

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A  
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

Stanovení záplavových čar pro průchod N-letých  
průtoků na vybraném úseku vodního toku Novosedelský  
potok

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

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

**Diplomant: Bc. Michal Předota**

**2018**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Michal Předota

Environmentální modelování

Název práce

**Stanovení záplavových čar pro průchod N-letých průtoků na vybraném úseku vodního toku Novosedelský potok**

Název anglicky

**Floodline determination for N-year floods on selected section of watercourse Novosedelský potok**

---

### Cíle práce

Vytvoření hydrodynamického modelu průchodu povodňové vlny pro průtoky Q5, Q20 a Q100 na úseku vodního toku Novosedelský potok v jižních Čechách.

Určení rozsahu záplavového území pomocí mapových výstupů a zhodnocení výsledků.

### Metodika

Teoretická část:

- shrnutí povodňové problematiky (charakteristiky povodně, vznik a rozdělení povodní, protipovodňová opatření apod.)
- popis hydrodynamických modelů a výpočetních softwarů (klasifikace modelů, popis softwarů pro výpočet proudění v říčních korytech apod.)

Metodická a praktická část:

- charakteristika zájmového území
- příprava získaných dat a tvorba hydrodynamického modelu pro vybraný úsek
- tvorba mapových výstupů záplavového území
- zhodnocení výsledků formou diskuze

**Doporučený rozsah práce**

cca 60 stran + grafické přílohy

**Klíčová slova**

povodeň, záplavové území, hydrodynamický model, HEC-RAS, ArcGIS

---

**Doporučené zdroje informací**

Ackerman C. T., 2012: HEC-GeoRAS, GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS User's Manual. US Army Corps of Engineers, Davis, 242 s.

Brunner G. W., 2016: HEC-RAS, River Analysis System User's Manual. US Army Corps of Engineers, Davis, 962 s.

Slavíková L. [ed.], 2007: Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. IREAS, Praha, 82 s.

Valenta P., 2005: Využití numerických modelů proudění vody v protipovodňové ochraně. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 26 s.

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

---

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Radek Roub, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2018

**doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2018

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2018

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 18.4.2018

.....

## **Poděkování**

Rád bych chtěl touto cestou poděkovat Ing. Radkou Roubovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotný přístup a cenné rady v průběhu psaní diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Maximu Bernsteinovi ze společnosti DHI a.s. za poskytnuté konzultace, ochotný přístup a odborné rady. Další poděkování patří i Ing. Jiřímu Nevoralovi a Ing. Karlu Brožovi z Povodí Vltavy, s.p., Ing. Marii Mátlové z ČHMÚ a Růženě Chaloupecké z ČÚZK za poskytnutí všech potřebných informací a podkladů. Poděkování patří i mé rodině za podporu, trpělivost a poskytnutí zázemí nejen při vzniku této práce, ale i v průběhu celého studia.

V Praze dne 18.4.2018

.....

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá povodňovou problematikou a způsobem protipovodňové ochrany se zaměřením na stanovení záplavového území. V rámci teoretické části jsou shrnuty současné poznatky o vzniku a průběhu povodní na území České republiky, možnostech protipovodňové ochrany, matematickém modelování a o používaných výpočetních softwarech. Praktická část se věnuje charakteristice vybraného území vodního toku Novosedelský potok v jižních Čechách ohraničené ř. km 7,431 a ústím do řeky Otavy. Dále podrobně popisuje sestavení 1D hydrodynamického modelu pro stanovení záplavových čar  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$ . Důraz je kladen na úpravu vstupních dat využitím programu ArcGIS s nadstavbou HEC-GeoRAS a tvorbu modelu ustáleného nerovnoměrného proudění v prostředí HEC-RAS. Hlavním výstupem jsou mapy s vyznačeným záplavovým územím a odpovídající záplavovou čarou pro jednotlivé průtoky. Dále se v práci nachází hodnocení objektů a kritických míst na toku. Popis pracovního postupu tvorby modelu může sloužit jako manuál pro aplikaci na jiný vodní tok a výsledky této práce mohou být začleněny do povodňových plánů obcí Štěchovice, Novosedly a městyse Katovice nebo použity pro další inženýrské a projekční činnosti.

## **Klíčová slova**

povodeň, záplavové území, hydrodynamický model, HEC-RAS, ArcGIS

## **Abstract**

This diploma thesis aims on flood troubleshooting and on the flood protection uses with a focus on determination of flooding inundation. The theoretical part sums up the knowledge about origin and process of flood especially in the Czech Republic, possibilities of flood protection, mathematical modeling and about actually used computing software. The practical part contains a characteristic area of the watercourse Novosedelský potok in South Bohemia defined river kilometer 7,431 and mouth of the river Otava. It also describes the construction of 1D hydrodynamic model for determining the flooding lines  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  and  $Q_{100}$ . Special importance is placed on adjusting the input data by using ArcGIS with HEC-GeoRAS structure and creating model based on steady nonuniform flow in HEC-RAS. The main output are flooding inundation maps and corresponding flooding lines for individual flows. Further there is an assessment of objects and critical areas on the watercourse. The description of the creating model can be used as a manual for application to another watercourse and the results of this work can be include into the flood control plans of Štěchovice, Novosedly and Katovice or can be used for another engineering and projecting activities.

## **Keywords**

flood, flooding inundation, hydrodynamic model, HEC-RAS, ArcGIS

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Cíle práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Literární rešerše</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 Analýza povodňové problematiky</b> .....	<b>3</b>
3.1.1 Povodně v České republice .....	3
3.1.2 Charakteristiky povodně .....	4
3.1.3 Příčiny vzniku .....	5
3.1.4 Faktory ovlivňující průběh.....	7
3.1.5 Rozdělení povodní.....	10
3.1.6 Protipovodňová opatření .....	11
3.1.7 Stanovení záplavového území.....	13
<b>3.2 Hydrodynamické modelování</b> .....	<b>14</b>
3.2.1 Klasifikace matematických modelů.....	15
3.2.2 Rozdělení hydrodynamických modelů .....	17
3.2.3 Teoretický základ při tvorbě 1D modelu .....	19
3.2.4 Výpočetní software pro HD modelování v říčních korytech .....	20
<b>4. Metodika</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1 Charakteristika zájmového území</b> .....	<b>23</b>
4.1.1 Fyzicko-geografické poměry .....	23
4.1.2 Geologické a pedologické poměry .....	23
4.1.3 Klimatické a hydrologické poměry .....	24
4.1.4 Vymezení a popis vybraného úseku.....	24
<b>4.2 Požadavky na vstupní data</b> .....	<b>25</b>
4.2.1 Geometrická data.....	26
4.2.2 Hydrologická data .....	26
4.2.3 Hydraulická data .....	27
<b>4.3 Příprava geometrických dat v prostředí ArcGIS</b> .....	<b>27</b>
4.3.1 Tvorba digitálního modelu terénu .....	28
4.3.2 Využití nadstavby HEC-GeoRAS.....	29
<b>4.4 Stavba a popis modelu v prostředí HEC-RAS</b> .....	<b>32</b>
4.4.1 Editace geometrických dat.....	33
4.4.2 Okrajové podmínky pro ustálené proudění .....	38
4.4.3 Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění .....	40



4.4.4 Prohlížení a kontrola výstupů .....	41
4.4.5 Kalibrace modelu .....	43
4.4.6 Export výstupních dat do prostředí ArcGIS.....	44
<b>4.5 Příprava výstupních dat k vytvoření záplavového území v prostředí ArcGIS.....</b>	<b>45</b>
<b>5. Výsledky .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Rozsah záplavového území pro průchod <math>Q_5</math>, <math>Q_{20}</math> a <math>Q_{100}</math>.....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 Objekty na toku a problematické úseky .....</b>	<b>52</b>
<b>6. Diskuse .....</b>	<b>57</b>
<b>7. Závěr.....</b>	<b>61</b>
<b>8. Přehled literatury a použitých zdrojů .....</b>	<b>63</b>
<b>9. Přílohy .....</b>	<b>67</b>

# 1. Úvod

Voda představuje základ života na Zemi. KENDER (2004) zmiňuje, že vznikla při prvotních procesech a od té doby se vyskytuje na planetě v přibližně stejném množství, ale v neustálém koloběhu. Součástí charakteru krajiny tvoří přirozené nebo člověkem upravené vodní toky, na kterých se koloběh vody podepisuje ve formě povodňových událostí. V dřívějších dobách sloužilo pozorování vodní hladiny převážně k hospodářským účelům. Dnes má hlavně informativní charakter před blížícím se nebezpečím.

Ve střední části Evropy ovlivňují vznik povodní dva významné faktory – déšť a sníh. V současné době se podle MZE (2017) četnost dlouhodobých dešťů a množství sněhových srážek s každým rokem snižuje na úkor krátkodobých vydatných dešťů, které způsobují lokální povodně ničivých rozměrů. Povodně proto patří k nejčastějším přírodním katastrofám, které na území České republiky způsobují největší škody na majetku a ztráty na lidských životech.

Včasná informovanost a připravenost obyvatel bývá jedním ze základních pilířů protipovodňové ochrany. Rychlost a způsob předání informací pomáhá zachránit životy i majetek. Proto je důležité analyzovat již proběhlé povodňové vlny, zejména časové a prostorové změny, a tím zlepšovat celý předpovědní systém. Jak už zmiňuje ve své knize BEDIENT et HUBER (1989), pohyb záplavové vlny, vyvolané z vydatných, bleskových či jiných příčin, směrem po proudu řeky a její načasování hraje klíčovou roli při plánování protipovodňových opatření.

S rozvojem informačních technologií nabývá na významu obor hydroinformatiky a dochází v oblasti protipovodňové ochrany k výraznému zlepšení situace. Díky modelování hydrodynamických jevů kvalitním softwarem (např. HEC-RAS, MIKE atd.) se úspěšně daří předcházet nebo alespoň částečně omezit negativní vliv průchodu povodňové vlny intravilánem obcí a měst. ČIŽMÁR et HUDEC (2007) tvrdí, že jedním z takových opatření je i stanovení záplavových čar na vodních tocích, kde se pomocí simulace povodňových průtoků efektivně zobrazují rozsahy záplavy a ohrožená místa na toku. Výhodou stanovení záplavového území je včasná příprava na evakuaci lidí i movitého majetku z postižených oblastí nebo efektivní budování mobilních protipovodňových opatření.

DRBAL et al. (2012) upozorňuje, jak kvalita všech modelovaných procesů závisí na přesných vstupních datech a typu matematického modelu. Pro stanovení záplavových čar jsou důležitá kvalitní geometrická data ve formě digitálního modelu terénu, zaměřených příčných profilů a zaměřených objektů na toku. Dále hydrologická a hydraulická data týkající se vypočtených N-letých průtoků kdekoli na toku a odhadnutých drsností koryta či inundačního území. Jako postačující hydrodynamický model pro stanovení záplavového území na nepříliš meandrujícím toku se pro svou jednoduchost jeví 1D model ustáleného nerovnoměrného proudění.

## 2. Cíle práce

Cílem práce je více přiblížit povodňovou problematiku na území České republiky a současnou podobu hydrodynamického modelování v otevřeném korytě, konkrétně modelování 1D ustáleného nerovnoměrného proudění. Práce se zaměřuje na vytvoření kvalitního hydrodynamického modelu průchodu povodňové vlny pro průtoky  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  na vybraném úseku vodního toku Novosedelský potok v jižních Čechách a následné určení rozsahu záplavového území pomocí mapových výstupů. Vzhledem k tomu, že vybraný úsek zahrnuje obce Štěchovice, Novosedly a městys Katovice, v rámci diskuze se hodnotí dopad povodní na intravilán těchto obcí, nejbližší okolí a na mostní objekty. Všechny práce byly provedeny v programech HEC-RAS a ArcGIS s nadstavbou HEC-GeoRAS, proto by tato práce mohla sloužit i jako manuál při vytváření 1D modelů průchodu povodně na jiném vodním toku za předpokladu použití stejných softwarů.

## **3. Literární rešerše**

### **3.1 Analýza povodňové problematiky**

Problematika povodní sahá až k dobám, kdy se lidstvo začalo cíleně shromažďovat kolem vodních toků. SLAVÍKOVÁ (2007) tvrdí, že potíže nepředstavuje povodeň jako taková, ale problém nastává, když se vodě postaví do cesty člověk a jeho majetek. Z nepříliš velké škály přírodních katastrof, které se na území České republiky vyskytují, se pouze jedna drží na předních příčkách. A tou je povodňová událost, která způsobuje největší ztráty na lidských životech. Podle evidence MZE ČR (2017) se jedná o 135 obětí za posledních 20 let. Škoda na majetku se za stejné časové období odhaduje na 190 miliard.

Hydrologický režim toku představuje dva podstatné jevy – sucho a povodeň. Nejčastější příčinou sucha bývá nedostatek atmosférických srážek v kombinaci s potřebou vody pro společnost. Oproti tomu dostatek vody v podobě vydatných dlouhodobých nebo extrémních krátkodobých dešťů způsobuje na území České republiky povodňové události. Příčinou vzniku povodní může být i jarní tání sněhu nebo pohyb ledových ker. Další, sice méně pravděpodobnou, příčinou vzniku povodní, může být nečekaná událost na vodním toku (protržení hráze, přehrady atd.). Výsledný průběh v kombinaci s morfologií terénu, lidskou činností a několika dalšími aspekty zapříčiňuje vylévání vody z koryta a to ve velkých i malých povodích (Kubát et al., 2012).

Aktuálním trendem v ochraně před povodněmi je přijímání a budování určitých opatření (např. stanovení záplavového území, výstavba suchých nádrží, zkapacitnění koryt, tvorba povodňových plánů atd.), které mají za následek vyšší připravenost a efektivnost při příchodu a průběhu povodně (Státníková, 2012).

#### **3.1.1 Povodně v České republice**

Jak již bylo řečeno výše, povodně jsou jedním z nejnebezpečnějších živlů, které mohou vznikat prakticky kdekoli na vodním toku. Největší škody způsobují obrovskou energií pohybující se vody s příměsí nečistot od velikosti zrněk písku až po kmeny stromů, střechy domů či aut a to i v případě, že už je povodeň na ústupu. Existuje několik způsobů, jak tento jev popsat. HOLTON (2002) považuje povodeň za stav, při kterém voda přetéká přirozený břeh, který je za normální situace suchý. Pro Českou republiku se různými způsoby parafrázuje část definice z § 64 zákona č. 254/2001 Sb., zákon o vodách a o změně některých zákonů, v platném znění (dále jen vodní zákon), kde se povodní rozumí dočasné výrazné zvýšení hladiny povrchových vodních toků a voda, která zaplavuje území i mimo koryto může způsobovat škody. Například SLAVÍKOVÁ (2007) bere povodeň jako jev, kdy nahromaděné množství tekoucí vody z různých příčin překročí průtočnost koryta. Za povodeň považuje i zvýšení hladiny v důsledku nedostatečného (nebo žádného) odtoku či soustředěnému odtoku srážkových vod.

Vzhledem k poloze České republiky vznikají povodně v drtivé většině případů z hydrologických příčin v rámci hranic republiky. Ze sousedních zemí mohou přijít povodně například na řece Dyji, Ohři, Lužnici či Olši (Kubát et al., 2012).

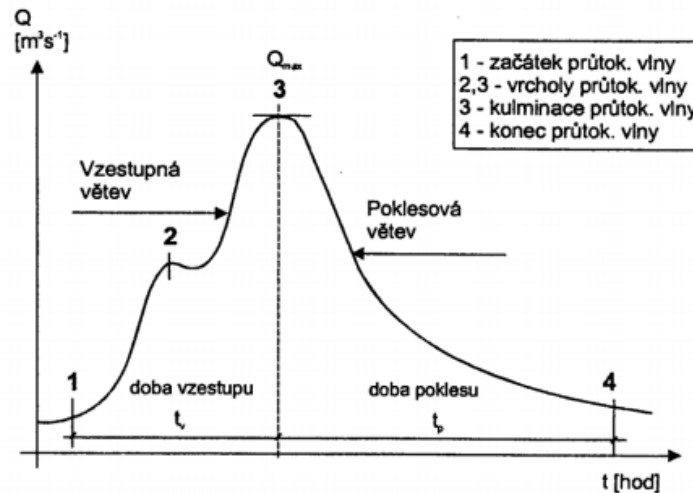
Historii povodní v Českých zemích datuje ČHMÚ (2017). První věrohodné zmínky o povodni pocházejí z Kosmovy kroniky z 12. století, konkrétně z roku 1118. Nicméně ELLEDER et DAÑHELKA (2012) dodávají, že starší dobové záznamy se spíše spojují s nadcházející úrodou, morem či požárem a ne s průběhem povodně jako takové. Důležité záznamy pochází až z 15. století, kdy se objevovaly první značky na budovách a různých místech k zaznamenání stavu vodní hladiny. Jeden z prvních primitivních vodočtů (pojmenován Bradáč, z roku 1478) byl vybudován v Praze jako hlava muže s přesně určenými místy, kdy se voda začne vylévat z břehů nebo zaplavuje významné části města. Zlom nastává po povodni v roce 1824. Magistrát města Prahy vydá nařízení o kontinuálním měření vodních stavů. Navíc od konce 18. století se denně měřila i teplota, tlak a srážky. Zkoumané veličiny zaznamenávané v čase položily základy současného hydrodynamického modelování a statistického vyhodnocení povodňových dat. Seznam historických povodní na území České republiky, včetně příčin vzniku a zajímavostí, se nachází v tab. 1.

<i>rok</i>	<i>příčina</i>	<i>zajímavost</i>
1342	tání sněhu	protržení Juditina mostu v Praze
1432	dlouhotrvající vydatné deště	pravděpodobně největší povodeň v Českých zemích
1501	extrémní krátkodobé deště	mnoho krátkodobých deštů o velké intenzitě plošně zasáhlo povodí Labe, Odry i Dunaje
1582	extrémní krátkodobé deště	poškozeno město Karlovy Vary, první obrazové záznamy povodně
1598	tání sněhu, dlouhotrvající deště	ve stejný rok přišly dvě extrémní povodně
1784	dlouhotrvající deště, tání sněhu, pohyb ledových ker	výrazné poškození Karlova mostu v Praze
1872	extrémní krátkodobé deště	zaznamenáno nejvíce obětí - 337
1890	dlouhotrvající vydatné deště	protržení Karlova mostu v Praze
1997	dlouhotrvající vydatné deště	katastrofální povodeň na Moravě
2002	dlouhotrvající vydatné deště	po 5 letech opět katastrofální povodeň tentokrát v Čechách
2013	dlouhotrvající vydatné deště	poslední povodňová událost velkého významu

Tab. 1: Přehled významných povodňových událostí na území České republiky (ČHMÚ, 2017)

### 3.1.2 Charakteristiky povodně

Nejdůležitějším parametrem charakterizujícím povodeň je maximální průtok dosažený během trvání jedné povodňové události. Situace, kdy dochází k rychlému navyšování průtoku (a tím pádem i hladiny toku) až do určitého maxima a následnému pozvolnému klesání, se nazývá povodňová vlna, u které se sledují převážně 4 charakteristiky – tvar, objem, kulminační průtok a doba trvání. Pro povodňové vlny platí, že jsou časově i prostorově variabilní a to díky mnoha vnějším faktorům (viz další kapitoly). Schematizovaný časový průběh vlny znázorňuje obr. 1. Nejvyšším vrcholem je tzv. kulminační průtok (Kemel, 1994).



Obr. 1: Časový průběh povodňové vlny (Hrádek et Kuřík, 2002)

Kulminační průtok (nejčastěji udávaný v  $\text{m}^3/\text{s}$ ) obvykle vyjadřuje velikost povodně a se porovnává s N-letými maximálními průtoky pro vybraný úsek toku. Jinými slovy, N-letý průtok vyjadřuje kulminační průtok, který je dosažen nebo překročen v dlouhodobém průměru jednou za N let (Kubát et al., 2012).

Například stoletá povodeň se nemusí vyskytnout pouze jednou za sto let, ale klidně i několikrát za toto období nebo také vůbec. Pravděpodobnost, že se v náhodně vybraném roce vyskytne stoletá povodeň, je 1%. Avšak podle statistických údajů se za sto let vyskytne pouze v 63,4% případů (během pětiset let už je pravděpodobnost výskytu stoleté povodně na 99,3%). Je na místě podotknout, že neplatí lineární úměrnost a to tak, že průtok stoleté povodně neodpovídá dvojnásobku padesátileté (Kender, 2004).

N-leté průtoky se lehce stanoví na pozorovaných místech (v místě vodoměrné stanice). V praxi pro hydrologické a hydraulické účely (např. při stanovení záplavového území, návrhu protipovodňového opatření atd.) většinou nestačí pouhá znalost průtoků na měřeném úseku, ale ideálně v libovolném profilu říční sítě. Proto se k odvození průtoků na nepozorovaných profilech využívá hydrologická analogie z dešťů. V České republice se aktuálně používá metoda extrapolace statistických charakteristik kulminačních průtoků z vodoměrných stanic do soutokových uzlů nebo metody odvození  $Q_{100}$  na malých povodích – metoda indexu extremity, metody dle Čermáka a Solnaře (Boháč et al., 2016).

### 3.1.3 Příčiny vzniku

Celosvětově je vznik povodní v největší míře způsoben meteorologickými jevy. V dlouhodobé studii se americká observatoř DFO (2018) zabývala a mapovala příčiny vzniku povodní ve světě a dospěla k závěru, že převážná většina je způsobena dlouhodobým vydatným deštěm, menší část tvoří krátký přivalový dešť

(někdy označován za tzv. bleskovou povodeň), dále v menší míře tropické cyklóny, monzunové deště, tání sněhu, mořské přílivy či protržení hráze vlivem ledových ker.

Na menší, i když nezanedbatelné části vzniku povodní poukazuje také LANGHAMMER (2007). Jedná se o seismickou a vulkanickou činnost, protržení hráze vlivem vnějšího faktoru (např. teroristický čin, konstrukční chyba atd.), svahové sesuvy a různé kombinace předchozích jevů. Příkladem může být přehrada *Vajont* v Itálii, kde v roce 1963 došlo k „odtržení“ části hory a následném sesuvu masivu do prostoru nádrže. Vytvořila se několikaset metrová vlna, která narušila hráz a zničila vše, co jí stálo v cestě. WARD et DAY (2011) popisují tuto událost jako fatální chybu lidského faktoru ve výstavbě v erozně velmi ohrožené oblasti.

Hlavní příčinou vzniku povodní na území České republiky je výskyt dešťových srážek spojený s povětrnostní situací a jarní tání sněhu. Dalšími jevy ovlivňující výskyt povodní jsou klimatické faktory či pohyb ledových ker.

### ***Výskyt dešťových srážek a povětrnostní podmínky***

Atmosférické srážky vznikají kondenzací par obsažených ve volné atmosféře. Počasí na území České republiky je ovlivněno mírným klimatickým pásmem, ve kterém dochází k poměrně pravidelnému výskytu ročního cyklu srážek a teplot. Kromě těchto cyklů mají významný vliv i časté přechody atmosférických front. Vlhký mořský vzduch (v létě studený, v zimě teplejší) proudí z Atlantického oceánu a Středozemního moře nad pevninu, kde se setkává se sušším vzduchem. Na styku teplého a studeného vzduchu dochází k podsunutí studeného vzduchu pod stoupající teplý a vzniku studené fronty nebo dochází k pomalému přechodu teplého vzduchu nad studený a tvorbě teplé fronty. Studená fronta je typická pro letní měsíce a výskyt krátkodobých přívalových dešťů. Mohutné mraky se soustřeďují na relativně malém prostoru, kde dešť o extrémní intenzitě vyvolá tzv. přívalové povodně. Naopak teplá fronta pro změnu přináší dlouhotrvající dešť v průběhu celého roku na relativně velkém území. U spadlých srážek se pozoruje množství, doba trvání, intenzita, časový průběh atd. Na základě naměřených dat se pro předpověď srážek, které vedou k výskytu povodní, využívá nejrůznějších lokálních a globálních numerických modelů. Na základě modelových výstupů se vydávají výstražné informace o hrozbě blížící se povodně. Pro tyto situace využívá Česká republika model ALADIN, který v kombinaci s globálními daty zvládá relativně přesnou krátkodobou předpověď na cca 48 hodin (Kemel, 1994; Slavíková, 2007; Kubát et al., 2012).

V průměru nejvíce srážek podle MZE ČR (2017) spadne v ranních a odpoledních hodinách od poloviny května do konce srpna. Naopak nejméně srážek připadá na únor, březen a říjen. Celkový průměrný roční úhrn srážek na území České republiky činí 672 mm (údaj k roku 2017). Výskyt srážek je vždy spojen s orografickými vlivy terénu, ale o tom až v další kapitole.

### ***Tání sněhu a pohyb ledových ker***

Povodně způsobené táním sněhu zasahují převážně horské oblasti, kde napadaný sníh zadržuje vodu ve formě souvislé sněhové pokrývky. MZE (2017) uvádí, že v nižších oblastech padá průměrně 10-20 cm, ve středních kolem 60 cm a v horských oblastech přes 100 cm sněhu. Množství sněhu a následné tání sněhové pokrývky není pravidelné a může probíhat od prosince do května. Nejčastěji v jarních měsících za přispění tepla, větru, zmrzlé půdy (bez možnosti infiltrace) a někdy i deště dochází nejprve k pomalému a později k velmi rychlému odtoku této vody z území. Množství zadržené vody se liší v závislosti na tloušťce pokrývky. Čerstvě napadaný sníh je plný vzduchových pórů a 1 cm přibližně odpovídá 1 l/m<sup>2</sup> vody. Při postupném padání, přimrzání a odtávání sněhu přibývají další vrstvy a ve spodní části už zásoba odpovídá cca 4 l/m<sup>2</sup> (Slavíková, 2007).

V některých případech dochází i k zamrznání vodního toku. Zamrznání probíhá nejen od hladiny, ale vlivem turbulence vody i ode dna, což má za následek zmenšení průtočnosti koryta a tím dojde k vyběžení. Na úzkém profilu občas dochází k ucpání koryta za přispění tzv. ledových ker. Při tání se silou vody ledy rozlamují a plují po toku až do míst, kde se nahromadí a zvedají hladinu toku až o několik metrů. Typickým místem jsou mostní pilíře, jezy nebo úzké zákruty toku (Slavíková, 2007).

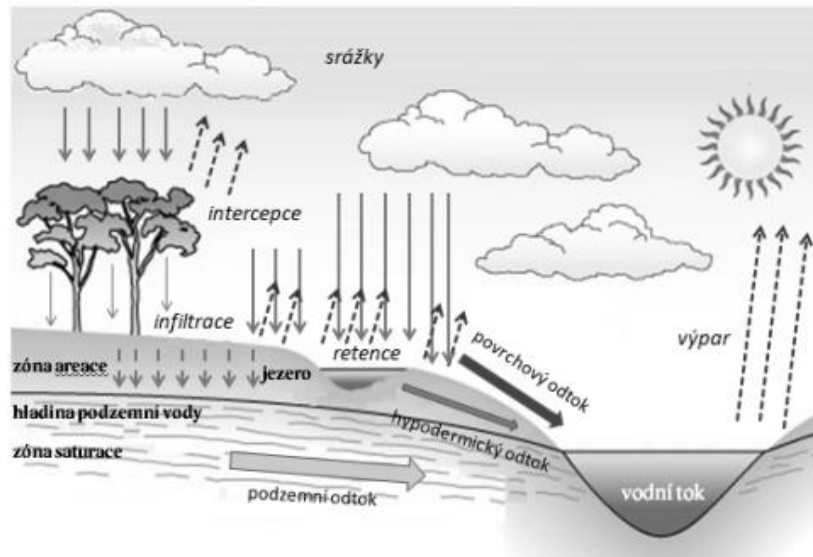
### ***Klimatické faktory***

Výskyt povodní ve světě, ale i v České republice, se do určité míry připisuje globální změně klimatu, která zapříčiňuje výskyt extrémních meteorologických jevů s nestálou srážkovou činností nebo s výkyvem teplot a výskytem sucha. KONVIČKA (2002) je přesvědčen, že oteplení klimatu je způsobeno lidskou činností. Vysoký podíl nežádoucích plynů v atmosféře (freony, CO<sub>2</sub> atd.) způsobují větší výpar a následné lokální krátkodobé vydatné deště. V souvislosti se změnou klimatu přišel CÍLEK et al. (2003) s teorií o střídání cyklů období zvýšené a snížené povodňové aktivity na základě statistické analýzy historických povodní na území České republiky a tvrdí, že v polovině devadesátých let přišlo období povodňových a teplotních extrémů, které by mohlo trvat až padesát let, než nastane opět období povodňového „útlumu“.

#### **3.1.4 Faktory ovlivňující průběh**

Vliv krajiny na dynamické procesy povodně je velmi prostorově i časově proměnlivý. PAVELKOVÁ CHMELOVÁ et FRAJER (2013) uvádí, že záleží na poloze povodí, ročním období, vydatnosti deště i aktuálním složení vegetace. Všechna voda, která se dostane do povodí srážkovou činností, se buď vsákne, vypaří, odteče nebo si ji vezme vegetace. Na povodni se podílí pouze ta část, která z povodí odteče povrchovým, popřípadě podpovrchovým odtokem. Celý srážko-odtokový proces detailněji popisuje obr. 2.





Obr. 2: Srážko-odtokový proces v povodí (Pavelková Chmelová et Frajer, 2013)

Faktory ovlivňující průběh povodní se primárně rozdělují do tří skupin – meteorologické, přírodní poměry v zájmovém území (v povodí) a činnost člověka při přeměně krajiny. Meteorologické faktory byly rozebrány v předchozí kapitole. Přírodní poměry se vyznačují hlavně orografickými a fyzikálně-chemickými vlastnostmi jako např. velikost infiltrace, tvar koryta, velikost údolní nivy a mnohé další. Největší problém při povodni většinou představuje zásah člověka do původního tvaru koryta – napřímení, vybetonování atd. (Slavíková, 2007).

### ***Přírodní poměry v zájmovém území***

V závislosti na přírodních poměrech v povodí lze rozdělit vlastnosti do dvou kategorií – fyzicko-geografické a srážko-odtokové faktory. Kombinace všech faktorů se malou či velkou měrou podílí na celkovém odtoku (Kender, 2004).

*Fyzicko-geografické poměry* (Langbein, 1944; Pokorná, 2008):

- a) *tvar povodí* – v povodí vejřovitého tvaru se voda rychleji dostane k uzávěrovému profilu a vytvoří větší odtokovou vlnu, než je tomu například v podélném tvaru, kde voda odtéká rovnoměrně,
- b) *nadmořská výška* – v horských oblastech se nachází prudší svahy a na tocích dochází převážně k bystřinnému proudění, které v kombinaci s táním sněhu může způsobit mnohem ničivější povodně než v rovinných oblastech nížin,
- c) *sklonitost svahů* – čím prudší svah, tím se dešťová voda rychleji dostane do recipientu, což se výrazně projeví na odtokové vlně,
- d) *zeměpisná orientace svahů* – existují tzv. závětrné strany hor, kde se vyskytuje méně srážek než na návětrné straně (např. Žatecko),
- e) *velikost a tvar koryta* – koryto se za povodně chová jako nádrž, postupně se plní a v určitém okamžiku se voda začne vylévat z břehů, malá koryta se plní výrazně rychleji než velká a v horším případě může dojít i k ucpání či zanesení koryta a tím ke snížení průtočnosti,

- f) *sklon toku* – pokud je velký sklon toku, voda se stéká rychleji dohromady a koncentrace odtoku se zrychluje,
- g) *drsnot povodí a koryta* – u drsnosti platí, že čím větší, tím dochází ke zpomalení odtoku z plochy povodí i z koryta řeky,
- h) *velikost údolní nivy* – údolní niva může sloužit jako přirozená vodní nádrž, která za povodně může zadržet velké množství vody a snížit velikost odtoku.

*Srážko-odtokové faktory* (Bedient et Huber, 1989; Slavíková, 2007):

- a) *infiltrace* – schopnost půdy vlivem gravitace a kapilárních sil vsakovat vodu, souvisí s propustností a nasycením půdy, při vydatném dešti dochází k plnému nasycení půdy a k následnému povrchovému odtoku, který se už podílí na velikosti odtoku, nejlepší infiltrace je v lesním porostu, kde se může vsáknout až  $70 \text{ l/m}^2$  za hodinu, na louce či poli je to max.  $20 \text{ l/m}^2$ ,
- b) *intercepce* – na povrchu vegetace se zachytávají kapičky vody a dále už se nepodílí na celkovém odtoku,
- c) *evapotranspirace a výpar z vodní hladiny* – celkový výpar vody z půdy, povrchu rostlin a vodní hladiny, opět platí, že tato část vody se nepodílí na velikosti odtoku,
- d) *retence (detence)* – zachycení (zpomalení) vody vlivem nerovností, prohloubení a depresí terénu, tato voda se také nepodílí (nebo jen v malé míře) na celkovém odtoku,
- e) *složení vegetace* – na velikosti celkového odtoku z povodí se podílí (respektive nepodílí) i vegetační složení, pokud se na území nachází převážně lesy, zachycená voda odpovídá přibližně  $5 \text{ mm/m}^2$ , na louce cca  $2 \text{ mm/m}^2$ ,
- f) *druh půdy, obsah humusu, mocnost a zhutnění* – vlhké jílovité půdy, které jsou ještě zhutněné zemědělskou činností, zasáknou mnohem méně vody než např. písčové půdy pokryté trvalým travním porostem.

