit pomocí předpovědních a varovných systémů, které spadají do netechnických opatření.

Technická opatření lze dále kategorizovat podle jejich charakteru, a to na opatření proti účinku vody a na protierozní opatření. Podle jejich umístění se rozlišují opatření v ploše povodí a na vodních tocích (Čamrová a kol. 2006).

6 Matematické modely

Matematické modely v oblasti vodního hospodářství se s rozvojem počítačových technologií od zhruba 80. let 20. století staly významným nástrojem vodohospodářů či hydrologů. Využívání matematických modelů je hojně rozšířené především kvůli možnosti získání informací o předpokládaném chování hydrologických, hydraulických či srážko – odtokových režimů. V praxi se tedy tyto modely používají například pro výpočet m-denních a N-letých průtoků, pro simulaci průchodů povodňových vln nebo pro vypracování návrhů protipovodňové ochrany (Jeníček 2005). Na základě oblasti jejich využití v konkrétních složkách vodního hospodářství lze matematické modely klasifikovat do následujících skupin (Jeníček a kol. 2011):

- srážko - odtokové modely
- hydrodynamické modely
- modely hydrologické bilance
- modely šíření znečištění ve vodním prostředí
- modely eroze a transportu sedimentů
- integrovaný management povodí
- modely aquatických ekosystémů

V oblasti protipovodňové ochrany jsou nejdůležitější a nejpoužívanější srážko – odtokové a hydrodynamické modely. Srážko – odtokové modely popisují hydrologické procesy probíhající v povodí, například transformaci srážky na povrchový odtok z povodí nebo akumulaci odtoku v oblasti povodí. Hydrodynamické modely se zabývají transformací vody v hydrologických objektech, jako jsou koryta vodních toků či vodní nádrže a následným rozlivem vody z koryt při vysokých vodních stavech (v době povodní) (Unucka 2010).

6.1 Srážko – odtokové modely

Matematický model, reprezentující srážko – odtokový proces, představuje zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními proměnnými a výstupními veličinami daného, v přírodě jinak velmi složitého hydrologického systému. Tento systém je vyjádřený pomocí algoritmu řešící soustavy rovnic, které představují fyzikální procesy působící na vstupní proměnné. Tyto vstupní proměnné jsou fyzikálními procesy transformovány na výstupní veličiny. Srážko – odtokové modely se mohou

používat samostatně, ale častěji se využívají pro zjištění hodnot, které slouží jako vstupní hodnoty do dalších matematických modelů (Jeníček 2005; Jeníček a kol. 2011).

Srážko-odtokový proces lze pro představu vyjádřit pomocí Rovnice č. (Kulhavý, Kovář 2000):

$$P = AES + TQ \pm \Delta W \quad [\text{mm}] \quad (\text{Rovnice č. 13})$$

P.výška srážek	[mm]
AES. ...výška územního výparu	[mm]
TQ.výška celkového odtoku	[mm]
ΔWvýška odtokové ztráty (zvýšení/snížení zásob povrchové a podpovrchové vody)	[mm]

Srážko-odtokové modely se rozlišují podle stupně kauzality na deterministické a stochastické. Kauzalita je vyjádřena vztahem příčina – důsledek (Jeníček a kol. 2011).

Deterministické modely

Tyto modely popisují vztah vstupních stavových veličin (nezávislých proměnných) a výstupních veličin (závislých proměnných). Do deterministických modelů patří **DL** modely (*Deterministic, Hydrodynamic Laws*), nazývané také „white-box“ modely. Respektují zákony zachování hmoty, hybnosti, energie a fungují na principu fyzikálního popisu srážko-odtokového procesu. Dále sem patří **DB** modely (*Deterministic, Black-box*), které neberou v úvahu výše zmíněné zákony a fungují na principu empiricky odvozeného vztahu mezi vstupními a výstupními veličinami. Nakonec sem patří **DC** modely (*Deterministic, Conceptual*), nazývané také jako „grey-box“ modely. Tyto modely spojují fyzikální i empirický přístup (Jeníček 2007; Jeníček a kol. 2011).

Stochastické modely

Stochastické modely neobsahují pouze vazbu mezi příčinou a důsledkem, ale navíc pracují i s náhodnou složkou (Jeníček 2007). Oproti deterministickým modelům mohou předpovídat také místo nebo čas výskytu (Hrádek, Kuřík 2008). Patří sem **SP** modely (*Stochastic Probabilistic*), což jsou pravděpodobnostní modely, které charakterizují jednotlivé veličiny (maximální průtok, vodní stav) určitým

pravděpodobnostním rozdělením. Dále sem patří **ST** modely (*Stochastic Time series generation*), což jsou modely, které se využívají při extrapolaci časových řad pozorovaných parametrů (Jeníček 2007; Jeníček a kol. 2011).

6.2 Hydrodynamické modely

Hydrodynamické modely se používají pro popis a znázornění pohybu vody v korytech vodních toků nebo v nádržích. S jejich pomocí se stanovují záplavová území jednotlivých N-letých průtoků, která slouží jako podkladová data pro tvorbu povodňových plánů. Hydrodynamické modely vycházejí z matematických rovnic (algebraických, diferenciálních, integrálních) a ze schematizace reálného prostředí (Novák a kol. 2015). Rozlišují se na základě počtu dimenzí na 1D (jednorozměrné) a 2D (dvourozměrné) modely. V České republice se nejvíce používají hydrodynamické modely HEC-RAS a MIKE 11 (Unucka 2010).

1D modely

Jednorozměrné modely jsou jednodušší. Jsou méně náročné na vstupní data než modely dvourozměrné a mají relativně krátkou dobu výpočtu. Modelovaná oblast reálného prostředí je schematizovaná pomocí osy toku a příčných profilů. Dalšími vstupními hodnotami jsou návrhové N-leté průtoky, geometrie vodohospodářských objektů a drsnostní součinitele (Smelík a kol. 2011; VÚV TGM 2017). Výpočet je realizován postupně pro jednotlivé úseky mezi příčnými profily. Tyto modely nelze využít u příliš členitých vodních toků. Vzhledem k tomu, že mezi jednotlivými příčnými profily není znám průběh vodní hladiny a směrové změny osy toku, je důležité zvolit správný počet příčných profilů a jejich vhodnou lokalizaci. Správné rozmístění příčných profilů vede ke zpřesnění modelu (Brunner 2016; VÚV TGM 2017).

2D modely

Dvourozměrné modely se používají u více členitých toků, kde 1D modelování není dostačující a tam, kde je potřeba získat podrobnější výstupy. Tyto modely jsou více náročné jak na vstupní data, tak na jejich samotné sestavení a dobu výpočtu. Oproti 1D modelům je zde koryto vodního toku s inundačním územím reprezentováno pomocí spojitého digitálního modelu terénu (Novák a kol. 2015; VÚV TGM 2017).

6.3 HEC – RAS

Hydrodynamický model Hydrologic Engineering Center - River Analysis System

(zkráceně HEC–RAS), je volně dostupný program a byl vyvinut americkou armádou U. S. Army Corps of Engineers v HEC (Hydrologic Engineering Center). Výhoda modelu je jeho kompatibilita s programy CAD a GIS. Hlavními vstupními veličinami jsou geometrie koryta, geometrie objektů, hydraulické ztrátové součinitele a okrajové podmínky. Tento model obsahuje následující druhy říčních analýz (Brunner 2016; HEC-RAS 2019):

- simulace ustáleného proudění (Steady Flow Analysis)
- simulace neustáleného proudění (Unsteady Flow Analysis)
- transport sedimentu (Sediment Transport Analysis)
- analýza kvality vody (Water Quality Analysis)

Ustálené proudění

Tento druh říční analýzy simuluje ustálené proudění vody v otevřeném korytě a stanoví průběh hladin. Používá se především pro povodňová řízení, studie protipovodňových opatření a zhodnocení protipovodňových opatření. Pro ustálené proudění lze zvolit bystřinný, říční nebo kombinovaný režim proudění. Výpočet probíhá řešením jednorozměrné energetické rovnice – Bernoulliho rovnice – založené na zákonu zachování energie. Ztráty energie jsou vypočteny pomocí tření na základě Manningovy rovnice. Do výpočtu lze zahrnout i vliv různých překážek, jako jsou mosty, propustky, jezy a další objekty (HEC-RAS 2019).

Neustálené proudění

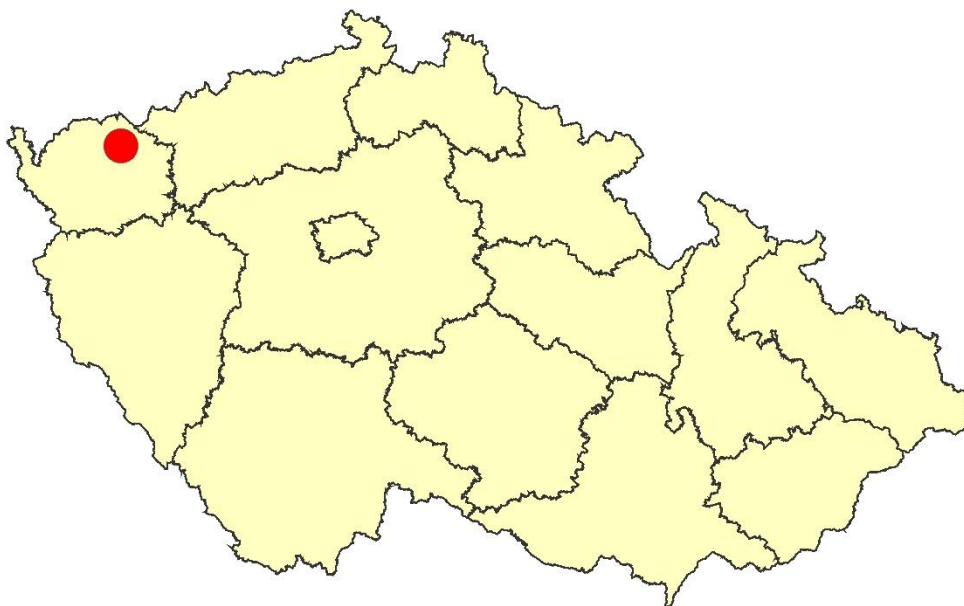
Tento druh říční analýzy simuluje neustálené proudění vody. Výpočet je založen na řešení Saint-Venantovy rovnice (jednorozměrné) implicitní metodou konečných diferencí (HEC-RAS 2019).

Pro přípravu podkladů (geometrických dat) a pro prezentování výsledné grafiky (záplavových území) lze využít doplňkový program HEC-GeoRAS. Tento doplňkový program umožňuje práci s daty v programu ArcGIS a jejich export do programu HEC-RAS. Zde se provedou potřebné úpravy a konečný výpočet. Výsledky je poté možno exportovat zpět do ArcGIS, kde se provede jejich vizualizace (Novák a kol. 2015).

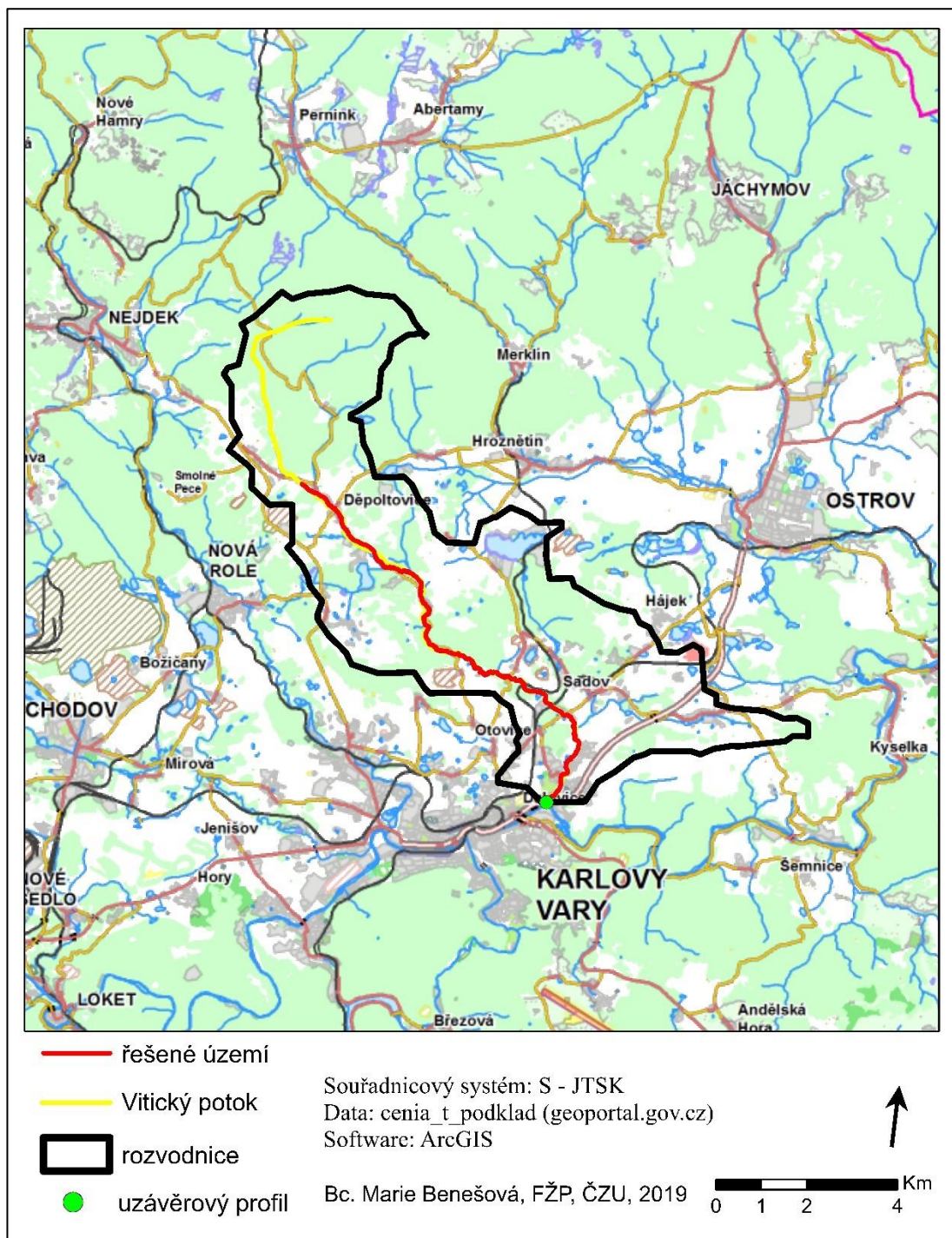
7 Charakteristika zájmového území

7.1 Popis a poloha povodí

Vitický potok pramení v Karlovarském kraji v oblasti Krušných hor, jeho poloha je červeně znázorněna na *obrázku číslo 4* a na *obrázku číslo 5*. Na *obrázku číslo 5* je také znázorněna oblast řešeného území Vitického potoka. Potok protéká skrz katastrální území Vysoká štola, Fojtov, Děpoltovice, Nivy, Otovice u Karlových Varů, Sadov a Dalovice.



Obr. č. 4: Poloha řešeného území Vitického potoka v rámci ČR



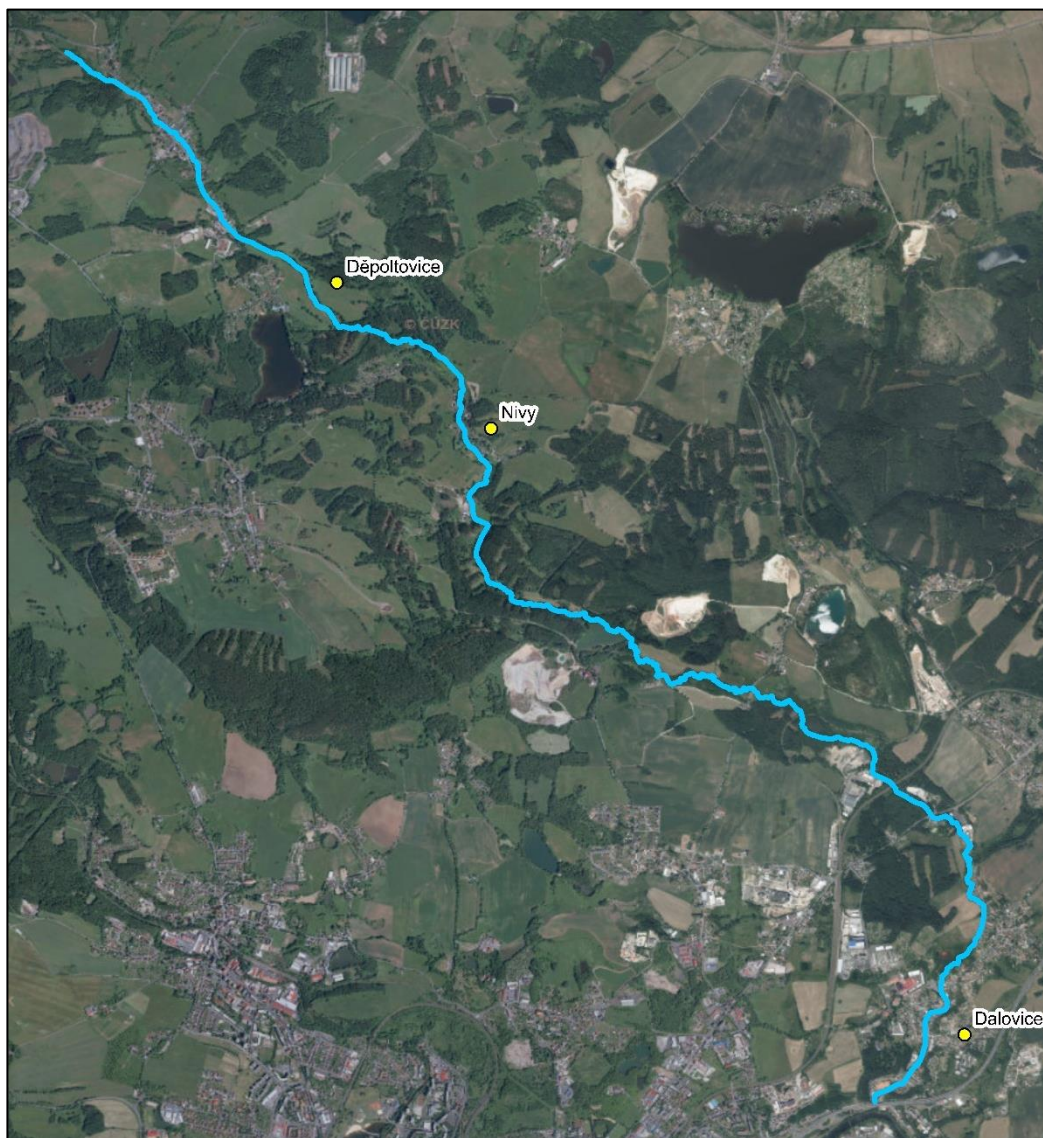
Obr. č. 5: Poloha řešeného území v rámci povodí Vítického potoka (cenia ©2016)

Pramen Vítického potoka se nachází na severní straně vrchu Trousnice. Odtud potok přirozeným balvanitým korytem spadá k silnici, která vede z Oldřichova do Lužce a pokračuje lesním prostředím do Nového Fojtova. Poté potok protéká lesy a loukami do Fojtova, kde kříží silnici z Fojtova do Děpoltovic. Nad Děpoltovicemi se do něj vlévá levostranný přítok Lužecký potok. Koryto v obci Děpoltovice je upravované s břehovými opevněními. Dále potok pokračuje opět přirozeným

korytem skrz obec Nivy do obce Sadov, kde se do něj vlévá největší levostranný přítok Sadovský potok. Poté protéká obcí Dalovice, kde je koryto opevněné, betonové a profil je ve tvaru obdélníku. V obci Dalovice se potok vlévá jako levostranný přítok do řeky Ohře, kde už koryto není upravené (Benešová 2017).

7.2 Vymezení řešeného území

Pro potřeby této diplomové práce byly vybrány necelé tři čtvrtiny délky Vitického potoka. Jedná se o úsek vymezený 0,00 říčním kilometrem a 12,20 ř. km. Řešené území se nachází na ploše hydrologického pořadí 1-13-02-0390 a z velké části na ploše hydrologického pořadí 1-13-02-0370. Řešená část Vitického potoka protéká obcemi Děpoltovice, Nivy a Dalovice. Detailnější zobrazení území je uvedeno na *obrázku číslo 6*.



