

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



**HYDROTECHNICKÉ POSOUZENÍ ČÁSTI VODNÍHO TOKU DESNÁ A  
NAVRŽENÝCH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ V OKRESE ŠUMPERK**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Diplomant: Bc. Šárka Jílková

Praha 2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Šárka Jílková

Krajinné inženýrství

Regionální environmentální správa

Název práce

**Hydrotechnické posouzení části vodního toku Desná a navržených protipovodňových opatření v okrese Šumperk**

Název anglicky

**Hydrotechnical and flood protection assessment of the part of Desná river located in the Šumperk District**

---

### Cíle práce

Hydrotechnické posouzení stávajícího stavu a navržených protipovodňových opatření na části vodního toku Desná v okrese Šumperk v ř. km 14,247 – 14,674.

Pomocí hydrotechnického modelu bude posouzena dostatečnost navržených protipovodňových opatření.

Grafické vykreslení zátopových čar odpovídající průtokům s periodicitou opakování 1, 5 a 50 let pro stávající a navržený stav.

### Metodika

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Literární rešerše na téma povodňové problematiky a matematického modelování
4. Charakteristika zájmového území a vodního toku
5. Tvorba hydrodynamického modelu
6. Vyhodnocení výsledků
7. Diskuse a závěr
8. Seznam použité literatury

**Doporučený rozsah práce**

cca 60 stran

**Klíčová slova**

HEC-RAS, povodeň, průtok, příčný profil, opatření

---

**Doporučené zdroje informací**

- Brunner, Gary N., 2010: HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Online: [ftp://ftp.usace.army.mil/pub/iwr-hec-web/software/ras/documentation/HEC-RAS\\_4.1\\_Users\\_Manual.pdf](ftp://ftp.usace.army.mil/pub/iwr-hec-web/software/ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf).
- Warner J. C., Brunner G. w., Wolfe B. C. et Piper S. s. . 2010: HEC-RAS River Analysis System Applications Guide. Online: [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS\\_4.1\\_-\\_Applications\\_Guide.pdt](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.1_-_Applications_Guide.pdt)

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Radek Roub, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 10. 3. 2020

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

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2020

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou/závěrečnou práci na téma:

**„Hydrotechnické posouzení části vodního toku Desná a navržených protipovodňových opatření v okrese Šumperk“** vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla. Jsem si vědoma, že na moji diplomovou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 21. 04. 2020

.....

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Radku Roubovi, Ph.D., za odborné vedení práce. Zvláště pak děkuji slečně Bc. Adéle Žákové z Povodí Moravy s. p., Ing. Daliboru Rajnochovi z Povodí Odry s. p., Ing. Tomášovi Rothovi ze společnosti AQUATIS a. s. a panu Ing. Karlu Majkútovi ze společnosti OHL ŽS, a.s. za poskytnutí mnoha cenných informací. V neposlední řadě děkuji také všem svým blízkým, kteří mě po celou dobu mého studia podporovali.

## **Abstrakt**

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci pod názvem „Protipovodňová opatření ve svazku obcí údolí vodního toku Desná v okrese Šumperk“ a je zaměřená na zpracování hydrotechnického posouzení části výše zmíněného vodního toku a navrženého protipovodňového opatření. Následné zhodnocení se bude týkat zjištění, k jakému případnému rozlivu z koryta vodního toku dojde a zda po navrženém protipovodňovém opatření již inundační nebezpečí nehrozí. Posouzení odtokových poměrů bude provedeno pomocí hydrodynamického modelu, sestaveného v programu HEC-RAS 5.0.7., který bude spuštěn po zadání kompletní geometrie toku, N-letých průtoků a určení drsnosti koryta. Pomocí těchto dat bude možné provést výpočet, vykreslení záplavových čar pro průtoky  $Q_1$ ;  $Q_5$ ;  $Q_{50}$  a provést závěrečné vyhodnocení účinnosti všech protipovodňových opatření v předmětném úseku vodního toku Desná.

Podstatná část diplomové práce bude vycházet z literárních rešerší protipovodňových studií a generelů vypracovaných společnostmi Pöyry Environment, a.s., AQUATIS a.s. a Povodím Moravy s. p. od roku 1998 do roku 2018 na řece Desná a dále souvisejících projektových dokumentací k právě probíhající výstavbě protipovodňových opatření na řece Desná v říčním km 14,231 – 16,840. Další poznatky budou čerpány z odborné literatury zabývající se povodňovou problematikou, problematikou povodňové ochrany a hydrologického modelování.