### ***Činnost člověka při přeměně krajiny***

Voda si najde cestu sama, ale člověk za přispění techniky mění krajinu čím dál tím více k obrazu svému. SLAVÍKOVÁ (2007) rozděluje změny z hlediska socioekonomického, vodního, lesního a zemědělského. Kombinace těchto jevů v současnosti způsobuje ničivější průběh povodní, než tomu bývalo v dřívějších dobách.

Mezi socioekonomické aspekty přeměny krajiny se řadí stále se rozrůstající města a obce a tvorba stále více nepropustných ploch. Na těchto plochách se voda nemá kam zasáknout a rychle odeče do recipientu, kanalizace, k propustným plochám nebo zůstane v nepropustné části intravilánu. Na povodí připadá průměrně 2-4% nepropustných ploch. Vzhledem k soustředování měst kolem řek a potoků, dochází při povodni k největším škodám díky nedostatečné kapacitě koryta, malé kapacitě kanalizační sítě (nebo jejímu ucpání) a zpětnému vzduť (Paul et Meyer, 2001).

Vodní toky si člověk přizpůsobuje už od dob starověkého Egypta. Většinou se jedná o přehrážku toku za účelem využití vodního potenciálu, energie či na odběr vody. Úprava toku přináší výhody i nevýhody. Přehrazení toku mělo za následek snížení spádu řeky a v důsledku toho i rychlosti proudění. V případě většího akumulárního prostoru nádrže, funguje mimo jiné i jako protipovodňová ochrana. Nevýhodou takto vzniklých nádrží je, že dochází k zanášení prostoru nádrže sedimenty. Naopak neblahým jevem minulého století bylo napřimování přirozeně meandrujících toků (v horším případě i jejich vybetonování) a v důsledku toho dochází k zamezení rozlivu řeky do přilehlých niv či vysychání mokřadů. Voda dosáhne vyšší rychlosti a tím ničivějších účinků v dolních částech toku (Chadwick et al., 2013).

Největší podíl na velikosti povrchového odtoku má zemědělská a lesní činnost. Zelená plocha často ustupuje před zemědělci, kteří bojují o každou píď orné půdy. Půda, která je pak ve většině případů nevhodně obdělávána (orání kolmo na vrstevnice, špatný osevní postup, nedodržování střídání zatravnovacích pásů, atd.), tvoří přibližně 50 až 80% celkové plochy povodí (Sucharda et Simon, 2004).

PAUL et MEYER (2001) uvádí, že povrchový odtok v přirozeně zalesněném povodí může být až 5x nižší než v urbanizovaném povodí s vysokým podílem nepropustných ploch.

### 3.1.5 Rozdělení povodní

Povodně vyskytující se na území České republiky, lze podle § 64 vodního zákona rozdělit na 2 základní typy – přirozeně se vyskytující a povodně zvláštního typu. Povodně zvláštního typu oproti přirozeným povodním (vzniklým deštěm, táním sněhu atd.) jsou způsobené umělými jevy při provozu či stavbě vodního díla. Nejčastěji se jedná o protržení hráze vodního díla nebo nutnost upouštět vodu z nádrže tak, aby nedošlo k protržení. Tyto situace většinou doprovázejí přirozené povodně. Narušení stability hráze může vyvolat i vnější úmyslný zásah třetí osoby (teroristický čin) či dopravní nehoda (náraz letadla, lodě). KUBÁT (2012) uvádí, že v průběhu povodně v roce 2002 došlo k protržení 23 hrází a 84 jich bylo vážně poškozeno. Dalším 20000 malých vodních nádrží z celkového počtu kolem 25000 hrozí při příchodu povodně minimálně poškození.

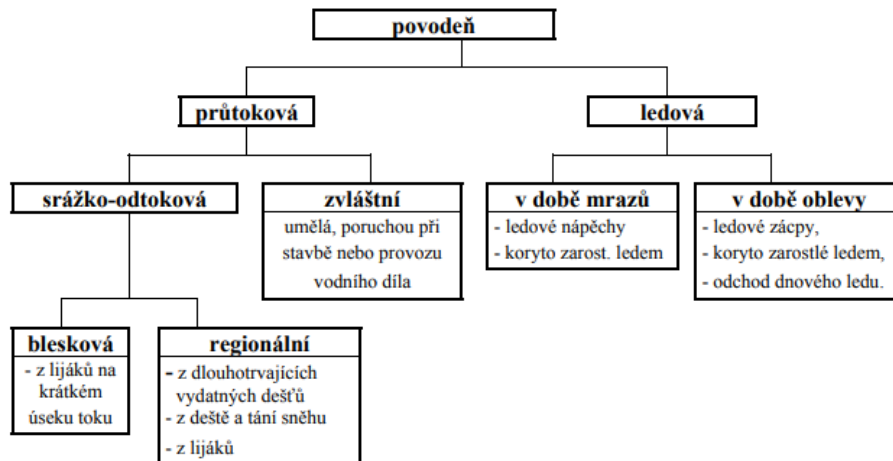
KUBÁT (2012) a současně i MATOUŠEK (2004) uvádí dvojí rozdělení povodní – podle časového rozložení a podle způsobu vzniku povodní.

Časové rozložení povodní reprezentují čtyři skupiny:

- *letní povodně způsobené vydatným krátkodobým deštěm* – nejčastěji se vyskytující povodeň zasahující menší povodí a s dobou trvání jen pár hodin, někdy nazývána přívalová či blesková povodeň (např. červen a červenec 2009 na Novojičínsku, Jesenicku, Děčínsku a Prachaticku),
- *letní povodně způsobené dlouhodobým deštěm* – zasahují větší povodí v delším časovém období řádově dnů až týdnů (např. srpen 2002 na povodí Labe a Dyje),

- zimní a jarní povodně z tající sněhové pokrývky (např. prosinec 1993 na povodí Otavy),
- zimní povodně způsobené ledovými jevy (např. leden 1982 na povodí Berounky, Cidliny a Ohře).

Podle způsobu vzniku se povodně dělí na průtokové (bleskové, regionální a zvláštní) a ledové rozdělené na období mrazů a období oblevy (viz obr. 3).



Obr. 3: Schéma rozdělení povodní podle způsobu vzniku (Matoušek, 2004)

LANGHAMMER (2007) rozděluje povodně dle socioekonomického hlediska na katastrofální povodeň a povodňovou pohromu. Katastrofální povodeň je taková, která způsobuje mimořádné ztráty na životech a škody na majetku. Je typická svou velikostí a dlouhou dobou opakování. Za povodňovou pohromu považuje takovou povodeň, při které nedochází k újmě na životech, ale pouze k majetkové škodě.

Další zajímavé rozdělení, které ale v České republice nenajde moc uplatnění, uvádí GOUDIE (2009). Povodně dělí na říční, estuáριοvé (kombinace přílivové vlny a říční povodně), pobřežní (způsobené vlnou tsunami nebo hurikány) a ostatní.

### 3.1.6 Protipovodňová opatření

Potřebu chránit se před povodněmi pocítovali už staří Římané. NYPL et SYNÁČKOVÁ (1998) uvádí, že budováním stokové soustavy přispívali k rychlejšímu odvedení povodňových průtoků z města. Na území České republiky byla intenzivněji budována až od středověku. Mezi jedny z nejstarších patří uměle vybudované koryto vedené z Lužnice do blízké Nežárky, kterým se odváděla přebytečná voda z řeky. Největší rozmach budování protipovodňových opatření byl v minulém století. Převažovala výstavba přehrad, inundačních hrází a opevnění koryt. Jednalo se hlavně o opatření s velkým zásahem do krajiny – tzv. technická opatření. V současné době se však přistupuje k budování protipovodňového opatření jako součásti krajiny se snahou o minimální dopad na ekologii – tzv. přírodě blízká opatření (Sucharda et Simon, 2004).

Nepravidelný výskyt povodní v prostoru a čase se jeví jako největší problém při plánování protipovodňové ochrany. Hlavním cílem všech opatření je snížení (nebo zamezení) potenciálních škod vzniklých při povodňových událostech. Výlučně všechna se soustřeďují na ochranu před rozlitím vody v intravilánu měst a obcí. Naopak v extravilánech bývá rozliv vody přímo žádoucí. Nenapáchá žádné škody, dojde k rozlivu a zasakování vody, zpomalení proudící vody a následné transformaci povodně (Šálek et Kujal, 2016).

Ve většině případů se voda vyleje z koryta ze dvou důvodů. První je nedostatečná kapacita koryta pro průchod N-leté povodně a druhá bývá v kapacitě propustků a různých objektů na toku. PAVELKOVÁ CHMELOVÁ et FRAJER (2013) uvádí, že pro plynulý průchod povodně je zapotřebí:

- zajistit dostatečnou velikost propustků, pilířů mostů, výpustních zařízení a záchytných prostorů nádrže,
- stanovit záplavová území a definovat místa pro přirozený rozliv vody k odlehčení průtoků,
- upravit kapacitu koryta vodního toku a vhodnou úpravou toku zajistit přirozené meandrování,
- vybavit objekty na toku pohyblivými konstrukcemi a vyústění kanalizace opatřit ovladatelnými klapkami,
- realizovat plošné protierozní opatření na zemědělských půdách,
- podporovat vhodné obdělávání půdy.

### ***Rozdělení protipovodňových opatření***

KONVIČKA (2002) rozděluje protipovodňové snahy na dva proudy. Jeden se zaměřuje na zlepšení retenční schopnosti a zpomalení odtoku srážek v ploše povodí. Druhý se soustřeďuje na konkrétní místo na toku a jeho technickou úpravu. S tímto názorem souhlasí i SLAVÍKOVÁ (2007) a ještě přidává jeden proud – prevenci (snížení potenciálních škod zvýšením povědomí občanů o povodňovém ohrožení).

Podle RRAVM (2012) se opatření nejčastěji rozdělují z hlediska konstrukce na technická a netechnická (viz obr. 4). Další kategorií může být rozdělení podle účelu:

- prevence – dodržování stanovených záplavových území, přizpůsobení plánované výstavby vzhledem k ohrožení (aktivní zóně záplavového území) nebo vhodné využití zemědělských ploch,
- ochrana – přímý zásah do území ke zlepšení povodňové situace (např. výstavba poldrů, mobilních hrází atd.),
- připravenost – informovanost obyvatel o nutnosti opatření, správném chování při ohrožení a včasném varování před blížící se katastrofou vyhlášením stupňů povodňové aktivity pomocí rozhlasu, sirén či webovou aplikací,
- záchranný systém – tvorba povodňových plánů a zvládání všech povodňových rizik.



Obr. 4: Rozdělení protipovodňových opatření dle konstrukce (RRAVM, 2012)

Specifickým typem protipovodňového opatření jsou přírodě blízká opatření v ploše povodí a na vodních tocích, která se v současnosti těší veliké oblibě vzhledem k malým zásahům do ekosystému krajiny nebo k vytvoření vhodných podmínek pro různé organismy. Nejčastější je zřizování poldrů, ochranných nádrží a tůní, úpravy niv a přirozeného meandrování toků (RRAVM, 2012).

Avšak pro správnou efektivitu není nutné jejich rozdělení, ale hlavně jejich funkčnost, vhodná kombinace a spolupráce při příchodu nebezpečí na všech úrovních. Podle MZE ČR (2017) se jako budoucí ideální prevence před povodněmi jeví kombinace současných znalostí z hydrologie a hydrauliky s rozvojem výpočetních softwarů. Jedná se hlavně o:

- zefektivnění hlásné a předpovědní povodňové služby (včasnější varování, přesnější předpovídání srážek a odtoku vody z povodí pomocí matematických modelů),
- vhodná kombinace všech druhů protipovodňových opatření s využitím simulačních modelů,
- stanovení záplavových území i pro menší toky.

### 3.1.7 Stanovení záplavového území

Součástí protipovodňové ochrany jsou i záplavová území. § 66 vodního zákona definuje záplavové území jako předem stanovené území, které se při vzniku přirozené povodně může zaplavit vodou. Nejčastěji se stanovuje pro  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  (v některých případech i největší zaznamenanou přirozenou povodeň nebo povodeň s velmi nízkou pravděpodobností výskytu). Záplavové území by dle § 71 mělo být součástí povodňových plánů dotčených obcí. Oblast vymezeného území stanovuje záplavová čára, což je dle vyhlášky č. 236/2002 Sb., vyhláška Ministerstva životního prostředí o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území, v platném znění (dále jen vyhláška o záplavovém území), pomyslná čára charakterizující průsečík hladiny vody a terénu při povodňové události. V místech rozlivu, kde dochází k největší koncentraci povodňového průtoku, se dle § 67

vodního zákona definuje aktivní zóna záplavového území, pro kterou platí některá omezení (zákaz nové výstavby, skladování odplavitelného materiálu, zřizování oplocení atd.). V souvislosti se záplavovým územím se podle § 70 vodního zákona vyhláší stupně povodňové aktivity – stav bdělosti, stav pohotovosti a stav ohrožení.

Podle vyhlášky o záplavovém území je stanovení v kompetenci vodoprávního úřadu ve své územní působnosti na základě návrhu záplavového území. Návrh předkládá vodoprávnímu úřadu správce vodního toku, který může zadat zpracování v rámci výběrového řízení odborné vodohospodářské firmě. Významné vodní toky a některé drobné vodní toky jsou ve správě Povodí Labe, s.p., Povodí Vltavy, s.p., Povodí Ohře, s.p., Povodí Odry, s.p. a Povodí Moravy, s.p. Ostatní drobné vodní toky spravují Lesy České republiky, s.p., obce nebo soukromé subjekty.

Výsledkem tvorby záplavových map (myšleno celé projektové dokumentace) by měly být mapové výstupy s vyznačenou záplavovou čarou pro různé průtoky (příklad stanoveného záplavového území na řece Otavě je na obr. 5), popřípadě aktivní zónou záplavového území. Dále by měly obsahovat základní údaje o průtoku, hloubce vody, profilové kilometrāži, objektech na tocích, ale i doplňkové o počtu dotčených budov, použitých podkladech, výpočetním softwaru atd. (Čižmār et Hudec, 2007).



Obr. 5: Ukázka z online mapy záplavových území (VÚV TGM, 2017a)

### 3.2 Hydrodynamické modelování

V současné době není problém teoreticky popsat jednotlivé děje probíhājících procesů v přírodě, avšak komplikace nastanou v momentě, kdy se člověk snaží některý z jevů přírody nasimulovat. Neboli vytvořit věrohodný model, pomocí kterého lze popsat reálnou situaci (např. předpověď počasí, modelování průchodu povodňové vlny, statistické vyhodnocení dat, transport sedimentů či kontaminační látky v půdě, ale i z jiného odvětví jako je předpověď vývoje cen na trhu, migrace

zvířat, letecké a kosmické simulátory, atd.). BRIŠ et LITSCHMANNOVÁ (2007) popisují modelování jako tvůrčí činnost, kterou se člověk snaží zjednodušit a idealizovat vybrané děje reálného světa.

Předchozí zkušenosti z průběhu povodní poukazují na fakt, že výzkum v oblasti hydrodynamického modelování má své opodstatnění. K výpočetně složitému popisu proudění vody slouží neustále se rozvíjející technologie. Základy vědě, známé dnes jako hydroinformatika, položil Michael B. Abbott už v padesátých letech 19. století. V současné době se využívá vysoce matematicky propracovaných numerických softwarů, které zvládají poměrně jednoduché úkoly (např. výpočet ustáleného rovnoměrného 1D proudění), ale i velmi složité modely typu 3D simulace protržení přehrady (Valenta, 2005).

Z pohledu této práce je zajímavé hlavně modelování hydrodynamických jevů v otevřeném korytě, konkrétně ustálené nerovnoměrné 1D proudění, a proto i teoretický základ v kapitole 3.2 bude více směřován k této oblasti.

### **3.2.1 Klasifikace matematických modelů**

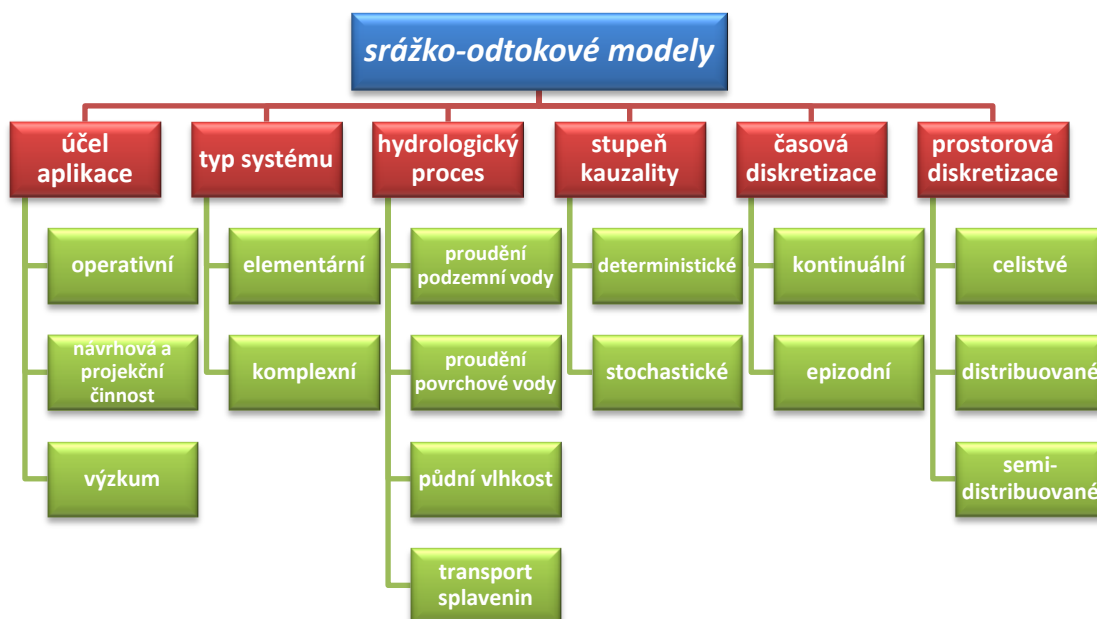
Termín model lze chápat mnoha způsoby podle vybraného jevu a procesu v reálném světě. Například DOOGE (1986) obecně definuje model jako zjednodušenou reprezentaci přírodního či člověkem upraveného světa, která popisuje některé jeho charakteristiky. Další obecnou definici uvádějí PODLAHA et KRÁLOVÁ (2007) jako zjednodušený princip fungování procesů za použití minulých událostí k predikci budoucích. Z pohledu hydraulického a hydrologického modelování bývá podle RODHE (2012) nejvíce preferovanou definicí, že model je zjednodušení reálného hydrologického procesu (povrchové nebo podzemní vody), které pomáhají pochopit a předpovídat koloběh vody v přírodě.

Modely pro simulaci povodňové události rozděluje VALENTA (2005) na fyzikální a matematické. Fyzikální modely znázorňují složitost hydrodynamických jevů na zmenšeném modelu na základě modelové podobnosti s prototypem (skutečnou stavbou na toku). Matematické modely simulují proudění pomocí výpočetních softwarů a z hlediska vztahu ke koloběhu vody na Zemi se dají rozdělit do dvou skupin – *srážko-odtokové* (hydrologické) a *hydrodynamické* (hydraulické).

#### ***Srážko-odtokové modely (S-O modely)***

S-O modely reprezentují chování a strukturu hydrologického systému. V hydrologii existuje mnoho přístupů ke srážko-odtokovému procesu. Odlišný přístup spočívá hlavně v účelu modelu a struktuře povodí. Princip rozdělení modelů (viz obr. 6) dle několika přístupů uvádí například BECKER et SERBAN (1990). Nejvíce využívanými srážko-odtokovými modely jsou HEC-HMS, MIKE-SHE, BILAN, SAC-SMA, NASIM, HYDROG a další (Jeníček, 2005).

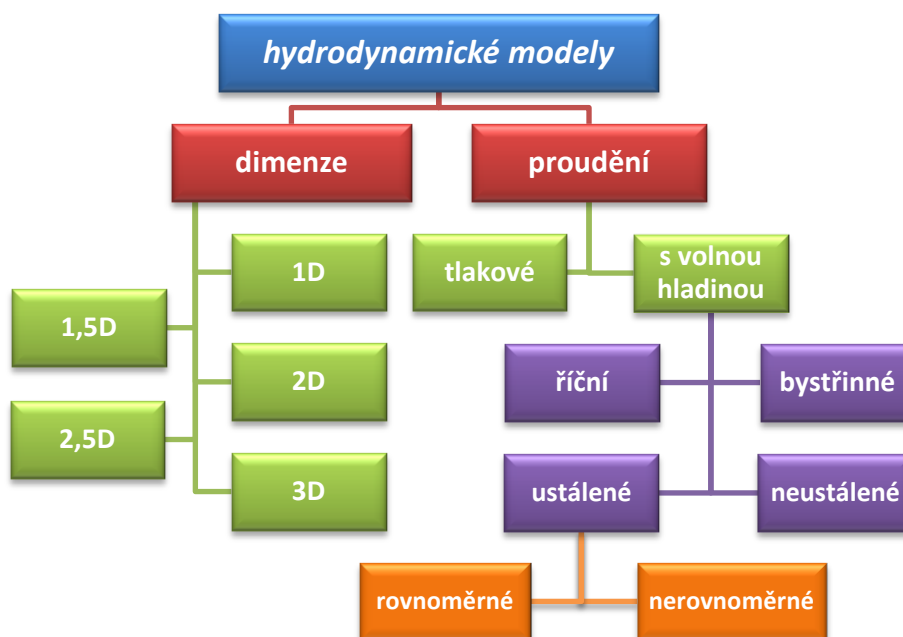




Obr. 6: Schéma rozdělení S-O modelů (Becker et Serban, 1990)

### Hydrodynamické modely (HD modely)

Podle předem nastavených výpočetních rovnic se hydrodynamické modely snaží popsat reálné hydraulické jevy v přírodních i uměle vybudovaných korytech (popřípadě potrubí). HD modely se nejčastěji rozdělují dle dimenze a typu proudění (viz obr. 7). Detailnější popis těchto kategorií a nepoužívanějších modelů se nachází v následujících kapitolách (Valenta, 2005).



Obr. 7: Schéma rozdělení HD modelů (Valenta, 2005)

### 3.2.2 Rozdělení hydrodynamických modelů

Modelování povodňového proudění spočívá ve výběru vhodného typu modelu. Rozdělení HD modelů, jak už bylo zmíněno výše (viz obr. 7), vychází z dimenze a typu proudění. Při tvorbě hydrodynamického modelu lze obecně vycházet ze třech složek rychlosti – jednorozměrné (1D), dvourozměrné (2D), třírozměrné (3D), popřípadě kvazi-dvourozměrné (1,5D), výjimečně kvazi-třírozměrné (2,5D) nebo jejich vzájemnou kombinací. V závislosti na zkoumaném jevu lze vybrat i typ proudění – tlakové nebo s volnou hladinou (ustálené rovnoměrné, ustálené nerovnoměrné nebo neustálené, říční nebo bystrinné). Modely s tlakovým prouděním se používají při modelování pohybu vody v potrubí, modely s volnou hladinou u povrchových toků (Valenta, 2005).

Obecně platí, že čím jednodušší model, tím rychlejší výpočet. Proto se v praxi většinou volí 1D (maximálně 2D) modely v kombinaci s ustáleným nerovnoměrným prouděním nebo v případě modelování průchodu povodňové vlny i neustáleným. Na toku se většinou počítá s říčním prouděním, bystrinné může nastat ve vyšších horských oblastech s větším sklonem dna toku (Valenta, 2005).

U **1D modelu** se uvažuje pouze jedna dominantní složka rychlosti (ostatní dvě se zanedbávají). Jedná se o nejpoužívanější model v České republice (i ve světě), na základě kterého se zpracovávají hydrodynamické studie ke stanovení a vyhlášení záplavového území nebo k hydrotechnickému posouzení objektů na toku. Je vyhledávaný pro svou jednoduchost a relativně malé nároky na vstupní data. Výstupní údaje 1D modelu v závislosti na typu proudění spočívají ve:

- stanovení podélných profilů hladin toku (hranice rozlivů) při různých kulminačních průtocích,
- střední svislicové rychlosti,
- stanovení postupu simulované povodňové vlny vybraným úsekem toku.

1D modely jsou podrobněji rozebrány v dalších kapitolách, a proto se jim není třeba v této části více věnovat (VÚV TGM, 2017b).

Mezi hydrodynamické modely patří i kvazi-dvourozměrný (**1,5D model**), který se využívá pro modelování rozlehlejších částí toku, kdy klasický 1D model nedokáže spolehlivě pokrýt široké inundační území. Proto se na tomto území zavádí tzv. větevné či okruhové sítě, které by měly zpřesnit průběh proudění, ale vždy záleží na zkušenosti a subjektivním názoru modeláře (Havlík, 2016).

Ve **2D modelech** jsou dominantní dvě složky rychlosti a třetí (vertikální) se zanedbává. Matematický popis 2D proudění spočívá v řešení pohybových rovnic a rovnice spojitosti, které jsou numericky řešeny metodou konečných prvků, konečných objemů nebo konečných diferencí. Přesnost modelu spočívá hlavně ve vhodně zvolené proudové výpočetní síti a „relativně“ mělké vodě. Tím se oproti jednomu rozměru zvyšují nároky na výkon výpočetní techniky a na vstupní data. Současná praxe ale ukazuje, že 1D model v některých případech (např. u širokého

inundačního území, rozsáhlých meandrujících toků apod.) neposkytuje dostatek informací o proudění jako složitější 2D model. Jedná se hlavně o výstupy typu:

- celkový charakter proudového pole,
- informace o hloubce, směru a velikosti proudění v každé buňce předem stanovené proudové výpočetní sítě,
- obtékání různých překážek a objektů na toku.

Přesně tyto informace bývají důležité pro plánování povodňových situací, při manipulaci na vodních dílech za povodňového stavu nebo při plánování tras lodní dopravy (Balvín et al., 2009; Havlík, 2016; VÚV TGM, 2017b).

K popisu proudového pole se u **3D modelů** využívají všechny tři složky rychlosti. Matematické řešení spočívá v numerické aproximaci řídicích rovnic nejčastěji pomocí metody konečných prvků. 3D model umožňuje simulovat prostorový průběh proudění a využívá se hlavně pro posouzení, jestli nedochází k překročení vymílací rychlosti a to při:

- simulaci proudění kolem tvarově složité oblasti (např. obtok mostních konstrukcí a pilířů),
- návrhu opevnění dna a břehů koryta v závislosti na vymílací rychlosti,
- situaci, kdy voda proudí i proti přirozenému směru proudění (přiliv, zpětné vlny atd.),
- simulaci protržení hráze.

Protože nároky modelu na operační paměť jsou veliké a výpočet mnohdy trvá i několik dní, využívá se pouze ve výjimečných případech v kombinaci s 2D modelem (**2,5D model**) nebo k výzkumným účelům (Balvín et al., 2009; Havlík, 2016).

CHADWICK et al. (2013) považuje proudění za **ustálené** (též stacionární), pokud se průtok vody na celém zkoumaném úseku nemění v čase a závisí pouze na poloze. Speciální případ ustáleného proudění, kde se v průběhu celého zkoumaného úseku nemění žádný z parametrů průtočného koryta (hloubka vody, drsnost koryta, průtočný obsah, rychlost vody atd.) se nazývá **rovnoměrné**. Rovnoměrné ustálené proudění v přírodě, až na pár výjimek, nevzniká. Nastává pouze v uměle vybudovaném korytě. Základním předpokladem pro modelování povodňového průtoku je **nerovnoměrné** ustálené proudění, kdy se po celé délce úseku mění rychlost proudění i průtočná plocha. To je způsobeno různou šířkou koryta, odlišnou drsností, proměnným podélným sklonem koryta a dalšími hydraulickými parametry pro různá místa na vodním toku.

Pokud se průtok v čase a prostoru mění, jedná se o **neustálené** (též nestacionární) proudění. Průtok je funkcí času a nejlépe si ho lze představit jako průběh povodňové vlny (viz obr. 1). Ve zkoumaném profilu nejprve roste výška hladiny a po dosažení kulminace opět klesá. Dalším případem neustáleného proudění může být plnění prostoru nádrže, kde přítok po určité době převyšuje odtok a hladina pomalu stoupá

a naopak. Za neustálené proudění se považuje i tvorba (oscilačních) vln vlivem větru či pohybu lodě (Chadwick et al., 2013).

Další proudění, které se vyskytuje v přírodě, je **říční a bystřinné** (popřípadě kritické, ale to jen ve výjimečných případech). O jaký typ proudění jde, udává například Froudovo číslo, které je závislé na rychlosti proudění a hloubce vody. Ve většině případů převládá na modelovaných úsecích říční proudění, kde jsou malé rychlosti proudění a podélný sklon koryta. Naproti tomu bystřinné proudění se nachází ve vyšších horských oblastech, kde dochází díky velkému podélnému sklonu k rychlejšímu proudění a tím i většímu namáhání koryta (Chadwick et al., 2013).

### 3.2.3 Teoretický základ při tvorbě 1D modelu

Všechny hydrodynamické modely vychází z fyzikální podstaty proudění. Základními předpoklady pohybu vody jsou zákony zachování hmoty, celkové energie a hybnosti doplněné o stavovou rovnici. Tyto zákony jsou matematicky vyjádřeny ve formě parciálních diferenciálních rovnic, které lze řešit některou z numerických výpočetních metod – metoda konečných objemů, prvků nebo diferencí. V rámci této práce se jako výchozí software pro tvorbu 1D modelu uvažuje HEC-RAS, pro jiné typy modelů a programů, které nejsou předmětem studie, se řídicí rovnice a způsob výpočtu může odlišovat (Brunner, 2016a).

Řešení 1D modelu pro ustálené i neustálené proudění je založeno na rovnici kontinuity (viz vzorec 1) a hybnosti (viz vzorec 2). Tyto diferenciální rovnice jsou řešeny implicitními nebo explicitními numerickými metodami a jsou známé jako Saint-Venantovy rovnice, odvozené už v roce 1871. Pro 1D modelování proudění v říčním korytě se využívá zjednodušených předpokladů (Brandner et al., 2011):

- proudící tekutina je nestlačitelná a nevazká
- uvažuje se pouze horizontální rychlost proudění, která je konstantní na celé ploše svislicového průřezu
- vertikální složka zrychlení se zanedbává
- sklon dna koryta je dostatečně malý

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(QV)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (2)$$

$Q$ ...průtok [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$A$ ...průtočná plocha profilu [ $m^2$ ]

$q_l$ ...boční (laterální) přítok [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$t$ ...čas [ $s$ ]

$x$ ...vzdálenost na ose  $x$  [ $m$ ]

$g$ ...gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$V$ ...střední průřezová rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$z$ ...nadmořská výška hladiny [ $m$ ]

$S_f$ ...sklon čáry energie [-]

Sklon čáry energie vyjadřuje celkové hydraulické odpory (tření ve dně, turbulence, prostorové efekty apod.). Vzhledem k jednoduchosti 1D modelů se celkové odpory stanovují pomocí empirických vztahů a parametrů k vyjádření Chézyho rychlostního součinitele (Valenta, 2005).

Při řešení ustáleného nerovnoměrného proudění se využívá metody „po úsecích“, kde výpočet probíhá mezi dvojicí profilů nebo v případě krajního profilu se zadanou okrajovou podmínkou. Řídící energetická rovnice (viz vzorec 3) je ve tvaru:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

$Z_1, Z_2$ ...nadmořská výška dna [m]	$a_1, a_2$ ...rychlostní součinitel [-]
$Y_1, Y_2$ ...hloubka vody v profilu [m]	$h_e$ ...energetické ztráty
$V_1, V_2$ ...stř. průřezové rychlosti [m.s <sup>-1</sup> ]	Index 1 a 2 označuje sousední profily

Celkové energetické ztráty mezi dvěma profily jsou vyhodnocovány třením (na základě Manningovy rovnice). Řídící rovnice (viz vzorec 4) vypadá následovně:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (4)$$

$L$ ...vzdálenost mezi dvěma profily [m]
$\bar{S}_f$ ...průměrný sklon čáry energie [-]
$C$ ...koeficient expanze nebo kontrakce [-]

Energetická rovnice se u ustáleného proudění využívá například při náhlé změně vodní hladiny, která je typická pro jezy, hráze, propustky apod. Detailnější popis všech řídicích rovnic a jejich odvození uvádí BRUNNER (2016a) v oficiálním manuálu k softwaru HEC-RAS.