Obr. č. 6: Řešené území Vitického potoka

Na řešeném úseku vodního toku se nachází 26 vodohospodářských objektů. Jedná se především o silniční mosty, lávky pro pěší a také o dva viadukty. Seznam objektů lze vidět v *tabulce číslo 2*. Fotografie některých objektů lze nalézt v přílohách (viz. *tabulka číslo 2*).

Číslo objektu	Popis objektu	Staničení [ř. km]
1	betonový silniční most	0.22
2 (příloha číslo 1)	betonová lávka pro pěší	0.36
3 (příloha číslo 2)	betonový silniční most	0.60
4	betonová lávka	0.73
5 (příloha číslo 3)	betonový silniční most	1.07
6	dřevěná lávka	1.66
7	dřevěná lávka	2.21
8 (příloha číslo 4)	betonový silniční most	2.61
9	viadukt ČD	2.95
10 (příloha číslo 5)	silniční most	3.13
11	viadukt ČD	3.86
12	silniční most	4.34
13 (příloha číslo 6)	silniční most	6.21
14 (příloha číslo 7)	most	7.22
15	silniční most	8.02
16	most	8.16
17	silniční most	9.43
18 (příloha číslo 8)	silniční most	10.56
19 (příloha číslo 9)	silniční most	10.75
20 (příloha číslo 10)	dřevěná lávka	10.90
21	dřevěný most	11.09
22	dřevěná lávka	11.19
23	silniční most	11.27
24	panelový most	11.46
25	panelový most	11.61
26	most	11.68

Tab. č. 2: Seznam objektů (se staničením) na řešeném úseku Vitického potoka

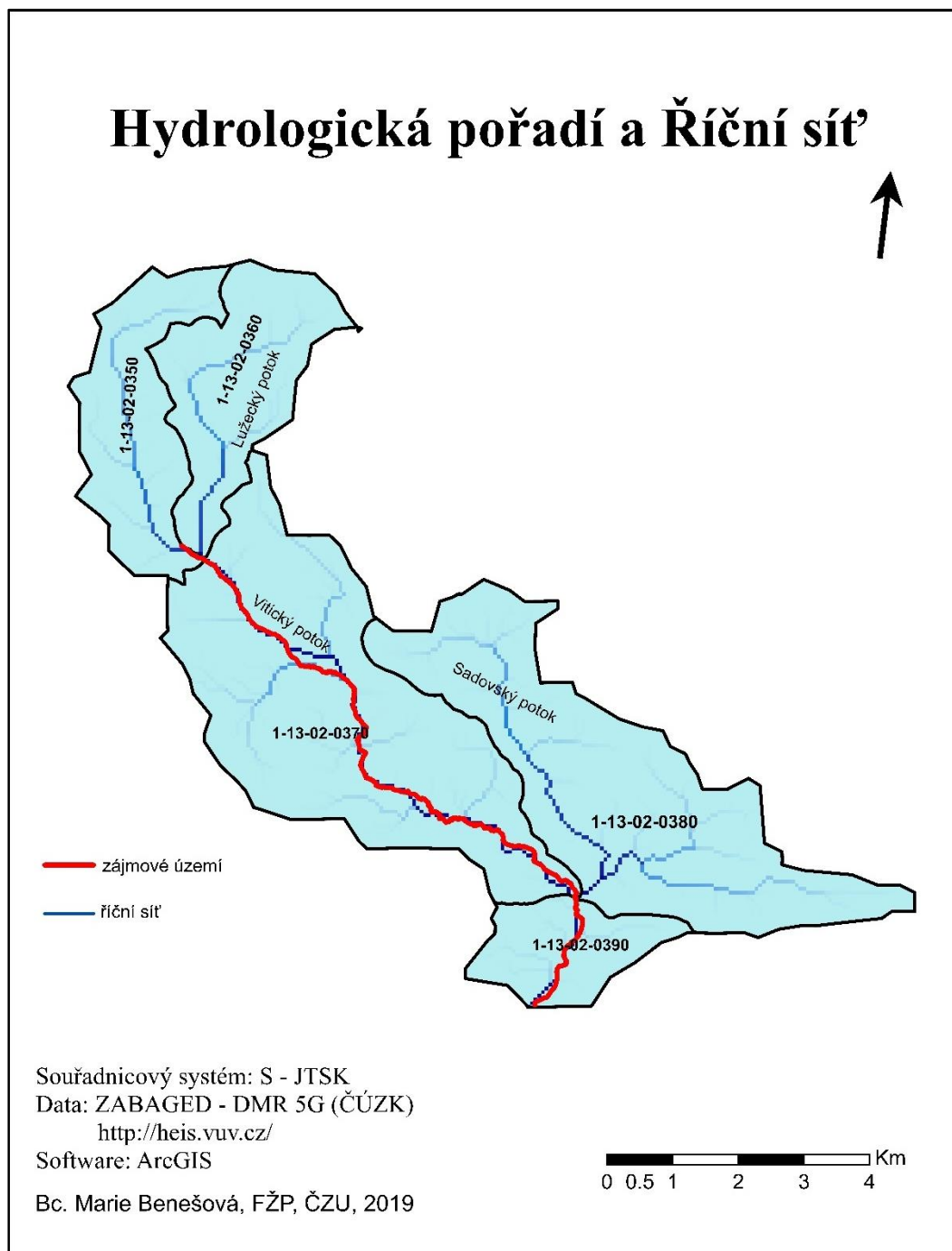
7.3 Identifikace povodí

Čísla hydrologických pořadí

- 1-13-02-0350 úsek od pramene Vitického potoka po soutok s Lužeckým potokem
- 1-13-02-0360 povodí Lužeckého potoka
- 1-13-02-0370 úsek Vitického potoka od soutoku s Lužeckým potokem po soutok se Sadovským potokem

1-13-02-0380 povodí Sadovského potoka

1-13-02-0390 úsek Vitického potoka od soutoku se Sadovským potokem po soutok s řekou Ohře (HEIS VÚV, ©2018).



Obr. č. 7: Hydrologická pořadí a říční síť (ČÚZK: ZABAGED ©2016, HEIS VÚV ©2018)

Řád vodního toku

Podle absolutní řádovosti (dle Gravelia) je Vitický potok tokem IV. řádu. Podle Strahlera je Vitický potok od pramene až po soutok s drobným přítokem tokem I. řádu,

odtud po soutok s Lužeckým potokem tokem II. řádu. Dále pokračuje jako tok III. řádu až po soutok se Sadovským potokem. Poté až po soutok s Ohří pokračuje jako tok IV. řádu (Benešová 2017; HEIS VÚV ©2018). Řešená část dle Strahlera se nachází v oblasti II., III. a IV. řádu Vitického potoka.

Uzávěrový profil

Uzávěrový profil se nachází na souřadnicích $x = 1\ 009\ 872,02$; $y = 848\ 373,75$ v souřadnicovém systému S-JTSK (Benešová 2017).

7.4 Charakteristiky povodí

Všechny geometrické charakteristiky povodí jsou uvedeny v *příloze číslo 11*. Hodnota součinitele asymetrie povodí je 0,384, což ukazuje na nesymetrické povodí. Hodnota 0,384 také znamená, že levá strana povodí je větší než pravá a to přibližně 2,25x. Součinitel tvaru povodí 0,158 ukazuje, že povodí Vitického potoka je protáhlé, což je dobře vidět i z prvního pohledu na mapu povodí (Benešová 2017).

Všechny orografické charakteristiky povodí jsou uvedeny v *příloze číslo 12*. Nadmořské výšky se v povodí pohybují v rozmezí 367 m n.m. a 976 m n.m. Mapa výškových poměrů je znázorněna v *příloze číslo 13* (Benešová 2017).

Sklonové poměry levého a pravého břehu jsou rozdílné. Největší sklony jsou v horní třetině povodí v okolí prameniště, jak lze vidět z mapy sklonových poměrů v *příloze číslo 14* (Benešová 2017).

Mapa orientace svahů vůči světovým stranám je znázorněna v *příloze číslo 15*. Orientace svahů se poměrově liší na pravé a na levé straně povodí. Zatímco na pravé straně dominují orientace svahů spíše na východ, severovýchod či jihovýchod, na levé straně jsou svahy orientované spíše jižně, jihozápadně nebo západně (Benešová 2017).

7.5 Využití území povodí

Mapa znázorňující využití území je zobrazena v *příloze číslo 16*. Plochy, které jednotlivé typy krajinného pokryvu zabírají, jsou uvedeny v *tabulce číslo 3*, stejně jako jejich rozloha na pravé a levé straně povodí.

KRAJINNÝ POKRYV			
TYP	ROZLOHA [km ²]		
	celkem	pravá strana	levá strana
les	25,802	6,123	19,678
louka	12,841	5,502	7,339
zástavba	5,542	2,289	3,253
orná půda	2,823	0,608	2,215
vodní plocha	0,744	0,150	0,594
komunikace	0,697	0,189	0,507
řeka	0,479	0,040	0,439
lom	0,247	0,247	-

Tab. č. 3: Krajinný pokryv povodí (Benešová 2017)

Hodnota 25,802 km² ukazuje, že na celé ploše povodí převažují zalesněné plochy, jejichž největší koncentrace je na ploše horní třetiny povodí. Převaha zalesněných ploch je také patrná z hodnoty lesnatosti povodí v příloze číslo 12, která vyšla 52,475 %. Významnou část povodí pokrývají louky, které se nejvíce vyskytují v prostřední části povodí. V malé míře jsou na ploše povodí rozmístěny plochy orné půdy a zástavby (Benešová 2017).

7.6 Půdní a geologické poměry

Mapy charakterizující půdní a geologické poměry v povodí se nacházejí v příloze číslo 17 a v příloze číslo 18.

Nejrozšířenějším půdním typem v povodí, zaujímajícím přibližně 30 km², je kambizem. V dolní oblasti povodí kolem ústí se nachází půdní typ pseudoglej, v horní oblasti povodí okolo prameniště se vyskytuje půdní typ kryptopodzol a v oblasti vodních toků se nacházejí půdní typy fluvizem a glej fluvický (Benešová 2017).

Kambizem neboli hnědá půda, je nejrozšířenější půdní typ v České republice a patří do skupiny hnědých půd, které se vyznačují intenzivním vnitropůdním zvětráváním. Nachází se ve vrchovinách a pahorkatinách a je velmi dobrým lesním stanovištěm. Pseudoglej patří do skupiny hydromorfních půd, stejně jako glej fluvický, který se nachází nejvíce v nivách vodních toků. Fluvizem neboli nivní půda, patří

do skupiny lužních půd, u nichž dochází k periodickému zvyšování hladiny podzemní vody. Vyskytuje se hlavně v nížinách podél vodních toků (Pokorná, Záborská 2008)

Povodí Vitického potoka se nachází v oblasti Českého masívu a v regionu krušnohorského plutonu. Nejrozšířenějšími horninami v povodí jsou granity (žuly) a granodiority, které zaujímají plochu přibližně 24,5 km². V okolí vodních toků se vyskytuje hlína, písek a štěrk (Benešová 2017).

7.7 Klimatické poměry

Dolní polovina povodí Vitického potoka se nachází v mírně teplé klimatické oblasti a horní polovina se nachází v chladné klimatické oblasti (Benešová 2017; GEOPORTAL ©2018).

Průměrná roční teplota vzduchu v povodí se pohybuje okolo 7°C, jak je vidět na mapě v *příloze číslo 19*. Hodnota 7 °C odpovídá jak dlouhodobému průměru z let 1961 až 1990, tak vypočítanému dlouhodobému průměru z let 1991 až 2015. Průměr z let 1991 až 2015 byl vypočítán z průměrných měsíčních teplot a jeho hodnota je 7,108 °C (Benešová 2017; ČHMÚ ©2019).

Průměrný roční úhrn srážek v povodí se pohybuje okolo 600 – 700 mm, jak je vidět na mapě v *příloze číslo 20*. Toto rozmezí úhrnu srážek, konkrétně hodnota 673 mm, odpovídá dlouhodobému průměru z let 1961 až 1990. Vypočítaný průměr z měsíčních úhrnů z let 1991 až 2015 je o něco vyšší a to konkrétně 747,44 mm (Benešová 2017; ČHMÚ ©2019).

8 **Metodika**

Prvním krokem při vypracování diplomové práce bylo absolvování terénního průzkumu Vitického potoka a vyhotovení fotodokumentace objektů na zmíněném potoce. Dále byla prostudována odborná literatura, která se vztahuje k problematice povodí, objektů na vodních tocích, povodní, ochrany před nimi a k problematice matematických modelů v hydrologii.

Na základě podkladových výškopisných dat ZABAGED® poskytnutých Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním, byl v programu ArcGIS vyhotoven digitální model terénu (DMT). Další vstupní data byla poskytnuta státním podnikem Povodí Ohře, a to konkrétně hydrologické údaje N-letých vod a polohopisné a výškopisné zaměření objektů na vybraném úseku Vitického potoka. Na základě veškerých vstupních dat byl v prostředí programu HEC-RAS vytvořen hydrodynamický model. V programu ArcGIS s doplňkovým programem HEC-GeoRAS byla poté vykreslena jednotlivá záplavová území pro vybrané N-leté průtoky (Q_5 a Q_{100}). Po zhodnocení výsledných dat bylo provedeno hydrotechnické posouzení objektů na Vitickém potoce.

8.1 **Vstupní data**

Výškopisná data

Základními podkladovými daty byla výškopisná data ZABAGED®, konkrétně Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMRČR 5G). Obsahuje informace o nadmořské výšce a o poloze jednotlivých bodů. Tato data byla poskytnuta Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním (ČÚZK) pro mou bakalářskou práci (Benešová 2017). Jelikož tato diplomová práce navazuje na mou bakalářskou práci, řešené území je shodné, a tudíž data ZABAGED® mohla být využita i v této práci.

Hydrologická a hydrotechnická data

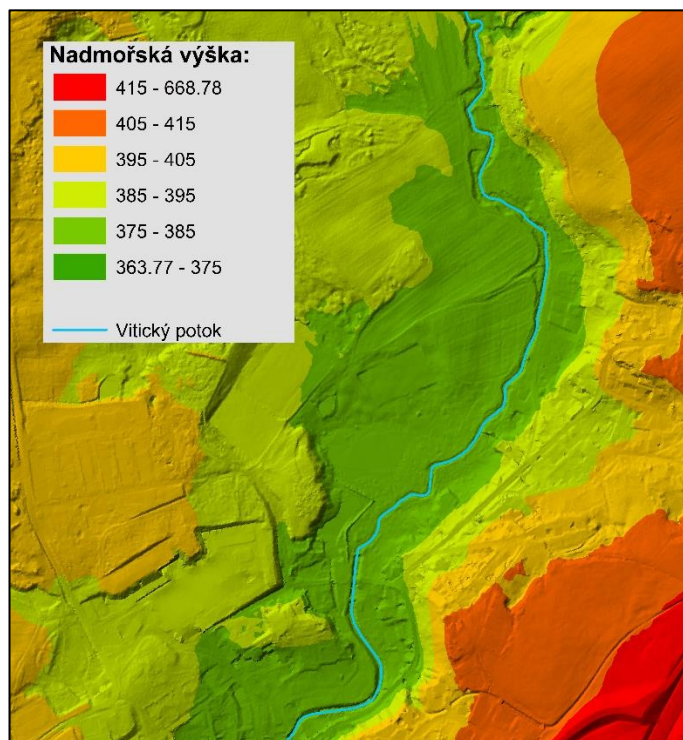
Státní podnik Povodí Ohře poskytl potřebná hydrologická i hydrotechnická data. Hydrotechnickými daty se rozumí polohopisné a výškopisné zaměření objektů (26 objektů) na vybraném úseku Vitického potoka. Pokud jde o data hydrologická, jedná se o hodnoty N-letých průtoků, uvedené v *tabulce číslo 4*.

N [roky]	Q _N [m ³ /s]
5	15.3
10	20.5
20	26.5
50	35.6
100	43.4

Tab. č. 4: Hodnoty N-letých průtoků (Povodí Ohře s. p. 2005)

8.2 Tvorba digitálního modelu terénu

K sestavení hydrodynamického modelu a schematizaci jeho výsledků bylo potřeba vyhotovit digitální model terénu. Pro jeho vytvoření byla použita podkladová výškopisná data DMRČR 5G (konkrétně 8 mapových čtverců) a proces probíhal v prostředí ArcGIS, v programu ArcMap 10.5.1. Jelikož data byla formátována jako *.xyz v ASCII kódování, bylo nutné je převést na shapefile, konkrétně na bodovou vrstvu pomocí funkce *ASCII 3D to feature class*. Z vytvořené bodové vrstvy byl poté pomocí funkce *Create TIN* vytvořen digitální model terénu ve formátu TIN (Triangulated Irregular Network). Model TIN pomocí nepravidelné trojúhelníkové sítě reprezentuje zemský povrch. Vytvořený model je vidět v *příloze číslo 21* a detailnější zobrazení části modelu je vidět na *obrázku číslo 8*.



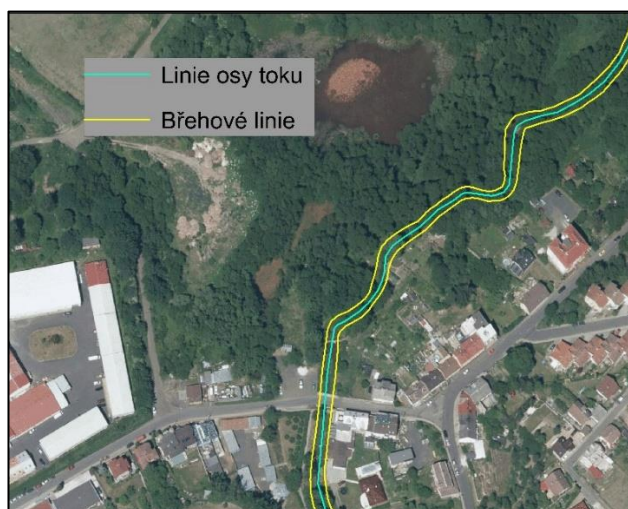
Obr. č. 8: Digitální model terénu ve formátu TIN - detail

8.3 Tvorba geometrie toku v extenzi HEC-GeoRAS

Geometrická data jsou nezbytným vstupem do programu HEC-RAS. Tato data byla vytvořena v prostředí ArcGIS pomocí doplňkového programu HEC-GeoRAS, který umožňuje jejich přímý export do programu HEC-RAS. Geometrie toku je tvořena osou toku, břehovými liniemi a příčnými profily. Jedině příčné profily obsahují také informace o výškopisu.

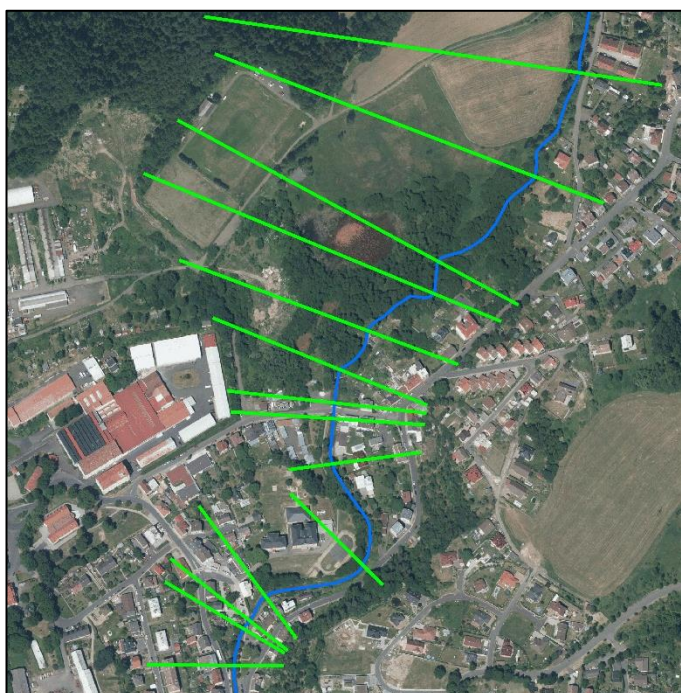
Prvním krokem bylo vytvoření vrstvy, která obsahuje osu řešené části Vitického potoka. Byla použita funkce *Stream centerline* (ze záložky *RAS Geometry* → *Create RAS Layers*). Osa byla zvektorizována po směru vodního toku. Aby umístění osy toku bylo co nejpřesnější, byl jako podklad použit již vytvořený digitální model terénu. Poté byl vyplněn název toku a název říčního úseku (*Assign River Code and Reach Code to River*), v tomto případě se celá řešená část brala jako jeden říční úsek.