## **Klíčová slova:**

HEC-RAS, povodeň, průtok, příčný profil, opatření

## **Abstract**

This diploma thesis is built on the bachelor thesis under the title “Flood control measures in the union of municipalities of watercourse valley of Desná in Šumperk district” and is focused on hydrotechnical and flood protection assessment of the part of Desná river located in the Šumperk District. Subsequent evaluation will relate to finding out what potential outflow will occur from the watercourse and whether there is no longer an inundation hazard after the proposed flood control measure. The assessment of runoff ratio will be carried out by using a hydrodynamic model, built in the HEC-RAS 5.0.7 program, which will be started after entering the complete flow geometry, N-years flows and determination of the river bed roughness. Using these data it will be possible to calculate, draw flood lines for flow rates ( $Q_1$ ;  $Q_5$ ;  $Q_{50}$ ;) and perform a final evaluation of the effected excavation in the mentioned section of the Desná watercourse.

A substantial part of the thesis will be based on literature reviews of flood studies and master plans prepared by Pořry Environment a.s., AQUATIS a.s. and Povodí Moravy s.p. from 1998 to 2018 on the Desná River and related project documentation for the ongoing construction of flood protection on the Desná River in the river km 14,231 – 16,840. Further knowledge will be drawn from specialized literature dealing with flood issues, flood protection issues and hydrological modeling.

## **Key words:**

HEC-RAS, flood, flow, cross section, measures

<b>1.</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>PROBLEMATIKA POVODNÍ.....</b>	<b>3</b>
3.1	Povodeň.....	3
3.2	Charakteristiky povodně.....	4
3.3	Druhy povodní.....	6
3.3.1	Letní povodně z krátkodobých přívalových dešťů.....	6
3.3.2	Letní povodně z regionálních dešťů .....	7
3.3.3	Zimní a jarní povodně z tání sněhu .....	8
3.3.4	Zimní a jarní povodně způsobené chodem ledu .....	9
3.3.5	Povodně způsobené specifickými příčinami .....	9
3.4	Faktory ovlivňující průběh povodně.....	10
3.5	Vodní eroze, plaveninový a splaveninový režim .....	13
3.6	Říční eroze.....	15
<b>4.</b>	<b>PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA.....</b>	<b>16</b>
4.1	Obecná charakteristika .....	16
4.2	Povodňové plány.....	17
4.3	Povodňové orgány .....	17
4.4	Stupně povodňové aktivity .....	18
4.5	Záplavová území.....	19
4.6	Území určená k rozlivům povodní .....	20
4.7	Revitalizace vodních toků.....	22
4.8	Přírodě blízká protipovodňová opatření .....	23
4.8.1	Hlavní pilíře při realizaci přírodě blízkých PPO.....	25
<b>5.</b>	<b>MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH PROCESŮ .....</b>	<b>28</b>
5.1	Charakteristika srážko-odtokových modelů .....	28
5.2	Klasifikace srážko-odtokových modelů.....	29
5.3	Dělení modelů dle účelu aplikace.....	30
5.4	Hodnocení dle typu systému a hydrologického procesu .....	30
5.5	Hodnocení dle stupně kauzality.....	31
5.6	Hodnocení dle míry časové a prostorové diskretizace.....	34
5.7	Charakteristika hydrodynamických modelů .....	35
5.8	Volba vhodného modelu.....	36
5.9	Charakteristika modelu HEC-RAS.....	38
<b>6.</b>	<b>CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ .....</b>	<b>40</b>
6.1	Základní charakteristika povodí řeky Desná.....	40



6.2	Biogeografická charakteristika.....	41
6.3	Geomorfologické a morfologické poměry .....	42
6.4	Horniny a reliéf.....	43
6.5	Geologické poměry .....	45
6.6	Klimatické poměry.....	46
6.7	Hydrologické a odtokové poměry .....	48
6.8	Hustota říční sítě.....	50
<b>7.</b>	<b>BLIŽŠÍ CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚSEKU .....</b>	<b>51</b>
7.1	Záplavové území řeky Desná v ř. km 0,00 – 37,090.....	51
7.2	Představení projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840 .....	53
7.3	I. ETAPA projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840 .....	54
7.3.1	Celkový zábor zemědělských pozemků v rámci I. ETAPY.....	55
7.4	II. ETAPA projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840 .....	55
7.4.1	Celkový zábor zemědělských pozemků v rámci II. ETAPY.....	56
<b>8.</b>	<b>METODIKA.....</b>	<b>57</b>
8.1	Rozsah řešeného území .....	57
8.2	Popis stavební objektů v řešeném úseku ř. km 14,247 – 14,674.....	58
<b>9.</b>	<b>POSTUP ZPRACOVÁNÍ.....</b>	<b>70</b>
9.1	Postup při vyhotovení hydrotechnického modelu .....	70
9.2	Založení nového projektu v HEC-RAS .....	70
9.3	Schematizace říční osy a zadání geometrie vodního toku.....	71
9.4	Zadání příčných profilů s navrženými objekty.....	71
9.5	Určení Manningova součinitele drsnosti .....	73
9.6	Zadání okrajových podmínek .....	74
9.7	Spuštění výpočtů.....	75
<b>10.</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>76</b>
10.1	Zobrazení výsledků v programu HEC-RAS .....	76
10.2	Zhodnocení výsledků a grafické znázornění.....	79
<b>11.</b>	<b>DISKUSE.....</b>	<b>85</b>
<b>12.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>87</b>
<b>13.</b>	<b>PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>89</b>
<b>14.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A VZORCŮ .....</b>	<b>97</b>
<b>15.</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>	<b>100</b>
<b>16.</b>	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>102</b>