### 3.2.4 Výpočetní software pro HD modelování v říčních korytech

Pro hydraulické výpočty na vodních tocích existuje množství programů na českém i zahraničním trhu. Nejpoužívanějším však zůstává HEC-RAS a další programy z rodiny HEC, které jsou jako jedny mála ke stažení zdarma. Mezi další patří MIKE, Hydrocheck, TUFLOW, atd. Výběr výpočetního programu závisí hlavně na modeláři, který musí uvážit, jaký program bude pro modelování dané situace nejvhodnější. Ne všechny programy nabízejí stejné funkční možnosti, výkon nebo požadované detaily pro výstupy. Zahrnuty byly pouze programy, které se více či méně používají na území České republiky a úzce souvisí s hydraulikou říčních koryt. Do této kapitoly byl zařazen i program ArcGIS, pomocí kterého nelze provádět HD výpočty, ale slouží ke správě geografických dat (Balvín et al., 2009).

### ***HEC-RAS (HEC-GeoRAS, HEC-FDA a HEC-FIA)***

BRUNNER (2016b) popisuje základní verzi modelu hladinového režimu v otevřených korytech HEC-RAS (River Analysis System) jako jeden z mnoha produktů v oblasti hydrauliky a hydrologie, které vyvinul Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers (fungující od roku 1964). Jako produkt financován armádou Spojených států (z peněz daňových poplatníků) je volně stažitelný a šiřitelný. Současná verze programu 5.0.3 byla uvedena v září roku 2016 a od verze 5.0 program umožňuje i 2D modelování.

Program **HEC-RAS** představuje uživatelsky přívětivý prostředek pro plánování a návrh protipovodňové ochrany po celém světě. Umožňuje řešit ustálené proudění povrchové vody, simulovat neustálené 1D a 2D proudění, provádět výpočet pohyblivé hranice transportu sedimentů a počítat analýzy kvality vody. Nespornou výhodou všech čtyř analýz je, že využívají stejná topografická a hydrologická data. Různé kompozity programu a požadavky na vstupní data, která jsou nutná ke spuštění modelu, jsou rozebrány v kapitole 4. Program zvládá modelovat i bystřinné a říční proudění nebo jejich kombinaci. V rámci 1D modelu lze rozdělit příčné profily na dílčí části – kynetu a bermu (koryto a inundaci), definovat neprůtočné plochy či boční přelévané hráze a umožňuje změnu drsnostního součinitele pro různý typ omočeného území. HEC-RAS využívá metodu „po úsecích“ neboli simulaci ustáleného 1D proudění, u kterého jsou hlavním výstupem podrobné hydraulické charakteristiky v jednotlivých příčných profilech. V rámci 1,5D a 2D modelování zvládá řešit i složitější říční sítě, objekty na tocích (jezy, mosty, propustky), simulovat protržení hráze či přehrady, modelování pohybu ledových ker či problematických míst u mostních pilířů a mnohé další (Brunner, 2016b).

Dalším nástrojem z rodiny HEC je **HEC-GeoRAS**, který umožňuje vzájemné propojení modelu vytvořeného v prostředí HEC-RAS se systémem GIS (geografický informační systém). Výhodou programu je možnost vlastní tvorby příčných profilů, osy toku, břehových linií, hrází atd. na podkladu digitálního modelu terénu. Vytvořená geometrická data lze snadno převést do výpočetního modelu HEC-RAS. Po provedení výpočtu se data převedou zpět a výsledkem může být mapové zobrazení různých návrhových průtoků, rychlosti proudění nebo smykových ploch povrchu. Nejčastější uplatnění najde při tvorbě záplavových map (Ackerman, 2012).

Rozšiřující programy **HEC-FDA** (Flood Damage Analysis) a **HEC-FIA** (Flood Impact Analysis) se používají na inženýrsko-hydrologické a ekonomické analýzy, k hodnocení povodňových rizik a jejich zvládnutí, k hodnocení ohrožení na objektech, životech i v zemědělství (Brunner, 2016b).

### ***MIKE***

Nepřeberné množství softwarových nástrojů MIKE pro HD modelování vyvinutých společností DHI Water&Environment se rozlišují podle účelu použití na:

- *MIKE 11* (označovaný též jako MIKE HYDRO River, nejpoužívanější varianta v protipovodňové ochraně, která zvládá 1D simulaci proudění, rizikovou analýzu povodí, transport sedimentů, kvalitu vody, srážkoodtokové jevy a další, spolu s MIKE GIS umožňuje i mapovou vizualizaci),
- *MIKE 21 C* (představuje komplexní dvourozměrný matematický model pro simulaci proudění a souvisejících jevů – kvalita vody, transport splavenin, šíření znečištění, účinky větru atd.),
- *MIKE 3* (poskytuje nástroje pro simulaci 3D modelů),
- *MIKE FLOOD* (přídavný modul pro kvalitnější zpracování a prezentaci výsledků simulací v prostředí MIKE 11 a MIKE 21 C, především pro generaci a prohlížení záplavového území),
- *MIKE HYDRO Basin* (nástroj pro získání základních údajů z oblasti životního prostředí – zdroje povrchové a podzemní vody, kvalita vody atd.).

MIKE je považován za jeden z nejkvalitnějších a nejkompaktnějších programů, co se týká hydrodynamického modelování, ale nevýhodou takto propracovaného programu je jeho vysoká pořizovací cena (DHI, 2018).

### ***Ostatní programy***

Ryze český program *Hydrocheck* vyvinutý společností Hydrosoft Veleslavín s.r.o. se zaměřuje na 1D modelování ustáleného nerovnoměrného proudění v otevřených korytech včetně řešení objektů na toku, stanovení záplavového území, vykreslení průběhů svislicových rychlostí, atd. Výhodou programu je zaměření na českou legislativu při zpracování výkresové dokumentace a generování příčných a podélných profilů přímo programem bez použití CAD systému (Hydrosoft, 2013).

Mezi komplexnější programy patří i TUFLOW či COMSOL Multiphysics, které zvládají 1D, 2D a 3D modelování nejen v říčních korytech, ale i v zatrubněných urbanizovaných či přímořských oblastech. Dalšími více používanými programy se zaměřením na vybrané části hydrodynamického modelování jsou FLO 2D, FLUVIUS, SHALLOW, FAST 2D, FESWMS, VLNA, BOSS DAMBRK a další (Balvín et al., 2009; Havlík, 2016).

### ***ArcGIS***

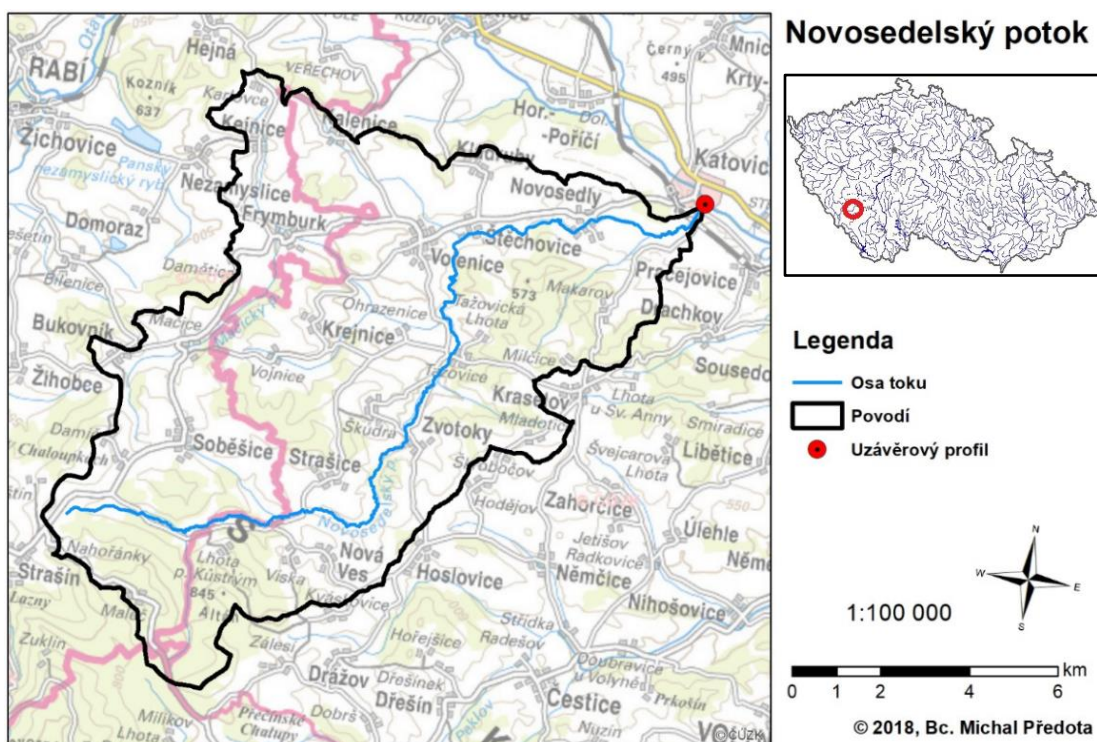
ArcGIS je software americké firmy ESRI. Jedná se o programový prostředek geografického informačního systému (GIS) sloužící k práci s prostorovými daty. V přehledném prostředí ArcGIS dokáže uživatel spravovat, vytvářet, analyzovat a interpretovat data. Výstupem pak mohou být tematické mapy, interaktivní aplikace, reporty apod. Pro účely diplomové práce byl program ArcGIS využit ke zpracování vstupních dat (k tvorbě digitálního modelu terénu), přípravě geometrických dat a tvorbě mapových výstupů záplavového území (ESRI, 2018).

## 4. Metodika

### 4.1 Charakteristika zájmového území

#### 4.1.1 Fyzicko-geografické poměry

Novosedelský potok (v mapových podkladech uváděný též potok Kolčava) pramení nad obcí Nahořánky u Strašína v Plzeňském kraji (okres Klatovy). Protéká přírodní rezervací Na Volešku a od osady Panské Mlýny protéká Jihočeským krajem, přes obce Tažovice, Štěchovice, Novosedly a městys Katovice. V Katovicích ústí jako pravostranný přítok do řeky Otavy (okres Strakonice). Nadmořská výška pramene byla naměřena v 654 m n. m. a při ústí ve výšce 397 m n. m. Od pramene až po ústí směřuje potok převážně východním (ve střední části toku severovýchodním) směrem (viz obr. 8). Významné přítoky tvoří Sloučinský, Mačický a Soběšický potok (Povodí Vltavy, s.p., 2015).



Obr. 8: Novosedelský potok s vyznačeným povodím (autor)

#### 4.1.2 Geologické a pedologické poměry

Z hlediska geologického členění patří širší okolí zájmového území do šumavského moldanubika. Jedná se o jednotku tvořenou silně metamorfovanými krystalinickými komplexy, které tvoří podloží celé lokality. Základními horninovými typy jsou pararuly a migmatity rozličného typu. Platformní pokryv moldanubika tvoří především sedimenty kvartérního stáří. Jedná se převážně o hlinitopísčité a hlinitokamenité sedimenty. Údolí toku tvoří fluvialní uloženiny, písky a štěrkopísky údolních niv, které jsou překryty fluvialními hlínami. Proto je převažujícím typem



půdy v blízkém okolí toku fluvizem glejová či glej modální a v širším okolí převážně kambizem modální a districká (Hřebeková, 2013).

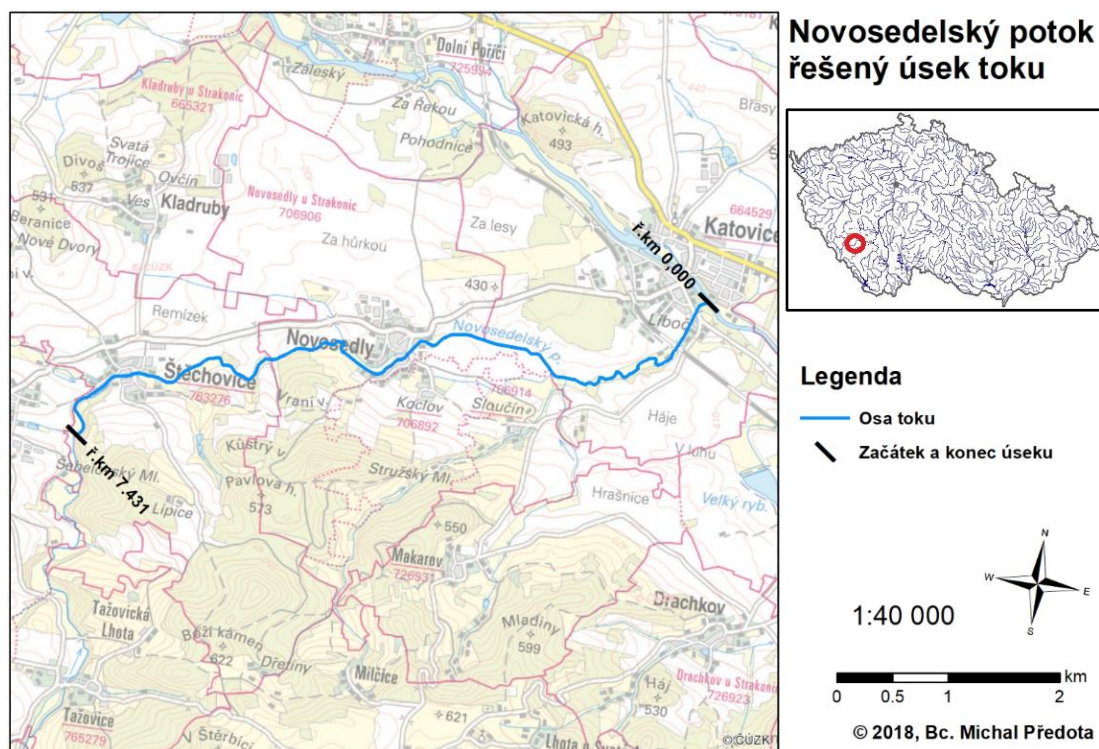
#### 4.1.3 Klimatické a hydrologické poměry

Klima zájmového území lze zařadit do dvou oblastí – MT5 a MT7 s mírným suchým létem a mírně teplou, suchou zimou. Průměrná roční teplota se pohybuje od 6,5 do 12,5 °C, s průměrným počtem letních dnů pod 40. Roční úhrn srážek dosahuje 550-600 mm (ve vegetačním období kolem 400). Srážkově nejchudší bývá období od listopadu do března (Quitt, 1971).

Novosedelský potok je klasifikován jako významný vodní tok s čísly hydrologického pořadí 1-08-01-126, 1-08-01-130, 1-08-01-132 a 1-08-01-134. Celková délka toku činí 24,636 km s průměrným sklonem dna cca 1%. Povodí odvodňuje území o celkové rozloze 101,77 km<sup>2</sup>. V ústí toku činí dlouhodobý průměrný průtok 0,43 m<sup>3</sup>/s. Hodnoty N-letých průtoků na začátku vybraného úseku a při ústí toku jsou uvedeny v další kapitole v tab. 2 a tab. 3. Správcem toku je Povodí Vltavy, s.p. s provozním střediskem Horní Vltava – Otava, Strakonice (Povodí Vltavy, s.p., 2015).

#### 4.1.4 Vymezení a popis vybraného úseku

Horní část toku ohraničuje ř. km 7,431 s nadmořskou výškou 432,63 m n. m., který se nachází nad obcí Štěchovice u soutoku s levostranným přítokem od obce Volenice. Dolní část toku s výškou 396,51 m n. m. vymezuje ústí do řeky Otavy v Katovicích (viz obr. 9 a obr. 10). Celková délka úseku proto činí 7,431 km a průměrný sklon dna odpovídá přibližně 0,5%.



Obr. 9: Vymezený úsek vodního toku Novosedelský potok (autor)



Obr. 10: Vymezený úsek vodního toku Novosedelský potok – levostranný přítok (A) od obce Volenice a ústí (B) do řeky Otavy (autor)

Řešená část toku byla vybrána z důvodu zvýšeného povodňového rizika pro obce Štěchovice, Novosedly a městys Katovice. Podle předběžných zjištění z povodňových plánů dotčených obcí se v obci Štěchovice při příchodu povodně vyšší než  $Q_{20}$  rozlévá voda převážně do levé části obce a zaplavuje několik rodinných domků. Stejný problém je i v obci Novosedly, kde se ale voda rozlévá po obou stranách toku. Katovice, které se nacházejí při ústí, jsou ohroženy hlavně příchodem povodně na řece Otavě, která ovlivňuje i zpětné vzduť na Novosedelském potoce. Za předpokladu, že povodňová událost nastane pouze v povodí Novosedelského potoka, by mohly být v ohrožení především zahrádkářské kolonie po pravé straně toku těsně pod železničním mostem, ale i rodinné domy po levé straně toku při ústí do Otavy. Ve všech zastavěných oblastech jsou patrné známky napřimování a zkapacitnění koryta (Němečková Š., 2003; Janus J., 2006; Mráz M., 2011).

Podle místního šetření je tok mimo obce lemován břehovými porosty téměř po celé délce vybraného úseku. Nicméně v těsné blízkosti toku převažují obdělávaná pole místy navazující na smíšené lesy. Pod obcí Novosedly dochází už při malých průtocích k rozlivu vody do nivy zvané Močidla, která je i přes tento fakt stále vedena jako orná půda. V důsledku intenzivně využívaného okolí k hospodářské činnosti, byl tok na několika místech napřiměn a upraven stavbami, např. brody pro přejezd zemědělské techniky (Janus J., 2006).

## 4.2 Požadavky na vstupní data

V předchozích kapitolách bylo zmíněno rozdělení hydrodynamických modelů. Každý typ modelu vyžaduje jiný soubor vstupních dat. Proto nedílnou součástí HD modelování je předběžné místní šetření v zájmové lokalitě s cílem vybrat vhodný typ modelu a řešený úsek vzhledem k předpokládaným rozlivům, dostupnosti dat, finančnímu rozpočtu a časovému harmonogramu prací (Drbal et al., 2012).

Jako vhodný model pro stanovení záplavového území na úseku toku Novosedelský potok byl vybrán 1D model pro ustálené nerovnoměrné proudění. V této kapitole budou rozebrána potřebná geometrická, hydrologická a hydraulická vstupní data.

### 4.2.1 Geometrická data

Geometrická data tvoří geodetické podklady pro přípravu numerických modelů a pro následné vyhodnocení výsledků ve formě mapových výstupů. Pro 1D modelování jsou nezbytné zaměřené příčné profily na toku doplněné o DMT (digitální model terénu) v případě, že zaměření inundačního území není dostačující nebo pokud se na toku nachází alespoň jeden objekt. Celkový počet a jejich vzdálenost závisí na tvaru říčního koryta a prostorové variabilitě vodního toku. Obvyklá vzdálenost profilů činí 50-100 m v zastavěném území a 100-200 m mimo intravilán. Všechny profily musí být vedeny kolmo na osu vodního toku, ale v případě potřeby mohou být mírně zalomené. Význam geodeticky zaměřených příčných profilů spočívá ve znalosti nadmořské výšky dna toku a břehů koryta, které letecké laserové skenování nedokáže spolehlivě zaměřit. Důležitou součástí je podrobné zaměření všech objektů na toku ovlivňující průchod povodňových průtoků (jedná se o mosty, jezy, lávky atd.). Mezi doplňkové geodetické podklady patří ortofotomapy, vektorové vrstevnice vrstvy ZABAGED (Základní báze geografických dat), ZM10 (základní mapa České republiky v měřítku 1:10000), archivní mapy a další (Drbal et al., 2012).

Pro účely této práce byla k dispozici geometrická data ve formě zaměřených příčných a podélných profilů, objektů na toku a říční mapy (v měřítku 1:2000) poskytnutá Povodím Vltavy, s.p. (provozní středisko Otava, Strakonice). Na vybraném úseku toku Novosedelský potok se nachází 52 příčných profilů a 18 objektů (6x jez, 5x brod, 3x silniční most, 2x stupeň, 1x železniční most a 1x lávka pro pěší a cyklisty). DMR 5G ve formátu xyz poskytl ČÚZK (Český úřad zeměměřický a katastrální). Veškerá geometrická data byla poskytnuta v polohopisném systému S-JTSK a výškopisném systému Balt po vyrovnání. V průběhu sestavování modelu, úpravě dat a tvorbě výstupů byla použita ortofotomapa ČR a ZM10, které poskytuje Geoportál ČÚZK (2018) pomocí WMS služby.

### 4.2.2 Hydrologická data

Důležitým hydrologickým údajem pro sestavení ustáleného nerovnoměrného proudění jsou N-leté průtoky na začátku, na konci úseku a na všech významných přítocích. Pod soutokem se neuvažuje souběh povodní, ale pouze průtok příslušné doby opakování. Podle dostupnosti dat lze kromě N-letých průtoků využít známé úrovně hladiny na konci úseku pro jednotlivé průtoky nebo konsumpční křivku. Hydrologická data poskytuje na vyžádání ČHMÚ dle ČSN 751400 „*Hydrologické údaje povrchových vod*“ (Drbal et al., 2012).

Pro sestavení 1D modelu v prostředí HEC-RAS by stačil N-letý průtok na začátku úseku (viz tab. 2). Avšak pro představu o kolik se zvedne průtok, pokud by se nezanedbaly přítoky, byly od ČHMÚ získány i N-leté průtoky při ústí do Otavy, (viz tab. 3). Všechny přítoky byly vyhodnoceny jako nevýznamné, a proto byly zanedbány.

<b>N-leté průtoky Qn [m<sup>3</sup>/s] pod levobřezním přítokem od obce Volenice</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
7.01	10.9	18.3	25.7	34.8	49.6	63.4

Tab. 2: N-leté průtoky na ř.km 7,431 toku Novosedelský potok (ČHMÚ, 2018)

<b>N-leté průtoky Qn [m<sup>3</sup>/s] ústí do Otavy</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
8.8	13	21	30	41	59	76

Tab. 3: N-leté průtoky na ústí toku Novosedelský potok (ČHMÚ, 2018)

### 4.2.3 Hydraulická data

Mezi hydraulická data patří hlavně údaje o drsnosti v jednotlivých příčných profilech. Součinitel drsnosti představuje odpor koryta a inundačního území působící na proudící vodu. Pro svou jednoduchost se nejčastěji používá tzv. *Manningův součinitel drsnosti n*. Volba drsnosti je velmi subjektivní, neboť závisí na zkušenosti modeláře a často se musí přihlídnout i k sezónním změnám a časové variabilitě těchto parametrů během průchodu povodňové vlny. V praxi se vychází z terénního průzkumu v kombinaci s nahlížením do ortofotomap a následnému určení drsnosti z tabulek uvedených v odborné literatuře. Neexistuje metoda stanovení přesné hodnoty, a proto se uvádí doporučená minimální, průměrná a maximální drsnost s přiřazeným slovním popisem nebo obrazovou dokumentací (Brunner, 2016a).

Příčný profil se rozdělí do třech kategorií s odlišnou drsností – koryto a levé/pravé inundační území. Hodnoty drsnosti pro příčné profily na Novosedelském potoce byly určeny z tabulek, které uvádí CHOW (1959) v kombinaci s lokálním průzkumem okolí toku doplněným o informace z orotofotomapy a názory odborníků z praxe. Volbu drsnostního součinitele ukazuje tab. 4, příloha 12, příloha 13 a příloha 14.

<b>Koryto</b>	<b>Drsnost</b>	<b>Inundační území</b>	<b>Drsnost</b>
<i>bez peřejí, nízká tráva</i>	0.033	<i>louka, nízká tráva</i>	0.035
<i>upravené kamenité koryto, nízká tráva</i>	0.035	<i>orná půda</i>	0.045
<i>napřimené, kamenný zához, kamenné zdi</i>	0.042	<i>řidký les, nízké křoviny</i>	0.075
<i>malé peřeje, vysoká tráva</i>	0.046	<i>hustý les bez křovin, voda po větve</i>	0.085
<i>velmi zarostlé plevelem, s kameny a tůněmi</i>	0.085	<i>zahrádkářská kolonie, nepropustné ploty</i>	0.165

Tab. 4: Ukázka volby drsnosti pro koryto a inundační území (Chow, 1959)

### 4.3 Příprava geometrických dat v prostředí ArcGIS

Program HEC-RAS sice dokáže zpracovat geometrická data samostatně, ale pro jednodušší manipulaci a přípravu osy toku, břehových linií, příčných profilů a objektů byla použita nadstavba HEC-GeoRAS pro verzi ArcGIS 10.5.

Pokud není uvedeno jinak, byla tato kapitola vytvořena dle oficiálního manuálu k prostředí HEC-GeoRAS od autora ACKERMAN (2012) a vztahuje se výhradně na popis částí použitých pro účely této práce. Základním předpokladem přípravy geometrických dat je uživatelská znalost programu ArcGIS.



### 4.3.1 Tvorba digitálního modelu terénu

Základním vstupem pro všechny hydrodynamické modely je výškopisný model zobrazující přirozený nebo upravený zemský povrch ve formě trojúhelníkové (popřípadě čtvercové) sítě složené z diskrétních bodů o souřadnicích x, y a z.

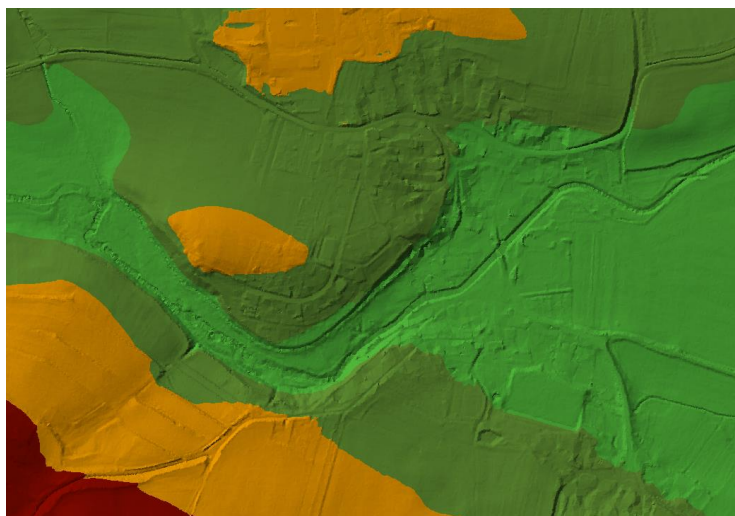
Pro území České republiky to představuje DMR 5G, který vznikl metodou leteckého laserového skenování v letech 2009-2013 s hustotou 1-2 body na m<sup>2</sup> a úplnou výškovou střední chybou od 0,18 m (pro odkrytý terén) až 0,3 m (pro zalesněnou oblast). Nevýhodou tohoto skenování (pomine-li se výšková chyba v zalesněných územích) zůstává nemožnost paprsků proniknout vodní hladinou. Vlivem automatické či poloautomatické filtrace vzniká tzv. nezahluobené koryto, které se musí pro modelování povodňových průtoků zahluubit (Novák et al., 2015).

Od ČÚZK byl získán DMR 5G pro 4 mapové listy k.ú. Strakonice a 4 mapové listy k.ú. Sušice v digitální podobě (formát xyz, kódování ASCII, viz obr. 11), kterou je nutné převést do požadovaného formátu TIN.

```
-797245.599 -1127611.218 398.194  
-797245.293 -1127613.245 397.893  
-797244.172 -1127613.673 398.047  
-797243.915 -1127612.651 398.309
```

Obr. 11: Ukázka dat DMR 5G ve formě X, Y, Z poskytnutých od ČÚZK

V prostředí ArcGIS se nejprve použije funkce *ASCII 3D to Feature Class*, která umožní převést formát xyz do datového typu *POINT* (bod). Nutností je zapnutá extenze *3D Analyst (Customize – Extensions – 3D Analyst)*. Po vytvoření bodové vrstvy, která obsahuje mnohdy několik miliónů bodů, stačí vytvořit datový model TIN. K tomu slouží funkce *Create TIN*. Z bodové vrstvy se lineární interpolací vytvoří 3D reprezentace výškopisného modelu (viz obr. 12), s kterou se dále může pracovat v nadstavbě HEC-GeoRAS.



Obr. 12: Ukázka datového modelu TIN pro okolí obce Novosedly u Strakonice (autor)

### 4.3.2 Využití nadstavby HEC-GeoRAS

Nadstavba HEC-GeoRAS umožňuje editaci a tvorbu geometrických dat pro potřeby programu HEC-RAS, ale není součástí základní výbavy ArcGIS 10.5. Proto se musí odpovídající verze ručně přidat přes *Customize – Toolbars – Customize – Add From File*. Panel nástrojů nabízí několik možností (viz obr. 13), ale v této části je nejdůležitější *RAS Geometry* – zpracování geometrických dat.



Obr. 13: Panel nástrojů nadstavby HEC-GeoRAS (autor)

Nové vrstvy související s tvorbou geometrických dat se vytváří pomocí *RAS Geometry – Create RAS Layers* a vždy se ukládají do výchozí geodatabáze umístěné ve stejném adresáři jako právě používaný mxd soubor.

Všechny editační práce probíhaly na podkladě DMT či aktuální ortofotomapy v kombinaci s údaji o geodeticky zaměřených profilech a objektech nebo nahlížením do říční mapy (viz obr. 14 a obr. 15 na konci kapitoly).

#### **Postup přípravy geometrických dat nástrojem HEC-GeoRAS:**

##### a) **Linie toku** (*Stream Centerline*)

Prvním krokem je vytvoření liniové vrstvy osy toku pomocí nástroje *Stream Centraline*. Linie se vytváří běžným způsobem pro ArcGIS (spuštěním editací a ručním vytvořením příslušných konstrukčních nástrojů, v tomto případě linií). U vytváření osy toku je rozhodující postupovat vždy ve směru proudění. Není vhodné přejímat již vytvořené vrstvy, jelikož není známo, v jakém směru byly vektorizovány. Další krok spočívá v doplnění topologie, délky linie a staničení (*RAS Geometry – Stream Centerline Atributtes – Topology a Lengths/Stations*). V atributové tabulce se doplní název toku (*River*), popřípadě toků v závislosti na celkovém počtu řešených úseků, a doplňující popisek (*Reach*).

##### b) **Břehové linie** (*Bank Lines*)

Liniová vrstva se vytvoří funkcí *Bank Lines*. Stejným způsobem jako u osy toku se vytvoří linie pro levý a pravý břeh. Tentokrát není nutné dodržovat směr a ani není vyžadována souvislá linie (břeh může tvořit více nespojitých linií). Důležitou zásadou je vytvářet břehové linie tak, aby se nekřížily s osou toku. Vytvoření břehových linií není povinné, ale výrazně se tím ulehčí pozdější práce. Na přesnosti umístění břehové linie tolik nezáleží, jelikož lze dodatečně upravovat, ale důležitá je vzdálenost od nejbližšího spodního profilu. Bez této vzdálenosti nelze v programu HEC-RAS spustit výpočet.

#### c) **Průtokové linie** (*Flow Path Centerlines*)

Do nově vytvořené vrstvy nástrojem *Flow Path Centerlines* stačí pouze zkopírovat vytvořené břehové linie a osu toku. Následně se pomocí funkce *Select Flowpath and Assign LineType Attributes* určí, jestli se jedná o koryto (*Channel*) nebo levý a pravý břeh (*Left/Right*).

#### d) **Příčné profily** (*XS Cut Lines*)

Nejdůležitější částí je tvorba příčných profilů. HEC-GeoRAS nabízí dvě možnosti – automatické generování (*Construct XS Cut Lines*), které při zadání vzdálenosti a šířky vytvoří na ose toku odpovídající počet profilů, nebo ruční tvorba příčných profilů. Vhodnější bývá ruční vykreslování, protože automatické generování nerespektuje několik důležitých zásad (např. profily se nesmí křížit nebo protínat osu toku na více místech). Při ručním vykreslování se využije funkce *XS Cut Lines*. Do vytvořené vrstvy se zanesou příčné profily dle subjektivního uvážení a zásad uvedených v kapitole 4.2.1, nebo pokud jsou k dispozici geodeticky zaměřené profily (jako v tomto případě), lze při vytváření jednotlivých linií tyto profily přesně kopírovat (popřípadě prodloužit v místech, kde se předpokládá větší rozliv, než je samotná délka profilu). Vždy se ale musí dodržovat vektorizace z levé strany toku směrem k pravému. Další důležitým krokem je vytvoření minimálně dvou pomocných profilů před a za každým objektem na toku a to ve vzdálenosti kolem jednoho metru na obě strany od konstrukce objektu.