Dalším krokem bylo vytvoření vrstvy s břehovými liniemi pomocí funkce *Bank lines* (ze záložky *RAS Geometry* → *Create RAS Layers*). Byly vytvořeny dvě linie, a to opět zvektorizováním po směru vodního toku. Jako podkladová mapa byl opět použit digitální model terénu. Poté byla vytvořena vrstva, která rozlišuje proudění vody uvnitř koryta a proudění vně koryta, a to funkcí *Flow Path Centerlines* (ze záložky *RAS Geometry* → *Create RAS Layers*). Jako linie označující proudění vody uvnitř koryta byla zvolena vrstva osy toku, která sem byla zkopírována. Za linie označující proudění vody vně koryta byly zvoleny linie břehové, které musely být znovu zvektorizovány. Označení jako takové se provedlo pomocí funkce *Select Flowpath and Assign Line Type Attributes*. Při označení bylo nutné specifikovat, zda se jedná o proudění za pravým, či levým břehem koryta. Detailní umístění části osové linie a břehových linií je zobrazeno na *obrázku číslo 9*.



Obr. č. 9: Břehové linie a linie osy toku – detail

Další potřebná vrstva byla vrstva obsahující příčné profily. Byla použita funkce *XS Cut Lines* (ze záložky *RAS Geometry* → *Create RAS Layers*). Příčné profily byly vykreslovány vždy z levého břehu na pravý, kolmo na koryto vodního toku. Při určování jejich rozmístění byl kladen důraz na to, aby co nejlépe vystihly geometrii vodního toku a zároveň aby se mezi sebou nekřížily. Poté byly ještě dokresleny profily u objektů na vodním toku, vždy na povodní a návodní straně objektu. Celkem bylo vykresleno 117 příčných profilů na řešeném úseku Vitického potoka. Jejich celkové rozmístění je možné vidět v *příloze číslo 22* a detailní rozmístění části profilů je zobrazeno na *obrázku číslo 10*.



Obr. č. 10: Rozmístění příčných profilů – detail

Poslední vrstvou potřebnou vytvořit byla 3D vrstva, která obsahuje příčné profily. Byla vytvořena pomocí funkce *All* (ze záložky *RAS Geometry* → *XS Cut Line Attributes*). Tyto příčné profily obsahují informace o výškopisu, které byly vygenerovány z digitálního modelu terénu. Dále pomocí funkce *All* došlo k vyplnění jednotlivých atributů příčných profilů, například jejich staničení.

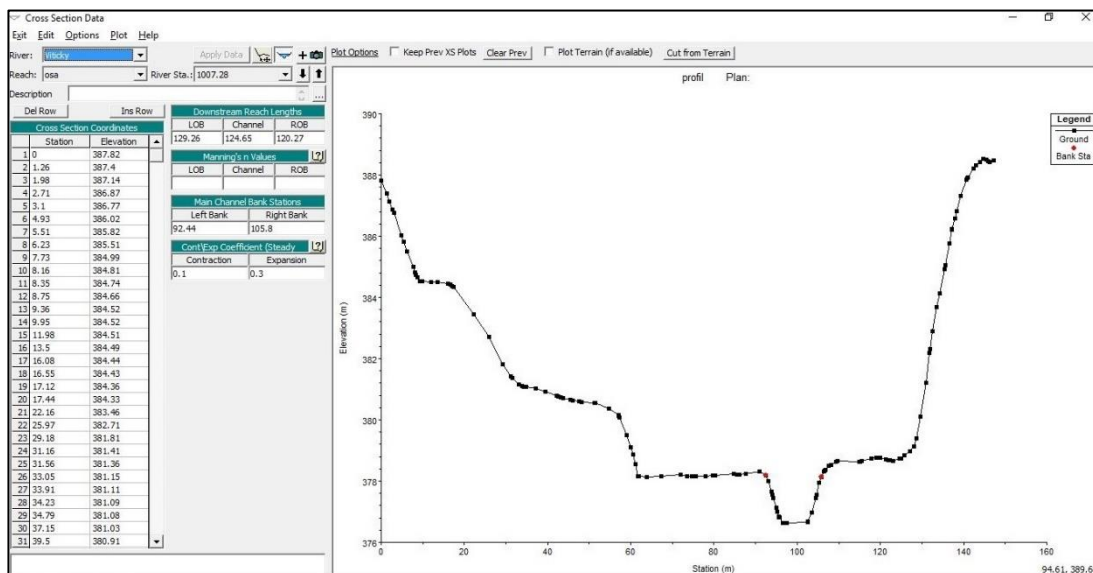
Posledním krokem byl export dat do programu HEC-RAS, který byl proveden pomocí funkce *Export RAS Data* v záložce *RAS Geometry*.

8.4 Sestavení hydrodynamického modelu v programu HEC-RAS

Před samotným založením projektu v programu HEC-RAS 5.0.1 bylo nutné nastavit metrický systém jednotek SI (*Options -> Unit System -> System International (Metric System)*). Následně byl založen nový projekt s názvem HEC_Viticky (*File -> New Project*).

8.4.1 Import geometrických dat a vložení geometrie objektů

Import geometrických dat vytvořených pomocí nástroje HEC-GeoRAS byl proveden v záložce editoru geometrických dat (*View/Edit geometric data -> File -> Import Geometry Data -> GIS Format...*). Geometrická data byla pojmenována jako *Geometry_Viticky*. Vzorový příčný profil je zobrazen na obrázku číslo 11.



Obr. č. 11: Příklad importovaného příčného profilu do programu HEC-RAS

Dalším krokem bylo zadání hodnot Manningova drsnostního součinitele, zvlášť pro koryto a zvlášť pro pravou i levou inundaci. Řešený úsek Vitického potoka byl rozdělen na 10 úseků podle výskytu opevnění, stavu koryta a stavu inundace. Hodnoty drsnostního součinitele koryta se pohybovaly v rozmezí od 0.03 do 0.08. Hodnoty součinitele pravé a levé inundace se pohybovaly v rozmezí od 0.05 do 0.1. Konkrétní hodnoty byly voleny podle tabulek drsností v manuálu programu HEC-RAS (Brunner 2016) a také podle Katalogu drsností řek České republiky s fotografiemi (Smělík a kol. 2011). Po konzultaci s panem Ing. Tomášem Vlasákem ze společnosti VRV (Vodohospodářský rozvoj a výstavba a. s.) došlo k poupravění některých

hodnot, konkrétně k jejich mírnému zvýšení. Konečné hodnoty byly vyplněny hromadně v editoru geometrických dat (*View/Edit geometric data -> Tables -> Manning's n or k values (Horizontally varied)*...). Kompletní zadané hodnoty drsnostního součinitele pro jednotlivé úseky jsou zobrazeny v *příloze číslo 23* a jsou doplněny o fotografie (*příloha číslo 24*).

Dalším krokem bylo vložení objektů vyskytujících se na řešeném úseku Vitického potoka. Celkový počet objektů nacházejících se v tomto úseku je 26. Zadání objektů bylo provedeno v editoru geometrických dat (*View/Edit geometric data -> Edit and/or create bridges and culverts*). Nový objekt byl vkládán pomocí *Options -> Add a Bridge and/or Culvert* zapsáním hodnoty jeho staničení. V závislosti na staničení objektu program přiřadí nejbližší dva příčné profily k povodní a návodní straně objektu. Proto bylo důležité umístění profilů v blízkosti všech objektů na toku. Údaje o geometrii objektu byly vkládány pomocí *Edit the bridge deck/roadway*. Vkládala se vzdálenost od výše položeného příčného profilu k návodní hraně objektu, šířka objektu a hodnoty staničení s nadmořskými výškami zvlášť na návodní (Upstream) a zvlášť na povodní (Downstream) straně objektu. Vzorový zadaný objekt je zobrazen na *obrázku číslo 12* a na *obrázku číslo 13* je zobrazeno jeho vykreslení mezi dva okolní příčné profily.

Distance	Width	Weir Coef
1	3.54	1.4

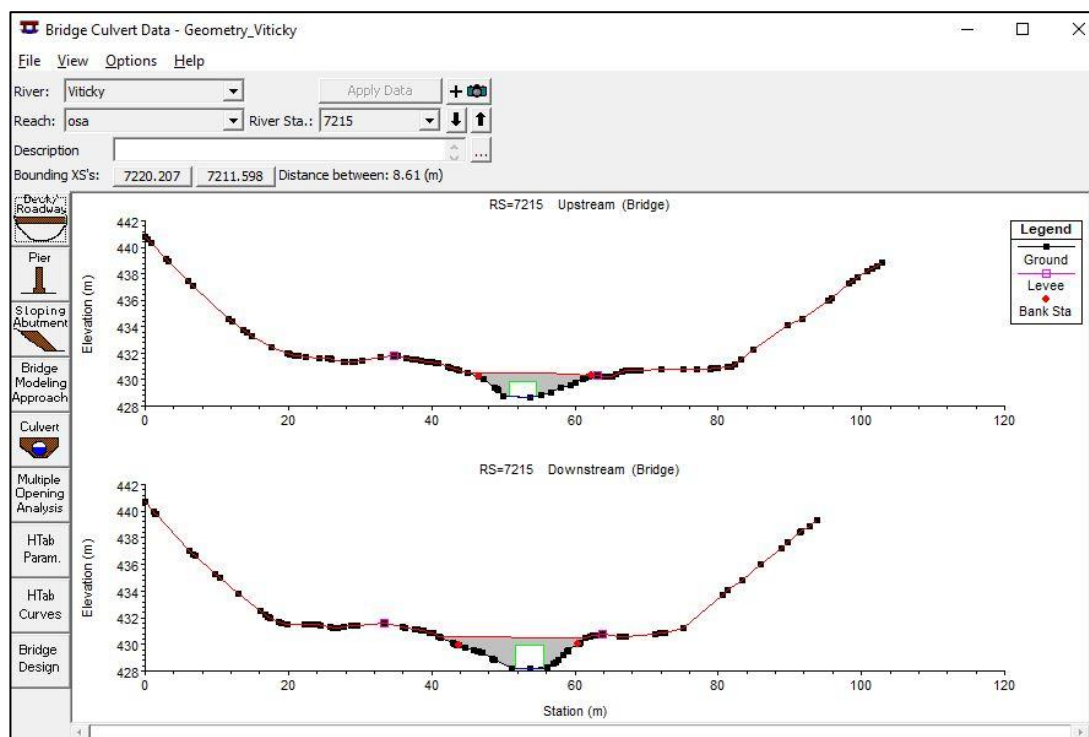
Upstream			Downstream		
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	45.01	430.49	40.9	430.62	400.
2	49.33	430.54	50.26	430.54	400.
3	50.82	430.52	51.75	430.52	400.
4	50.82	430.52	51.75	430.52	429.9
5	54.64	430.5	55.57	430.5	429.9
6	54.64	430.5	55.57	430.5	400.
7	55.74	430.5	56.67	430.5	400.
8	62.79	430.28	61.51	430.47	400.

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

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

Obr. č. 12: Příklad zadaného objektu do programu HEC-RAS

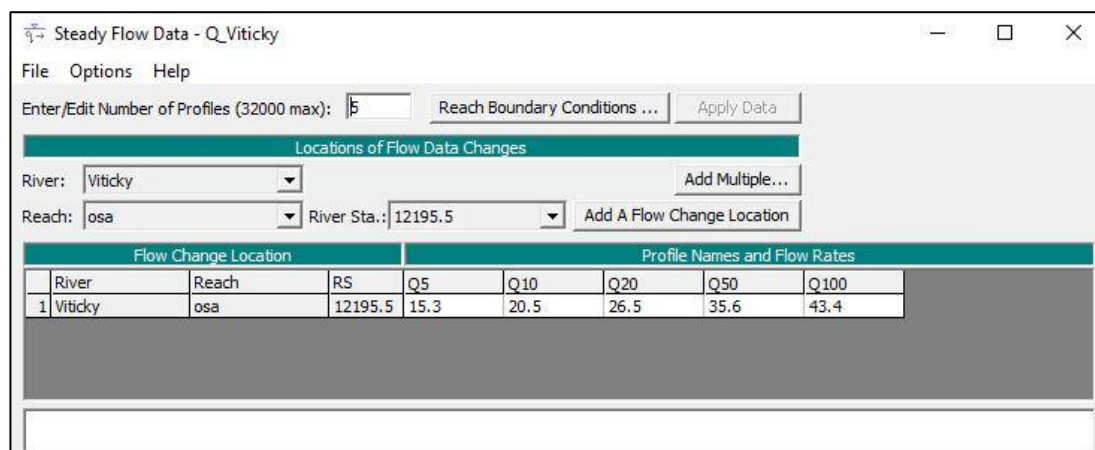


Obr. č. 13: Příklad vykreslení zadaného objektu do programu HEC-RAS

8.4.2 Zadání okrajových podmínek

Pro simulaci proudění vody v hydrodynamickém modelu je nutné zadat okrajové podmínky. Tyto podmínky byly pojmenovány a uloženy jako Q_Viticky. V případě této diplomové práce, která se zabývá simulací ustáleného proudění, byly okrajové podmínky zadány pomocí ikony *View / Edit steady flow data*. Nejprve byl zvolen počet simulací (*Enter / Edit Number of Profiles*), což znamená počet N-letých průtoků. Pro každou takto zvolenou simulaci byla vyplněna hodnota příslušného průtoku. Všech 5 zadaných hodnot je uvedeno v kapitole 8.1 Vstupní data. Hodnoty N-letých průtoků tvoří horní okrajovou podmínku ustáleného proudění.

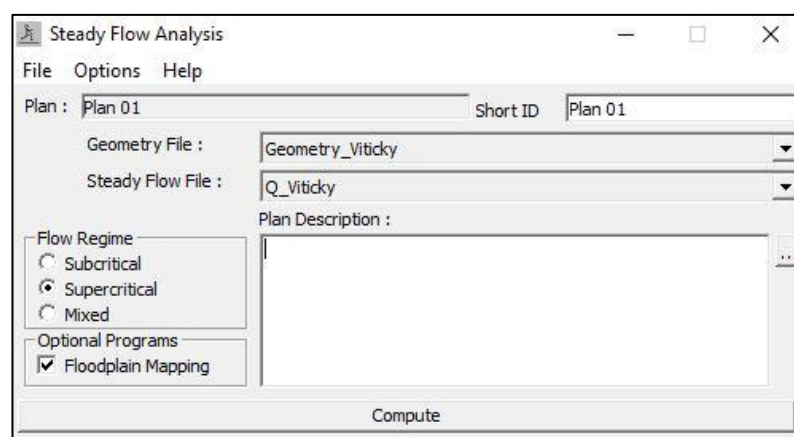
Dolní okrajová podmínka ustáleného proudění se volí pomocí ikony *Reach Boundary Conditions* a vybírá se z několika možností. Pro tento model byla zvolena podmínka kritické hloubky (*Critical Depth*). Tato podmínka zajišťuje, že program vypočítá pro každý profil kritickou hloubku bez nutnosti zadávání dalších údajů.



Obr. č. 14: Zadané okrajové podmínky ustáleného proudění v programu HEC-RAS

8.4.3 Spuštění výpočtu

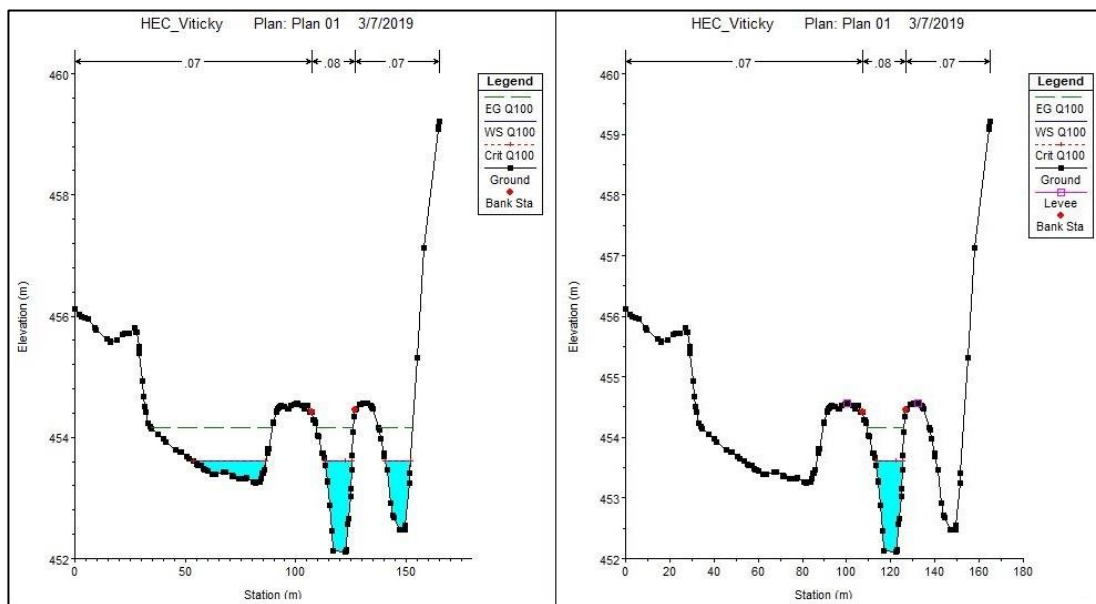
Po zadání všech geometrických dat a okrajových podmínek bylo na řadě spuštění výpočtu ustáleného proudění pomocí ikony *Perform a steady flow simulation*. Před samotným spuštěním bylo třeba vybrat typ proudění, který lze na daném vodním toku předpokládat. Byl vybrán typ proudění bystrinný (*Supercritical*). Výpočet byl spuštěn pomocí tlačítka *Compute*.



Obr. č. 15: Spuštění výpočtu v programu HEC-RAS

Po úspěšném proběhnutí výpočtu byly zjištěny jisté nedostatky u jednotlivých příčných profilů a bylo potřeba využít nástroje *Levees (View / Edit geometric data -> Edit and / or create cross sections -> Options -> Levees)*. Program HEC-RAS modeluje zatopené plochy příčných profilů dle nadmořských výšek. Terénní překážky, které by musela zvyšující se hladina nejprve překonat, nebere v potaz. Pomocí nástroje *Levees* byly tyto terénní překážky definovány, a to zadáním jejich staničení a nadmořských výšek. U jednoho příčného profilu lze zadat maximálně dvě překážky, jednu na pravém a jednu na levém břehu. U příčných profilů, které jsou morfologicky

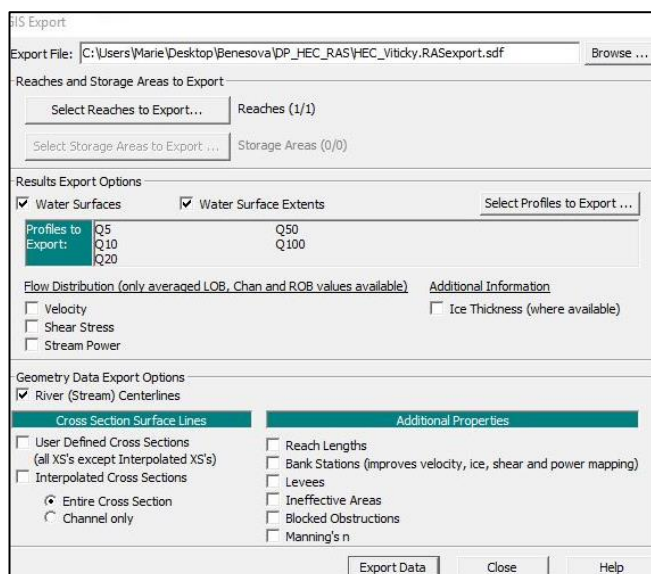
komplikovanější a bylo by třeba zadat více překážek na jedné straně břehu, byly definovány buď *Ineffective Flow Areas* nebo *Obstructions* (*View / Edit geometric data -> Edit and / or create cross sections -> Options -> Ineffective Flow Areas / Obstructions*). Tyto nástroje nejsou primárně určeny k řešení tohoto problému, lze je ale použít jako alternativní řešení. Příklad příčného profilu před a po použití nástroje *Levees* lze vidět na obrázku číslo 16. Po provedení těchto úprav byl opět spuštěn výpočet ustáleného proudění.



Obr. č. 16: Vlevo zatopená plocha pře použitím nástroje *Levees*, vpravo po jeho použití

8.5 Stanovení záplavového území v prostředí ArcGIS

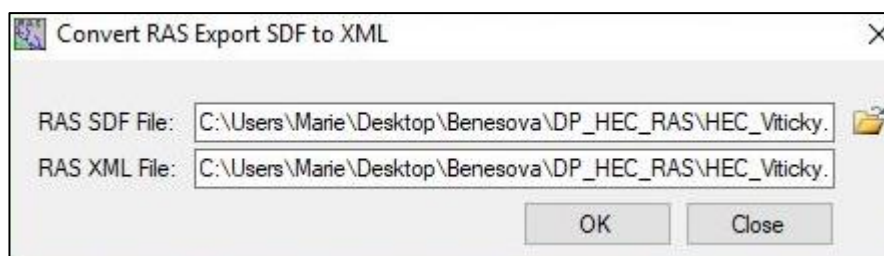
Po úspěšném dokončení výpočtu byla nově vzniklá data exportována z programu HEC-RAS pomocí funkce *Export GIS Data* (*File -> Export GIS Data*). V nově otevřeném okně *GIS Export* byly vybrány k exportování všechny provedené simulace.



Obr. č. 17: Exportování dat z programu HEC-RAS

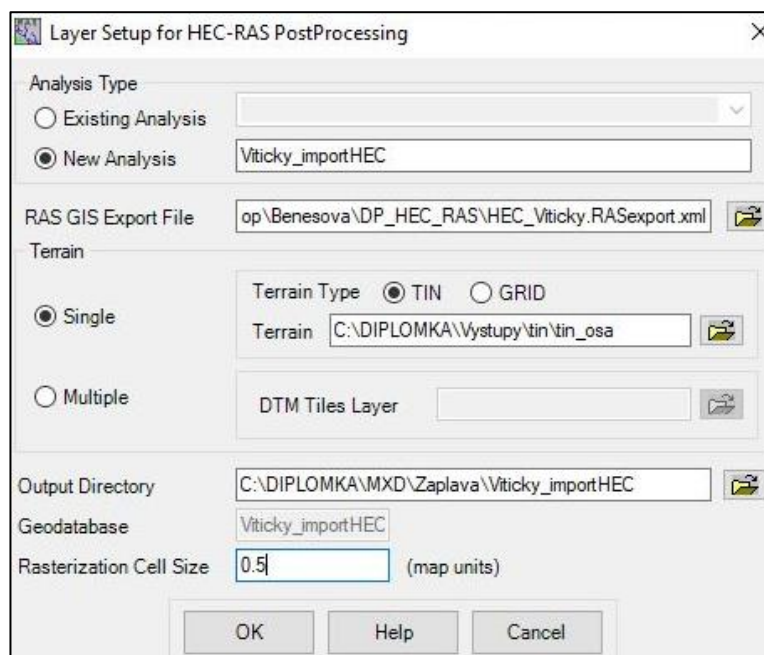
8.5.1 Import dat do programu ArcGIS pomocí extenze HEC-GeoRAS

Další částí postupu bylo importování dat do prostředí ArcGIS. Celá tato část byla provedena pomocí doplňkového programu HEC-GeoRAS. Transformace exportovaných dat ve formátu SDF do formátu XML (v tomto formátu se dá v prostředí ArcGIS s daty pracovat) byla provedena pomocí funkce *Import RAS SDF File*.



Obr. č. 18: Transformace dat ve formátu SDF do formátu XML

Před samotným importem bylo potřeba nastavit parametry importovaných vrstev pro další práci s nimi pomocí nástroje *Layer Setup (RAS Mapping -> Layer Setup)*. V nově otevřeném okně *Layer Setup for HEC-RAS Post Processing* byl zadán název nové složky kam se data importují, odkaz na digitální model terénu ve formátu TIN a rozlišení rastru. Rozlišení rastru bylo zvoleno 0.5 m, stejně jako rozlišení TIN modelu. Tímto krokem vznikla v ArcGIS nová skupina vrstev, která obsahuje mimo jiné také zvolený TIN model.

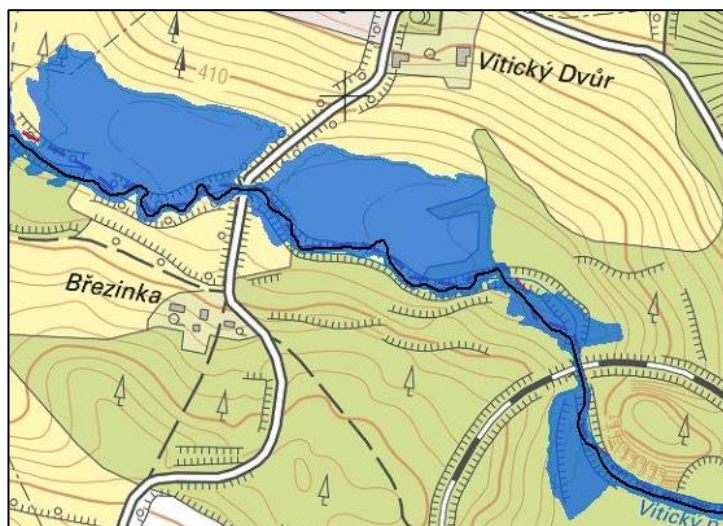


Obr. č. 19: Příprava importu dat – nastavení parametrů

Poté byl na řadě samotný import dat, a to pomocí funkce *Import RAS Data* (*RAS Mapping* -> *Import RAS Data*). Po tomto kroku byla veškerá potřebná data importována a mohlo se přejít ke stanovení záplavového území.

8.5.2 Stanovení záplavového území

Pro stanovení plochy záplavového území jednotlivých N-letých průtoků bylo potřeba provést dva kroky. Prvním bylo spustit nástroj *Water Surface Generation* (*RAS Mapping* -> *Inundation Mapping* -> *Water Surface Generation*), kterým se vytvořil model TIN zobrazující výšky vodní hladiny pro jednotlivé profily. Druhým krokem bylo spuštění nástroje *Floodplain Delineation Using Rasters* (*RAS Mapping* -> *Inundation Mapping* -> *Floodplain Delineation Using Rasters*). Tento nástroj odečetl výšku TIN modelu zobrazujícího zemský povrch od výšky TIN modelu zobrazujícího výšku vodní hladiny. V oblastech s pozitivními výsledky, ve kterých byla voda výše než terén, se vytvořil polygon znázorňující záplavové území.



Obr. č. 20: Příklad stanoveného záplavového území Q_{100}

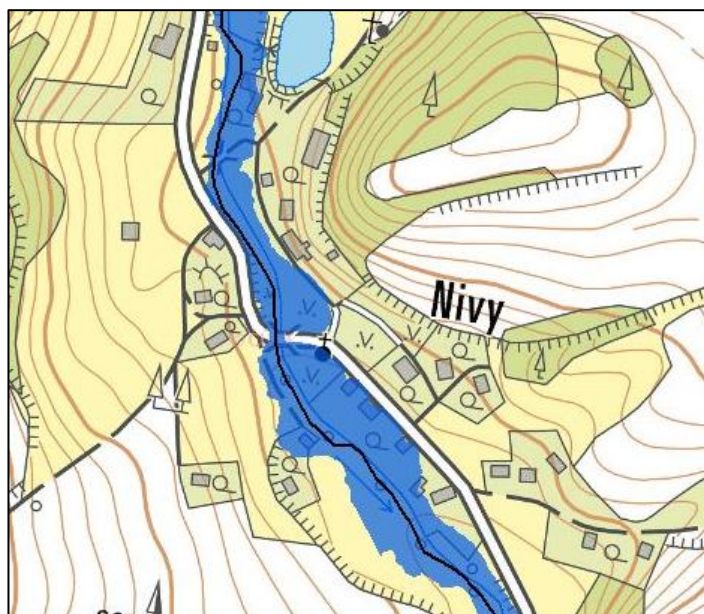
9 Výsledky

Po sestavení a úspěšném spuštění hydrodynamického modelu v programu HEC-RAS byla vymezena záplavová území. Tato území stanovují velikost záplavy při definovaných N-letých průtocích. V programu ArcGIS byly vytvořeny mapy znázorňující záplavové území stoleté a pětileté vody vybraného úseku Vitického potoka. Řešený úsek se nachází na 0 – 12,2 ř. km. Mapy záplavových území jsou zobrazeny v *přílohách číslo 25 - 30*. Na základě těchto map byly vyhodnoceny oblasti (důraz byl kladen na oblasti intravilánu), kde je koryto schopno bezpečně převést stoletý průtok a oblasti, ve kterých dochází při průtoku stoleté vody k vybřežení vody z koryta a k rozlivu na přilehlá území.

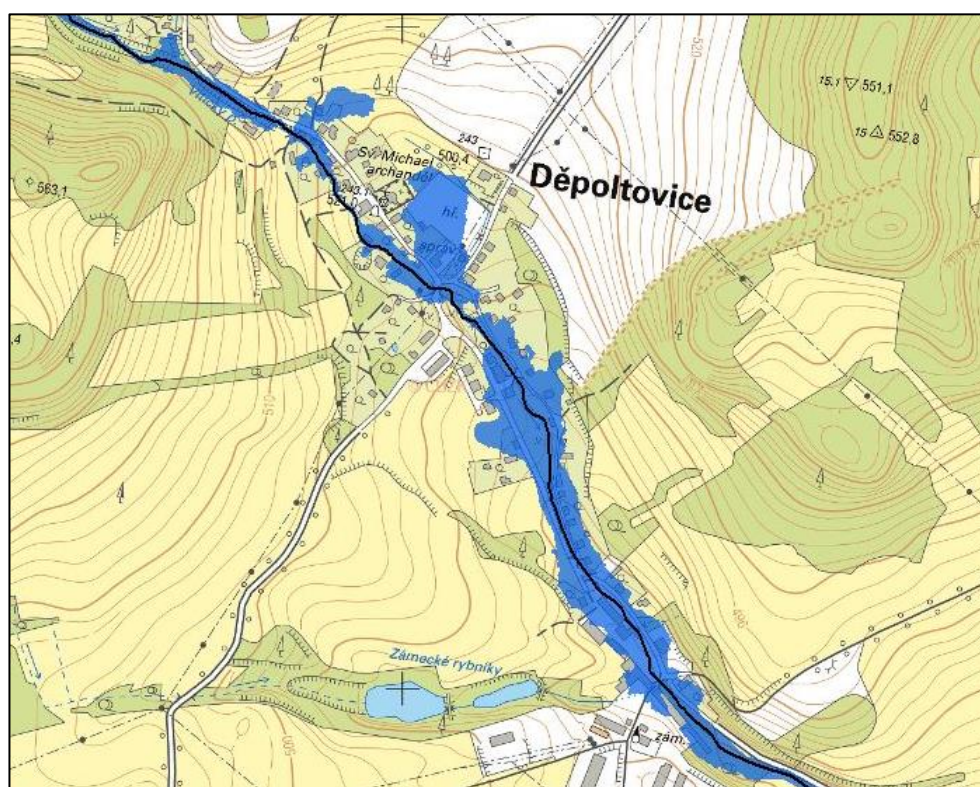
Vitický potok protéká v řešené části třemi obcemi: Dalovice, Nivy a Děpoltovice. Většina koryta nacházející se v intravilánu obce Dalovice je dostatečně kapacitní a je schopna bezpečně převést stoletou vodu. Ukázkový kapacitní příčný profil zobrazující průtok Q_5 a Q_{100} z této oblasti je zobrazen v *příloze číslo 31* a vybraná část záplavového území v oblasti kapacitního koryta je zobrazena v *příloze číslo 32*. Problémovými úseky v této obci jsou části toku od 0,66 do 0,95 ř. km a od 1,75 do 1,99 ř. km. Zde dochází k vybřežení vody z koryta a k ohrožení přilehlých pozemků. Ukázkový nedostatečně kapacitní příčný profil zobrazující průtok Q_5 a průtok Q_{100} z této oblasti je zobrazen v *příloze číslo 33* a vybraná část záplavového území v oblasti nedostatečně kapacitního koryta je zobrazena v *příloze číslo 34*. Na území obce Dalovice v úseku toku od 1,08 do 1,62 ř. km dochází také k vybřežení vody z koryta, ale v záplavovém území se nenachází žádná zástavba, pouze lesní a zemědělské pozemky.

Koryto na celém území obce Nivy je málo kapacitní a tím dochází k vybřežení vody z koryta a k ohrožení přilehlé zástavby. Jedná se o úsek vodního toku od 7,86 do 8,26 ř. km. Tento problémový úsek je zobrazen na *obrázku číslo 21*.

Koryto na území obce Děpoltovice je také v tomto celém úseku málo kapacitní. I zde dochází k vybřežení vody z koryta a k ohrožení přilehlé zástavby. Tento úsek se nachází na 10,39 až 11,79 ř. km. a je zobrazen na *obrázku číslo 22*.



Obr. č. 21: Záplavové území Q_{100} na území obce Nivy (ř. km 7,86 – 8,26)



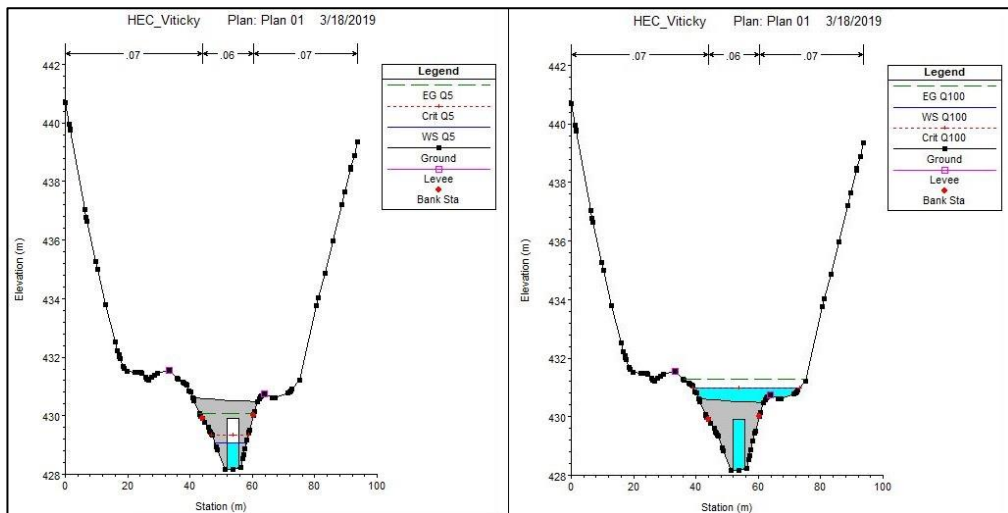
Obr. č. 22: Záplavové území Q_{100} na území obce Děpoltovice (ř. km 10,39 – 11,79)

Na základě výsledků simulací uskutečněných pomocí hydrodynamického modelu bylo provedeno hydrotechnické posouzení objektů nacházejících se na řešeném úseku vodního toku Vitický potok. Seznam objektů s hodnotami N -letých průtoků, při kterých dojde k překročení kapacity objektů a k jejich zatopení, je uveden v *tabulce číslo 5*. Z šestadvaceti posuzovaných objektů bylo pouze

10 vyhodnoceno jako dostatečně kapacitní na převedení stoletého průtoku. Jedná se o objekty nacházející se především na území obce Dalovice (0,22; 0,36; 0,60; 2,21 a 2,61 ř. km). Jako vyhovující se také ukázaly oba železniční viadukty (2,95 a 3,86 ř.km). Dále se jedná o most nacházející se blízko Dalovic (3,13 ř. km), o most nacházející se na 6,21 ř. km a o most v Děpoltovicích (11,46 ř. km). Ukázkový dostatečně kapacitní objekt, který je schopen převést stoletý průtok, je zobrazen v příloze číslo 35. Čtyři objekty se ukázaly jako nevyhovující už při průtoku pětileté vody, při průtoku desetileté vody se ukázalo jako nevyhovující dalších šest objektů. K zatopení objektů vodou až při dvacetiletém průtoku došlo u pěti objektů a k zatopení vodou až při stoletém průtoku došlo u jednoho objektu. Ukázkový nedostatečně kapacitní objekt je zobrazen na obrázku číslo 23.

Staničení objektu [ř. km]	Typ objektu	N-letý průtok (při kterém dojde k překročení kapacity objektu)
0.22	most	-
0.36	lávka	-
0.60	most	-
0.73	betonová lávka	100
1.07	most	20
1.66	lávka	20
2.21	lávka	-
2.61	most	-
2.95	železniční viadukt	-
3.13	most	-
3.86	železniční viadukt	-
4.34	most	5
6.21	most	-
7.22	most	10
8.02	most	20
8.16	most	5
9.43	most	10
10.56	most	10
10.75	most	5
10.90	lávka	10
11.09	most	5
11.19	lávka	20
11.27	most	10
11.46	most	-
11.61	most	20
11.68	most	10

Tab. č. 5: Hydrotechnické posouzení objektů



Obr. č. 23: Nedostatečně kapacitní objekt v ř. km 7,22

10 Diskuze

Při modelování záplavových území a při hydrotechnickém posuzování objektů je velice důležitá přesnost vstupních dat. Vstupními daty se myslí geometrická data (osa toku, břehové linie, příčné profily), digitální model terénu a drsnost koryta.

Digitální model terénu byl vyhotoven na základě Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). DMR 5G vznikl metodou leteckého laserového skenování povrchu země. Toto skenování nepronikne pod vodní hladinu, výsledkem je tedy model zobrazující nadmořskou výšku hladiny vody v korytě, ne však výšku koryta samotného. K vyřešení této problematiky by bylo možné využít nástroj CroSolver for ArcGIS. Pomocí tohoto nástroje lze zahloubit koryto pod naskenovanou vodní hladinu o lichoběžníkový či obdélníkový profil. V případě mé diplomové práce byl tento krok vyhodnocen jako zanedbatelný, jelikož při běžných průtocích je hloubka vody v korytě Vitického potoka v řádech centimetrů. Zahloubení koryta o takto malou hloubku nemá při určování N-letých průtoků význam.

Dalšími vstupními daty ovlivňujícími sestavení hydrodynamického modelu jsou geometrická data, konkrétněji rozmístění příčných profilů. Pokud jsou profily voleny nesprávně nebo pokud je jejich množství nedostačující, dochází ke zkreslení geometrie vodního toku. V této práci byly příčné profily vytvořeny na základě digitálního modelu terénu, čímž se pravděpodobně mírně liší od skutečného tvaru koryta. Pro přesnější informace o korytu by bylo potřeba příčné profily vyhotovit pomocí geodetického zaměření.

Důležitým vstupem do hydrodynamického modelu je drsnost koryta a inundačního území. V této práci byla řešená část Vitického potoka rozdělena na deset úseků s podobnými charakteristikami a těmto úsekům byla přiřazena určitá hodnota Manningova drsnostního součinitele. Drsnost je závislá na stavu vegetace, tudíž se může v průběhu roku měnit. Pro zpřesnění modelu by bylo také vhodné řešenou část Vitického potoka rozdělit podrobněji.

Z výsledků je patrné, že značná část objektů na vodním toku nemá dostatečnou kapacitu na převedení N-letých průtoků a také, že ve velké části intravilánu má koryto nedostatečnou kapacitu. Možným řešením by mohlo být zkapacitnění objektů na toku a také úprava koryta toku, například prohloubení koryta, rozšíření koryta nebo navýšení břehové hrany koryta.

11 Závěr

Náplní této diplomové práce bylo sestavení hydrodynamického modelu, následné hydrotechnické posouzení vodohospodářských objektů na vybraném úseku Vitického potoka (0 – 12,2 ř. km) a stanovení záplavových území pro jednotlivé N-leté průtoky.