Atributová tabulka pak musí být zaplněna názvem toku/úsekem, staničením od počátku toku, vzdáleností břehů od osy toku a vzdáleností osy a břehů od nejbližšího spodního profilu (*RAS Geometry – XS Cut Lines Attributes – River/Reach Names, Stationing, Bank Stations a Downstream Reach Lengths*). Nepovinným údajem v atributové tabulce je sloupec (*nodeName*) pro popis např. identifikačního prvku profilu (PF1, PF2 atd.). Pro přiřazení nadmořské výšky z DMT se využívá *RAS Geometry – XS Cut Lines Attributes – Elevation*, čímž dojde k vytvoření nové liniové vrstvy obohacené o 3D prvek. Informace o nadmořské výšce je dostačující pro inundační území, ale pro koryto se musí využít ruční zahloubení podle geodetického zaměření nebo při absenci těchto dat předkládá NOVÁK et al. (2015) alternativu ve formě poloautomatického generování hran profilu koryta pomocí nástroje *CroSolver for ArcGIS*.

Na vybraném úseku toku Novosedelský potok bylo použito 52 geodeticky zaměřených příčných profilů + 58 pomocných do míst, kde tok meandruje, a není dostatečně pokrytý zaměřenými profily a k vynesení všech objektů (viz obr. 14). Některé profily neodpovídaly předpokládanému záplavovému území, a proto byly oproti geodetickému zaměření záměrně prodlouženy. Zahloubení koryta probíhalo ručně v programu HEC-RAS podle zaměřených příčných profilů.

#### e) **Objekty a propustky** (*Bridges/Culverts*)

Objekty na toku (mosty, lávky, propustky atd.) se vytváří pomocí funkce *Bridges/Culverts*. Pro vykreslování objektů platí obdobná pravidla jako při tvorbě příčných profilů, s tím rozdílem, že se zakreslují pouze osy jednotlivých mostů, lávek a propustků mezi dva pomocné příčné profily. Opět je kladen důraz na vektorizaci z levého břehu na pravý.

Znovu je zapotřebí automatické doplnění názvu toku/úseku z vrstvy osy toku a staničení (*RAS Geometry – Bridges/Culverts – River/Reach Names a Stationing*), avšak důležitou částí je i ruční doplnění atributové tabulky. Jedná se o vzdálenost od hrany mostu k nejbližšímu příčnému profilu proti proudu toku (sloupec *USDistance*), šířka daného objektu (*TopWidth*) a nepovinný sloupec s identifikačním parametrem (*nodeName*). Stejně jako u příčných profilů se musí vygenerovat vrstva s nadmořskou výškou (*RAS Geometry – Bridges/Culverts – Elevation*)

Novosedelský potok překlenují na řešeném úseku tři silniční mosty (po jednom v každé obci), jeden železniční most nad městysem Katovice a jedna lávka pro pěší a cyklisty v obci Štěchovice (viz příloha 15, příloha 16 a příloha 17). Ostatní objekty na toku (jezy, stupně a brody) byly zadány ve formě příčných profilů vždy před, na a za daným objektem (viz obr. 14). Parametry jednotlivých objektů se vkládají až v programu HEC-RAS.

#### f) **Blokové překážky – zástavba** (*Blocked Obstruction*)

Pokud se v blízkosti toku nachází větší množství domů, paneláků, chat atd., je vhodné vygenerovat polygonovou vrstvu schematizující blokové překážky (*Blocked Obstruction*). Jednoduchou editací nad ortofotomapou se vynesou polygony reprezentující zástavbu v potenciálně ohroženém území (viz obr. 14). Musí platit, že zakreslená překážka protíná alespoň jeden příčný profil. Přiřazení k protínajícímu profilu se po skončení vykreslovacích prací provede pomocí *RAS Geometry – Blocked Obstruction – Position*. Výšku budovy lze zadat ručně v atributové tabulce nebo později v programu HEC-RAS.

V okolí vybraného úseku Novosedelského potoka se zástavba nachází pouze v rámci obcí a v jejich blízkosti.



Obr. 14: Detailní pohled na vytvořené vrstvy nástrojem HEC-GeoRAS na podkladě DMT (autor)



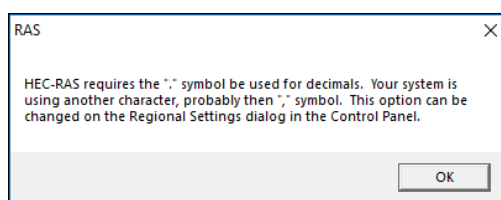


Obr. 15: Celkový pohled na vytvořené vrstvy nástrojem HEC-GeoRAS na podkladě ortofotomapy (autor)

Takto připravená data stačí jen vyexportovat. Nejprve se zkontroluje nastavení exportovaných vrstev (*RAS Geometry – Layer Setup*). Mezi vyžadované vrstvy patří výškopisný model TIN, osa toku, příčné profily a profily doplněné o nadmořskou výšku. Volitelné pak zůstávají břehové a průtokové linie, objekty a propustky, či další doplňkové vrstvy, které však nebyly součástí této práce. Následný export proběhne pomocí *Export RAS Data*, kde se vybere umístění vzniklých souborů (ve formátu sdf a xml) a vše se potvrdí tlačítkem *OK*.

#### 4.4 Stavba a popis modelu v prostředí HEC-RAS

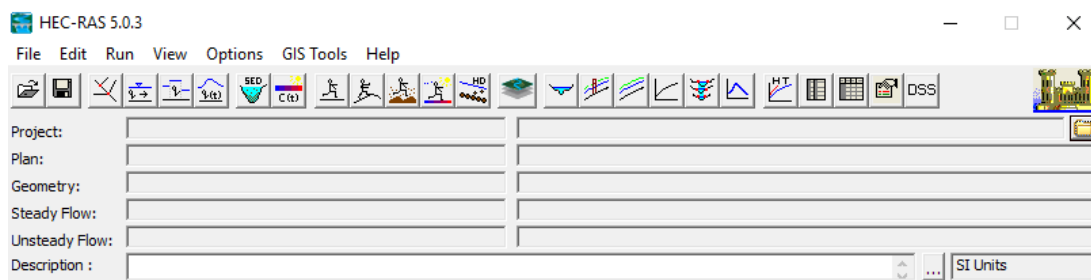
Sestavení 1D hydrodynamického modelu a následné výpočty byly prováděny metodou ustáleného nerovnoměrného proudění v programu HEC-RAS verzi 5.0.3. Vzhledem k tomu, že se jedná o program vyvinutý v Americe, nebude v českých podmínkách fungovat, pokud se před prvním spuštěním v *Ovládacích panelech* nenastaví jako desetinný oddělovač tečka místo čárky (viz obr. 16).



Obr. 16: Požadavek na změnu oddělovače před prvním spuštěním programu (autor)

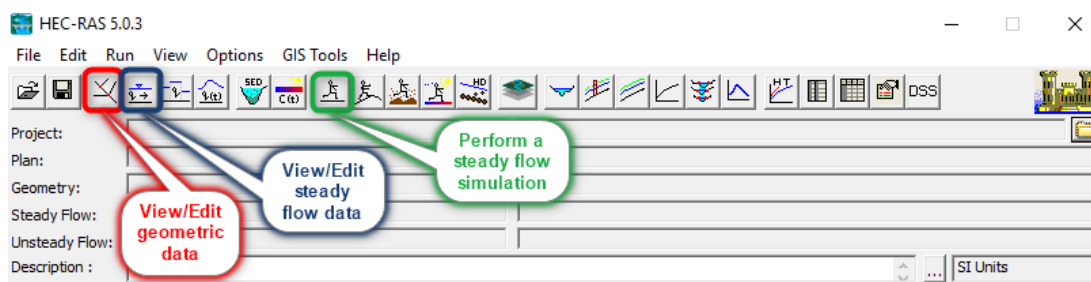
Pokud není uvedeno jinak, byla tato kapitola vytvořena dle oficiálního manuálu k prostředí HEC-RAS od autora BRUNNER (2016b) a českého manuálu od autora KŘOVÁK (2004) a vztahuje se výhradně na popis částí použitých pro účely této práce.

Po spuštění se objeví základní okno programu HEC-RAS (viz obr. 17). Před začátkem prací je vhodné nastavit používaný metrický systém. Defaultně je nastaven americký (*US Customary*), který lze snadno změnit na mezinárodní metrický systém SI (*System International*). V záložce *Options – Unit system (USCustomary/SI)* se vybere možnost *System International (Metric System)*.



Obr. 17: Základní okno programu HEC-RAS (autor)

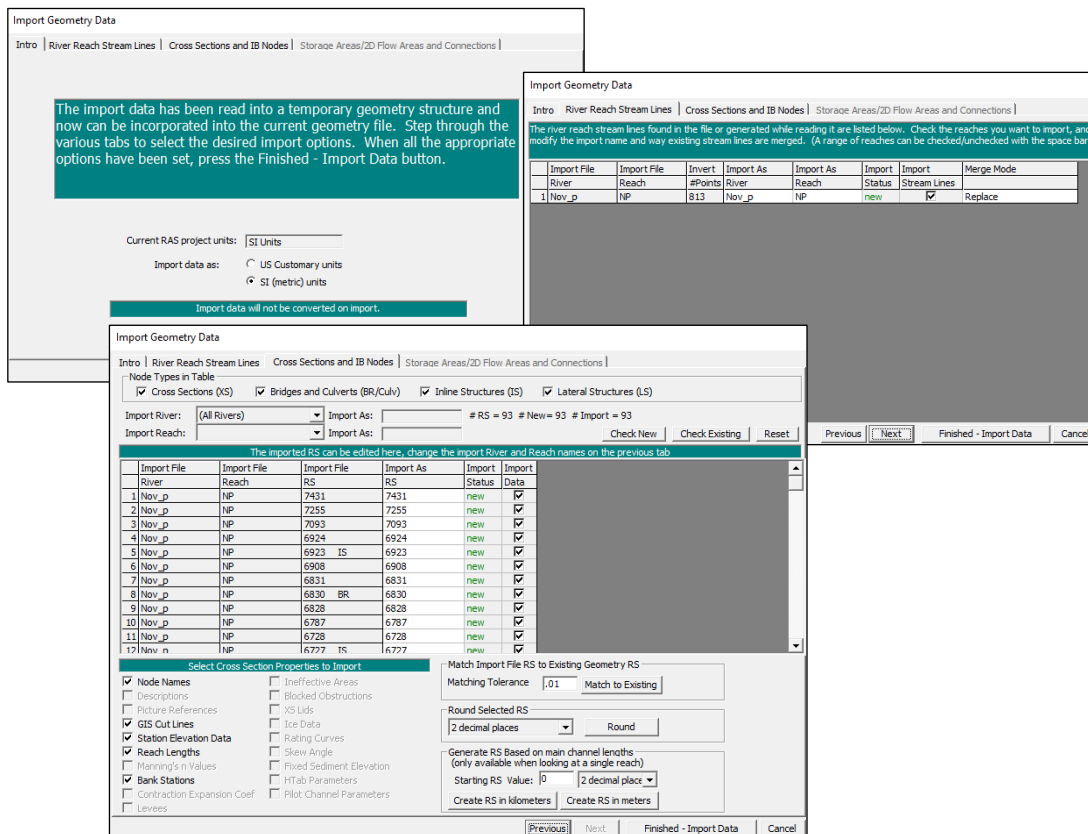
Při tvorbě jakéhokoliv výpočetního modelu je prvním krokem založení projektu v hlavním menu položkou *File – New Project*. Zadá se název projektu a umístění v adresáři (kde se vytvoří soubor typu prj). Další kroky se liší dle požadované analýzy a výpočetního modelu. HEC-RAS nabízí nespočet funkcí a možností výpočtu, ale pro stanovení záplavového území je důležitý editor geometrických dat (*View/Edit geometric data*), zadání okrajových podmínek pro ustálené proudění (*View/Edit steady flow data*) a následný výpočet (*Perform a steady flow simulation*) jak je možné vidět na obr. 18.



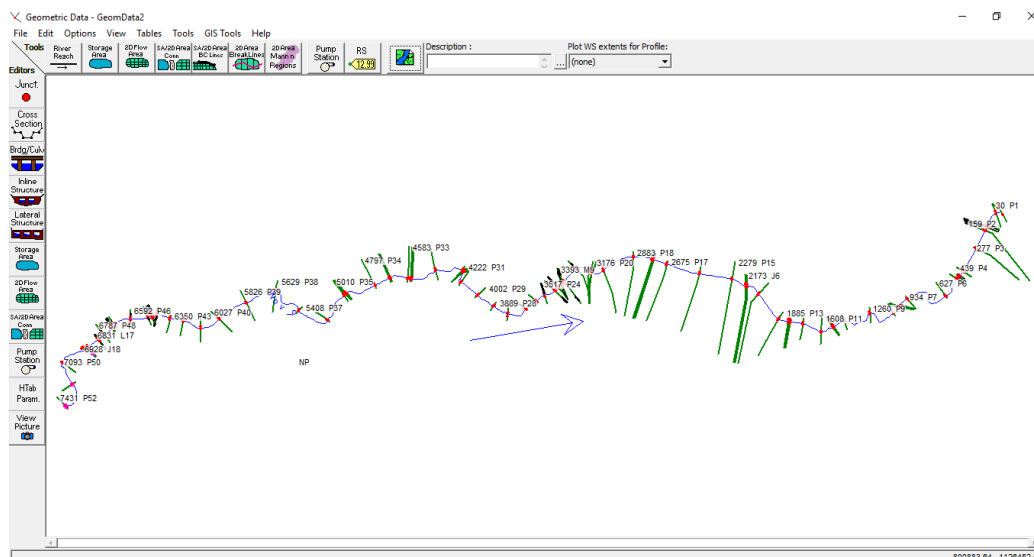
Obr. 18: Použité funkce programu HEC-RAS (autor)

#### 4.4.1 Editace geometrických dat

HEC-RAS zvládá vytvořit geometrická data od základu. Pokud se však předem připraví v nástroji HEC-GeoRAS, stačí editovat jen nezbytné části. Po otevření okna pro nahlížení a editaci geometrických dat (ikonou *View/Edit geometric data*) je možnost v záložce *File – Import Geometry Data – GIS Format* importovat předpřipravená data. Z adresáře stačí vybrat vytvořený sdf soubor a potvrdit tlačítkem *OK*. Před samotným vykreslením dat se objeví okno dočasné struktury (*Import Geometry Data*) s možností začlenění buď nově vytvořených, nebo později upravených dat k již existující struktuře. Nejprve se zvolí metrický systém, dále se vybere osa či osy (pokud jich existuje víc) toku a nakonec zůstává volba příčných profilů a objektů na toku (viz obr. 19). Vše se potvrdí tlačítkem *Finished – Import Data* a dojde k vykreslení geometrických dat v editačním okně (viz obr. 20). Při editaci se vyplatí data průběžně ukládat (*File – Save Geometry Data*), i přesto že HEC-RAS je po určité době zálohuje automaticky.



Obr. 19: Dočasná struktura geometrických dat před importováním (autor)

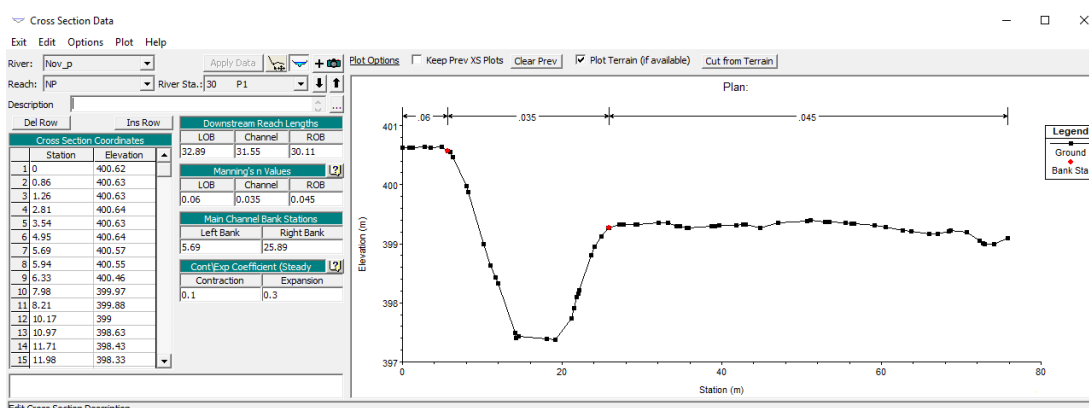


Obr. 20: Importovaná geometrická data toku Novosedelský potok z nástroje HEC-GeoRAS do programu HEC-RAS (autor)

I přes předchozí úpravu dat je zapotřebí kontrola stávajících a doplnění chybějících údajů. V první řadě se zkontrolují příčné profily (zhloubení koryta, doplnění drsnosti, kontrola břehů, zadání suchých inundačních oblastí dokud se voda nevylije z břehů atd.) a dále všechny objekty na toku (definování rozměrů, staničení, nadmořské výšky atd.) spolu s pomocnými příčnými profily před a za objektem.

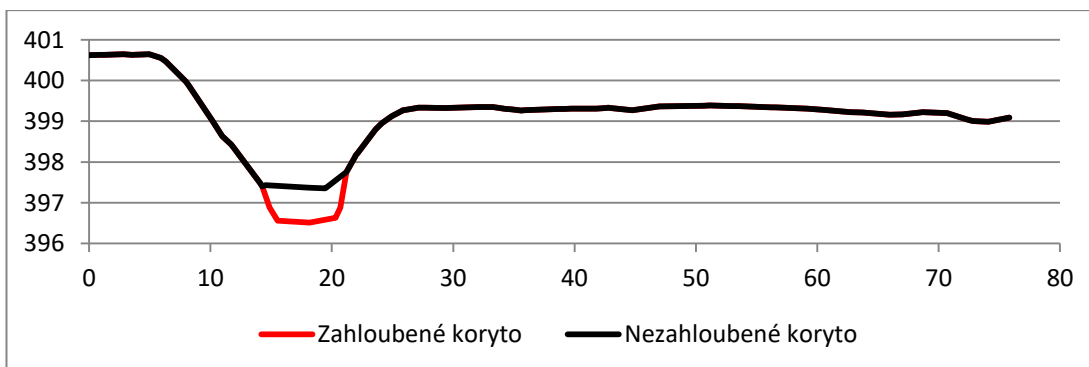
## Edítace příčných profilů

Příčné profily lze editovat v sekci *Edit and/or create cross sections* (viz obr. 21). V levé části editačního okna se nachází informace o souřadnicích (*Cross Section Coordinates*), vzdálenosti od nejbližšího dolního profilu (*Downstream Reach Lengths*), drsnosti (*Manning's Values*), vodorovné staničení (*Main Channel Bank Stations*) a případně součinitele místní ztráty (*Cont/Exp Coefficient*). Napravo se nachází vykreslení příčného profilu dle zadaných parametrů. Důležité je vždy po provedení změny použít ikonu *Apply Data*, jinak dojde ke ztrátě nově vytvořených dat a zůstávají původní.



Obr. 21: Editační okno příčných profilů (autor)

Prvním krokem je ruční zahloubení koryta všech příčných profilů dle geodetického zaměření. Důvod, proč se koryta musí zahloubit, znázorňuje obr. 22, kde rozdíl mezi hladinou a dnem koryta činí kolem jednoho metru a celková průtočná plocha by se neměla zanedbat. V případě doplňkových profilů se využije zaměření objektů a vhodná analytická interpolace mezi horním a dolním profilem za předpokladu neměnného koryta a konstantního sklonu dna v kombinaci s terénním průzkumem. Úprava souřadnicových bodů probíhá přímo v tabulce *Cross Section Coordinates*, kde se pomocí *Del Row* (nebo *Ins Row*) odebírají (nebo přidávají) řádky. S editační tabulkou lze pracovat jako se softwarem MS Excel.

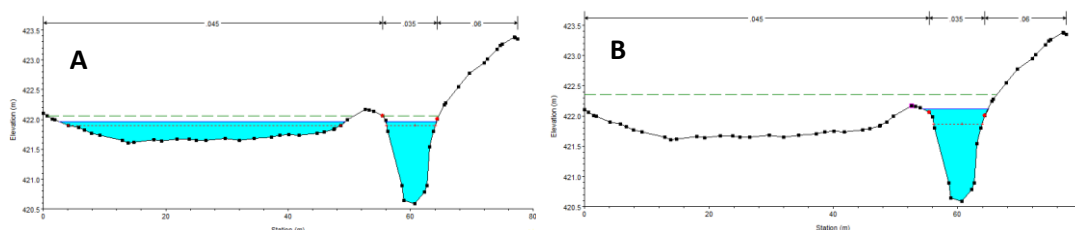


Obr. 22: Ukázka rozdílu mezi zahloubeným a nezahloubeným korytem (autor)

Drsnost pro levou inundaci, koryto a pravou inundaci musí být vyplněno ručně v sekci *Manning's Values*. Volba závisí na subjektivním dojmu z průzkumu v terénu a nahlížením do orotofotomap. Použité drsnosti již byly zmíněny v předchozích kapitolách (viz kapitola 4.2.3). S drsností souvisí i umístění břehových bodů (*Main Channel Bank Stations*), které určují lomovou linii pro oddělení koryta od inundací. Mohou se nechat importované, ale ve většině případů se musí ručně upravit. K tomu slouží ikona *Jump to the Graphical Cross Section Editor*. Grafický editor vypadá obdobně jako vykreslované profily v pravé části, ale použitím nástroje *Set the Bank Stations* lze zadat libovolně levý i pravý břeh.

Doplnění vzdáleností od nejbližšího dolního příčného profilu (*Downstream Reach Lengths*) proběhlo automaticky importem připravených dat a součinitelé místní ztráty (*Cont/Exp Coefficient*) zůstaly ponechány ve výchozích hodnotách pro všechny profily.

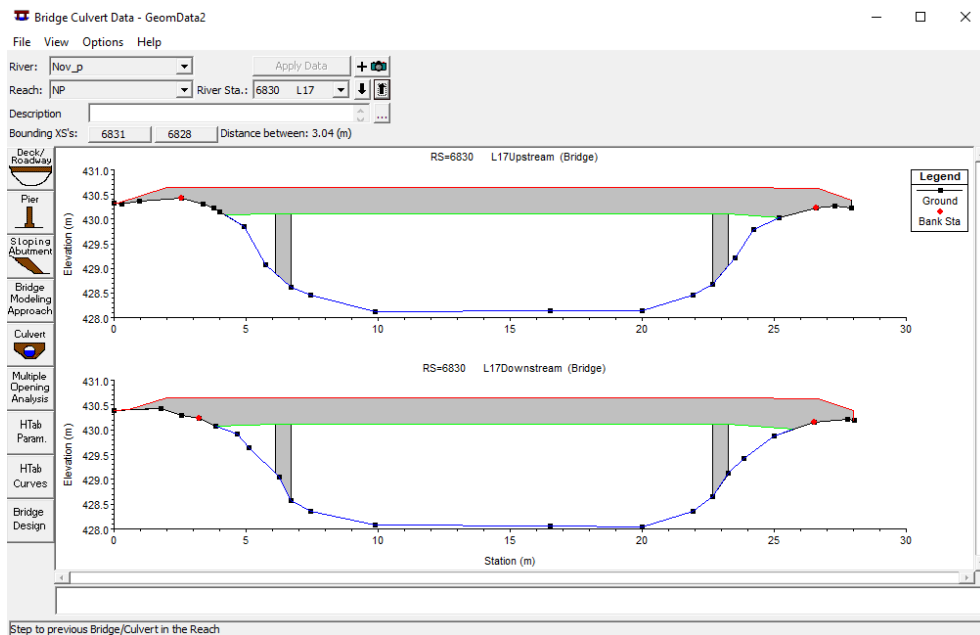
Zadání *Levees*, neboli oblasti kam se nedostane voda, pokud nedojde k překročení kapacity koryta, se nastavuje u profilů, kde je nižší nadmořská výška inundační území než samotný břeh toku (viz obr. 23). V editoru příčných profilů se otevře příkazem *Options – Levees* okno pro zadání levých či pravých souřadnic břehu.



Obr. 23: Ukázka profilu bez (A) a se (B) zadanou podmínkou *Levees* (autor)

### ***Editace objektů***

Po kontrole profilů se přistoupí k tvorbě geometrie objektů. Zadávání a úprava parametrů probíhá v sekci *Edit and/or create bridges and culverts* (viz obr. 24). V levé části se nachází ikony pro přidání a editaci mostní lávky (*Edit the bridge deck/roadway*), pilířů (*Edit the pier*), bočních zdí (*Edit the sloping abutment*) a další. V grafickém editoru uprostřed se vykreslí nejbližší horní (*Upstream*) a dolní (*Downstream*) příčný profil. Defaultně se program HEC-RAS snaží vytvořit jakýsi objekt, ale vždy je třeba původní data vymazat a začít od začátku.



Obr. 24: Editační okno objektů a propustků (autor)

Nejdříve se musí zadat souřadnice pro mostovku (přemostění) příkazem *Edit the bridge deck/roadway* (viz obr. 25). Zde se nachází vzdálenost okraje objektu od nejbližšího horního profilu (*Distance*), šířka objektu (*Width*) a koeficient přepadu (*Weir Coef*). Kromě koeficientu přepadu (ponechána výchozí hodnota 1,4) se pole automaticky vyplnily při importu dat. Editace probíhá v prostřední tabulkové části, kde první sloupec znamená staničení z levé strany (*Station*), druhý značí horní nadmořskou výšku lávky (*High chord*) a třetí určuje spodní výšku lávky (*Low chord*). Čtvrtý, pátý a šestý se vyplní stejně, jen pro dolní okraj objektu. Ostatní hodnoty (sklon svahů po a proti proudu, spodní vzduť, minimální výška přepadového paprsku a způsob výpočtu přepadu přes mostní konstrukci) mohou zůstat beze změny.

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
0.3	2.5	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream		
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1 0.13	430.33		0.13	430.33	
2	430.64	430.04	2.	430.64	430.04
3 6.12	430.64	430.11	6.12	430.64	430.11
4 6.7	430.64	430.11	6.7	430.64	430.11
5 22.66	430.64	430.11	22.66	430.64	430.11
6 23.25	430.64	430.11	23.25	430.64	430.11
7 26.67	430.63	429.97	26.67	430.63	429.97
8 28.	430.38		28.	430.38	

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

Weir Data  
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape  
 Broad Crested  
 Ogee

OK Cancel

Enter elevation to start checking for weir flow.

Obr. 25: Editační okno mostní konstrukce (autor)



Dalším krokem je vytvoření mostních pilířů. K tomu slouží příkaz *Edit the pier* (viz obr. 26). V horní části editačního okna se vyplní podélné staničení osy pilíře pro dolní i horní pomocný profil (*Centerline Station Upstream/Downstream*). V editační tabulce se na prvním řádku doplní šířka u paty pilíře (*Pier Width*) s odpovídající nadmořskou výškou (*Elevation*) pro oba profily. Na každé nadcházející řádce se přidává šířka pilíře až po spodní okraj mostové konstrukce. Další pilíř se přidá příkazem *Add* a postupuje se stejným způsobem.

	Upstream		Downstream	
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	0.58	428.	0.58	428.
2	0.58	430.11	0.58	430.11
3				
4				
5				

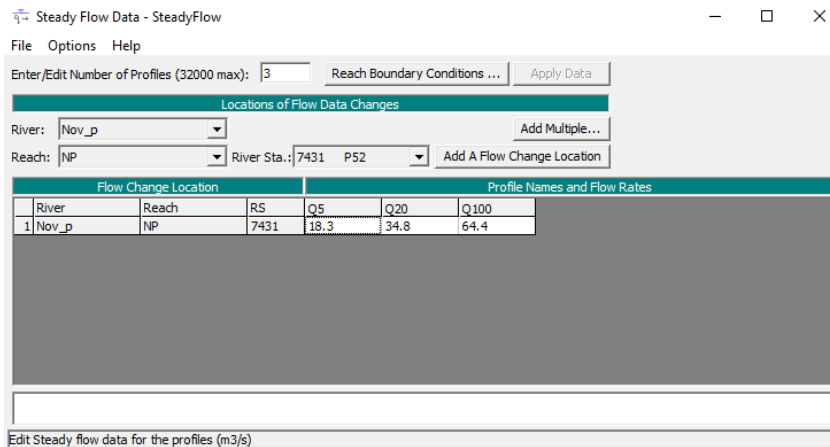
Obr. 26: Editací okno mostních pilířů (autor)

V případě potřeby lze nadefinovat i boční zdi (*Edit the sloping abutment*). Jejich definování je intuitivní dle návodu pro vytvoření mostovky.

Posledním krokem v editaci objektů je volba výpočtu proudění skrz a přes aktuálně editovaný objekt. K tomu slouží příkaz *Edit the modeling approach*. Na výběr je několik možností, pro výpočet však bylo ponecháno výchozí nastavení – energetická rovnice pro výpočet proudění mostem i přes most.

#### 4.4.2 Okrajové podmínky pro ustálené proudění

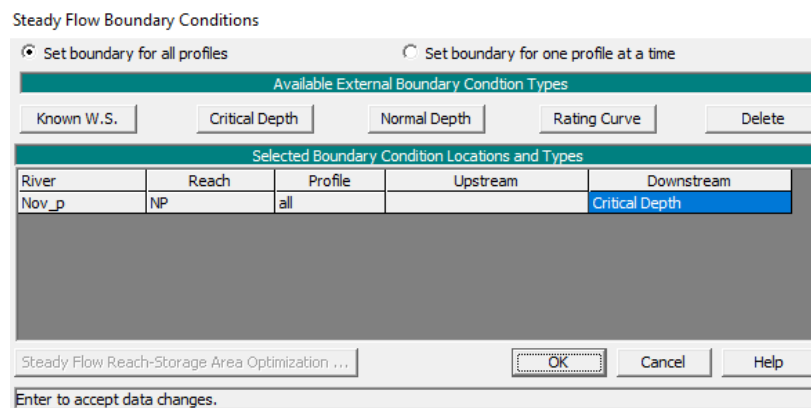
Okrajové podmínky definují proudění v horním a dolním příčném profilu a zabezpečují stabilní chování modelu při vtoku a výtoku ze systému. Sestavený model bez okrajových podmínek by nebyl schopen výpočtu. K jejich zadání slouží příkaz *View/Edit steady flow data* v základním okně programu HEC-RAS. Po spuštění se objeví editační okno (viz obr. 27), kde se vybere příslušný tok a odpovídající profil na začátku úseku.



Obr. 27: Editační okno okrajových podmínek pro ustálení proudění (autor)

Jako horní okrajovou podmínku program automaticky předpokládá N-leté průtoky (lze změnit v sekci *Reach Boundary Conditions*). První editovatelný údaj je počet simulací (*Enter/Edit Number of Profiles*). Pro stanovení záplavového území většinou stačí zadat tři simulace –  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$ . Stiskem tlačítka *Apply Data* se v editační tabulce vytvoří příslušný počet sloupců a doplní se kulminační průtoky. Pro lepší orientaci je vhodné jejich přejmenování na jednotlivé N-leté průtoky (defaultně pojmenovány PF 1, PF 2 atd.) v záložce *Options – Edit Profiles Names*. Hodnoty N-letých průtoků pro Novosedelský potok v horním profilu toku se nachází v tab. 2.

Dolní okrajovou podmínku lze nastavit v sekci *Reach Boundary Conditions* (viz obr. 28). Vzhledem k nedostupnosti potřebných dat (např. úroveň hladiny pro N-leté průtoky nebo konsumpční křivka) byla zvolena možnost *Critical Depth* – kritická hloubka v dolním profilu. Program sám dopočítává kritickou hloubku pro každou simulaci a není potřeba zadávat žádné jiné informace.



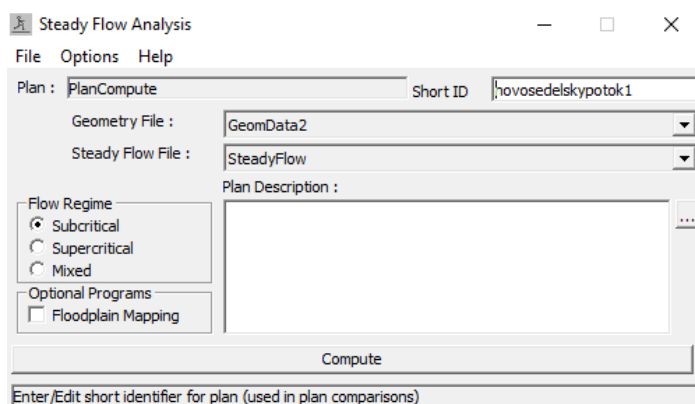
Obr. 28: Editační okno pro výběr či změnu okrajových podmínek (autor)

Po zadání okrajových podmínek se musí data uložit (*File – Save Flow data*) a může se přistoupit ke spuštění výpočtu.