Pomocí hydrodynamického modelu byly provedeny simulace pro průtoky s periodicitou opakování 5, 10, 20, 50 a 100 let. Na základě výsledků těchto simulací bylo provedeno hydrotechnické posouzení vodohospodářských objektů, které spočívá ve schopnosti objektů převádět definované průtoky. Z šestadvaceti posuzovaných objektů bylo pouze 10 objektů vyhodnoceno jako dostatečně kapacitní na převedení průtoku Q_{100} . Tyto objekty se nacházejí především na území Dalovic (0 – 2,61 ř. km). Jako vyhovující se také ukázaly oba železniční viadukty nacházející se v okolí Dalovic. Zbýlých 16 objektů se po provedení simulací ukázalo jako nevyhovující pro převedení průtoku stoleté vody. Došlo k překročení jejich kapacity, následkem toho k jejich zatopení a tím se z nich stala překážka v průtočném profilu vodního toku. U deseti objektů došlo k zatopení už při průtoku Q_5 nebo Q_{10} . U pěti objektů došlo k překročení kapacity při průtoku Q_{20} .

Na základě výsledků simulací hydrodynamického modelu byla schematizována záplavová území na vybraném úseku vodního toku, konkrétně pro pětiletý a stoletý průtok. Vykreslení záplavových území ukázalo na problematická místa vodního toku, kde došlo k vybřežení vody z koryta a k jejímu rozliti do okolí. Jako nejvíce problematické, z hlediska ochrany obyvatel a nemovitostí, se ukázaly oblasti nacházející se v katastrálních územích Děpolovice a Nivy. Zde došlo k vybřežení vody z koryta toku a k jejímu rozliti na přilehlé pozemky v téměř celé délce toku v oblasti intravilánu.

Hlavním přínosem této diplomové práce je náhled na současný hydrotechnický stav koryta vodního toku Vitický potok. Výsledky práce mohou sloužit jako zdroj informací pro budoucí úpravu koryta a také pro dimenzování objektů. Grafické výsledky práce mohou sloužit jako informační prostředek pro obyvatele obcí v okolí Vitického potoka. Lze z nich získat přehled o rozsahu záplavy při průtocích Q_5 a Q_{100} . Tato diplomová práce může také sloužit jako ucelený zdroj informací o povodí Vitického potoka.

12 Literatura a použité zdroje

BENEŠOVÁ M., 2017: *Hydrologická studie povodí Vitického potoka*. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha, 68 s., (bakalářská práce), „nepublikováno“.

BROŽA V. a SATRAPA L., 1992: *Hydrotechnické stavby 10*. ČVUT, Praha, 170 s., ISBN 80-01-01581-5.

BROŽA V., ČIHÁK F. a SATRAPA L., 1998: *Hydrotechnické stavby*. Český svaz stavebních inženýrů, Praha, 195 s., ISBN 80-902460-5-2.

BROŽA V., KAZDA I., PATERA A. a PŘENOSILOVÁ E., 1993: *Vodohospodářské stavby*. ČVUT, Praha, 162 s., ISBN 80-01-01021-X.

BRUNNER G. W., 2016: *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. US Army Corps of Engineers, Davis, (online) [cit.27.02.2019], dostupné z <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf> .

ČAMROVÁ L., JÍLKOVÁ J. a kol., 2006: *Povodňové škody a nástroje k jejich snížení*. IEEP – Vysoká škola ekonomická v Praze, Praha, 420 s., ISBN 80–86684–35–0.

ČHMÚ, ©2019: *Historická data* (online) [cit.20.01.2019], dostupné z <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace> .

ČHMÚ, ©2018: *Povodňové jevy* (online) [cit.25.5.2018], dostupné z <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/povodne.html> .

ČÚZK, ©2016: *Základní báze geografických dat ZABAGED® - výškopis: Digitální model reliéfu ČR 5.generace (DMR 5G)*

DUB O. a NĚMEC J., 1969: *Hydrologie*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 378 s.

FIALA J., KAURA J. a SÁDLO J., 1980: *Stavby vodní a meliorační pro 4. ročník středních průmyslových škol stavebních*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 312 s.

GEOPORTAL, ©2018: *CENIA* (online) [cit.18.01.2019], dostupné z <https://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/> .

HARTVICH P., 1997: *Hlavní typy rybích přechodů a jejich biotechnické funkce*. Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický Jihočeské univerzity, Vodňany, 10 s., ISBN 80-85887-17-7.

HEC-RAS: *Features*. (online) [cit.28.02.2019], dostupné z <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx> .

HRÁDEK F. a KUŘÍK P., 2008: *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 272 s., ISBN 978-80-213-1744-4.

HUBAČÍKOVÁ V., 2002: *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 43 s., ISBN 80-7157-638-7.

JENÍČEK M., 2005: *Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích*. PŘF UK, Praha, (online) [cit.20.02.2019], dostupné z <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=publikace&cislo=3> .

JENÍČEK M., NONDEK L., NESMĚRÁK I. a KOBLÍŽKOVÁ E., 2011: *Aplikace matematických modelů v oblasti ochrany vody a vodního hospodářství*. In: BÍZEK V. a kol., 2011: *Aplikace modelů v oblasti životního prostředí*. CENIA, Praha, 277 s., ISBN 978-80-85087-88-8.

KEMEL M., 1996: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. ČVUT, Praha, 289 s, ISBN 80-01-01456-8.

KOVÁŘ P. a KŘOVÁK F., 2002: *Učební text pro předmět Hrazení bystřín*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 45 s., ISBN 80-213-0888-5.

KREŠL J., 2001: *Hydrologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 125 s., ISBN 80-7157-513-5.

KULHAVÝ Z. a KOVÁŘ P., 2000: *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 123 s.

MZe & MŽP, 2010: *Koncepce řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodě blízkých opatření*. MZe a MŽP, Praha.

NĚMEC J., 1965: *Hydrologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 237 s..

NOVÁK P., ROUB R., URBAN F., VYBÍRAL T., HEJDUK T., MAXOVÁ J., ZAJÍČEK A. a BUREŠ L., 2015: *Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha, 50 s., ISBN 978-80-87361-49-8.

POKORNÁ D. a ZÁBRANSKÁ J., 2008: *Hydrologie a hydropedologie*. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 218 s., ISBN 978-80-7080-707-1.

Povodí Ohře, státní podnik, ©2005: *Stanovení záplavového území*. Aquatis, Brno.

Povodňový plán České Republiky, 2018: *Stupně povodňové aktivity* (online) [cit.9.6.2018], dostupné z http://www.dppcr.cz/html_pub/ .

RUDA A., 2014: *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*. Fakulta informatiky Masarykovy Univerzity, Brno, 257 s., (online) [cit.10.02.2017], dostupné z http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz_geogr/web/skripta/klimatologie_hydrogeografie.pdf .

ŘEDINOVÁ J., PAVLÁSEK J. a MÁČA P., 2009: *Hydrologie, návody ke cvičením*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 79 s., (online) [cit.14.11.2016], dostupné z <http://fzp.czu.cz/~exkurze/dokumenty/kvhem/skripta.pdf> .

SMELÍK L., UHMANNOVÁ H. a FOLTÝNOVÁ L., 2011: *Katalog drsností*. Ústav vodních staveb Fakulty stavební VUT, Brno, (online) [cit.27.2.2019], dostupné z <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/uvod> .

SOUKUPOVÁ J., 2012: *Atmosférické procesy: (základy meteorologie a klimatologie)*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 204 s., ISBN 978-80-213-2234-9.

THOŘ Z., 1981: *Vodohospodářské stavby*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 107 s.

UNUCKA J., 2010: *Floreon – Infrastruktura, která předpovídá povodně*. Institut geologického inženýrství Vysoké školy báňské – Technické Univerzity Ostrava, Ostrava, (online) [cit.25.02.2019], dostupné z <http://computerworld.cz/technologie/floreon-infrastruktura-ktera-predpovida-povodne-5432> .

Vyhláška č. 393/2010 Sb., o oblastech povodí, v platném znění.

Vyhláška č. 79/2018 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace, v platném znění.

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, ©2017: *Mapy povodňového nebezpečí: Zpracování dat pro vyjádření povodňového nebezpečí.* Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, (online) [cit.26.02.2019], dostupné z http://www.povis.cz/mzp/poster_mapy_nebezpeci.pdf .

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, ©2018: *Prohlížení dat* (online) [cit.15.11.2018], dostupné z <http://heis.vuv.cz/data/spusteni/identchk.asp?typ=00>.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.

Zdroje obrázků:

Obr. č. 3: **1. (1), 2. (2) a 3. (3) stupeň povodňové aktivity** (ČHMÚ, ©2018: *Povodňová ochrana v ČR* (online) [cit.06.06.2018], dostupné z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povodnova_ochrana.html.

13 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Řádovost vodních toků dle Gravelia (1) a dle Strahlera (2).....	14
Obr. č. 2: Stromovité (1) a vějířovité (2) uspořádání říční sítě.....	18
Obr. č. 3: 1. (1), 2. (2) a 3. (3) stupeň povodňové aktivity.....	34
Obr. č. 4: Poloha řešeného území Vitického potoka v rámci ČR.....	42
Obr. č. 5: Poloha řešeného území v rámci povodí Vitického potoka	43
Obr. č. 6: Řešené území Vitického potoka.....	44
Obr. č. 7: Hydrologická pořadí a říční síť.....	46
Obr. č. 8: Digitální model terénu ve formátu TIN - detail.....	51
Obr. č. 9: Břehové linie a linie osy toku – detail.....	52
Obr. č. 10: Rozmístění příčných profilů – detail	53
Obr. č. 11: Příklad importovaného příčného profilu do programu HEC-RAS....	54
Obr. č. 12: Příklad zadaného objektu do programu HEC-RAS	55
Obr. č. 13: Příklad vykreslení zadaného objektu do programu HEC-RAS	56
Obr. č. 14: Zadané okrajové podmínky ustáleného proudění v programu HEC- RAS	57
Obr. č. 15: Spuštění výpočtu v programu HEC-RAS.....	57
Obr. č. 16: Vlevo zatopená plocha pře použitím nástroje <i>Levees</i> , vpravo po jeho použití	58
Obr. č. 17: Exportování dat z programu HEC-RAS.....	59
Obr. č. 18: Transformace dat ve formátu SDF do formátu XML	59
Obr. č. 19: Příprava importu dat – nastavení parametrů.....	60
Obr. č. 20: Příklad stanoveného záplavového území Q_{100}	61
Obr. č. 21: Záplavové území Q_{100} na území obce Nivy (ř. km 7,86 – 8,26)	63
Obr. č. 22: Záplavové území Q_{100} na území obce Děpoltovice (ř. km 10,39 – 11,79).....	63
Obr. č. 23: Nedostatečně kapacitní objekt v ř. km 7,22.....	65

14 Seznam rovnic

(Rovnice č. 1) – Součinitel asymetrie povodí a	15
(Rovnice č. 2) – Součinitel tvaru povodí α	15
(Rovnice č. 3) – Střední šířka povodí B	15
(Rovnice č. 4) – Součinitel tvaru povodí α	16
(Rovnice č. 5) – Průměrná délka svahů L_S	16
(Rovnice č. 6) – Střední sklon svahů I_{SV}	17
(Rovnice č. 7) – Střední sklon svahů I_{SV} dle Herbsta pro Δh konstantní	17
(Rovnice č. 8) – Střední sklon svahů I_{SV} dle Herbsta pro Δh různé	17
(Rovnice č. 9) – Průměrný sklon údolnice I_U	17
(Rovnice č. 10) – Absolutní spád povodí ΔH	18
(Rovnice č. 11) – Hustota říční sítě h_{rs}	18
(Rovnice č. 12) – Koeficient lesnatosti K	19
(Rovnice č. 13) – Srážko – odtokový proces	39

15 Seznam tabulek

Tab. č. 1: Druhy povodí v závislosti na součinitelu tvaru povodí α	16
Tab. č. 2: Seznam objektů (se staničením) na řešeném úseku Vitického potoka	45
Tab. č. 3: Krajinný pokryv povodí	48
Tab. č. 4: Hodnoty N-letých průtoků	51
Tab. č. 5: Hydrotechnické posouzení objektů	64

16 Seznam příloh

Příloha č. 1: Objekt č.2: betonová lávka pro pěší – 0.36 ř. km	78
Příloha č. 2: Objekt č.3: betonový silniční most – 0.60 ř. km	78
Příloha č. 3: Objekt č.5: betonový silniční most – 1.07 ř. km	79
Příloha č. 4: Objekt č.8: betonový silniční most – 2.61 ř. km	79
Příloha č. 5: Objekt č.10: silniční most – 3.13 ř. km	79
Příloha č. 6: Objekt č.13: silniční most – 6.21 ř. km	79
Příloha č. 7: Objekt č.14: most – 7.22 ř. km	79
Příloha č. 8: Objekt č.18: silniční most – 10.56 ř. km	79
Příloha č. 9: Objekt č.19: silniční most – 10.75 ř. km	79
Příloha č. 10: Objekt č.20: dřevěná lávka – 10.90 ř. km	79
Příloha č. 11: Geometrické charakteristiky povodí	79
Příloha č. 12: Orografické charakteristiky povodí	79
Příloha č. 13: Výškové poměry v povodí Vitického potoka	79
Příloha č. 14: Sklonové poměry v povodí Vitického potoka	79
Příloha č. 15: Orientace svahů v povodí Vitického potoka	79
Příloha č. 16: Využití území v povodí Vitického potoka	79
Příloha č. 17: Půdní poměry v povodí Vitického potoka	79
Příloha č. 18: Geologické poměry v povodí Vitického potoka	79
Příloha č. 19: Průměrná roční teplota vzduchu [°C] v letech 1961 až 1990 v ČR	79
Příloha č. 20: Průměrný roční úhrn srážek [mm] v letech 1961 až 1990 v ČR ...	79
Příloha č. 21: Digitální model terénu - TIN	79
Příloha č. 22: Rozmístění příčných profilů	79
Příloha č. 23: Hodnoty Manningova drsnostního součinitele	79
Příloha č. 24: Hodnoty Manningova drsnostního součinitele – fotografie úseků	79
Příloha č. 25: Záplavové území – přehled mapových listů	79
Příloha č. 26: Záplavové území – mapový list 1 (ř. km 0,00 – 1,78)	79
Příloha č. 27: Záplavové území – mapový list 2 (ř. km 1,67 – 5,26)	79
Příloha č. 28: Záplavové území – mapový list 3 (ř. km 5,10 – 8,00)	79

Příloha č. 29: Záplavové území – mapový list 4 (ř. km 7,89 – 10,65)	79
Příloha č. 30: Záplavové území – mapový list 5 (ř. km 10,55 – 12,20)	79
Příloha č. 31: Příčný profil v ř. km 0,21 – kapacitní profil na území obce Dalovice	79
Příloha č. 32: Ukázka záplavového území v kapacitním korytu v obci Dalovice (ř. km 0,14 – 0,45)	79
Příloha č. 33: Příčný profil v ř. km 0,73 – nekapacitní profil při Q100 (vpravo) na území obce	79
Příloha č. 34: Ukázka záplavového území v nekapacitním korytu v obci Dalovice (ř. km 0,61 – 0,92)	79
Příloha č. 35: Kapacitní objekt v ř. km 0,60	79

17 Přílohy



Příloha č. 1: Objekt č.2: betonová lávka pro pěší – 0.36 ř. km



Příloha č. 2: Objekt č.3: betonový silniční most – 0.60 ř. km



Příloha č. 3: Objekt č.5: betonový silniční most – 1.07 ř. km



Příloha č. 4: Objekt č.8: betonový silniční most – 2.61 ř. km



Příloha č. 5: Objekt č.10: silniční most – 3.13 ř. km



Příloha č. 6: Objekt č.13: silniční most – 6.21 ř. km



Příloha č. 7: Objekt č.14: most – 7.22 ř. km



Příloha č. 8: Objekt č.18: silniční most – 10.56 ř. km



Příloha č. 9: Objekt č.19: silniční most – 10.75 ř. km



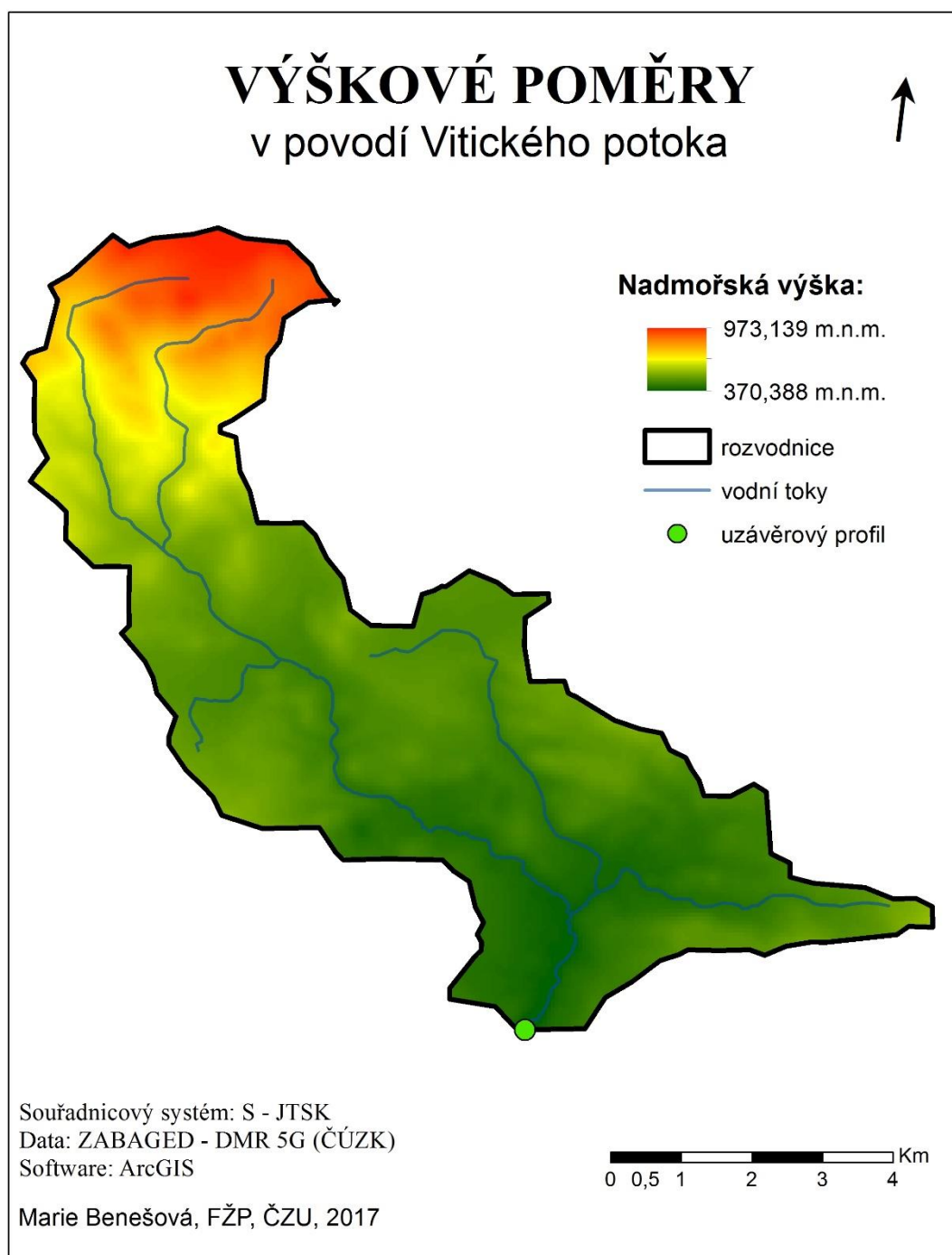
Příloha č. 10: Objekt č.20: dřevěná lávka – 10.90 ř. km

GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODÍ		
Plocha povodí F (ArcGIS)	49,170	km ²
Plocha pravé strany povodí F_P (ArcGIS)	15,148	km ²
Plocha levé strany povodí F_L (ArcGIS)	34,022	km ²
Délka hlavního toku L_{HT} (ArcGIS)	16,788	km
Délka údolnice L_U (ArcGIS)	17,662	km
Délka ostatních toků v povodí L (ArcGIS)	19,000	km
Délka rozvodnice O (ArcGIS)	46,582	km
Součinitel asymetrie a (rovnice č. 1)	0,384	-
Součinitel tvaru povodí α (rovnice č. 2)	0,158	-
Střední šířka povodí B (rovnice č. 3)	2,784	km
Průměrná délka svahů L_S (rovnice č. 5)	1,392	km
Hustota říční sítě h_{rs} (rovnice č. 11)	0,728	km ⁻¹

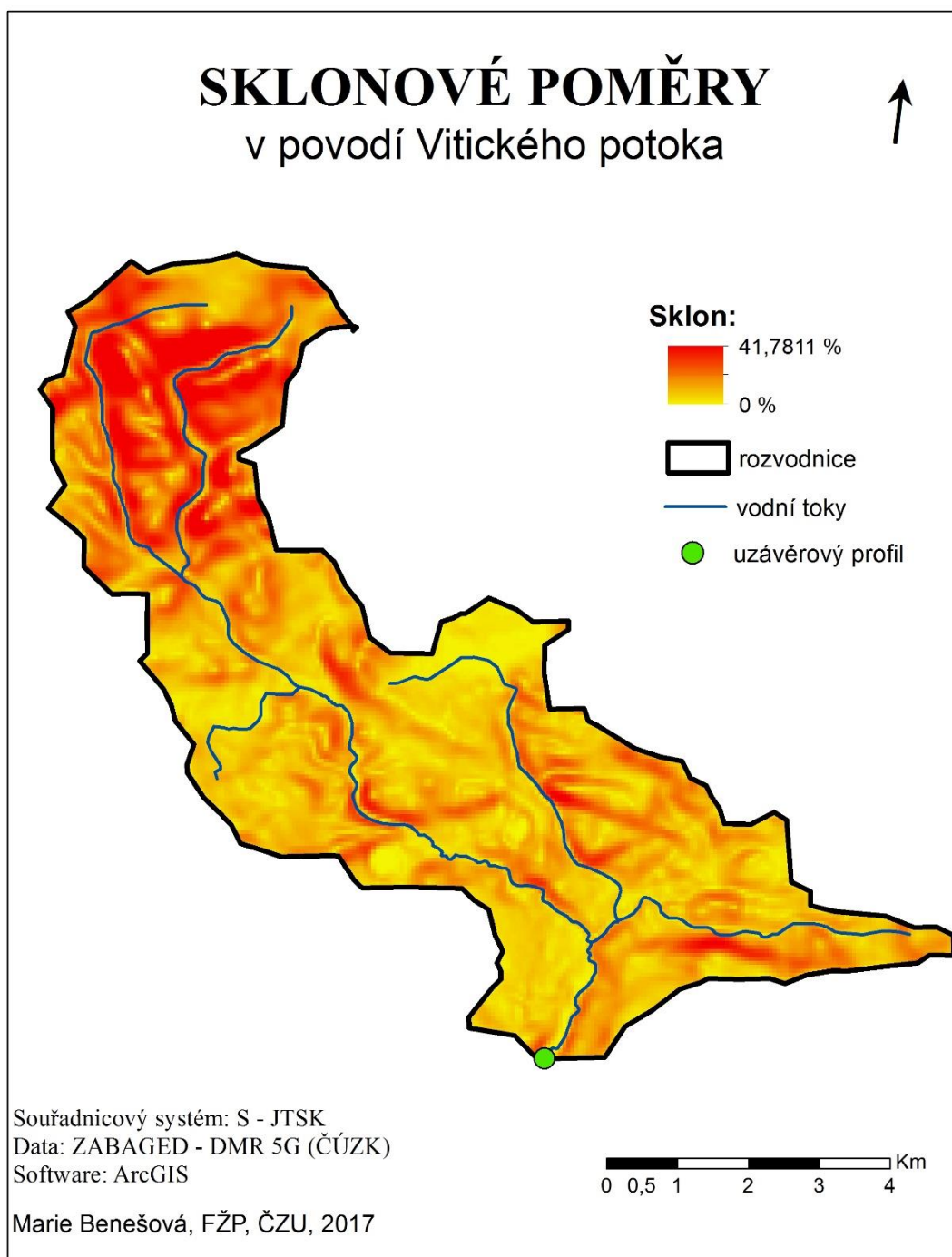
Příloha č. 11: Geometrické charakteristiky povodí (Benešová 2017)

OROGRAFICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODÍ			
Maximální nadmořská výška povodí H_{\max} (ArcGIS)		976	[m n.m.]
Minimální nadmořská výška povodí H_{\min} (ArcGIS)		367	[m n.m.]
Průměrná nadmořská výška povodí (ArcGIS)		530,873	[m n.m.]
Maximální nadmořská výška hlavního toku (ArcGIS)		929	[m n.m.]
Maximální nadmořská výška údolnice $H_{U\max}$ (ArcGIS)		968	[m n.m.]
Minimální nadmořská výška údolnice $H_{U\min}$ (ArcGIS)		367	[m n.m.]
Nadmořská výška uzávěrového profilu (ArcGIS)		367	[m n.m.]
Střední sklon svahů I_{sv}	(rovnice č. 6)	8,685	[%]
	(ArcGIS)	9,051	[%]
Střední sklon svahů levého břehu $I_{sv,L}$	(rovnice č. 6)	10,441	[%]
	(ArcGIS)	9,837	[%]
Střední sklon svahů pravého břehu $I_{sv,P}$	(rovnice č. 6)	15,442	[%]
	(ArcGIS)	7,296	[%]
Průměrný sklon údolnice I_U (rovnice č. 9)		3,403	[%]
Absolutní spád ΔH (rovnice č. 10)		609	[m]
Lesnatost povodí K (rovnice č. 12)		52,475	[%]

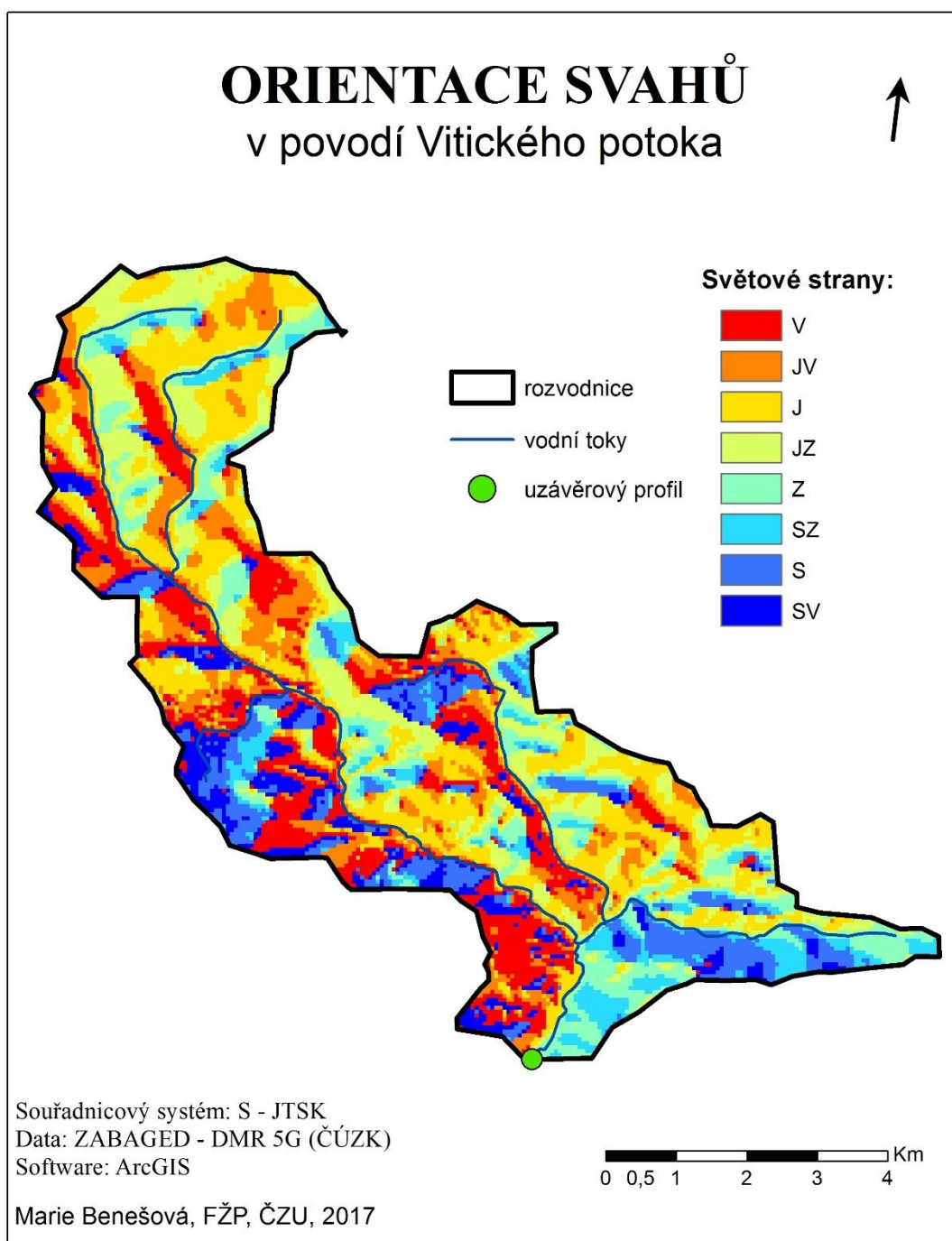
Příloha č. 12: Orografické charakteristiky povodí (Benešová 2017)



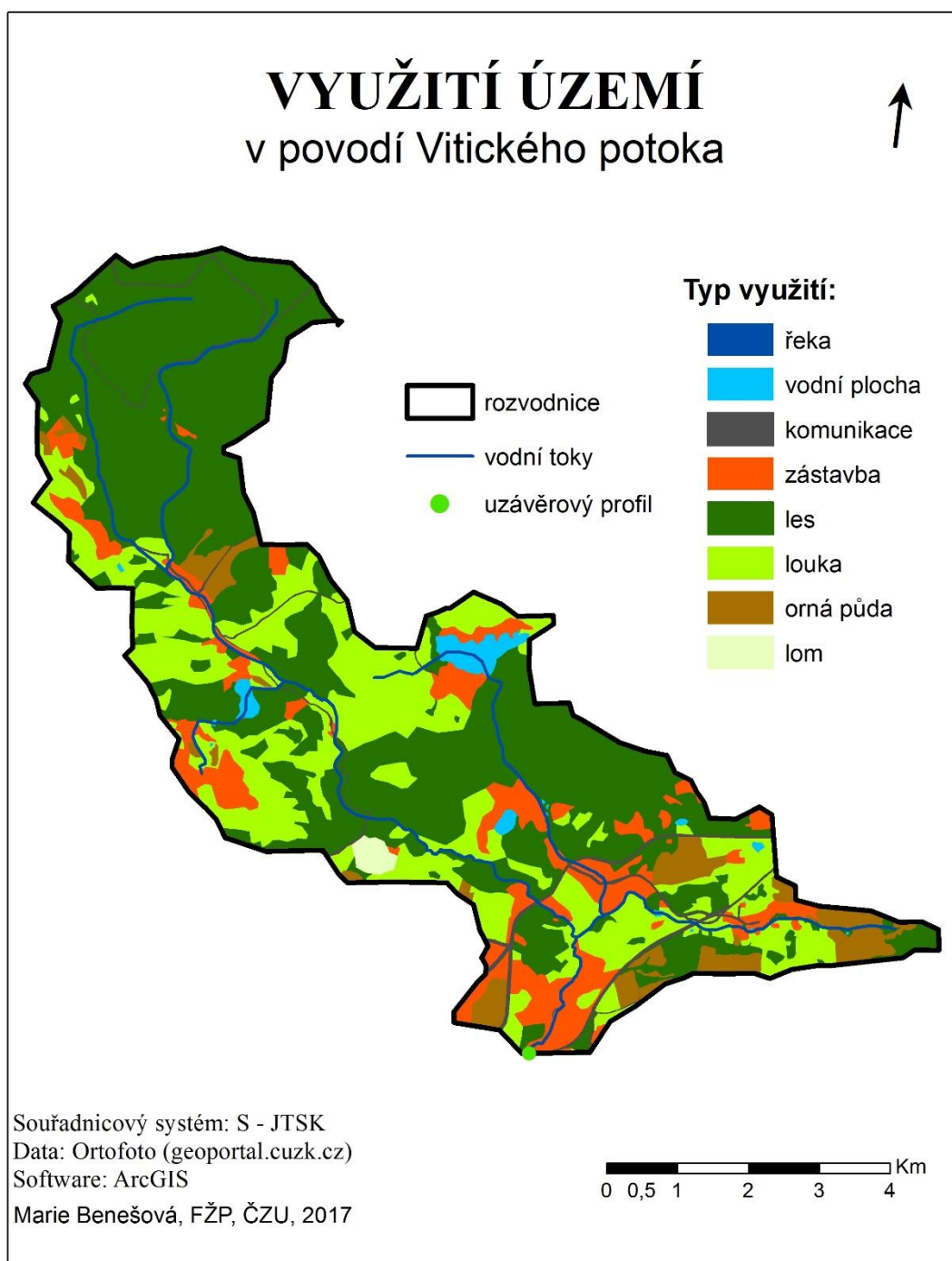
Příloha č. 13: Výškové poměry v povodí Vitického potoka (Benešová 2017)



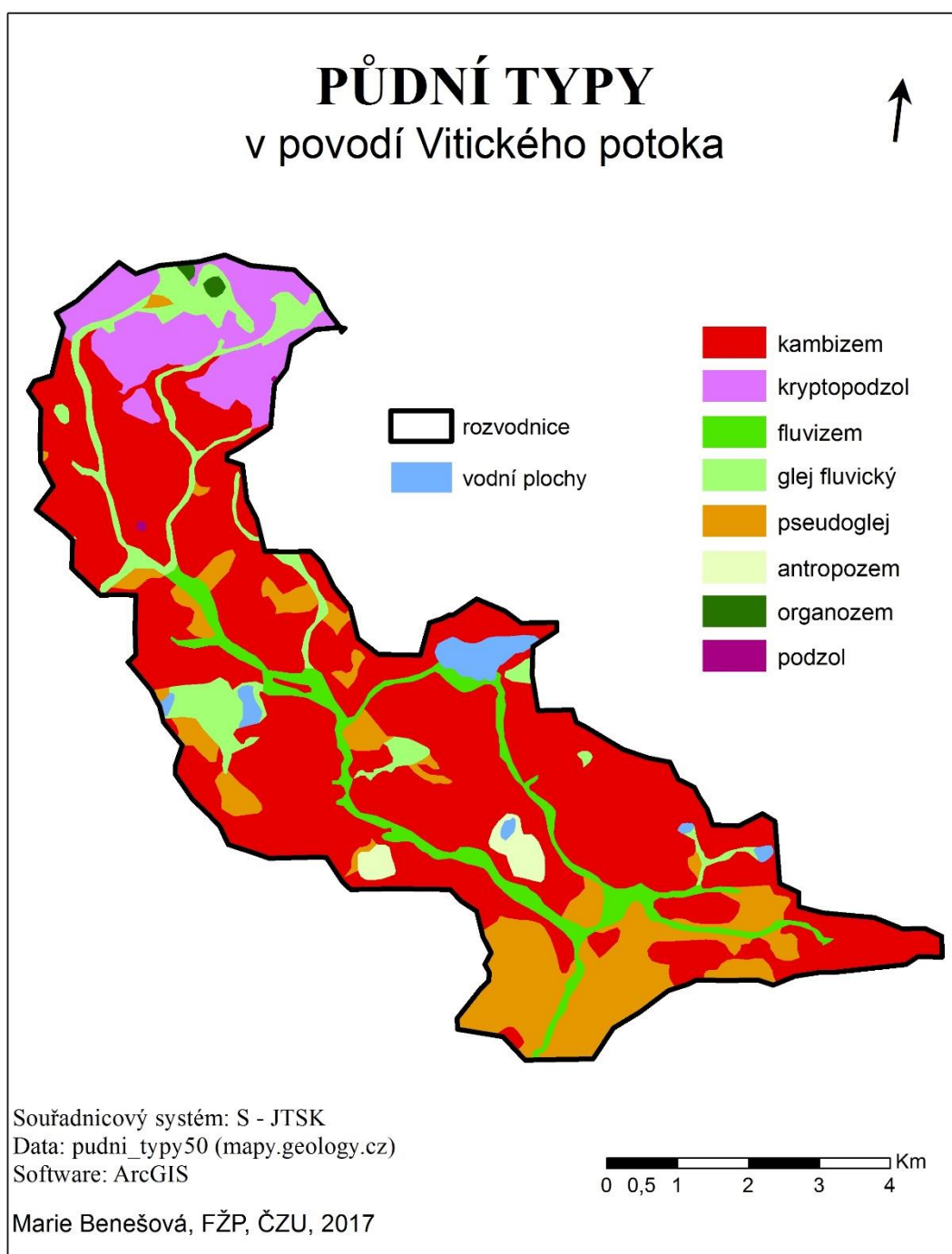
Příloha č. 14: Sklonové poměry v povodí Vitického potoka (Benešová 2017)



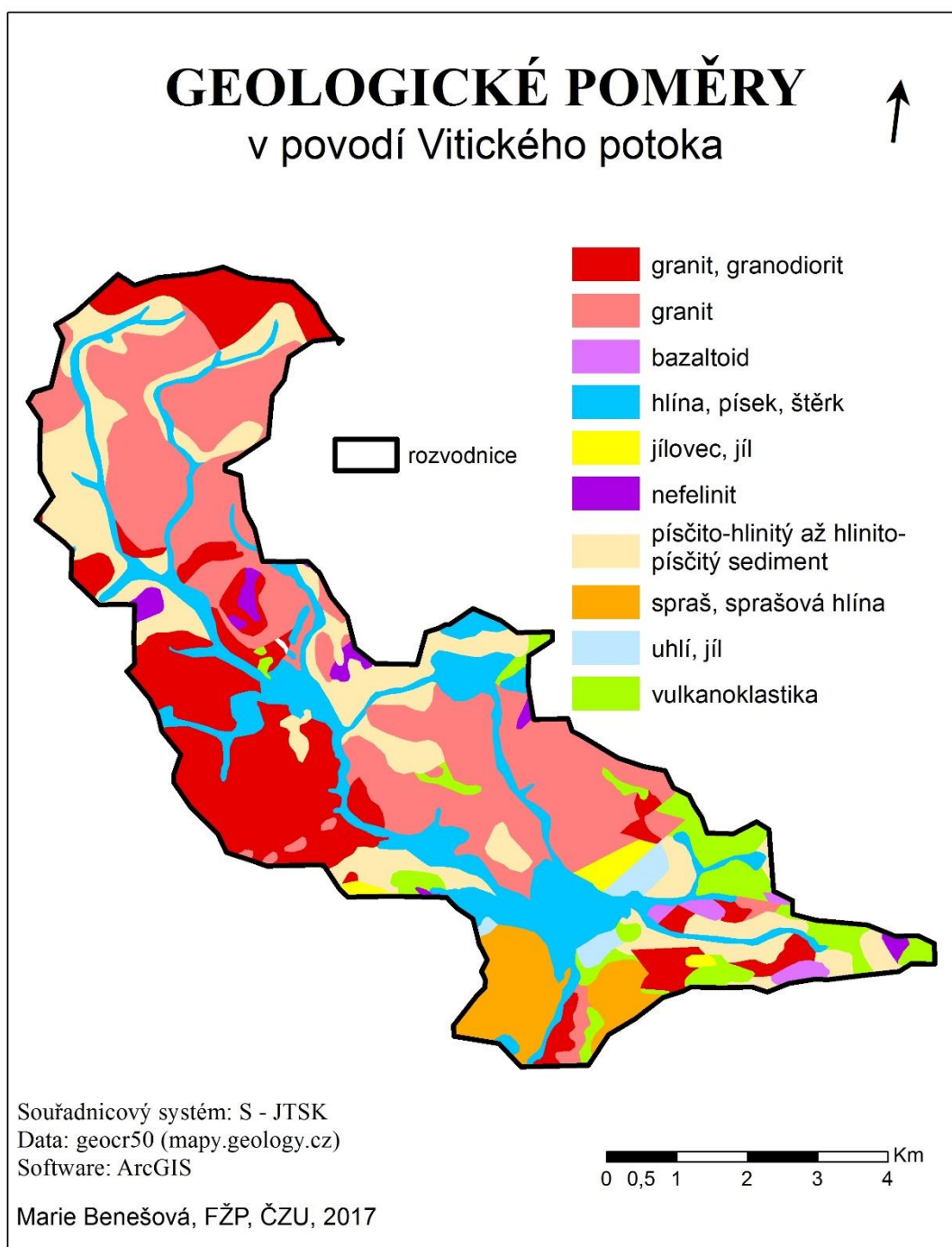
Příloha č. 15: Orientace svahů v povodí Vitického potoka (Benešová 2017)



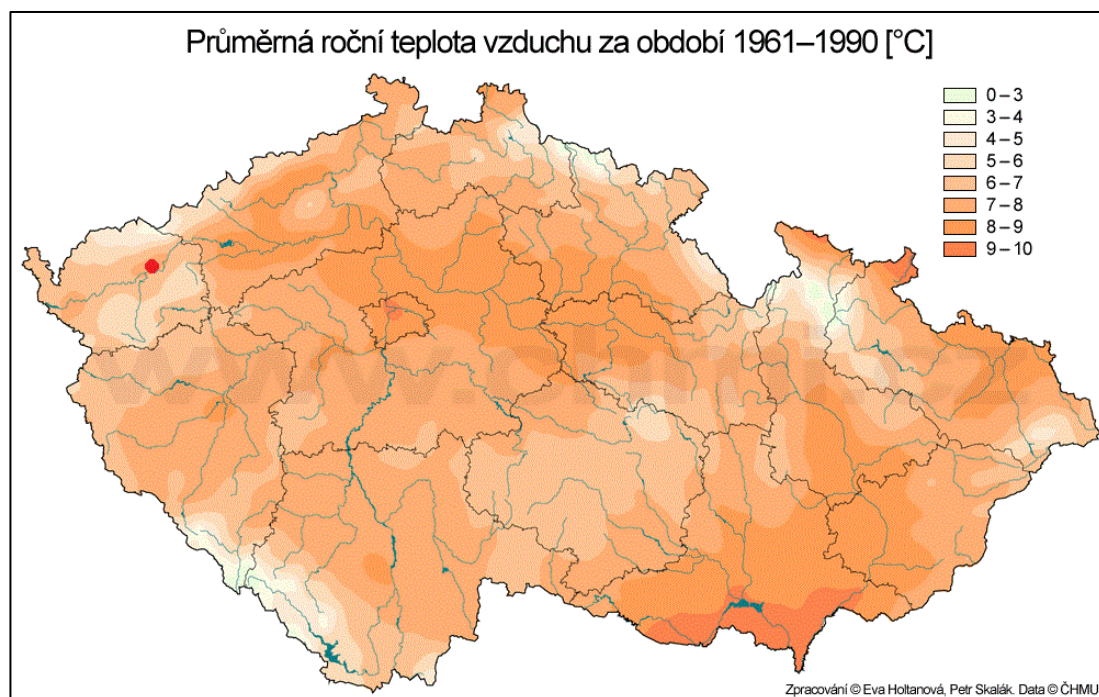
Příloha č. 16: Využití území v povodí Vitického potoka (Benešová 2017)



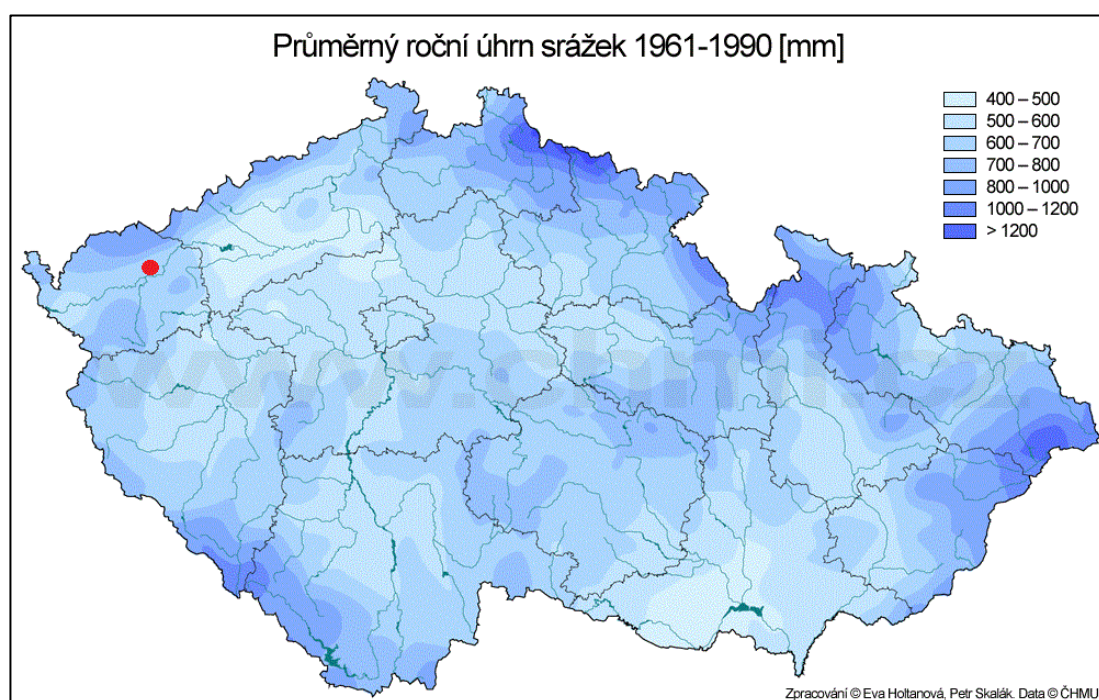
Příloha č. 17: Půdní poměry v povodí Vitického potoka (Benešová 2017)



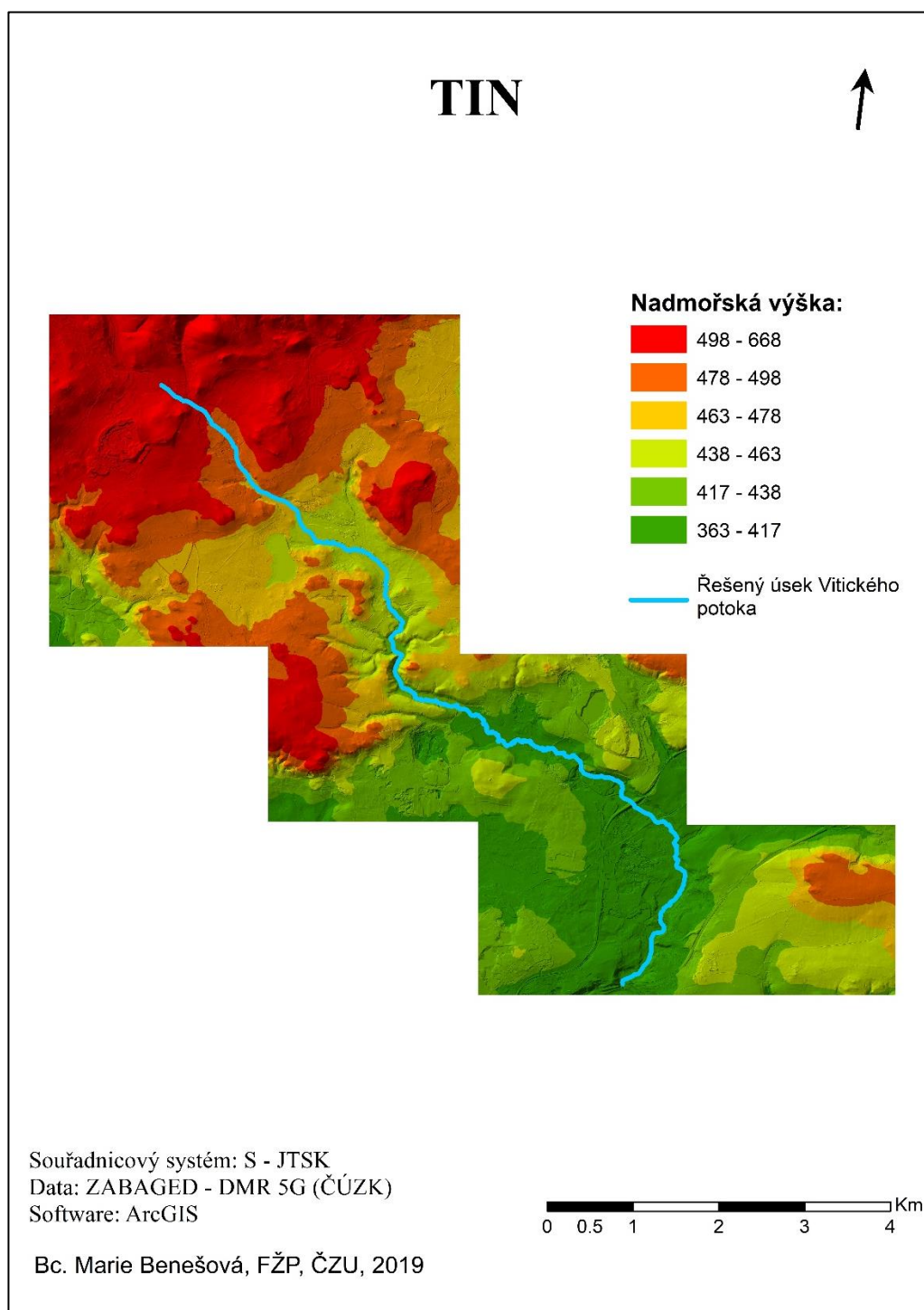
Příloha č. 18: Geologické poměry v povodí Vitického potoka (Benešová 2017)



Příloha č. 19: Průměrná roční teplota vzduchu [°C] v letech 1961 až 1990 v ČR



Příloha č. 20: Průměrný roční úhrn srážek [mm] v letech 1961 až 1990 v ČR



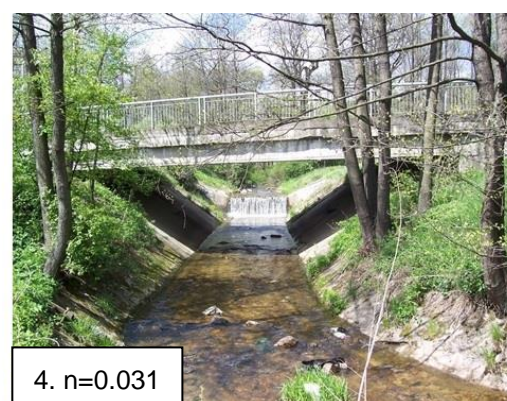
Příloha č. 21: Digitální model terénu - TIN

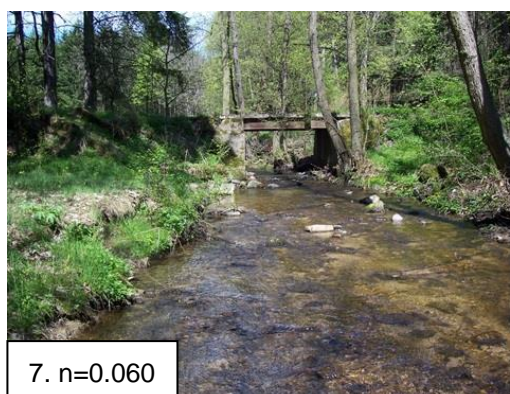


Příloha č. 22: Rozmístění příčných profilů

MANNINGŮV DRSNOSTNÍ SOUČINTEL					
Číslo úseku	Staničení [km]		Drsnostní součinitel		
	od	do	koryto	levá inundace	pravá inundace
1.	0.00	0.23	0.045	0.06	0.06
2.	0.36	1.08	0.030	0.07	0.07
3.	1.11	2.48	0.055	0.08	0.08
4.	2.60	2.62	0.031	0.07	0.07
5.	2.80	4.21	0.035	0.10	0.10
6.	4.33	6.00	0.045	0.08	0.08
7.	6.20	8.45	0.060	0.07	0.07
8.	8.61	10.39	0.080	0.07	0.07
9.	10.55	11.09	0.040	0.05	0.05
10.	11.19	12.20	0.048	0.06	0.06

Příloha č. 23: Hodnoty Manningova drsnostního součinitele

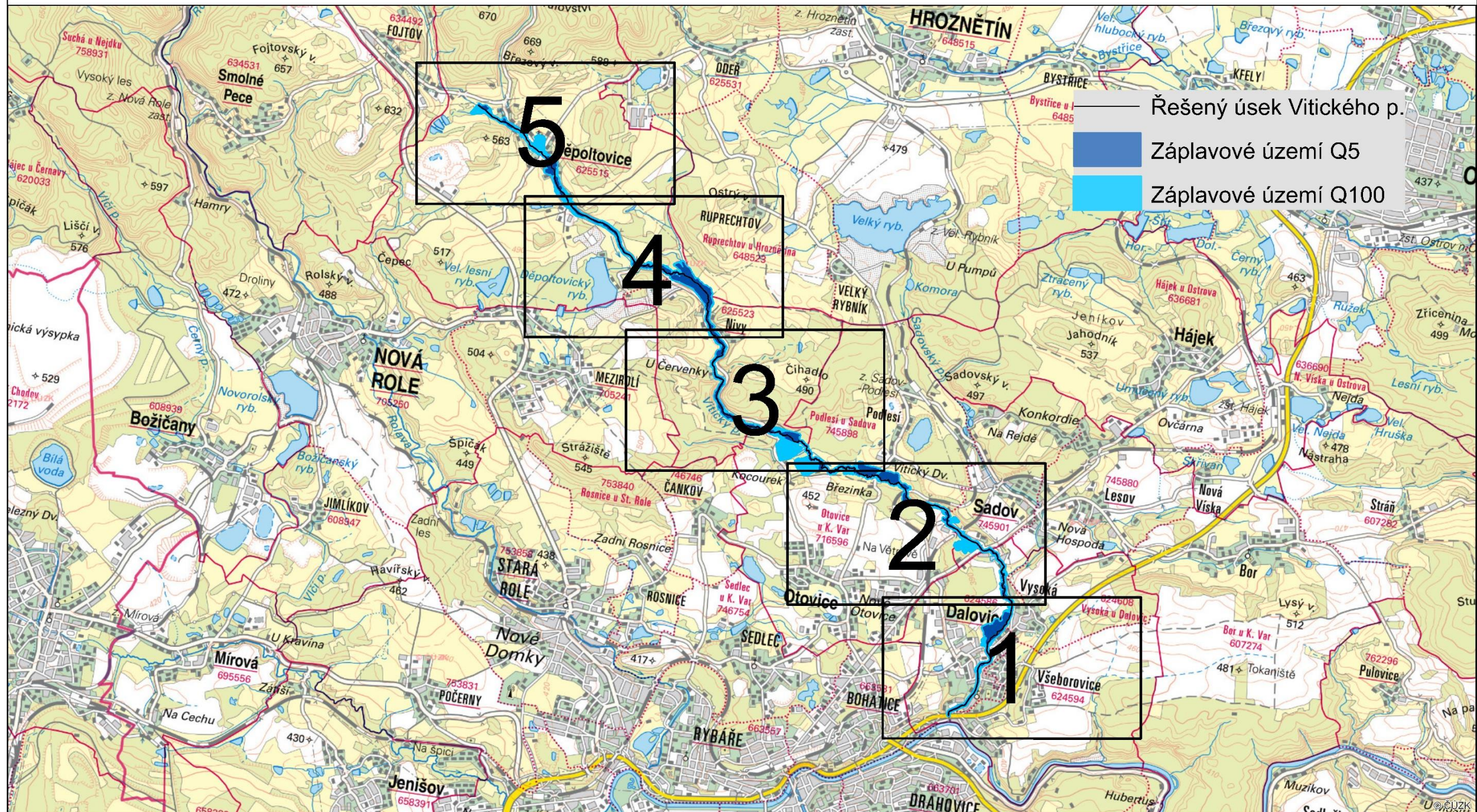




Příloha č. 24: Hodnoty Manningova drsnostního součinitele – fotografie úseků (Povodí Ohře s. p. 2005)

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ VITICKÉHO POTOKA

přehled mapových listů



Souřadnicový systém: S - JTSK
 Data: ZABAGED - DMR 5G (ČÚZK)
 ZM 10 (geoportal.cuzk.cz)
 Software: ArcGIS

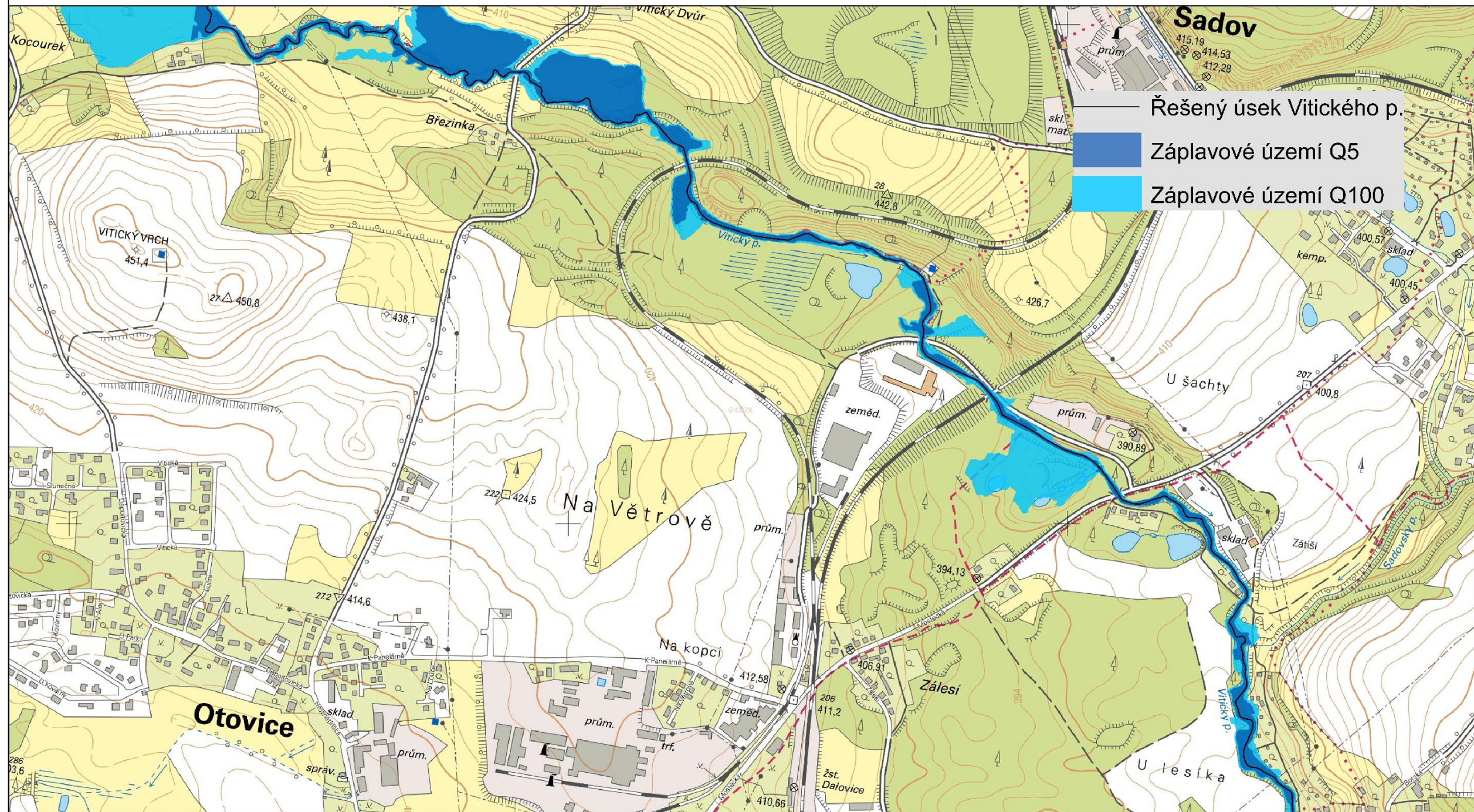
0 0.75 1.5 3 Km

Bc. Marie Benešová, FŽP, ČZU, 2019

Příloha č. 25: Záplavové území – přehled mapových listů

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ VITICKÉHO POTOKA

mapový list 2 (ř. km 1,67 - 5,26)