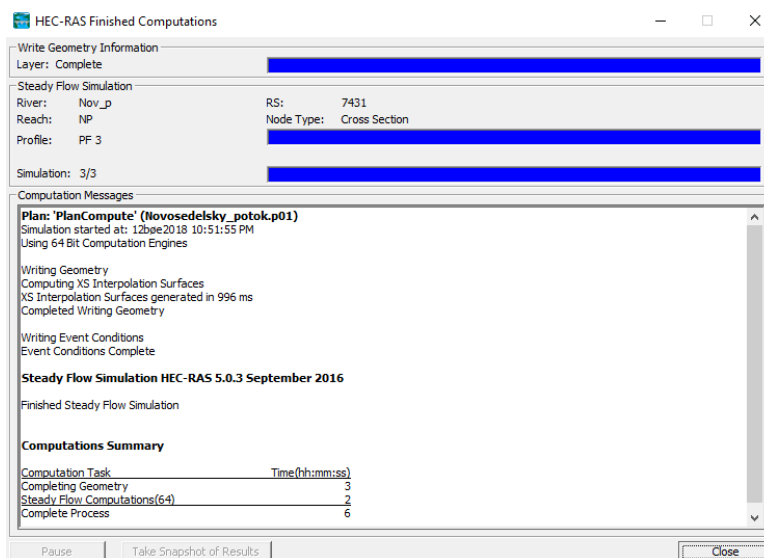
### 4.4.3 Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění

Nastavení parametrů pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění probíhá v okně *Perform a steady flow simulation* (viz obr. 29).



Obr. 29: Editační okno pro nastavení parametrů výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění (autor)

V editačním okně se vybere typ proudění (*Flow Regime*) – říční (*Subcritical*), bystrinné (*Supercritical*) nebo jejich kombinace (*Mixed*). Vzhledem k malému sklonu dna celého úseku toku (kolem 0,5 %) lze předpokládat říční typ proudění. Dále se musí vyplnit ID (*Short ID*, libovolných min. 16 znaků), zkontrolovat výběr nově vytvořených vrstev a v menu *File – Save Plan* uložit nastavené parametry. Výpočet se spustí tlačítkem *Compute*. Pokud proběhl bez problémů, otevře se okno *HEC-RAS Finished Computations* (viz obr. 30) a může se přistoupit ke kontrole výsledků. Pokud výpočet nemůže z nějakého důvodu proběhnout, vyskočí okno *HEC-RAS Error* s popisem problému. Po odstranění lze výpočet opětovně spustit.

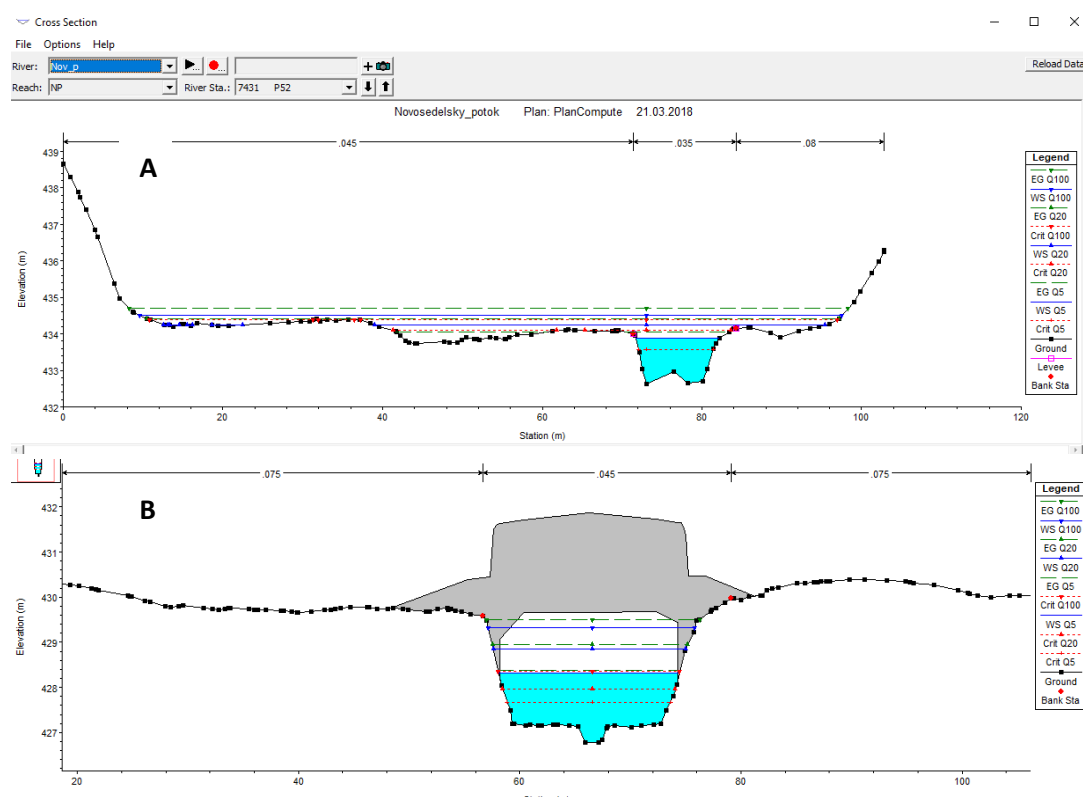


Obr. 30: Úspěšné dokončení výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění (autor)

#### 4.4.4 Prohlížení a kontrola výstupů

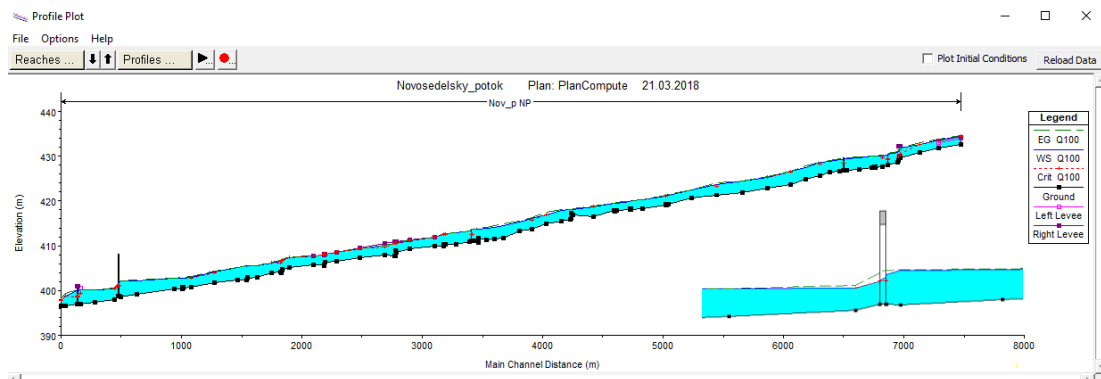
Po úspěšném sestavení a spuštění modelu se všechny výsledky a výstupy nacházejí pod záložkou *View*. Na výběr je z několika možností, ale nejdůležitější kompozicí je prohlížení jednotlivých příčných profilů (*Cross-Sections*), podélného profilu (*Water Surface Profiles*), měrné křivky (*Rating Curves*) nebo souhrnné tabulky pro jednotlivé profily i jejich přehled (*Detailed Output Tables* a *Profile Summary Table*).

Při prohlížení profilů v sekci *Cross-Section* lze pro zadané N-leté kulminační průtoky získat informaci o hladině vody, kritické hloubce a energetické výšce v každém profilu a objektu (viz obr. 31) nebo informaci o profilech, kde byla využita hladina odpovídající kritické hloubce (místa s rychlým snížením výšky hladiny vzhledem ke vzdálenosti profilů, viz detail na obr. 32).



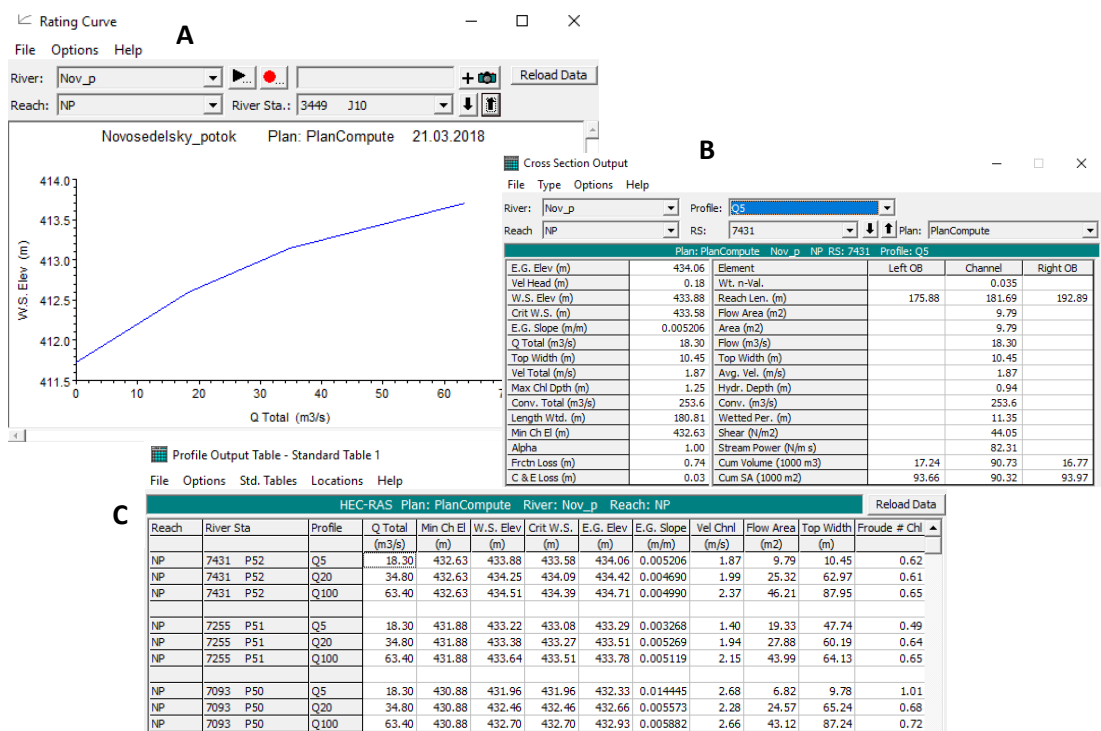
Obr. 31: Prohlížeací okno příčných profilů (A) a objektů (B) na toku s odpovídajícími hladinami N-letých průtoků (autor)

Záložka *Water Surface Profiles* obsahuje informace o podélném profilu se zakreslenou výškou vodní hladiny odpovídajícího kulminačního průtoku na celém úseku toku a vyznačenými příčnými profily či objekty (viz obr. 32).



Obr. 32: Prohlížečí okno podélného profilu toku s detailem výšky hladiny před a za mostem (autor)

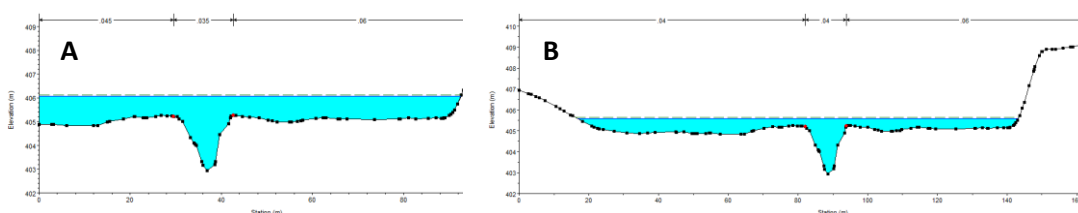
Měrná křivka pro jednotlivé profily se vykreslí příkazem *Rating Curves* (viz obr. 33 A). Podrobné a souhrnné výsledkové tabulky (*Detailed Output Tables* a *Profile Summary Table*) obsahují detailní informace o průtoku, rychlosti, hladině apod. (viz obr. 33 B resp. C), které by mohly sloužit k dalším převážně projekčním a návrhovým účelům (např. při stavbě nového či úpravě stávajícího mostu, pro určení hladiny sloužící k vyhlásování stupňů povodňové aktivity atd.).



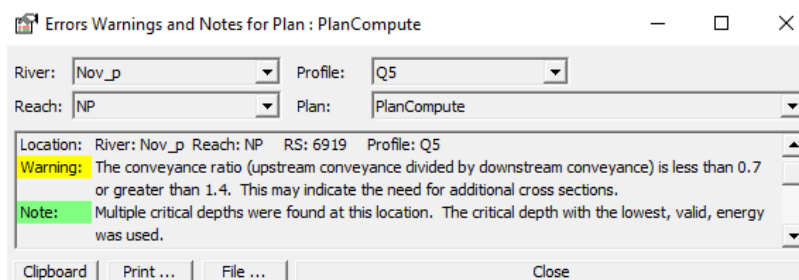
Obr. 33: Prohlížečí okno měrné křivky (A), podrobné profilové (B) a souhrnné (C) výsledkové tabulky (autor)

V některých případech dochází k situacím, které sice nezastaví výpočet, ale při následném exportu a vykreslení výsledků by mohly být přehlednuty, a proto je důležitá ruční kontrola každého profilu. Jedná se o nedostatky v kapacitě (délce) profilu (viz obr. 34), zadané podmínky *Levees* (viz obr. 23) a další. I když výpočet

proběhne, v záložce *Summary Err, Warn, Notes* se nachází výpis chyb, varování a poznámek o průběhu výpočtu (viz obr. 35). V případě potřeby lze nedostatky odstranit a znovu spustit výpočet.



Obr. 34: Nedostatečná kapacita příčného profilu (A) a následná úprava délky profilu (B) s využitím DMT (autor)



Obr. 35 Prohlížecké okno chyb, varování a poznámek (autor)

#### 4.4.5 Kalibrace modelu

Zhodnocení výstupních dat se provádí pomocí kalibrace a v případě dostupnosti dat i verifikace (též validace). Kalibrace modelu je založená na porovnání informací výsledků simulace a měřeném fyzikálním procesu. V případě, že model nepodává stejné výsledky jako měření, je prováděno přenastavení některých vstupních parametrů až k minimálnímu rozdílu. Kalibrace hydrodynamického modelu spočívá ve volbě hodnot parametrů drsnosti koryta a inundací neboli ve volbě *Manningova součinitele drsnosti  $n$* , které jsou zadávány v editačním okně příčných profilů (viz obr. 21). Pokud po opětovné simulaci nedojde ani k částečné shodě, lze prohlásit model za neplatný. Verifikací se rozumí porovnání nakalibrovaných výsledků s další nezávisle měřenou veličinou. Pokud je shoda dostatečná, může se model prohlásit za vhodný k modelování vybraného jevu (Podlaha et Králová, 2007).

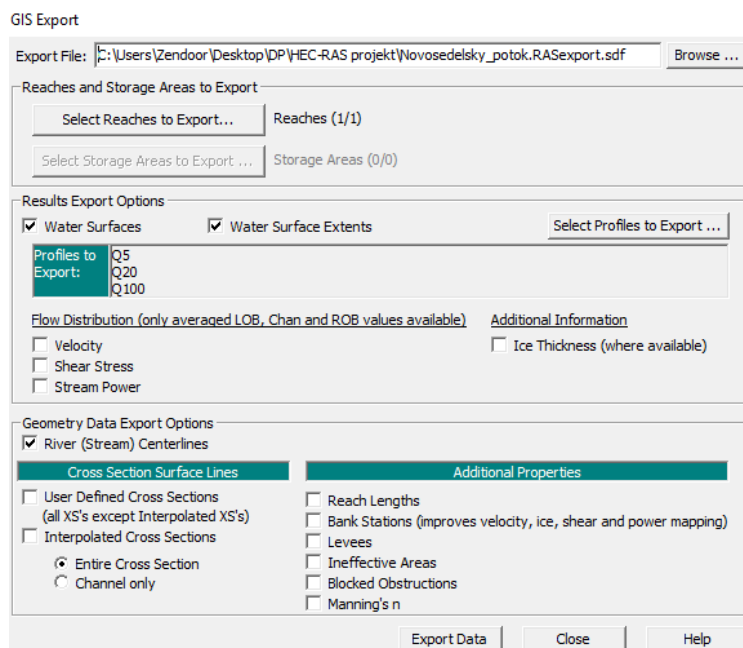
Použitelná kalibrační data pro vybraný úsek vodního toku Novosedelský potok nebyla, i přes veškerou snahu, nikde dohledatelná. V první fázi tvorby modelu byly pro koryto a inundační území použity vždy střední hodnoty drsnosti, které uvádí CHOW (1959). Avšak při absenci adekvátních kalibračních dat se nelze spoléhat pouze na průměrné hodnoty, a proto byl proveden důkladný terénní průzkum za účelem získání informací o již proběhlých povodních, podrobných údajů o terénu, korytě, vegetaci a propustnosti zastavěných oblastí. Následně po konzultaci se zkušenými odborníky byly vybrány a použity hodnoty hydraulické drsnosti uvedené v příloze 12. Při volbě bylo uvažováno období největšího vegetačního růstu, kdy

vysoká tráva a keře způsobují zpomalení rychlosti proudění, čímž dochází k větším rozlivům, a kdy je vyšší pravděpodobnost výskytu lokálních krátkodobých dešťů způsobující rychlý nástup povodňové vlny.

#### 4.4.6 Export výstupních dat do prostředí ArcGIS

V momentě, kdy proběhne kalibrace a model dává již reálné výstupy, se může přistoupit k exportu dat zpět do prostředí ArcGIS a k finálnímu vykreslení záplavového území pomocí nadstavby HEC-GeoRAS.

Export dat lze provést přes záložku *File – Export GIS Data* v základním okně programu HEC-RAS. Před samotným exportem se objeví okno (viz obr. 36), kde se v horní části definuje cesta pro uložení a název výstupního souboru (*Export File*) a volba řešeného úseku toku (*Reaches and Storage Areas to Export*). Pro tvorbu záplavového území, je důležité v prostřední části (*Results Export Options*) zaškrtnout *Water Surfaces* a *Water Surface Extents*, které reprezentují vodní hladinu a její rozsah. Pomocí *Select Profiles to Export* se navolí, které simulace se mají exportovat ( $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$ ). V dolní části (*Geometry Data Export Options*) se z geometrických dat ponechá export říčního toku (*River Centerlines*) a vstupních příčných profilů (*Entire Cross Section*). Ostatní pole zůstanou beze změny, jelikož pro tuto práci nejsou podstatná. Vše se potvrdí tlačítkem *Export Data* a vytvoří se soubor v sdf formátu.

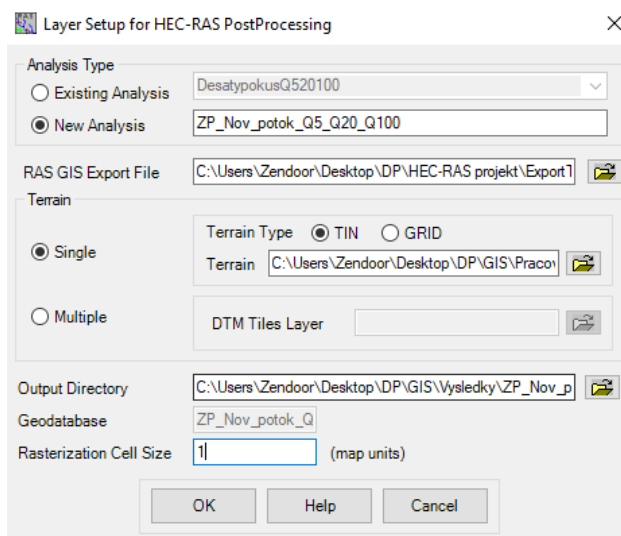


Obr. 36 Okno pro export výstupních dat (autor)

## 4.5 Příprava výstupních dat k vytvoření záplavového území v prostředí ArcGIS

Prvním krokem k vytvoření výsledné polygonové vrstvy záplavového území je převést exportovaný soubor sdf na soubor xml pomocí nadstavby HEC-GeoRAS. K tomu slouží funkce *Import RAS SDF File*, kde se zadá pouze umístění exportovaného souboru a ve stejné složce se vytvoří soubor v požadovaném formátu pro import.

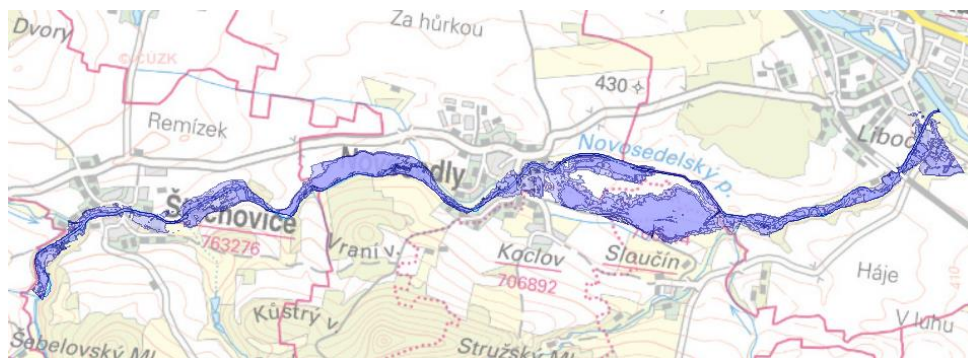
V dalším kroku v záložce *RAS Mapping – Layer Setup* (viz obr. 37) dojde k vytvoření nové datové vrstvy s připravenou geodatabází a modelem terénu pro import dat. Nejprve se zvolí název datové vrstvy (*New Analysis*), cesta k připravenému xml souboru (*RAS GIS Export File*), cesta k DMT (*Terrain*), cesta pro uložení nově vytvořené geodatabáze (*Output Directory*) a velikost rastrových buněk (*Rasterization Cell Size*, v tomto případě byla zvolena velikost 1). Po potvrzení tlačítkem *OK* se vytvoří nová datová vrstva a může se přistoupit k importu dat pomocí *RAS Mapping – Import RAS Data*. V nově otevřeném okně by měla být nastavená cesta k požadovanému souboru a stačí vše potvrdit tlačítkem *OK*. Úspěšný import se ukončí popisem *RAS data imported to GIS successfully* a v datové vrstvě se objeví vrstvy geometrických dat nastavených při exportu z programu HEC-RAS.



Obr. 37: Okno pro nastavení importované vrstvy do prostředí ArcGIS (autor)

Nyní zbývá pouze vykreslení záplavového území. Nejprve se pomocí *RAS Mapping – Inundation Mapping – Water Surface Generation* vytvoří digitální model terénu z použitých příčných profilů a následně díky *RAS Mapping – Inundation Mapping – Floodplain Delineation Using Raster* se vytvoří dvě vrstvy - rastrová vrstva hloubky vody a polygonová vrstva záplavového území pro předem vybrané průtoky  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  (viz obr. 38).



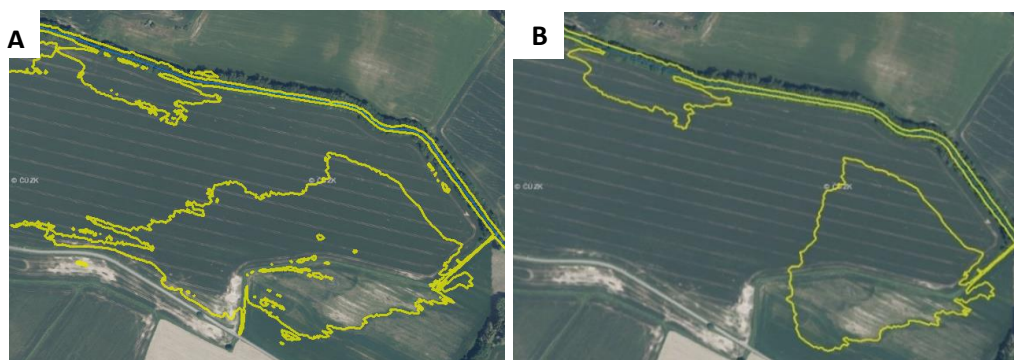


Obr. 38: Ukázka vytvořené polygonové vrstvy záplavového území (autor)

Posledním finálním krokem je ruční začištění výsledného záplavového území o plochy, které by nemohly být zatopeny vodou (mimo příčné profily s podmínkou Levees) nebo naopak by měly být zaplaveny (viz obr. 39). Jedná se o plochy, které mají nadmořskou výšku menší, než je výška zátopy a voda se tam nemá jak dostat, nebo o plochy vzniklé nepřesností DMT (např. v zalesněné nebo zastavěné oblasti). Další nepřesností, která musí být ručně upravena, je odlišná výška hladiny v korytě a inundaci na místě, kde se voda dostane do níže položeného inundačního území až níže na toku a teče směrem „proti“ proudu (viz obr. 40). V programu HEC-RAS tento problém vyřešit nelze, ale v programu ArcGIS se pomocí funkce *Contour* může snadno vykreslit libovolná vrstevnice (konkrétně s výškou hladiny v místě rozlivu) z rastru terénu a použít ji při úpravě záplavové čáry.



Obr. 39: Ukázka záplavového území s neupravenými plochami bez (A) a s (B) pravděpodobným zatopením (autor)



Obr. 40: Záplavového území s neupravenou (A) a upravenou (B) plochou v místě zpětného rozlivu do níže položené inundace (autor)

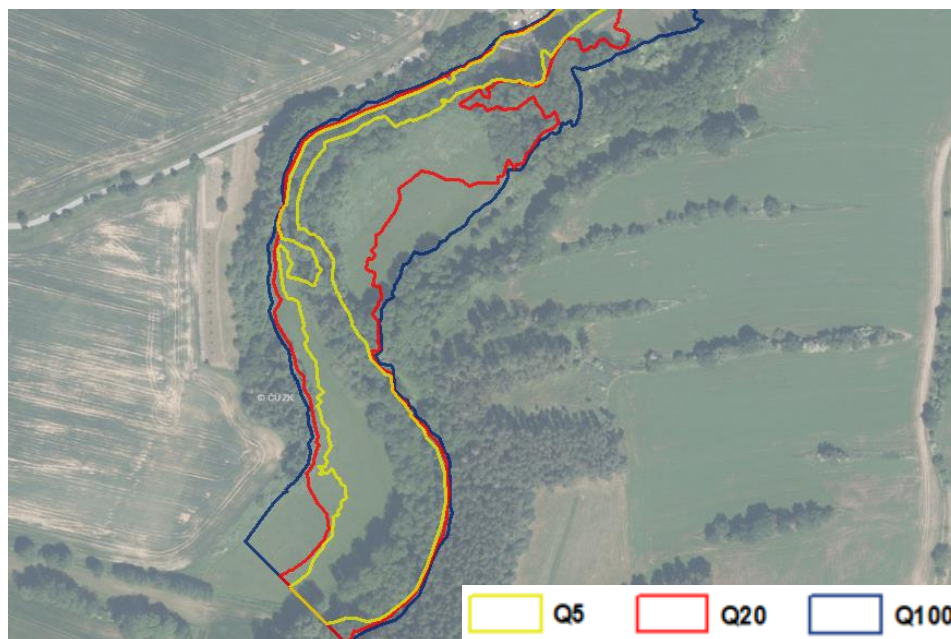
## 5. Výsledky

Po úspěšném sestavení modelu, kalibraci a vizualizaci exportovaných dat jsou hlavními výstupy mapy rozsahu záplavového území pro průtoky  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$ . Celkem bylo vytvořeno 7 záplavových map, které zobrazují celé zájmové území (viz příloha 1), podrobnější situace celého úseku (viz příloha 2, příloha 3 a příloha 4) a detailní situace dotčených obcí Štěchovice, Novosedly a městyse Katovice (viz příloha 5, příloha 6 a příloha 7). Všechny mapové výstupy záplavového území jsou součástí přílohy. Mezi výstupy patří posouzení rozsahu záplavového území N-letých průtoků, jednotlivých mostních objektů a problematických částí toku.

### 5.1 Rozsah záplavového území pro průchod $Q_5$ , $Q_{20}$ a $Q_{100}$

Rozsah záplavového území pro vybraný úsek toku Novosedelský potok byl stanoven za předpokladu ustáleného nerovnoměrného proudění pro průtoky  $Q_5 = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{20} = 34,8 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $Q_{100} = 63,4 \text{ m}^3/\text{s}$  a za předpokladu povodňové události vzniklé pouze v povodí zájmového území. Všechny přítoky na celém téměř 7,5 km dlouhém úseku toku byly vyhodnoceny jako bezvýznamné, a proto byly zanedbány. Zhodnocení rozsahu záplavového území probíhá od horní části úseku až po ústí do řeky Otavy.

Od horního profilu (ř. km 7,431) až po jez nad obcí Štěchovice (ř. km 6,923) dochází k rozlivu do přilehlé inundace už při  $Q_5$ , ale v nejbližším okolí se nachází pouze lesy a zatravněné louky, proto v tomto úseku nehrozí žádné nebezpečí ani při průchodu povodňové vlny  $Q_{100}$  (viz obr. 41).



Obr. 41: Úsek vodního toku Novosedelský potok (ř.km 6,923-7,431), bez ohrožení (autor)



V obci Štěchovice, která obklopuje Novosedelský potok od jezu na ř. km 6,923 v délce přibližně 800 m, nedochází při průtoku  $Q_5$  vzhledem k dostatečné kapacitě upraveného koryta v celé obci (viz obr. 42) k žádnému rozlivu do zastavěné oblasti. Avšak při průchodu povodňové vlny  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  se voda dostává mimo koryto převážně na levé části břehu nad silničním mostem (viz příloha 5), kde se zaplavuje několik rodinných domů, bytový dům, garáže a zahrady v blízkosti toku (viz obr. 43). Při průchodu povodňové vlny  $Q_{20}$  se na pravém břehu vyskytuje voda pouze v malých oblastech bez ohrožení zástavby. Na levém břehu dochází k zaplavení 2 rodinných domů, 3 garáží a několika zahrad. Některé obytné domy jsou v mírném ohrožení, kdy hranice záplavové čáry prochází v těsné blízkosti. V záplavovém území  $Q_{100}$  se mimo objektů zasažených  $Q_{20}$  nachází dalších 12 rodinných domů, 1 bytový dům, 3 garáže a přilehlé zahrady. V úseku pod silničním mostem koryto pojme průtok  $Q_{20}$ , ale při průchodu  $Q_{100}$  už voda na levém břehu dosahuje ke 2 rodinným domům a na pravém břehu protéká přes velkou část zemědělsky využívaného pole a zahrady patřící k nedalekým rodinným domům. V současnosti probíhá v obci úprava koryta ve formě odstranění vegetace a navýšení nábrežních zdí. Jez, lávka a silniční most v obci Štěchovice jsou více rozebrány v kapitole 5.2.

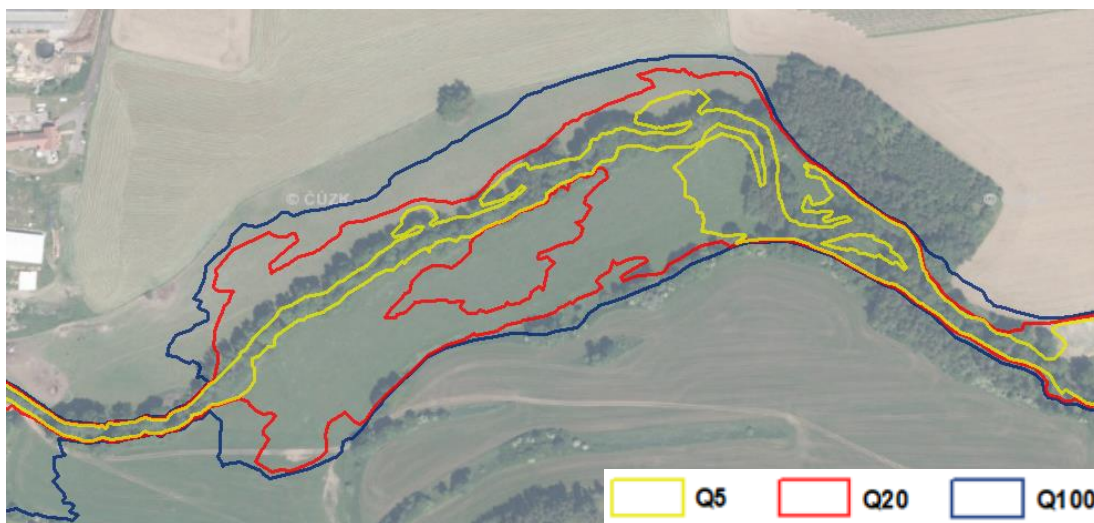


Obr. 42: Pohled na upravené koryto v obci Štěchovice (autor)



Obr. 43: Zasažené objekty v obci Štěchovice při průchodu povodňové vlny  $Q_{20}$  (červeně) a  $Q_{100}$  (modře + červeně) na podkladu katastrální mapy (autor)

Mezi obcemi Štěchovice a Novosedly (přibližně od ř. km 6,2 až po ř. km 3,8) je nejbližší okolí toku z velké části využíváno pro zemědělské účely. Pod obcí Štěchovice dochází při povodňovém průtoku  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  k oboustrannému rozlivu po délce cca 500 m (viz obr. 44). Po levé straně se nachází pastviny pro dobytek a na pravé straně orná půda. I při nižších průtocích dochází pouze k lokálnímu rozlivu bez celkového ohrožení. Další velký rozliv v této oblasti je přibližně od ř. km 5,3 až po jez – Hrobí (ř. km 4,213). Tento úsek společně s jezem – Novosedly Hrobí (a jeho okolím) bude rozebrán v další kapitole. Pod tímto jezem jsou břehy relativně vysoké a až k obci Novosedly nedochází k větším rozlivům.