Souřadnicový systém: S - JTSK
 Data: ZABAGED - DMR 5G (ČÚZK)
 ZM 10 (geoportal.cuzk.cz)
 Software: ArcGIS

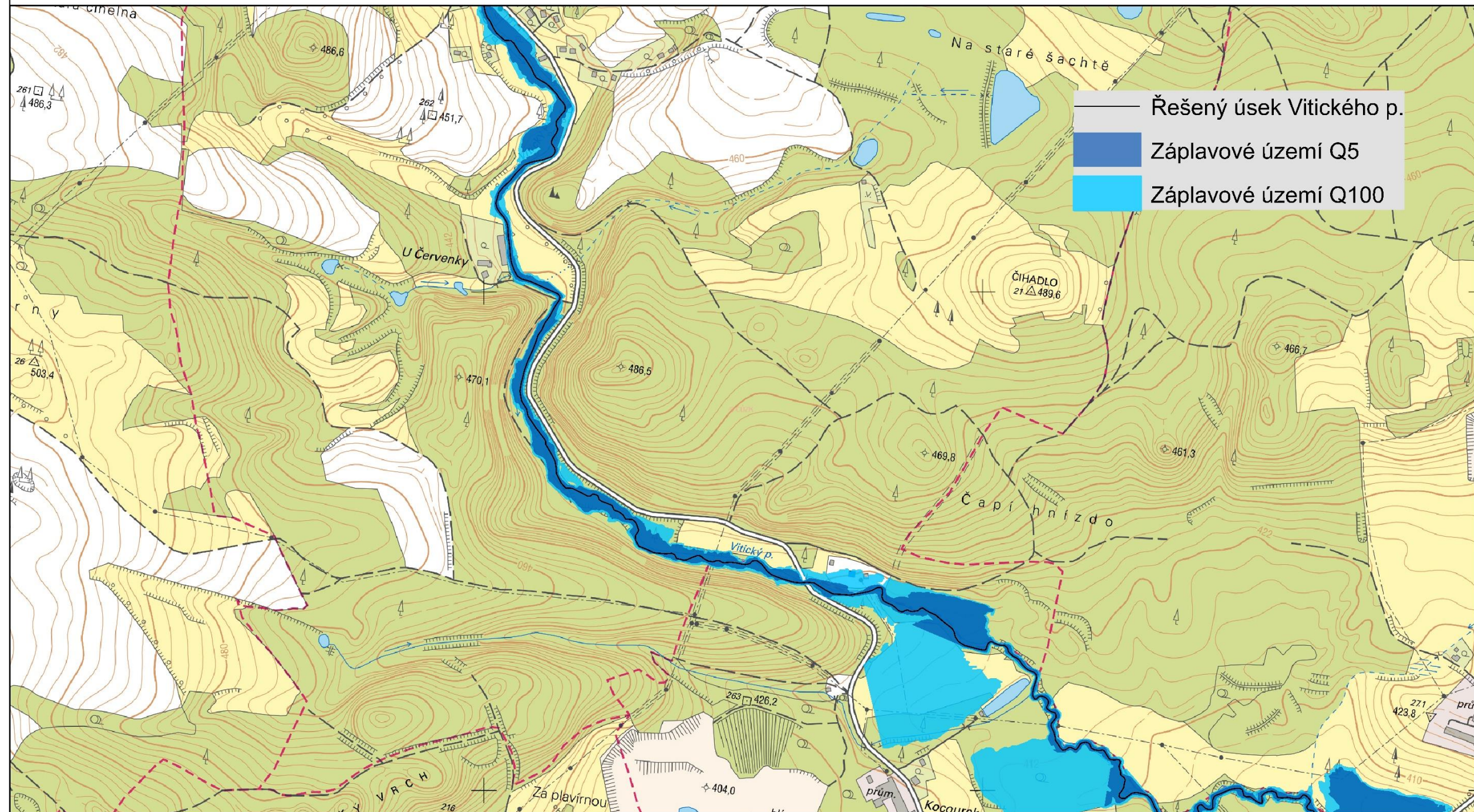


Bc. Marie Benešová, FŽP, ČZU, 2019

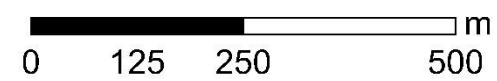
Příloha č. 27: Záplavové území – mapový list 2 (ř. km 1,67 – 5,26)

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ VITICKÉHO POTOKA

mapový list 3 (ř. km 5,10 - 8,00)



Souřadnicový systém: S - JTSK
 Data: ZABAGED - DMR 5G (ČÚZK)
 ZM 10 (geoportal.cuzk.cz)
 Software: ArcGIS

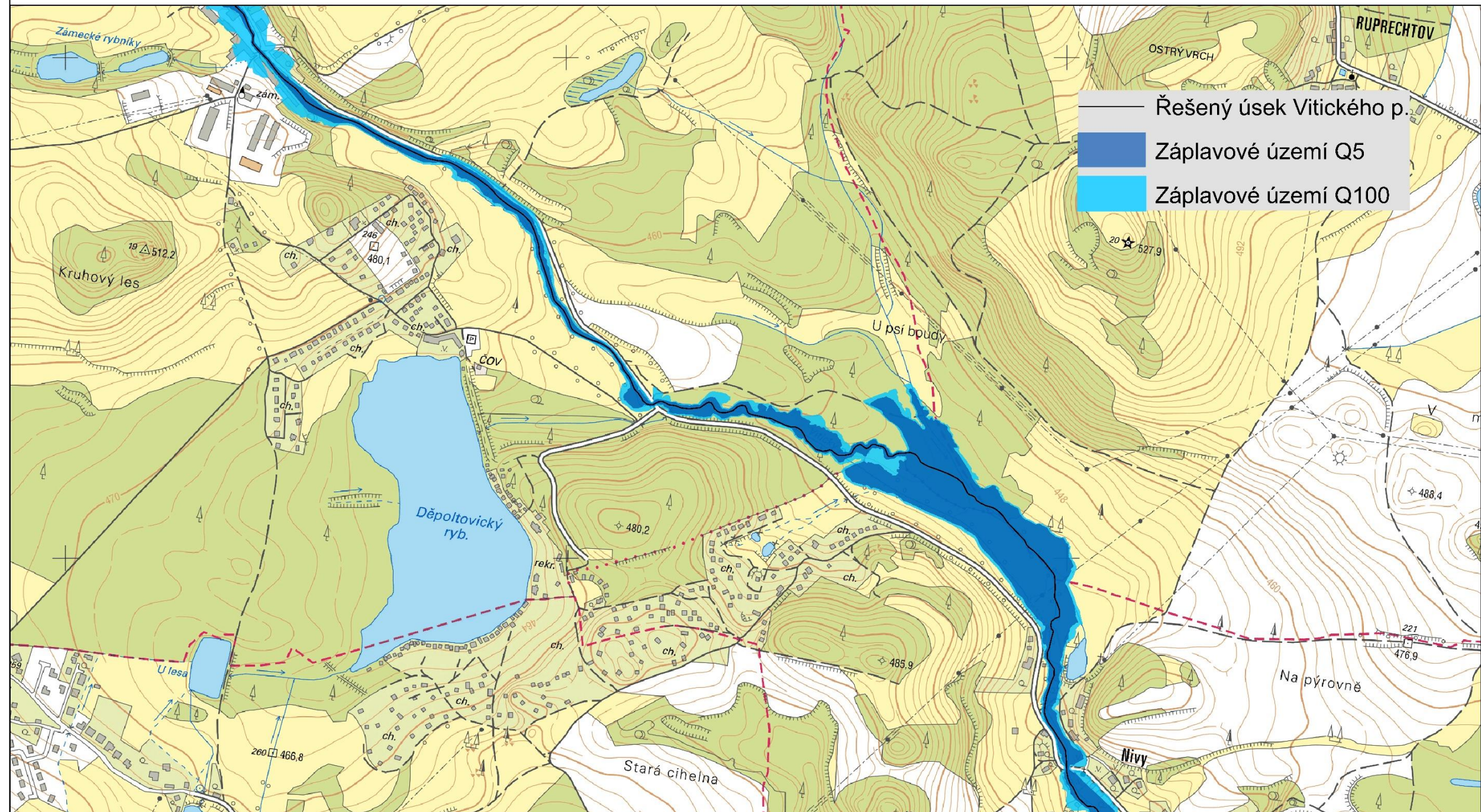


Bc. Marie Benešová, FŽP, ČZU, 2019

Příloha č. 28: Záplavové území – mapový list 3 (ř. km 5,10 – 8,00)

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ VITICKÉHO POTOKA

mapový list 4 (ř. km 7,89 - 10,65)



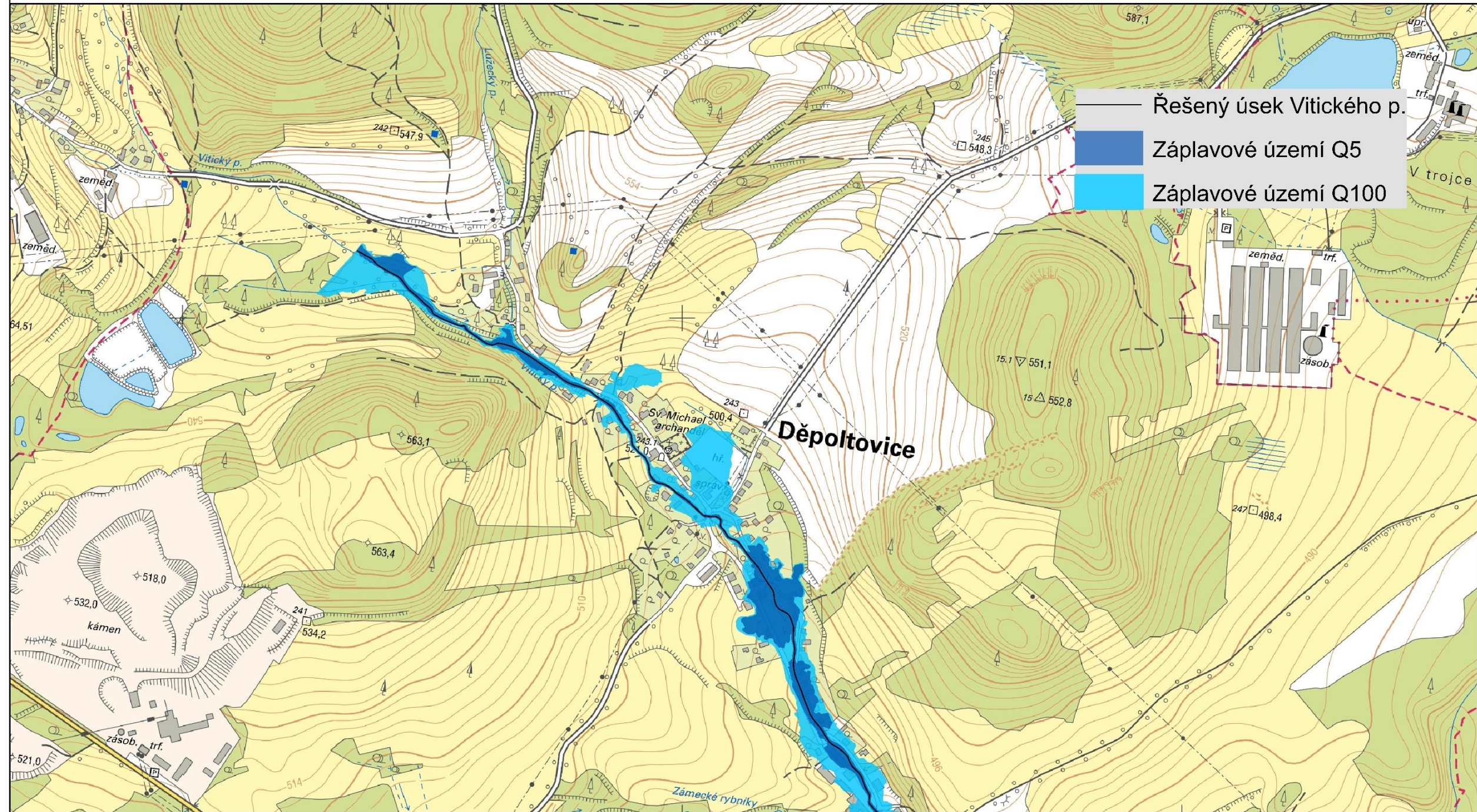
Souřadnicový systém: S - JTSK
 Data: ZABAGED - DMR 5G (ČÚZK)
 ZM 10 (geportal.cuzk.cz)
 Software: ArcGIS

0 125 250 500 m

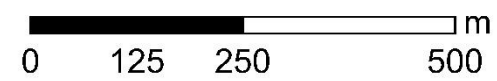
Bc. Marie Benešová, FŽP, ČZU, 2019

ZÁPLAVOVÉ ÚZEMÍ VITICKÉHO POTOKA

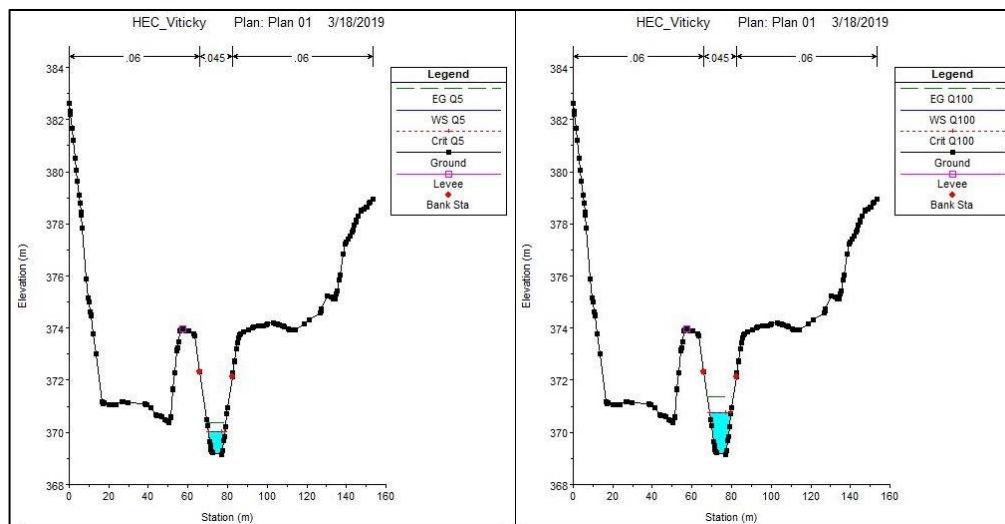
mapový list 5 (ř. km 10,55 - 12,20)



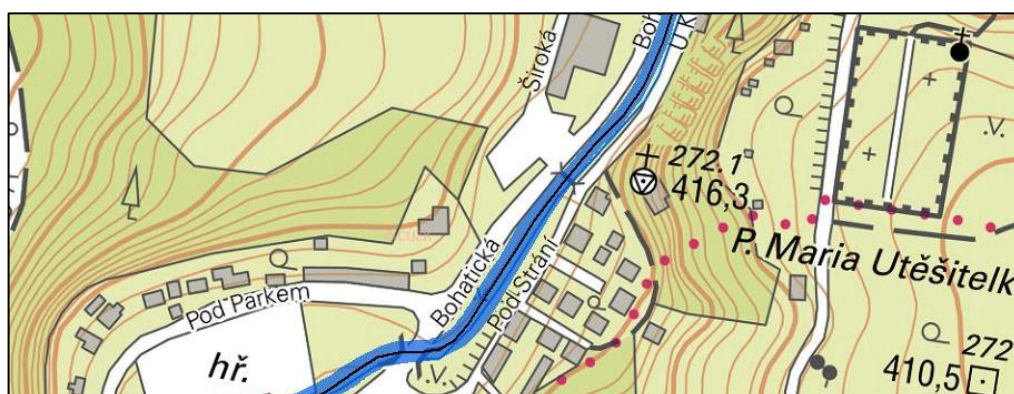
Souřadnicový systém: S - JTSK
 Data: ZABAGED - DMR 5G (ČÚZK)
 ZM 10 (geoportal.cuzk.cz)
 Software: ArcGIS



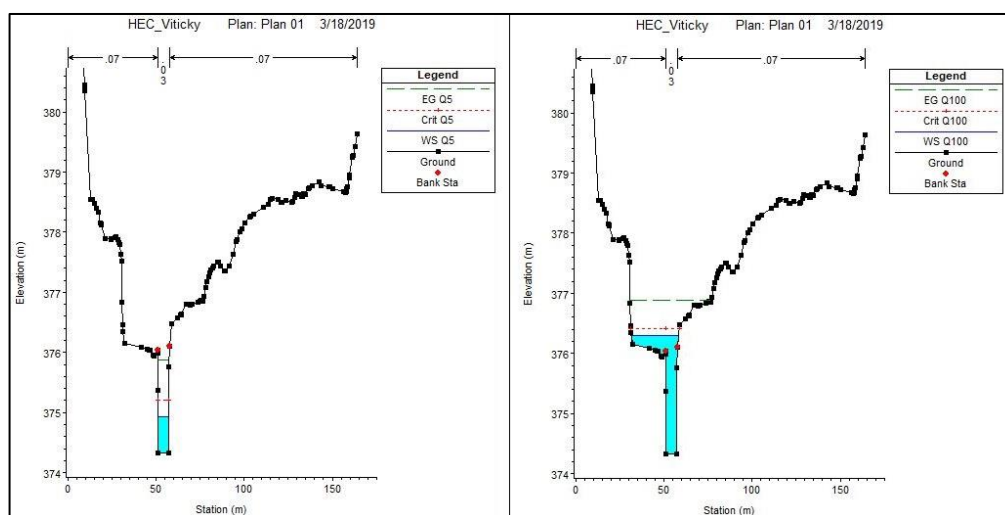
Bc. Marie Benešová, FŽP, ČZU, 2019



Příloha č. 31: Příčný profil v ř. km 0,21 – kapacitní profil na území obce Dalovice



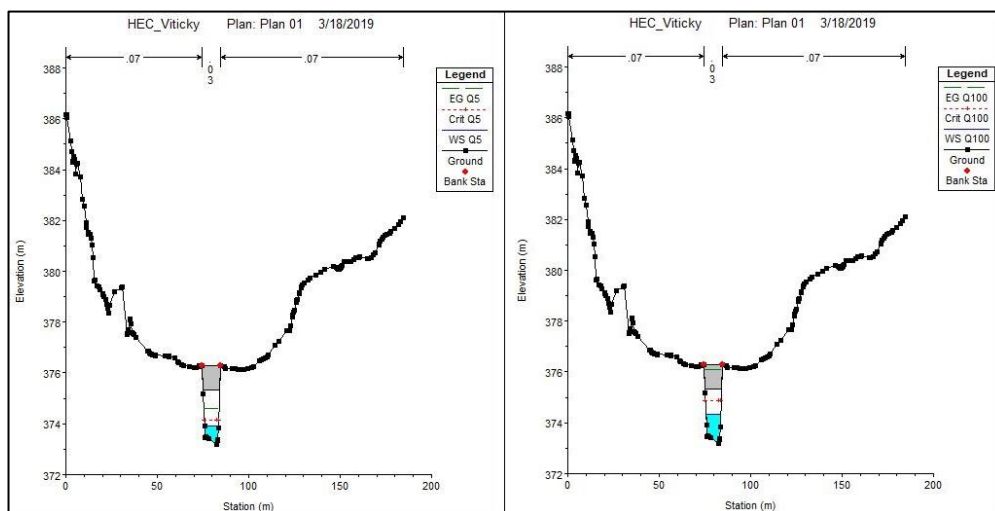
Příloha č. 33: Ukázka záplavového území v kapacitním korytu v obci Dalovice (ř. km 0,14 – 0,45)



Příloha č. 33: Příčný profil v ř. km 0,73 – nekapacitní profil při Q100 (vpravo) na území obce Dalovice



Příloha č. 34: Ukázka záplavového území v nekapacitním korytu v obci Dalovice
(ř. km 0,61 – 0,92)



Příloha č. 35: Kapacitní objekt v ř. km 0,60