Obr. 44: Úsek vodního toku Novosedelský potok (ř.km 6,2-5,3), bez ohrožení (autor)

Obcí Novosedly protéká Novosedelský potok přibližně od ř. km 3,8 až po ř. km 3,1. Zde stejně jako v obci Štěchovice upravené koryto (viz obr. 45) snadno převede povodňový průtok  $Q_5$ . Větší problémy nastanou až při průtoku  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  (viz příloha 6). Nejvíce jsou postiženy rodinné domy poblíž silničního mostu. Vzhledem k tomu, že most nemá dostatečně velkou propustnou plochu pro převod ani dvacetiletého (natož stoletého) povodňového průtoku (více v kapitole 5.2), dochází k výraznému zvýšení hladiny. Při průchodu  $Q_{20}$  se na levém břehu zaplaví 3 rodinné domy, několik zahrad a 1 zemědělský sklad. Na pravém břehu se zaplaví pouze volná zatravněná prostranství. Minimálně 12 dalších objektů je po obou březích v ohrožení díky těsné blízkosti záplavové čáry. Jelikož při povodňové vlně  $Q_{100}$  dochází k obtékání (nikoliv přetékaní) silničního mostu inundačním územím, zaplaví se dalších 18 rodinných domů, 2 garáže a 1 chata po obou stranách a rozsáhlé území na pravém břehu, kde se nachází odpočinkový park a dětské hřiště. V ohrožení je i minimálně dalších 5 rodinných domů a 1 sklad technického vybavení, které jsou na hranici záplavového území.



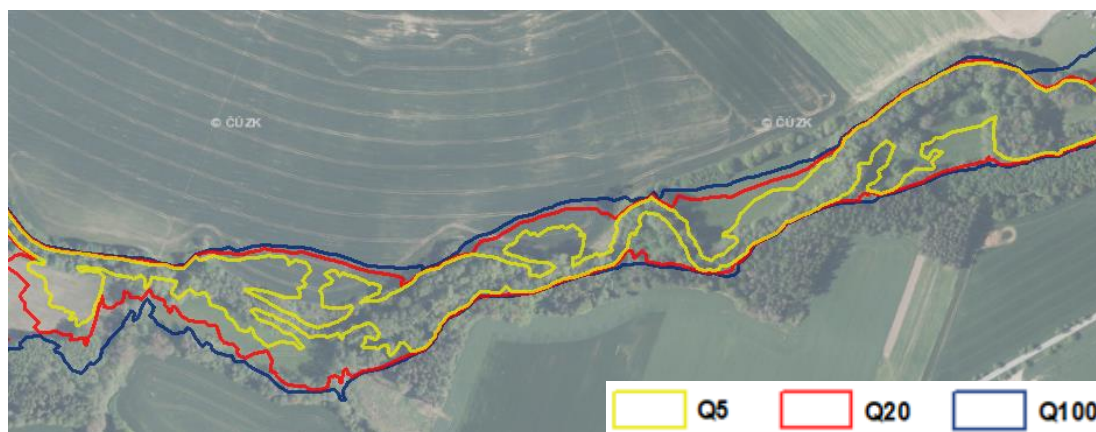
Obr. 45: Pohled na upravené koryto v obci Novosedly (autor)



Obr. 46: Zasažené objekty v obci Štěchovice při průchodu povodňové vlny  $Q_{20}$  (červeně) a  $Q_{100}$  (modře + červeně) na podkladu katastrální mapy (autor)

Pod obcí Novosedly se nachází cca kilometr dlouhá oblast přezdívaná Močidla, která si zaslouží více pozornosti, a proto bude rozebrána až v další kapitole. Přibližně od ř. km 1,8 až po ř. km 0,6 se voda drží v přirozeně meandrujícím korytě a rozlévá se do přírodních niv a inundačního území pokrytého lesem nebo pouze z malé části ornou půdou (viz obr. 47).





Obr. 47: Úsek vodního toku Novosedelský potok (ř.km 1,8-0,6), bez ohrožení (autor)

Od železničního mostu (ř. km 0,475) až po ústí do řeky Otavy byl v minulosti Novosedelský potok po celé délce napřímen a byly vybudovány ochranné zemní hráze po obou stranách toku (viz obr. 48). To má za následek, že povodňová vlna  $Q_5$  projde korytem, aniž by došlo v okrajové části městyse Katovice k rozlivu. Pouze nad železničním mostem, který bez problémů převede i stoletý průtok, se vzdouvající hladinou zaplaví 2 rodinné domy se zahradami a pastvinami pro dobytek už při průchodu povodňové vlny  $Q_5$  (viz příloha 7). Při průchodu  $Q_{20}$  již dochází k částečnému rozlivu do zahrádkářské kolonie na pravém břehu až k nedaleké asfaltové silnici směrem na Sloučín (dojde k zatopení 7 chat a přímému ohrožení 1 rodinného domu), zbytek úseku se voda drží v korytě. Při průchodu  $Q_{100}$  se zaplaví celá oblast zahrádkářské kolonie až k silnici vedoucí k obci Pracejovice (viz obr. 49). Jedná se o 12 chat, 5 rodinných domů a 2 sklady zemědělské techniky včetně přilehlých zahrad a pozemků. Na levé straně dochází k vybřežení pouze před silničním mostem (ř. km 0,134), který byl počítán s rozměry plánované rekonstrukce a pojme i stoletý průtok. Na této straně dojde k zaplavení 2 rodinných domů a další 2 jsou v přímém ohrožení. Od silničního mostu po ústí nelze spolehlivě určit rozliv vody, neboť se zde nachází rozlehlé inundační území a příchod povodňového nebezpečí je pravděpodobnější z řeky Otavy než z Novosedelského potoka.



Obr. 48: Pohled na upravené koryto v městyse Katovice (autor)



Obr. 49: Zasažené objekty v městysi Katovice při průchodu povodňové vlny  $Q_5$  (žlutě),  $Q_{20}$  (červeně + žlutě) a  $Q_{100}$  (modře + červeně + žlutě) na podkladu katastrální mapy (autor)

## 5.2 Objekty na toku a problematické úseky

Na vybraném úseku vodního toku Novosedelský potok ohraničeném ř. km 7,431 a ústím do řeky Otavy se nachází 18 objektů (viz příloha 15, příloha 16 a příloha 17). Z toho 3 silniční mosty, 1 železniční, 1 lávka, 6 jezů, 5 brodů a 2 stupně. Lávka v obci Štěchovice (ř. km 6,830) a silniční most v obci Novosedly (ř. km 3,390) byly vyhodnoceny jako nevyhovující, jelikož není zajištěna dostatečná kapacita průtočné plochy mostu. Silniční most ve Štěchovicích (ř. km 6,461) převede průtok  $Q_{100}$ , ale pouze s malým rozdílem hladiny a spodní mostovky. Železniční most nad městysem Katovice (ř. km 0,475) je bez ohrožení díky dostatečné kapacitě průtočné plochy. Silniční most v Katovicích (ř. km 0,134) by měl v nejbližší době projít zkapacitněním a celkovou rekonstrukcí. V modelu byl uvažován nově opravený most, který by převedl povodňové průtoky  $Q_{100}$ , ale vzhledem k blízkosti řeky Otavy, byl vyhodnocen jako neprůkazný. Jez nad obcí Štěchovice (ř. km 6,923) a jez – Novosedly Hrobí (ř. km 4,213) byly vyhodnoceny jako nevhodné v důsledku špatného stavu. Ostatní objekty na toku měly malý nebo téměř žádný vliv na modelované povodňové vlny a nebudou dále rozebírány (viz příloha 8).

Za problematický úsek mimo zastavěné území byla zvolena oblast Pastvíšťata nacházející se od ř. km 5,3 až po jez – Hrobí (ř. km 4,213), dále oblast pod obcí Novosedly od ř. km 3,1 až k ř. km 1,8 zvaná Močidla a ústí do řeky Otavy.

### *Jez nad obcí Štěchovice (ř. km 6,923)*

Na špatném technickém stavu jezu nad obcí Štěchovice se nejvíce podílela povodeň v roce 2002 a od tohoto roku až po současnost nedošlo k jeho opravě. Přibližně v polovině jezu se poškodila koruna vzdouvacího zařízení a vytvořil se úzký otvor, kudy proudí voda, ostatní části spádové plochy zůstávají suché. Celý jez je nevhodně

zarostlý náletovou vegetací (viz obr. 50). V minulosti sloužil k odvádění vody do náhonu nedalekého mlýna, ale v současnosti je náhon zasypaný a nemá tak žádné uplatnění. Obec vede spor s vlastníkem mlýna, kdo má povinnost jez opravit.



Obr. 50: Špatný technický stav jezu Štěchovice a náletová vegetace v jeho okolí (autor)

#### **Lávka pro pěší a cyklisty v obci Štěchovice (ř. km 6,830)**

Lávka pro pěší a cyklisty se nachází na horní části toku v obci Štěchovice. Bezpečně převede povodňové průtoky  $Q_5$  a  $Q_{20}$ , průtok  $Q_{100}$  se do průtočné plochy lávky nevejde, ale nedojde k přetečení mostovky (viz příloha 9). Hladina  $Q_{100}$  je o 26 cm vyšší než spodní okraj mostovky. Hladiny k odpovídajícím N-letým průtokům jsou uvedeny v tab. 5. I při nedostatečné kapacitě světlosti lávky nehrozí bezprostřední ohrožení obyvatel, neboť po levé straně jsou vysoké břehy a k rozlivu dochází pouze na pravém břehu. Lávka je ve vlastnictví obce Štěchovice.

Novosedelský potok	Kóta dna (m n. m.)	$H_{Q_5}$ (m n. m.)	$H_{Q_{20}}$ (m n. m.)	$H_{Q_{100}}$ (m n. m.)	Spodní okraj mostovky (m n. m.)
<b>Lávka Štěchovice</b>	428,11	429,37	429,84	430,37	430,11

Tab. 5: Odpovídající hladiny k N-letým průtokům v místě lávky v obci Štěchovice (autor)

#### **Silniční most v obci Štěchovice (ř. km 6,461)**

Historický silniční most v obci Štěchovice bezpečně převede povodňový průtok  $Q_5$  a  $Q_{20}$  (viz příloha 9) aniž by došlo k výraznému ovlivnění vodní hladiny. Při průtoku stoleté vody dosáhne hladina pouze 37 cm pod spodní okraj mostovky a dochází k mírnému vzduť a zaplavení nejbližších staveb. Hladiny pro N-leté průtoky se nachází v tab. 6. Most je rovněž ve vlastnictví obce Štěchovice.

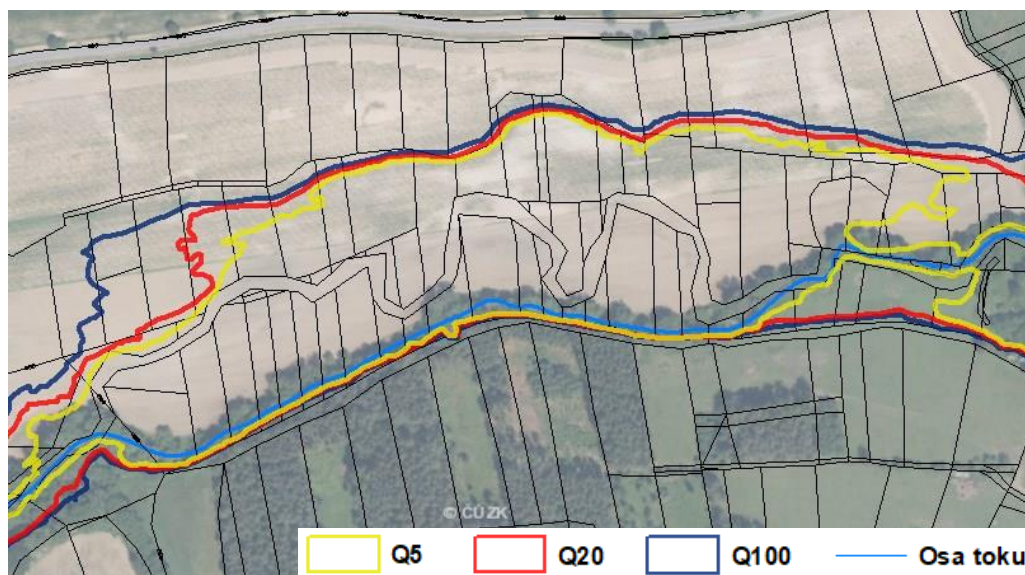
Novosedelský potok	Kóta dna (m n. m.)	$H_{Q_5}$ (m n. m.)	$H_{Q_{20}}$ (m n. m.)	$H_{Q_{100}}$ (m n. m.)	Spodní okraj mostovky (m n. m.)
<b>Silniční most Štěchovice</b>	426,78	428,29	428,8	429,29	429,66

Tab. 6: Odpovídající hladiny k N-letým průtokům v místě mostu v obci Štěchovice (autor)



### ***Oblast Pastvišťata (ř. km 5,300 – 4,200)***

Problematika oblasti Pastvišťata spočívá v poměrně rozsáhlém rozlivu na levém břehu toku již při průchodu  $Q_5$  (viz obr. 51). Zaplavovaná oblast je stále využívána jako orná půda. Touto oblastí vedlo původní koryto Novosedelského potoka, než došlo k jeho napřímení, a proto bývá rozlehlé pole často podmáčené.



*Obr. 51: Problematická oblast Pastvišťata na vodním toku Novosedelský potok při průchodu povodňové vlny  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  na podkladu katastrální mapy (autor)*

### ***Jez – Novosedly Hrobí (ř. km 4,213)***

Z technické stránky je jez – Novosedly Hrobí v pořádku, ale neudržovaná vegetace na jezu (viz obr. 52) i spadlé stromy a naplaveniny v blízkosti nad i pod ním (viz příloha 18) by mohly jez poškodit nebo způsobit škody dále na toku. Jez jakožto stavba na vodním toku je ve vlastnictví soukromých osob.



*Obr. 52: Neudržovaný jez – Novosedly Hrobí (autor)*

### **Silniční most v obci Novosedly (ř. km 3,390)**

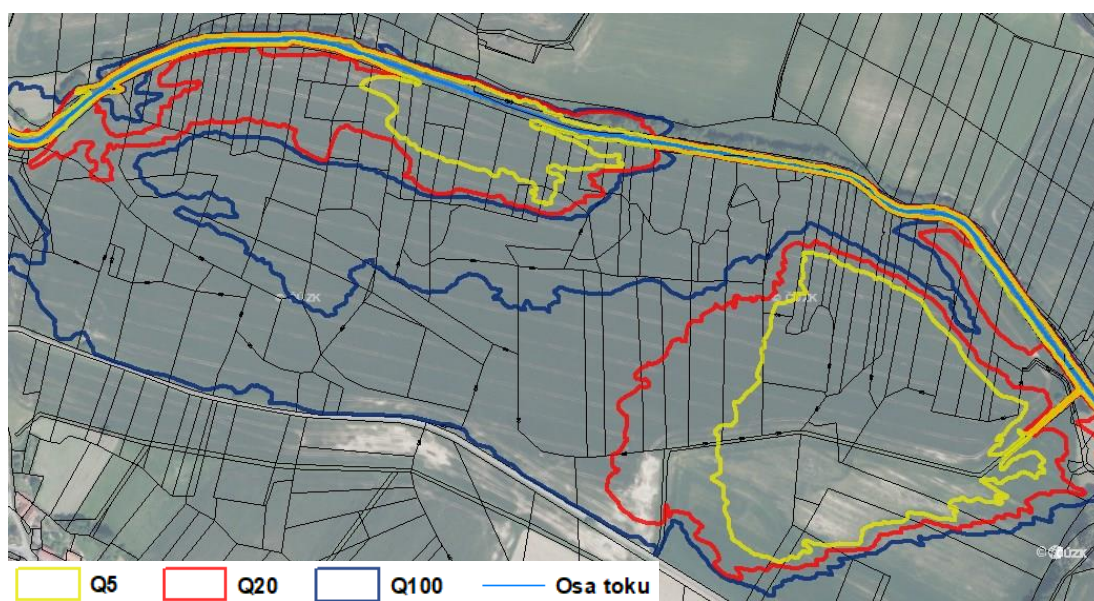
Silniční most v obci Novosedly nespĺňuje základní požadavek na průtok povodňové vlny  $Q_{20}$  (viz příloha 10). Hladina  $Q_{20}$  přesahuje spodní okraj mostovky o 2 cm a rozdíl mezi hladinou  $Q_{100}$  a okrajem mostovky je 42 cm. Díky tomu dochází v obci Novosedly k výraznému vzduťí vodní hladiny, což má za následek vysoký počet zasažených budov právě před silničním mostem. Odpovídající hladiny pro jednotlivé průtoky jsou umístěny v tab. 7. Vlastníkem tohoto silničního mostu je obec Novosedly.

Novosedelský potok	Kóta dna (m n. m.)	$H_{Q_5}$ (m n. m.)	$H_{Q_{20}}$ (m n. m.)	$H_{Q_{100}}$ (m n. m.)	Spodní okraj mostovky (m n. m.)
<b>Silniční most Novosedly</b>	411,09	412,52	413,05	413,45	413,03

Tab. 7: Odpovídající hladiny k N-letým průtokům v místě mostu v obci Novosedly (autor)

### **Oblast Močidla (ř. km 3,100 – 1,800)**

Oblast zvaná Močidla je specifická v tom, že již při průtoku  $Q_5$  dochází ke zpětnému rozlivu vody do níže položeného inundačního území. Problém spočívá v uměle vybudovaném svodném kanálu na odvod srážkové vody z polí. Vzhledem k jeho malému sklonu slouží při povodňové události jako propojovací kanál mezi korytem a inundaací. Z obr. 53 je patrné, jak se voda při průchodu  $Q_5$  a  $Q_{20}$  zpětným vzduťím rozlévá. Při průchodu stoleté vody se téměř celá kilometrová (a přes 500 m široká) oblast stává „druhým“ korytem a ohraničená je až nedalekou vyvýšenou silnicí, která slouží i jako přirozená hráz. Oblast Močidla se i přes značný rozliv stále využívá jako orná půda.



Obr. 53: Problematická oblast Močidla na vodním toku Novosedelský potok při průchodu povodňové vlny  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  na podkladu katastrální mapy (autor)



### ***Železniční most nad městysem Katovice (ř. km 0,475)***

Železniční most nad městysem Katovice je z hlediska povodňových průtoků vyhovující. Hladina při průtoku  $Q_{100}$  (viz tab. 7) je více než 5 m pod spodním okrajem mostovky, a proto nedochází k žádnému ohrožení (viz příloha 10). Jediným problémem se stává nevhodné umístění 1 rodinného domu a 1 chaty v blízkosti toku těsně nad tímto mostem, kde jsou nízké břehy a voda se vylije z břehů již při průtoku  $Q_5$ . Železniční most má ve vlastnictví Správa železniční dopravní cesty, s.o.

<b>Novosedelský potok</b>	<b>Kóta dna (m n. m.)</b>	<b><math>H_{Q_5}</math> (m n. m.)</b>	<b><math>H_{Q_{20}}</math> (m n. m.)</b>	<b><math>H_{Q_{100}}</math> (m n. m.)</b>	<b>Spodní okraj mostovky (m n. m.)</b>
<b>Železniční most Katovice</b>	398,67	400,23	400,7	401,45	406,82

Tab. 7: Odpovídající hladiny k  $N$ -letým průtokům v místě železničního mostu nad městysem Katovice (autor)

### ***Silniční most v městyse Katovice (ř. km 0,134)***

Silniční most v městyse Katovice, který je vlastníkem objektu, je v současné době před rekonstrukcí. Bude rozšířena průtočná plocha posunutím nosných pilířů a zvýšením mostovky. V modelu byly uvažovány nové rozměry mostu (v porovnání se současnými), které bez větších problémů převedou povodňový průtok  $Q_{100}$  (viz příloha 11). Výšky hladin jednotlivých průtoků se nacházejí v tab. 8 a je patrné, že rozdíl mezi výškou hladiny stoleté vody a spodním okrajem mostovky po rekonstrukci bude činit 70 cm a současnému stavu odpovídá vzdálenost pouze 19 cm. Most nebude způsobovat žádné vzduť (vzhledem k vysokým hrázím kolem toku), ale bude výrazně ovlivněn i souběžnou povodňovou vlnou na řece Otavě.

<b>Novosedelský potok</b>	<b>Kóta dna (m n. m.)</b>	<b><math>H_{Q_5}</math> (m n. m.)</b>	<b><math>H_{Q_{20}}</math> (m n. m.)</b>	<b><math>H_{Q_{100}}</math> (m n. m.)</b>	<b>Spodní okraj mostovky (m n. m.)</b>
<b>Silniční most Katovice (plánovaný)</b>	397,1	398,63	399,26	399,85	400,55
<b>Silniční most Katovice (současný)</b>	397,1	398,64	399,28	399,87	400,06

Tab. 8: Odpovídající hladiny k  $N$ -letým průtokům v místě silničního mostu v městyse Katovice – před a po plánované rekonstrukci (autor)

### ***Ústí do řeky Otavy (ř. km 0,134 – 0,000)***

Vzhledem k rozsáhlému inundačnímu prostoru při ústí do řeky Otavy, nebyl na tuto oblast při stanovení záplavového území brán ohled. Studium povodňové vlny na Otavě navíc není cílem práce, a proto nelze tuto oblast prohlásit za průkaznou, neboť dochází ke zpětnému vzduť a ovlivnění hladiny.

## 6. Diskuse

Průběh povodní na Novosedelském potoce v obci Štěchovice a Novosedly byl vždy podobný. Během relativně krátké doby, kdy horní část povodí zasáhl krátkodobý intenzivní déšť, se prohnala obcemi povodňová vlna, která brzy zase opadla. Nejen tzv. „bleskové povodně“ byly problém, ale i vydatné dlouhotrvající deště způsobují nemalé škody a velké rozlivy do přilehlých obdělávaných polí. Snaha o vyřešení povodňového ohrožení probíhala již od minulého století, kdy docházelo k postupné úpravě koryta v intravilánu i mimo něj. Bohužel na několika místech bylo koryto napřímeno, a tudíž dochází k rychlejšímu průběhu povodňové vlny a ke škodám na budovách poblíž toku. V současné době, by podle dostupných informací a povodňových plánů obcí Štěchovice a Novosedly mělo být koryto dimenzováno na průtok  $Q_{20}$  a všechny mostní objekty by měly alespoň tento průtok bez problémů převést (Janus J., 2006; Mráz M., 2011).

Odlišně probíhají povodně v městysi Katovice. Vzhledem k umístění se povodňové plány a ochrany soustřeďují na příchod povodně z mnohem větší řeky Otavy. Z místních si nikdo nepamatuje, že by přišla větší povodeň pouze na Novosedelském potoce, ale vždy probíhají souběžně s povodňovou událostí na řece Otavě. Proto se nedá jednoznačně určit, kam až by mohla v okolí ústí zasahovat záplavová čára. Kolem ústí Novosedelského potoka se nachází většinou zahrádkářské kolonie a chatové oblasti, které jsou chráněné zemní hrází a koryto by podle povodňového plánu městysu Katovice mělo bezpečně převést průtok  $Q_{20}$  (Němečková Š., 2003).

Po sestavení 1D hydrodynamického modelu ustáleného nerovnoměrného proudění bylo zjištěno, že mostní objekty v obci Štěchovice sice převedou povodňový průtok  $Q_{20}$ , ale koryto není na průtok  $Q_{20}$  a vyšší dostatečně kapacitní. Na bezpečné převedení stoletého průtoku, již nestačí lávka pro pěší a cyklisty (ř. km 6,830), ale vzhledem k malému potenciálnímu ohrožení při rozlivu, pravděpodobně nebude zkapacitnění této lávky prioritou. Pokud nedojde vlivem naplavenin ke zmenšení průtočné plochy historického silničního mostu (ř. km 6,461), zvládne bez větších problémů převést i průtok  $Q_{100}$ . Dalším problémem obce Štěchovice je dosud neopravená koruna jezu nad obcí (ř. km 6,923), na kterém se technický stav může s každou další povodní zhoršit. Vzhledem k hloubce vody nad jezem (přibližně 1,2 m) by mohla povodňová vlny po jeho protržení způsobit škody níže na toku. Alespoň dočasným řešením by byla oprava koruny jezu a odstranění veškeré náletové vegetace. V obci Štěchovice bylo vyhodnoceno 21 ohrožených staveb, které by částečně mohla ochránit aktuálně probíhající oprava koryta (odstranění veškeré vegetace a navýšení nábrežních zdí na problematických místech). Dalším možným řešením by bylo zkapacitnění průtočné plochy silničního mostu nebo alespoň zajištění plné průtočnosti tohoto mostu při vyhlášení povodňového stavu.

V obci Novosedly je zásadním problémem kapacita silničního mostu (ř. km 3,390), který nedokáže pojmout ani povodňovou vlnu  $Q_{20}$  (byť jen o 2 cm výšky hladiny). Díky tomu dochází k výraznému vzduť hladiny a zaplavení okolí mostu už při průchodu  $Q_{20}$ , i když nedochází k zasažení většího počtu budov. Při  $Q_{100}$  voda stále

nepřetéká most, ale obtéká ho inundací po pravém břehu přes silnici procházející mostem. Tím dochází k zaplavení celkem 25 budov, dětského hřiště a odpočinkového parku. Jako jediné možné řešení se jeví zvětšení kapacity mostní propusti a pravidelná kontrola před příchodem naplavenin během i mimo povodňovou událost nejen v okolí mostu, ale i na nedalekém výše položeném jezu – Novosedly Hrobí (ř. km 4,213). Technický stav jezu je vyhovující, ale kdyby došlo k odstranění vegetace a všech překážek na toku (spadlé stromy, naplaveniny atd.), které by mohly s příchodem povodně jez poškodit, výrazně by se tím snížilo povodňové riziko.

Městys Katovice je z velké části situován kolem řeky Otavy a v ústí Novosedelského potoka se nachází pouze zahrádkářské kolonie, zemědělské objekty a pár rodinných domů. Sestavený model nakonec necílil na záplavové území poblíž ústí, které by bylo stejně neprůkazné vzhledem k blízkosti Otavy, ale pouze k silničnímu mostu (ř. km 0,134). S jistotou nelze stanovit ani záplavové území mezi tímto silničním mostem a železničním mostem (ř. km 0,475). Každopádně kdyby došlo k povodňové situaci pouze na Novosedelském potoce, lze s jistotou říct, že při průtoku  $Q_5$  a vyšším dojde k zaplavení dvou rodinných domů před železničním mostem a až k ústí se drží v korytě. Při průchodu  $Q_{20}$  se zaplaví 8 objektů na pravém břehu a při  $Q_{100}$  je zaplavená celá zahrádkářská kolonie na pravém břehu včetně vzdálených zemědělských hal. Na levém břehu by byly zasaženy dva rodinné domy. Kapacita železničního mostu je dostatečná, ale u silničního mostu, který tento rok projde rekonstrukcí a zkapacitněním, je třeba dbát zvýšené pozornosti před ucpaním. Plánované zkapacitnění pomůže při převodu povodňové vlny (i případnému vzduť z Otavy), kdy vzdálenost hladiny a mostovky při  $Q_{100}$  bude z původních 19 cm zvětšena na 70 cm. Řešení situace by se jevílo v navýšení zemních hrází na pravém břehu po celé délce mezi mosty a na levém břehu v kritickém místě cca 100 m nad silničním mostem. Ochrana dvou domů v těsné blízkosti koryta nad železničním mostem by musela být řešena zachycením většího množství povodňové vlny výše na toku (např. vybudování poldru nebo záchytných a zasakovacích opatření v ploše povodí na zemědělské půdě). Ale vzhledem k ohroženější částem městyse Katovice z řeky Otavy a plánovanému zkapacitnění silničního mostu, pravděpodobně tato oblast neprojde v nejbližší době žádnou další protipovodňovou ochranou.

Mimo zastavěná území jsou problémové oblasti zvané Pastvišťata a Močidla, kde dochází k velkému rozlivu do přilehlých polí i při malých průtocích. Vzhledem k rozsáhlosti záplavy a faktu, že jsou tyto oblasti neustále využívány jako orná půda, by se na těchto místech doporučovala navrhnout vhodná revitalizace a úprava toku. Z katastrální mapy lze zjistit, že oblastí Pastvišťata vedla původní trasa koryta, než došlo k jeho napřímení. Tato skutečnost by se dala využít při plánování budoucí revitalizace nebo při směně pozemků pro návrh jiného opatření (plochu původního koryta vlastní Povodí Vltavy, s.p.). Problematická přes kilometr dlouhá oblast Močidla by se mohla pro průtoky  $Q_5$  a  $Q_{20}$  vyřešit např. zatrubněním (se zpětnou klapkou) malého uměle vybudovaného koryta na konci úseku a navýšením břehů v této lokalitě. V takto podmáčené oblasti by případně šlo využít svodné koryto pro

návrh systému mokřadů a tůní. Při průtoku  $Q_{100}$ , kdy se tok rozdělí na dvě proudové oblasti a protéká celou oblastí, by bylo vhodné celkové nebo částečné zatravnění. Ale vzhledem k velké rozloze a velkému počtu dotčených pozemků se tato možnost jeví jako málo pravděpodobná.

Při terénním šetření byl zjištěn i další problém, který by mohl výrazně ovlivnit průchod povodňové vlny a zhoršit odtokové poměry. V příloze 18 je zdokumentováno, že na několika místech takřka po celé délce vybraného úseku zřejmě už delší dobu nebylo provedeno čištění koryta od spadlých stromů, naplavenin nebo i uměle vytvořených přírodních překážek. Vzhledem k tomu, že Vyhláška č. 178/2012 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků, v platném znění, stanovila Novosedelský potok od roku 2012 jako významný vodní tok, musí být podle § 83 vodního zákona prováděna pravidelná povodňová prohlídka správcem toku společně s povodňovým orgánem alespoň jednou ročně (v případě Novosedelského potoka – Povodí Vltavy, s.p. společně s vodoprávním úřadem Strakonice). Podle § 50 vodního zákona jsou vlastníci pozemků, kde protéká vodní tok, povinni udržovat břehy a ohlašovat veškeré závady v korytě příslušnému správci vodního toku, který má povinnost je neprodleně odstranit. V případě staveb na toku dle § 52 vodního zákona (jezy, mosty atd.) jsou povinni tyto překážky odstranit vlastníci objektu. Na základě těchto skutečností by mělo v co nejbližší možné době dojít k vyčištění koryta a předejít tak možným povodňovým škodám.

Je dobré si uvědomit, že výsledky popisované stacionárními matematickými výpočty byly mnohdy dosaženy zjednodušujícími předpoklady a intuitivními odhady parametrů. Kvalita modelů se pak určuje podle vstupních a následně výstupních dat. CHADWICK et al. (2013) uvádí, že při jednorozměrném modelování hydrodynamických jevů je kvalita modelu určena z velké části kvalitou digitálního modelu terénu, zaměřených příčných profilů a vybraného drsnostního součinitele. Správnost výstupů se ověřuje kalibrací a verifikací, ale ne vždy je to proveditelné, obzvláště na menších tocích bez patřičných podkladů.

I v případě 1D hydrodynamického modelu vybraného úseku toku Novosedelský potok je přesnost výsledků limitována také nepřesností DMT či hustotou a kvalitou geodetického zaměření příčných profilů. Umístění hranice zátopy, zejména mimo zaměřené profily (nebo při jejich prodloužení) v zalesněném území, zahrnuje nepřesnosti vzniklé použitím DMT, u kterého je stanovena maximální výšková chyba do 0,3 m. Na průběhu velkých vod se velkou mírou podílejí i mosty a lávky, kdy vzhledem ke snížení plochy průtočného průřezu dochází k výraznému vzduť vody, a proto je velmi důležité i kvalitní zaměření mostních objektů a jezů. Vliv ostatních objektů (brody, stupně atd.) je s ohledem na převedení povodňových průtoků minimální. Chyba může nastat i v ruční přípravě dat, přepisu údajů při digitalizaci nebo špatném přepsání hodnot.

Hodnoty úrovně hladin jsou dále ovlivněny interpolací výšek dna koryta v místech pomocných profilů (např. před a za jezovými objekty) a nemusí vždy odpovídat

skutečnosti. Výpočet byl proveden pro ideální stav koryta a při tvorbě výstupů nebyly zohledněny klasické povodňové jevy typu – odlišná výška hladiny v korytě a inundaci (kromě oblasti zvané Močidla, kde došlo k ruční úpravě), v obloucích dochází k příčnému převýšení hladiny, rozvlněná hladina atd. Do výpočtu nebylo zařazeno ani ucpání průtočného profilu naplaveninami nebo ucpání dříve průtočných ploch (např. propustné ploty, které se vlivem plaveného materiálem stanou nepropustné). Umístění záplavové čáry dále zahrnuje nepřesnosti použité mapy ZM10, a proto je při posouzení konkrétního místa rozhodující kóta hladiny odvozená z podélného profilu a skutečná nadmořská výška terénu.

Použitelná kalibrační data pro vybraný úsek vodního toku Novosedelský potok nebyla, i přes veškerou snahu, nikde dohledatelná. Podle Povodí Vltavy, s.p. (provozní středisko Otava), vodoprávního úřadu Strakonice, starostů dotčených obcí a terénního průzkumu nikdy nedošlo k žádnému měření hladiny ani průtoku. Pouze na řece Otavě byly dohledatelné průtoky a k nim odpovídající nadmořské výšky díky umístěné měrné stanici a již stanovenému záplavovému území, ale určení rozsahu záplavového území Novosedelského potoka probíhalo za předpokladu povodňové události v jeho povodí bez ovlivnění řekou Otavou, a proto tyto hladiny nevstupovaly do modelu ani jako dolní okrajová podmínka. Jediným na první pohled použitelným údajem byla údajná výška hladiny při průchodu kulminačního průtoku  $Q_{100}$  uvedená v projektové dokumentaci k plánované opravě silničního mostu v Katovicích. Jenže tato hladina sahala „pouze“ do výšky 1,69 m ode dna a dle jeho rozměrů by při této výšce hladiny nemohl převést kulminační průtok odpovídající hodnotě minimálně  $63,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , pokud by se výrazně nesnížily hodnoty součinitele drsnosti na celém úseku toku. Údajná hladina  $Q_{100}$  odpovídá v sestaveném modelu přibližně průtoku  $Q_{10}$ . Za nepoužitelné se dají považovat i barevné značky na silničních mostech v obci Štěchovice a Novosedly, které slouží pouze k vyhlásování stupně povodňové aktivity, ale není znám odpovídající průtok.

Vzhledem k absenci kalibračních dat byly veškeré snahy o vytvoření kvalitního modelu soustředěny na zvolené hodnoty drsnostního součinitele. Terénní průzkum koryta, inundací a zastavěných oblastí byl proveden ve vegetačně bohatém období (10.8.2017). Pro lepší představu o terénu a pořízení fotodokumentace proběhl i na přelomu zimy a jara (24.3.2018). Po následné konzultaci s odborníky byly použity hodnoty uvedené v příloze 12, příloze 13 a příloze 14. Z hlediska proudění bylo při volbě drsnosti zohledněno i roční období. V jarních a letních měsících způsobují vysoká tráva, husté keře a pěstované plodiny na polích větší rozliv po okolí, neboť dojde ke zpomalení proudění a tím k nárůstu hladiny. Letní měsíce jsou také typické zvýšeným výskytem krátkodobých vydatných dešťů, a proto byly uvažovány drsnosti v letním vegetačně bohatém období.

Všechny tyto nepřesnosti vnášejí chyby a nejistoty do výstupů hydrodynamického modelu. Proto je při modelování záplavového území důležité přemýšlet nad každým krokem, správností získaných dat, věrohodností ústního tvrzení a vyvarovat se nebo alespoň snížit pravděpodobnost chyby systematické či náhodné.

## 7. Závěr

Povodně představují nedílnou součást koloběhu vody na Zemi, a proto je v dnešní době důležité zaměřit se na zvládnání či alespoň zmírnění negativního dopadu těchto jevů. Jelikož v budoucím vývoji klimatu bude pravděpodobně neustále přibývat střídání období sucha a přívalových dešťů, s kterými bude spojeno větší ohrožení měst a obcí poblíž toku, bude nezbytné se před povodněmi (respektive i před suchem) chránit i na drobných vodních tocích, kde v současné době povodně nezpůsobují větší škody. Kvůli tomu byl v roce 2012 prohlášen Novosedelský potok za významný vodní tok, u kterého by bylo vhodné stanovit záplavové území. Nejvíce ohrožené jsou obce Štěchovice, Novosedly a městyse Katovice, a proto byl vybrán úsek toku zahrnující všechny dotčené lokality.

Na základě sestaveného hydrodynamického modelu pro vybraný úsek toku Novosedelský potok byl zjištěn rozsah záplavové čáry ve formě map záplavového území pro povodňové průtoky  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$ . Dále byly vyhodnoceny rizikové oblasti a objekty na toku. I přes snahu o důkladnou míru schematizace oproti reálnému světu lze konstatovat, že model vytvořený programem HEC-RAS, jakožto dostatečně výkonným softwarem s propracovaným systémem hydraulických rovnic a metod, dostatečně reprezentuje oblast vodního toku Novosedelský potok od levostranného přítoku od obce Volenice až po železniční most nad městysem Katovice. Proto lze stanovené záplavové území považovat za právoplatné a mělo by být součástí povodňových plánů obcí Štěchovice a Novosedly. Do povodňového plánu městyse Katovice by se mělo záplavové území zařadit také, ale pouze jako informativní složka, jelikož nemá pro tuto oblast vypovídající charakter. Od železničního mostu až po ústí nelze záplavové území spolehlivě prohlásit za průkazné, pokud nenastane povodňová situace pouze na Novosedelském potoce, a proto by se mělo přihlížet i k záplavovému území na řece Otavě.

Povodňové průtoky a k nim zjištěné odpovídající výšky hladin nejlépe charakterizují míru nebezpečí pro vymezený úsek toku Novosedelský potok. Pro obě obce jsou z hlediska povodňového ohrožení zásadní informace o výšce hladiny k vyhlášení patřičného stupně povodňové aktivity. Na silničních mostech jsou barevně vyznačené jednotlivé hladiny, kdy nastává (respektive je vyhlášen) příslušný stupeň a nyní k nim může být přiřazena hodnota průtoku vhodná např. pro pozdější návrhové a projekční účely. Pro městyse Katovice je důležitější protipovodňová ochrana před protékající řekou Otavou a záplavové území by mělo být řešeno společně a nikoliv odděleně.

Na řešeném úseku toku byly zjištěny nedostatky v kapacitě koryta pro průchod  $Q_{20}$  v zastavěných lokalitách, nedostatečná kapacita dvou mostních objektů, rozliv do přilehlých obdělávaných polí v důsledku napřimování koryt, špatný technický či vegetační stav dvou jezů a množství spadlých stromů, naplavenin a různých překážek na toku, které mohou zhoršit průběh povodňové události. V současnosti probíhá rekonstrukce a úprava koryta v obci Štěchovice, která spočívá v odstranění vegetace a navýšení či opravě nábřežních zdí na kritických místech. Tím by mohl být vyřešen

rozliv v obci při průchodu povodňové vlny  $Q_{20}$ , jelikož dochází k úpravě koryta převážně na levém břehu v místě rozlivu dvacetileté vody. V modelu bylo počítáno s plánovanou rekonstrukcí silničního mostu v Katovicích, která by měla proběhnout v nejbližších měsících, a bylo zjištěno, že zvětšením původní kapacity mostu dojde v případě povodně pouze v povodí Novosedelského potoka (v případě povodně i na Otavě nelze prokázat účinnost) k bezproblémovému převedení stoletého průtoku.

Vypočtené hladiny by mohly sloužit i při řešení dalších inženýrských a projekčních úloh, ale při větším investičním záměru by mělo být provedeno zpřesnění výpočtu na základě podrobnějšího zaměření toku a změření hladin povodňových průtoků pro získání kalibračních dat.

Řešení protipovodňové ochrany na Novosedelském potoce by mohlo probíhat v navazujících krocích následovně:

- odstranění překážek a pravidelná údržba břehů, koryta a staveb na toku pro zajištění neškodného odtoku vody
- zahájení plánované rekonstrukce silničního mostu v Katovicích
- vyhlášení záplavového území a případné stanovení aktivní zóny záplavového území
- aktualizace povodňových plánů obcí Štěchovice, Novosedly a městyse Katovice
- zkapacitnění koryta v místech rozlivu zastavěných oblastí navýšením ochranných hrází pro bezpečný převod alespoň povodňové vlny  $Q_{20}$
- zkapacitnění silničního mostu v obci Novosedly
- celková oprava jezu nad obcí Štěchovice
- revitalizace koryta v narovnaných úsecích (např. v oblasti Pastvíšťata)
- zatrubnění (se zpětnou klapkou) na konci svodného kanálu, návrh systému mokřadů a tůní nebo částečné zatravnění území zaplavované při průchodu  $Q_5$  v oblasti Močidla
- zkapacitnění lávky (případně i silničního mostu) v obci Štěchovice
- případný návrh poldru (soustavy poldrů) výše na toku nebo plošných záchytných a zasakovacích opatření v celém povodí

## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Ackerman C. T., 2012: HEC-GeoRAS, GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS User's Manual. US Army Corps of Engineers, Davis, 242 s.

Balvín P., Gabriel P., Bouška P. et Havlík A., 2009: Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 92 s.

Becker A. et Serban P., 1990: Hydrological models for water-resources system design and operation. World Meteorological Organization, Geneva, 80 s.

Bedient P. B. et Huber W. C., 1989: Hydrology and floodplain analysis. Addison-Wesley, Reading, 650 s.

Boháč M., Kulasová B., Šercl P., Ledvinka O., Tyl R. et Řehánek T., 2016: Metodika odvozování N-letých průtoků na nepozorovaných povodích. Český hydrometeorologický ústav. Praha, 31 s.

Brandner M., Egermaier J. et Kopincová H., 2011: Numerické modelování v hydrologii. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 84 s.

Briš R. et Litschmannová M., 2007: Statistika II. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 163 s.

Brunner G. W., 2016a: HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Davis, 547 s.

Brunner G. W., 2016b: HEC-RAS, River Analysis System User's Manual. US Army Corps of Engineers, Davis, 962 s.

Chadwick A. J., Morfett J. C. et Borthwick M., 2013: Hydraulics in civil and environmental engineering. CRC Press, Boca Raton, 623 s.

Cílek V., Svoboda J. et Vašků Z., 2003: Velká kniha o klimatu zemí Koruny české. Regia, Praha, 654 s.

Chow V. T., 1959: Open-channel hydraulics. McGraw-Hill civil engineering series, New York, 680 s.

ČHMÚ, 2017: Historie hydrologických extrémů na území Čech, Moravy a Slezska (online) [cit. 2018.02.18], dostupné z: <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/vyuka/HYDRO/2.pdf>>.

Čižmár J. et Hudec P., 2007: Tvorba záplavových map. Geodetický a kartografický obzor 53 (7): 129-133.

DFO, 2018: What are the main causes of these flood (online) [cit. 2018.01.27], dostupné z: <<http://www.dartmouth.edu/~floods/archiveatlas/cause.htm>>.



DHI, 2018: DHI software (online) [cit. 2018.02.23], dostupné z: <<https://worldwide.dhigroup.com/cz/dhi-software>>.

Dooge J. C. I., 1986: Looking for Hydrologic Law. *Water Resources Research* 22 (9): 46-58.

Drbal K., Štěpánková P., Levitus V., Říha J., Dráb A., Satrapa L., Horský M., Valenta P., Valentová J. et Friedmannová L., 2012: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, Praha, 91 s.

Elleder L. et Daňhelka J., 2012: Vybrané kapitoly z historie povodní a hydrologické služby na území ČR. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 182 s.

ESRI, 2018: About ArcGIS (online) [cit. 2018.02.24], dostupné z: <<http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>>.

Geoportál ČÚZK, 2018: Prohlížečí služby – WMS (online) [cit. 2018.03.02], dostupné z: <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(34i1k4siyuyccck2opq04lhzv\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=311](http://geoportal.cuzk.cz/(S(34i1k4siyuyccck2opq04lhzv))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head_tab=sekce-03-gp&menu=311)>.

Goudie S. A., 2009: *The Nature of the Environment*. John Wiley & Sons, Oxford, 560 s.

Havlík A., 2016: Matematické modelování proudění vody s volnou hladinou (online) [cit. 2018.01.27.], dostupné z: <<http://docplayer.cz/1837043-Matematicke-modelovani-proudeni-vody-s-volnou-hladinou.html>>.

Hrádek F. et Kuřík P., 2008: *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 272 s.

Hydrosoft, 2013: Hydrocheck (online) [cit. 2018.02.24], dostupné z: <<http://www.hydrosoft.cz/produkty/hydrocheck/>>.

Jeniček M., 2005: Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích. In: Langhammer J. (ed.): *Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha: 112-126.

Kemel M., 1994: *Hydrologie*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 222 s.

Kender J. [ed.], 2004: *Water in landscape: landscaping programmes*. Consult, Prague, 207 s.

Konvička M., 2002: *Město a povodeň: strategie rozvoje měst po povodních*. ERA, Brno, 219 s.

Křovák F., 2004: *HEC-RAS stručný manuál*. KTI & AquaLogic, Praha, 21 s.

Kubát J., Čekal R., Daňhelka J. et Matoušek V. [eds], 2012: *Odborné pokyny pro provádění hlásné povodňové služby*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 40 s.

- Langbein W. B., 1944: Topographic Characteristics of Drainage Basins. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 968-C: 125-158.
- Langhammer J. [ed.], 2007: Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 396 s.
- Matoušek V., 2004: Ledový režim vodních toků. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, 203 s.
- MZE ČR, 2017: Stručně o vodě v České republice. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 48 s.
- MŽP ČR, 2017: Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 67 s.
- Novák P., Roub. R., Urban F., Vybíral T., Hejduk T., Maxová J., Zajíček A. et 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, 52 s.
- Nypl V. et Synáčková M., 1998: Zdravotně inženýrské stavby 30: stokování. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 149 s.
- Paul M. J. et Meyer J. L., 2001: Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 333-365.
- Pavelková Chmelová R. et Frajer J., 2013: Základy fyzické geografie 1: Hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 142 s.
- Podlaha A. et Králová A., 2007: Modelování povodňových škod pro účely zajištění. In: Langhammer J. (ed.): Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha: 75-87.
- Pokorná D., 2008: Hydrologie a hydropedologie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 218 s.
- Quitt, E., 1971: Klimatické oblasti Československa. Academia, Praha, 73 s.
- Rodhe A., 2012: Physical models for classroom teaching in hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 3075-3082.
- RRAVM, 2012: Možnosti řešení povodňových situací v Česko-slovenském příhraničí (online) [cit. 2018.02.06], dostupné z: <<http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/O-povodnich>>.
- Sucharda M. et Simon O., 2004: Vliv hospodaření v krajině na průběh a účinek povodní: přehled problémů a doporučená opatření, Hnutí DUHA, Brno, 34 s.
- Slavíková L. [ed.], 2007: Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. IREAS, Praha, 82 s.
- Státníková P., 2012: Povodně a záplavy. Paseka, Praha, 189 s.

Šálek J. et Kujal B., 2016: Hospodaření se srážkovými vodami v extravilánu s využitím malých vodních nádrží. In: Vokurka A.: Vodohospodářské stavby: stavební kniha 2016. ČKAIT, Praha: 60-79.

Valenta P., 2005: Využití numerických modelů proudění vody v protipovodňové ochraně. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 26 s.

VÚV TGM, 2017a: Prohlížečka záplavových území (online) [cit. 2018.02.15], dostupné z: <<http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html>>.

VÚV TGM, 2017b: Zpracování dat pro vyjádření povodňového nebezpečí (online) [cit. 2018.02.12], dostupné z: <[http://www.dibavod.cz/data/poster\\_mapy\\_nebezpeci.pdf](http://www.dibavod.cz/data/poster_mapy_nebezpeci.pdf)>.

Ward N. S. et Day S., 2011: The 1963 Landslide and Flood at Vaiont Reservoir Italy. Italian Journal of Geosciences 1: 16-26.

ČHMÚ, 2018: Hydrologické údaje povrchových vod – Novosedelský potok. 4 s. „nepublikováno“. Dep.: ČHMÚ, pobočka České Budějovice.

Hřebeková M., 2013: Hydrogeologický posudek pro povolení nakládání s podzemními vodami v k. ú. Štěchovice, projektová dokumentace. 21 s. „nepublikováno“. Dep.: Městský úřad Strakonice.

Janus J., 2006: Povodňový plán obce Novosedly. 9 s. „nepublikováno“. Dep.: Obecní úřad Novosedly.

Mráz M., 2011: Povodňový plán obce Štěchovice. 8 s. „nepublikováno“. Dep.: Obecní úřad Štěchovice.

Němečková Š., 2003: Povodňový plán městyse Katovice. 16 s. „nepublikováno“. Dep.: Úřad městyse Katovice.

Němečková Š., 2017: Dokumentace pro vydání rozhodnutí o umístění stavby (Most ev. č. 1721 – Katovice). 18 s. „nepublikováno“. Dep.: Úřad městyse Katovice.

Povodí Vltavy, s.p., 2015: Geodetické zaměření technickoprovozní evidence toku Novosedelský potok. 8 s. „nepublikováno“. Dep.: Provozní středisko Otava, Strakonice.

Vyhláška č. 178/2012 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků, v platném znění.

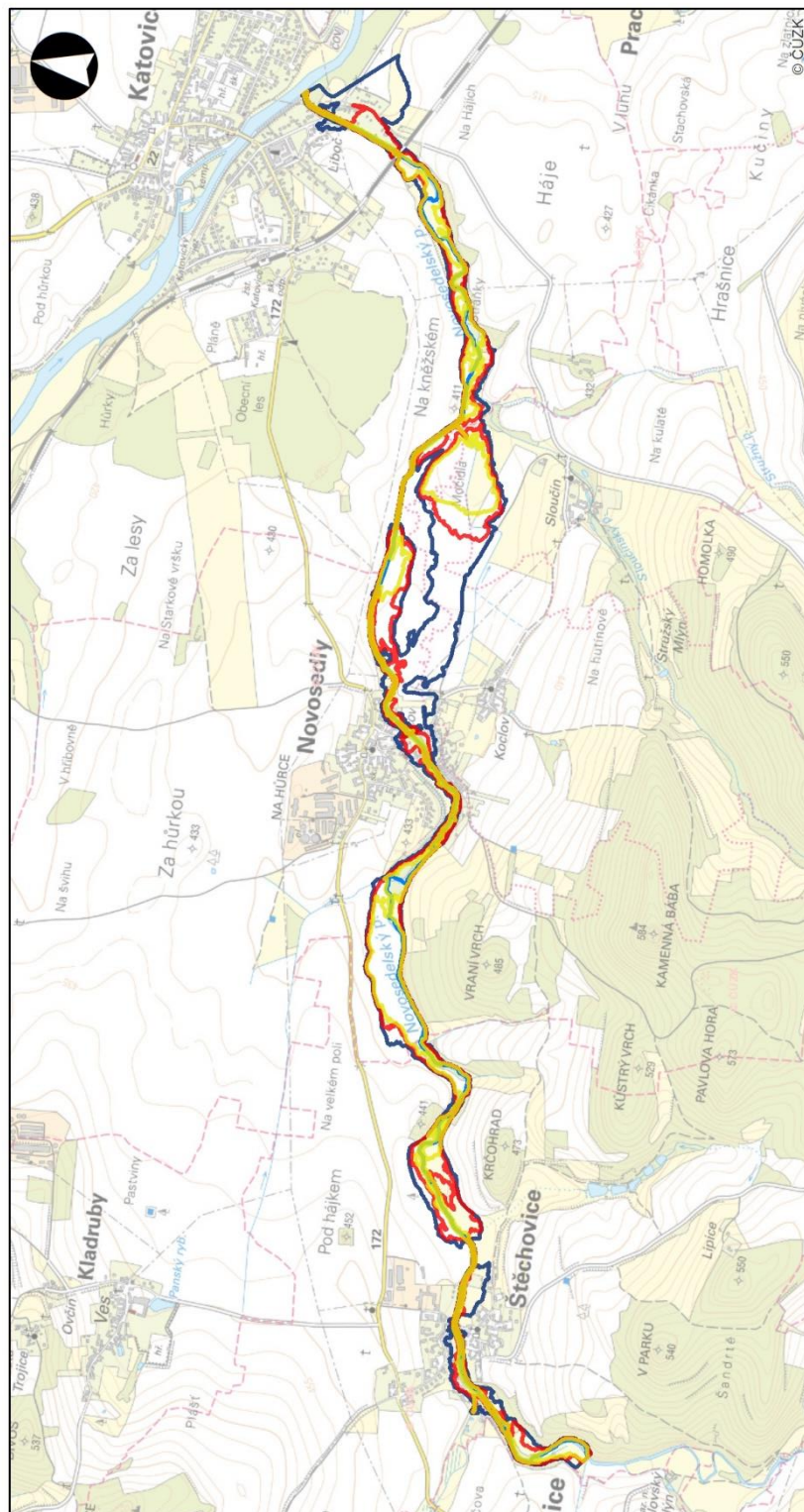
Vyhláška č. 236/2002 Sb., vyhláška Ministerstva životního prostředí o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území, v platném znění.

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

## 9. Přílohy

Příloha 1: Záplavové území pro průchod N-letých průtoků vybraného úseku toku Novosedelský potok (autor)

### Záplavové území vodního toku Novosedelský potok ř.km 0,000 - 7,431

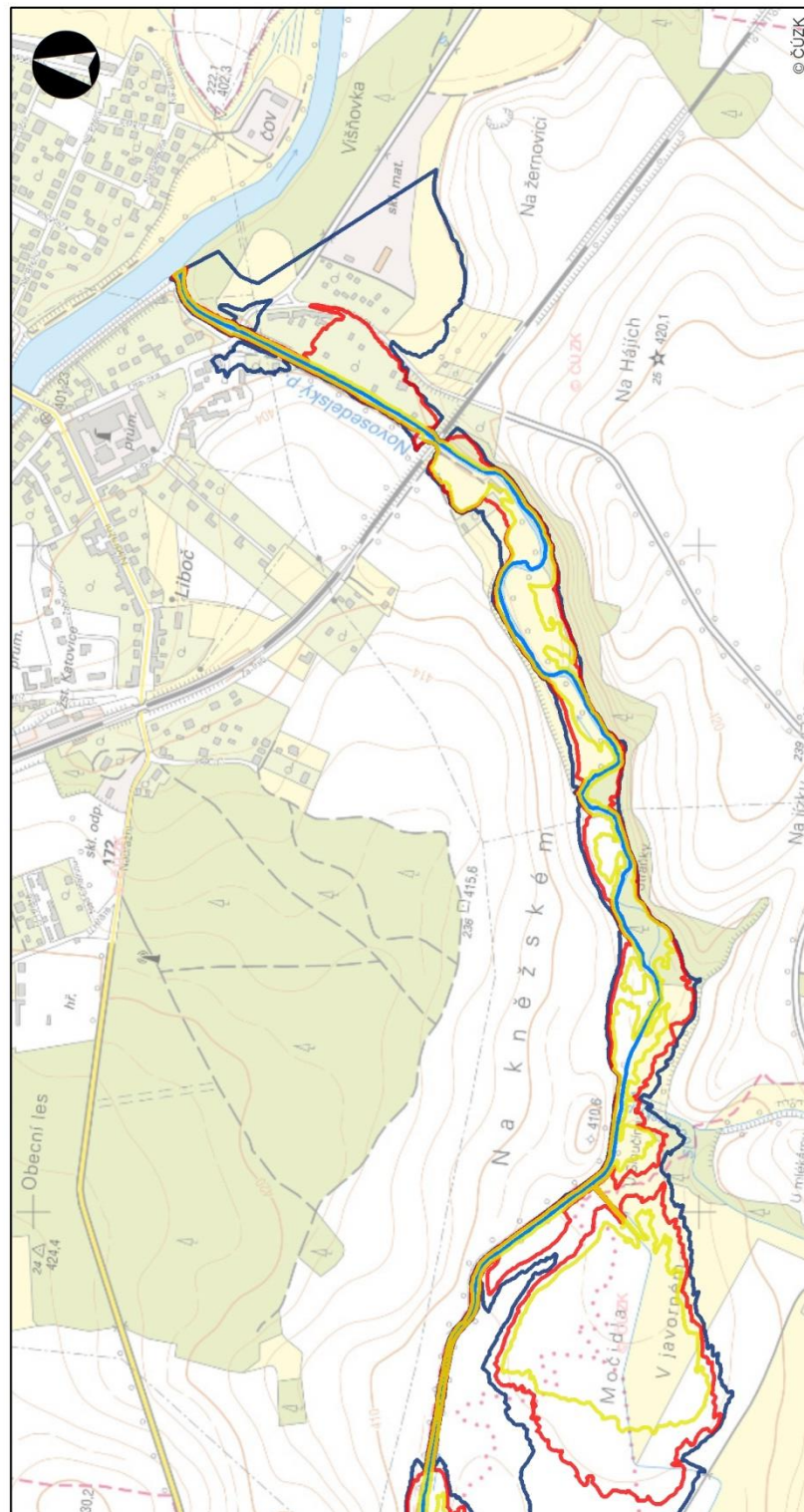


Situace záplavy  
ř.km 0,000 - 7,431  
1:22 000  
0 250 500 1 000 m  
© 2018, Bc. Michal Předota



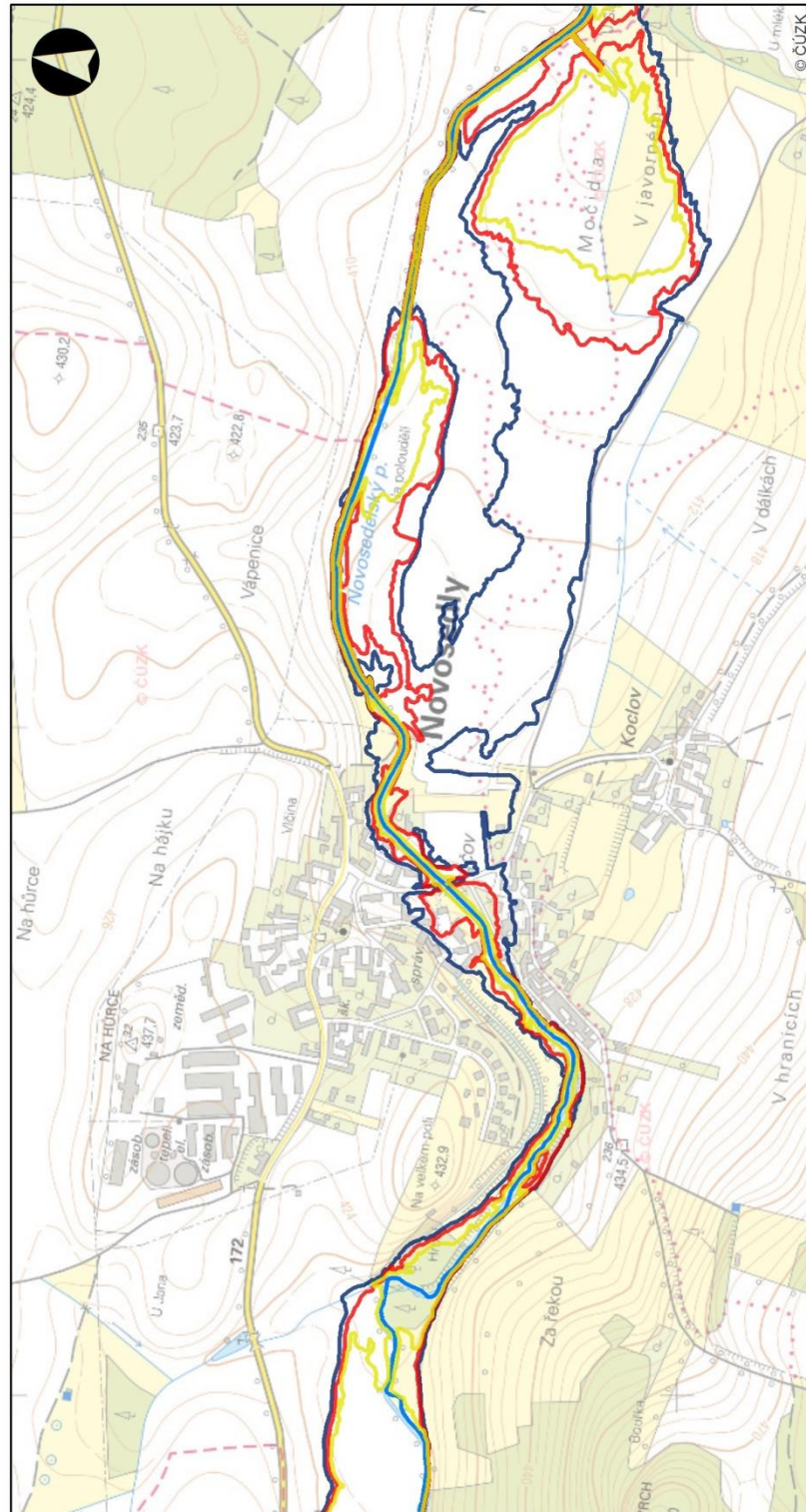
Příloha 2: Záplavové území pro průchod N-letých průtoků od ř.km 0,000 po ř.km 2,100 toku Novosedelský potok (autor)

## Záplavové území vodního toku Novosedelský potok ř.km 0,000 - 2,100



Příloha 3: Záplavové území pro průchod N-letých průtoků od ř.km 2,100 po ř.km 4,500 toku Novosedelský potok (autor)

## Záplavové území vodního toku Novosedelský potok ř.km 2,100 - 4,500



1:8 000

0 100 200 400 m

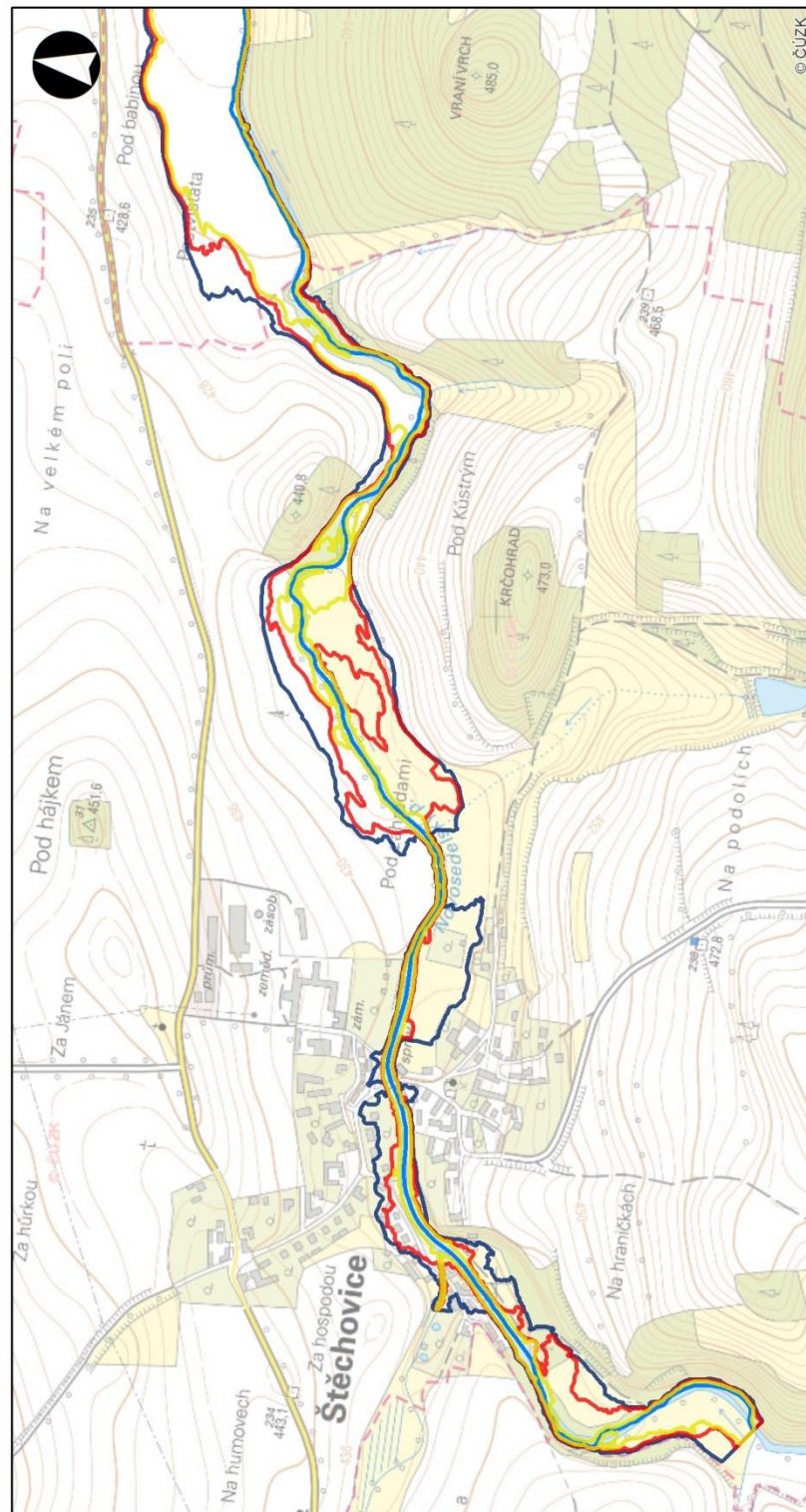
Q5
  Q20
  Q100
  Osa toku

Situace záplavy  
 List 2, ř.km 2,100 - 4,500  
 © 2018, Bc. Michal Předota



Příloha 4: Záplavové území pro průchod N-letých průtoků od ř.km 4,500 po ř.km 7,431 toku Novosedelský potok (autor)

## Záplavové území vodního toku Novosedelský potok ř.km 4,500 - 7,431



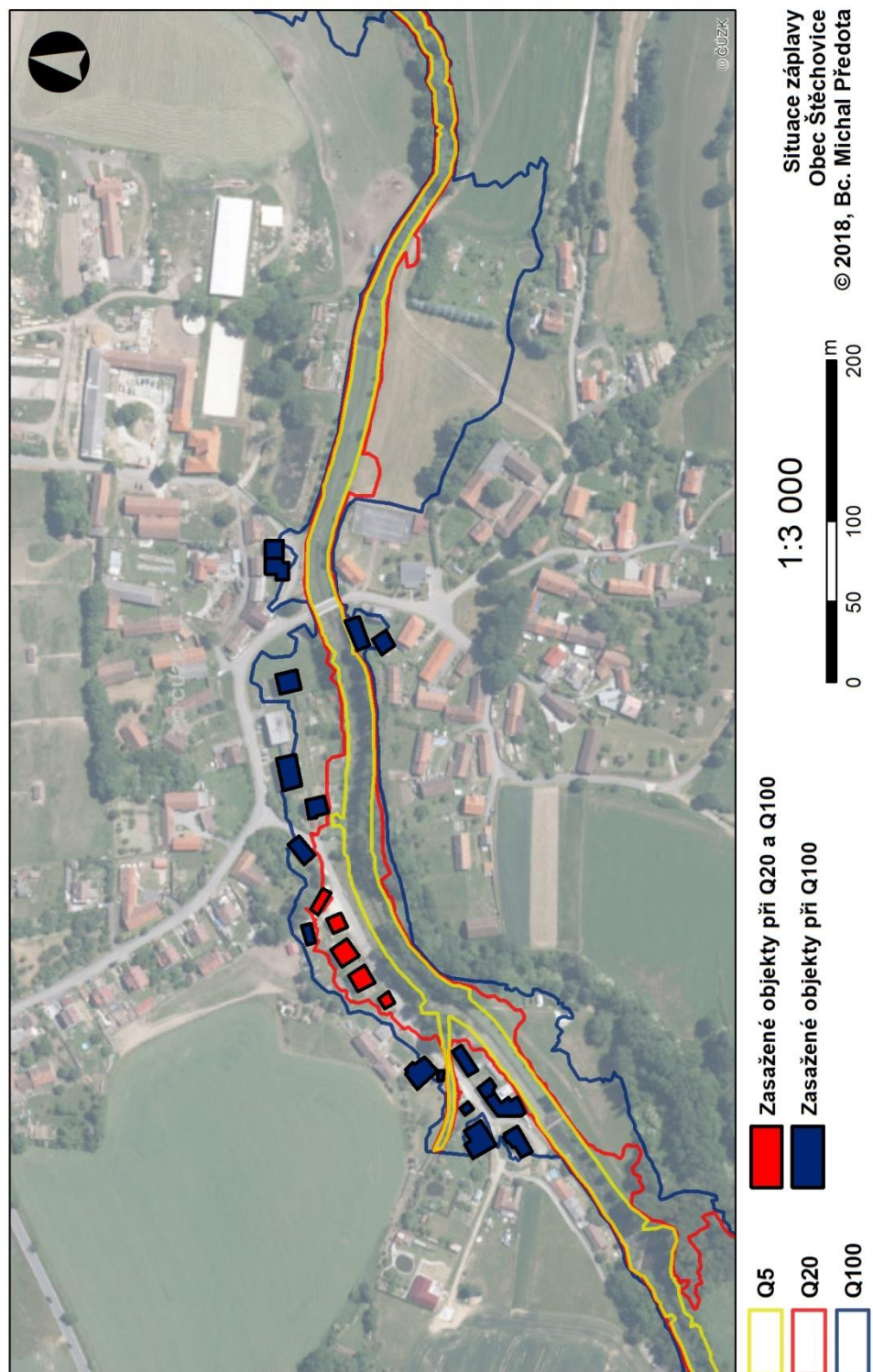
Q5
  Q20
  Q100
  Osa toku

1:8 000

Situace záplavy  
 List 3, ř.km 4,500 - 7,431  
 © 2018, Bc. Michal Předota

Příloha 5: Záplavové území pro průchod N-letých průtoků obcí Štěchovice s vyznačenými zasaženými objekty (autor)

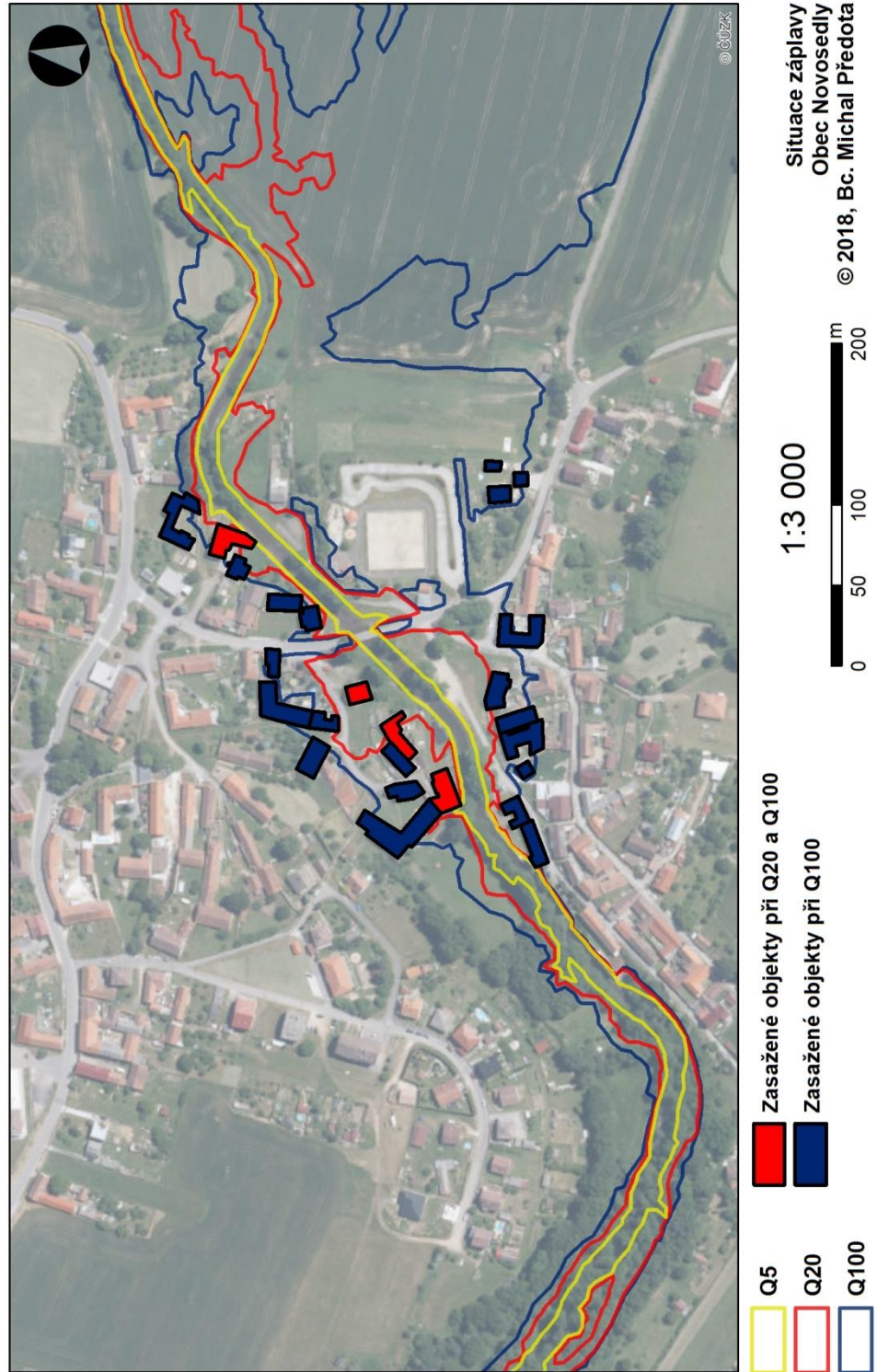
Záplavové území vodního toku Novosedelský potok  
obec Štěchovice





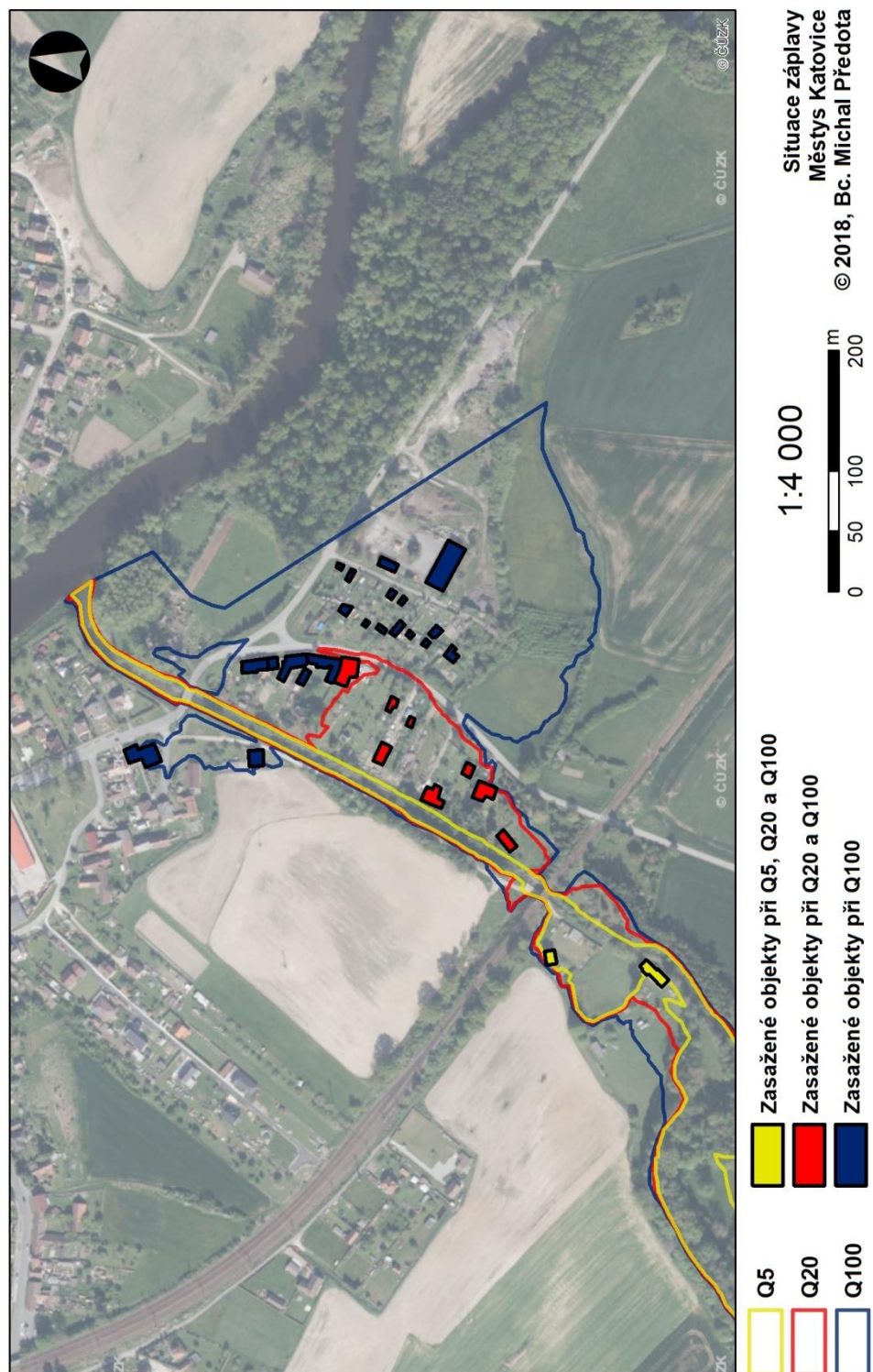
Příloha 6: Zápлавové území pro průchod N-letých průtoků obcí Novosedly s vyznačenými zasaženými objekty (autor)

Zápлавové území vodního toku Novosedelský potok  
obec Novosedly



Příloha 7: Zápлавové území pro průchod N-letých průtoků městysem Katovice s vyznačenými zasaženými objekty (autor)

Zápлавové území vodního toku Novosedelský potok  
městysem Katovice



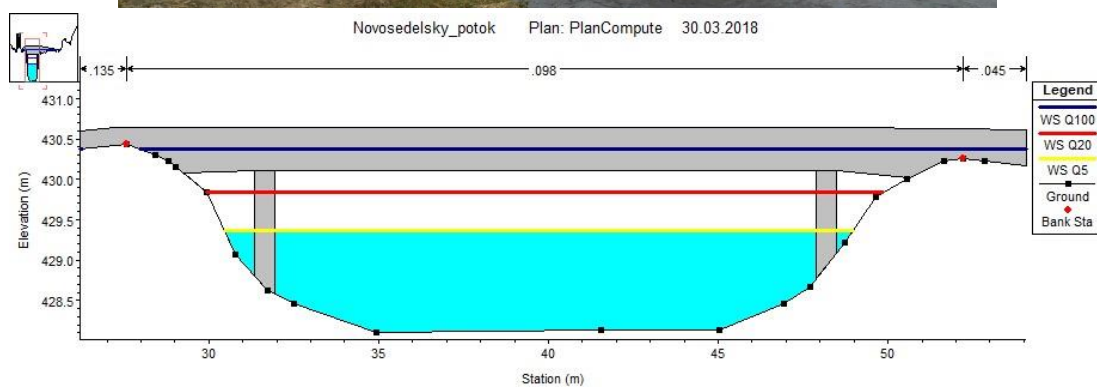


**Příloha 8: Vyhodnocení objektů na řešeném úseku toku Novosedelský potok**  
(autor)

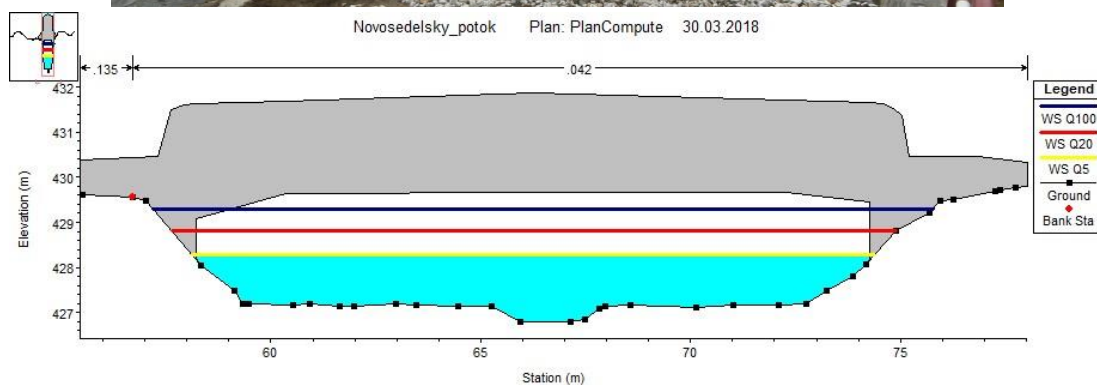
Kilometráž	Popis	Vyhodnocení	Doporučení
0,134	silniční most Katovice (plánovaný)	<i>neprůkazné</i>	realizace plánovaného zkapacitnění, zvýšená bdělost při povodňovém ohrožení, zajištění průtočnosti a kontrola před ucpáním
0,475	železniční most Katovice	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a náletové vegetace
1,003	brod Katovice	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
1,520	jez Močidla	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
1,818	kamenný stupeň Močidla	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
2,170	jez Na kněžské	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
2,736	jez Novosedly - Vápenice	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
3,158	stupeň Novosedly	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a náletové vegetace
3,390	silniční most Novosedly	<i>nevyhovuje</i>	zvýšení průtočné kapacity mostu pro průtok alespoň $Q_{20}$ , zajištění průtočnosti při vyhlášení povodňového stavu a kontrola před ucpáním
3,448	jez Novosedly	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a náletové vegetace
4,213	jez Novosedly - Hrobí	<i>nevyhovuje</i>	odstranění plevele a všech překážek na toku v blízkosti jezu
4,566	brod Novosedly	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
4,690	brod Pod babinou	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
4,994	brod Pastvíšťata	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a ostatních překážek na toku
6,461	silniční most Štěchovice	<i>rizikové</i>	zajištění průtočnosti a kontrola před ucpáním při vyhlášení povodňového stavu
6,727	brod Štěchovice	<i>vyhovuje</i>	pravidelná kontrola, odstraňování naplavenin a náletové vegetace
6,830	lávka Štěchovice	<i>nevyhovuje</i>	zvýšení průtočné kapacity lávky, zajištění průtočnosti a kontrola před ucpáním
6,923	jez Štěchovice	<i>nevyhovuje</i>	celková oprava jezu

**Příloha 9: Výška hladiny v mostních objektech – (A) lávka Štěchovice a (B) silniční most Štěchovice (autor)**

**A**

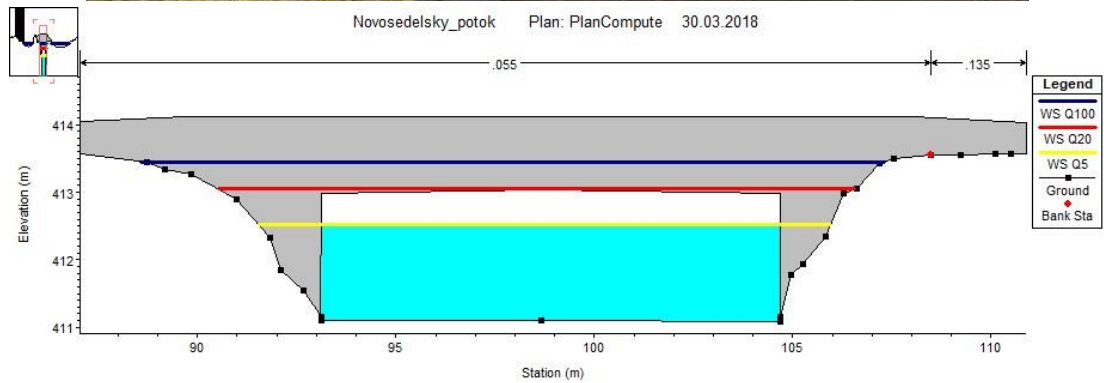


**B**

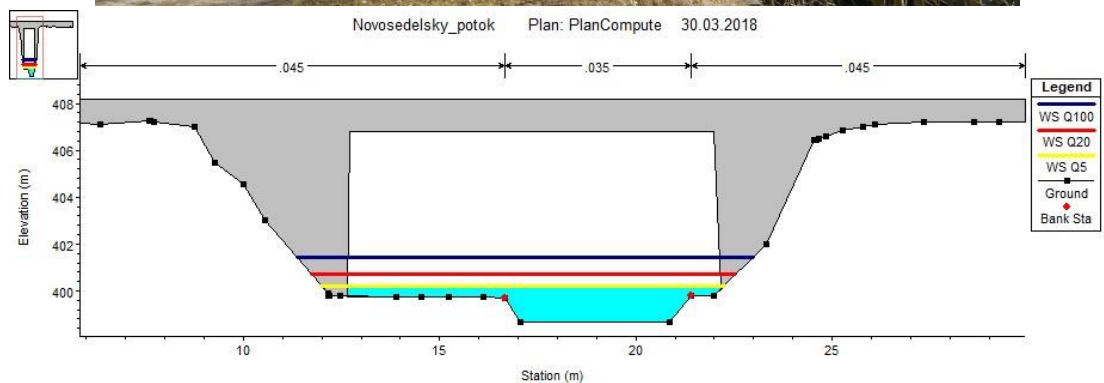


**Příloha 10: Výška hladiny v mostních objektech – (A) silniční most Novosedly a (B) železniční most Katovice (autor)**

**A**

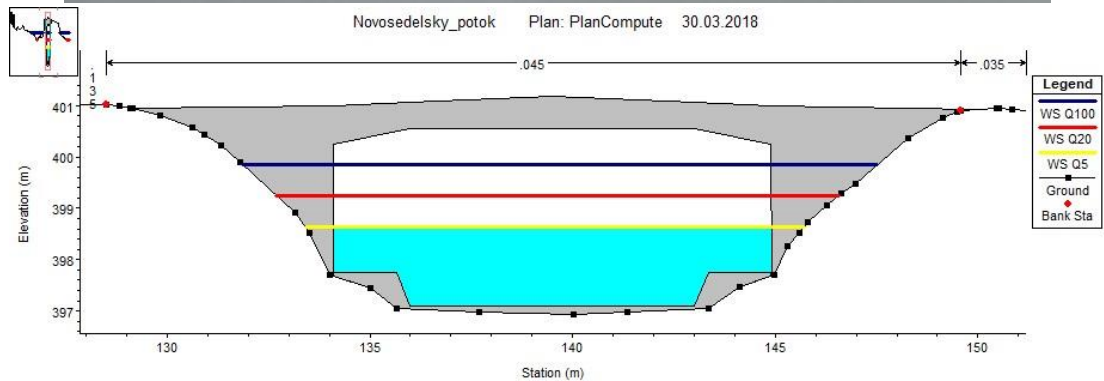
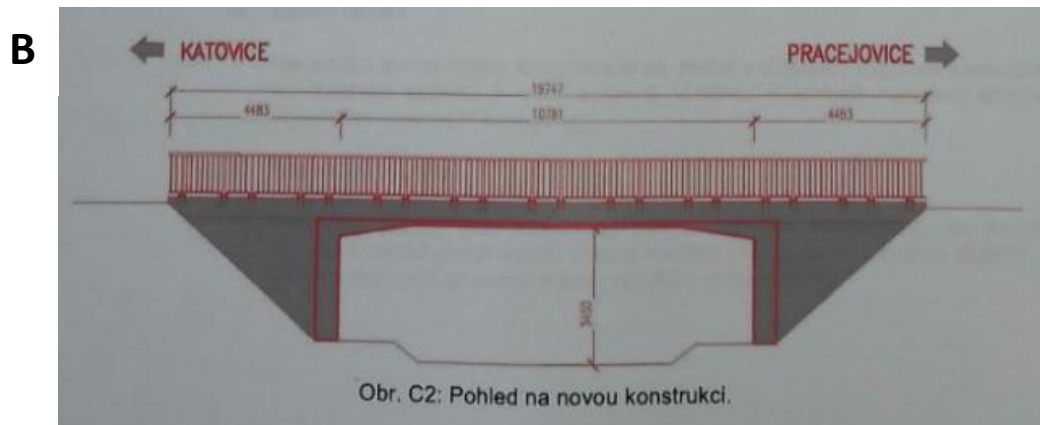
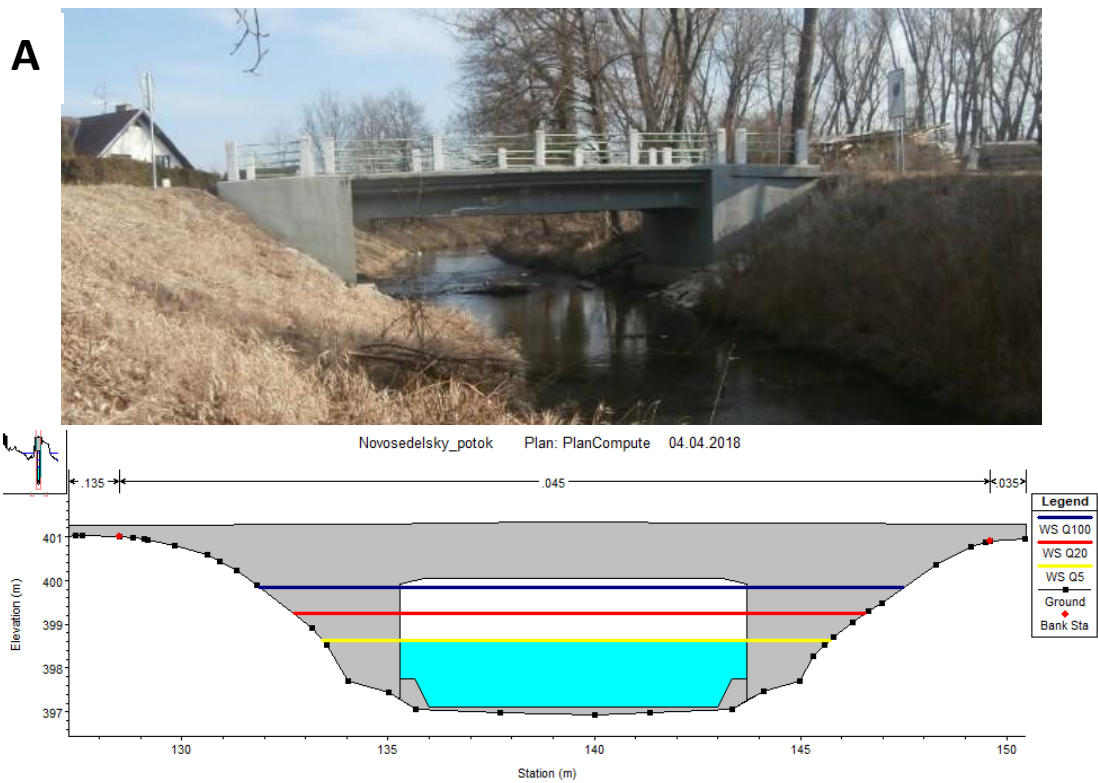


**B**





**Příloha 11: Výška hladiny v mostních objektech – (A) stávající podoba a (B) plánovaná rekonstrukce silničního mostu Katovice (autor; Němečková, 2017)**



**Příloha 12: Zvolené drsnosti pro různé typy koryta a inundačního území (autor; Chow, 1959)**

<b>Koryto</b>	<b>Drsnost</b>
<i>kamenitý brod</i>	0.028
<i>bez peřejí, nízká tráva</i>	0.033
<i>upravené kamenité koryto, nízká tráva</i>	0.035
<i>bez peřejí, nízká tráva, křoviny</i>	0.037
<i>napřímené, kamenný zához, nízká tráva</i>	0.039
<i>napřímené, kamenný zához, kamenné zdi</i>	0.042
<i>bez peřejí, vysoká tráva, křoviny</i>	0.043
<i>bez peřejí, vysoká tráva, stromy</i>	0.045
<i>malé peřeje, vysoká tráva</i>	0.046
<i>malé peřeje, s kameny, nízká tráva</i>	0.05
<i>malé peřeje, s kameny, vysoká tráva</i>	0.058
<i>malé peřeje, s kameny a tůněmi, nízká tráva</i>	0.062
<i>malé peřeje, s kameny a tůněmi, nízká tráva, křoviny</i>	0.07
<i>velmi zarostlé plevelem, s kameny a tůněmi</i>	0.085
<i>malé peřeje, s balvany a tůněmi, vysoká tráva, křoviny</i>	0.098

<b>Inundační území</b>	<b>Drsnost</b>
<i>louka, nízká tráva</i>	0.035
<i>nízká tráva, několik stromů</i>	0.04
<i>prašná cesta, několik stromů</i>	0.04
<i>louka, nízká tráva, několik stromů</i>	0.045
<i>orná půda</i>	0.045
<i>louka, vysoká tráva, několik stromů</i>	0.05
<i>orná půda, několik stromů</i>	0.055
<i>nízké křoviny, vysoká tráva</i>	0.06
<i>louka, řídký les</i>	0.06
<i>ulice, nízká tráva, domy bez plotů</i>	0.065
<i>louka, nízká tráva, propustné ploty</i>	0.065
<i>louka, křoviny, několik stromů</i>	0.07
<i>zástavba bez plotů</i>	0.07
<i>louka, několik stromů, propustné ploty</i>	0.075
<i>řídký les, nízké křoviny</i>	0.075
<i>řídký les, vysoké křoviny</i>	0.085
<i>hustý les bez křovin, voda po větve</i>	0.085
<i>hustý les bez křovin, voda nad větve</i>	0.095
<i>hustý les s křovinami, voda po větve</i>	0.095
<i>ulice, zástavba, nízká tráva, nepropustné ploty</i>	0.135
<i>zahrádkářská kolonie, nepropustné ploty</i>	0.165

**Příloha 13: Zvolené drsnosti pro různé typy koryta (autor; Chow, 1959)**



*kamenitý brod  
n = 0.028*



*bez peřejí, nízká tráva  
n = 0.033*



*upravené kamenité koryto, nízká tráva  
n = 0.035*



*bez peřejí, nízká tráva, křoviny  
n = 0.037*



*napřímené, kamenný zához, nízká tráva  
n = 0.039*



*napřímené, kamenný zához, kamenné zdi  
n = 0.042*



*bez peřejí, vysoká tráva, křoviny  
n = 0.043*



*bez peřejí, vysoká tráva, stromy  
n = 0.045*



*malé peřeje, vysoká tráva  
n = 0.046*



*malé peřeje, s kameny, nízká tráva  
n = 0.05*



*malé peřeje, s kameny, vysoká tráva  
n = 0.058*



*malé peřeje, kameny a tůně, nízká tráva  
n = 0.062*



*malé peřeje, s kameny a tůněmi, nízká  
tráva, křoviny  
n = 0.07*



*velmi zarostlé plevelem, s kameny a  
tůněmi  
n = 0.085*



*malé peřeje, s balvany a tůněmi, vysoká  
tráva, křoviny  
n = 0.098*



**Příloha 14: Zvolené drsnosti pro různé typy inundačního území (autor; Chow, 1959)**



*louka, nízká tráva  
n = 0.035*



*orná půda  
n = 0.045*



*orná půda, několik stromů  
n = 0.055*



*nízké křoviny, vysoká tráva  
n = 0.06*



*louka, několik stromů, propustné ploty  
n = 0.075*



*řidký les, nízké křoviny  
n = 0.075*



*řidký les, vysoké křoviny  
n = 0.085*



*hustý les bez křovin, voda po větve  
n = 0.085*



*hustý les bez křovin, voda nad větve  
n = 0.095*



*hustý les s křovinami, voda po větve  
n = 0.095*



*ulice, zástavba, nízká tráva, nepropustné ploty  
n = 0.135*

**Příloha 15: Objekty na vybraném úseku vodního toku Novosedelský potok,  
ř.km 0,000 - 2,500 (autor; Povodí Vltavy, s.p., 2015)**



***silniční most Katovice  
ř.km 0.134***



***železniční most Katovice  
ř.km 0.475***



***brod Katovice  
ř.km 1.003***



***jez Močidla  
ř.km 1.520***



***kamenný stupeň Močidla  
ř.km 1.818***



***jez Na Kněžské  
ř.km 2.170***



**Příloha 16: Objekty na vybraném úseku vodního toku Novosedelský potok,  
ř.km 2,500 – 4,600 (autor; Povodí Vltavy, s.p., 2015)**



**jez Novosedly - Vápenice  
ř.km 2.736**



**stupeň Novosedly  
ř.km 3.158**



**silniční most Novosedly  
ř.km 3.390**



**jez Novosedly  
ř.km 3.448**



**jez Novosedly - Hrobí  
ř.km 4.213**



**brod Novosedly  
ř.km 4.566**

**Příloha 17: Objekty na vybraném úseku vodního toku Novosedelský potok, ř.km 4,600 – 7,431 (autor; Povodí Vltavy, s.p., 2015)**



*brod Pod Babinou  
ř.km 4.690*



*brod Pastvičata  
ř.km 4.994*



*silniční most Štěchovice  
ř.km 6.461*



*brod Štěchovice  
ř.km 6.727*



*lávka Štěchovice  
ř.km 6.830*



*jez Štěchovice  
ř.km 6.928*



**Příloha 18: Neudržované koryto vodního toku Novosedelský potok – spadlé stromy, naplaveniny, uměle vytvořené přehrážky (autor)**