## 1. ÚVOD

Tématem diplomové práce je hydrotechnické posouzení části vodního toku Desná v okrese Šumperk, které má čtenáře seznámit se smyslem realizace protipovodňových opatření po obou březích řeky Desná formou kombinací technických a přírodě blízkých protipovodňových opatření.

Téměř celá část zastavěného území v povodí řeky Desná nad Šumperkem je v současné době ohrožována inundovanými vodami z řeky Desná, a to především při vyšších N-letých průtocích, které ohrožují obyvatele prakticky v celé délce jejího toku, tedy i v předmětném úseku pod zaústěním řeky Merty až po lokalitu jezu Červený Dvůr. Území je nejen ohroženo vyššími stavy a průtoky vodních toků, ale velké riziko zde tvoří také přívalové srážky a dlouhodobě trvající deště, při nichž dochází k přesycení koryta (AQUATIS 2017).

Aktuálně se voda kvůli rovinaté morfologii terénu při dosažení povodňových průtoků rozlévá po obou březích daleko do zástavby, což má za následek výrazné povodňové škody, které nabyly katastrofických rozměrů zejména při povodni v roce 1997. Škody pouze na vodohospodářském majetku a korytě tu i při povodních v letech 2007 a 2010 dosáhly v souhrnu s tokem Hučivá Desná 37,6 milionů korun.

Obsah diplomové práce by měl poskytnout ucelené informace o právě probíhající výstavbě přírodě blízkých protipovodňových opatření a pokusit se čtenáři alespoň částečně přiblížit téma protipovodňové problematiky.

## **2. CÍLE PRÁCE**

Cílem diplomové práce je:

- Hydrotechnické posouzení stávajícího stavu a navržených protipovodňových opatření na části vodního toku Desná v okrese Šumperk v ř. km 14,247 – 14,674,
- Pomocí hydrotechnického modelu bude posouzena dostatečnost navržených protipovodňových opatření,
- Grafické vykreslení zátopových čar odpovídající průtokům s periodicitou opakování 1, 5 a 50 let pro stávající a navržený stav.

### 3. PROBLEMATIKA POVODNÍ

#### 3.1 Povodeň

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (dále jen „vodní zákon“) v § 64 definuje povodeň jako *„přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod“*.

Vodní zákon dále definuje tyto základní pojmy:

**Aktivní zóna záplavového území** – území v zastavěných částech obcí a v místech určených k zástavbě podle územních plánů, kterým při povodni protéká rozhodující část celkového průtoku a kde je bezprostředně ohrožován život, zdraví a majetek lidí.

**Nebezpečí povodně** – za nebezpečí povodně se považují situace zejména při:

- a) dosažení stanoveného limitu vodního stavu nebo průtoku ve vodním toku a jeho stoupající tendenci,
- b) déle trvajících vydatných dešťových srážkách, popřípadě prognóze nebezpečí intenzivních dešťových srážek, očekávaném náhlém tání, nebezpečném chodu ledů nebo při vzniku nebezpečných ledových zácp, nápěchů,
- c) vzniku mimořádné situace na vodním díle, kdy hrozí nebezpečí jeho poruchy.

**Povodňová opatření** – jsou přípravná opatření, opatření prováděná při nebezpečí povodně, za povodně a opatření prováděná po povodni.

**Povodňové riziko** – povodňovým rizikem se rozumí kombinace pravděpodobnosti výskytu povodní a jejich možných nepříznivých účinků na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost.

**Záplavová území** – administrativně určená území, která mohou být při výskytu přirozené povodně zaplavena vodou. Jejich rozsah je povinen stanovit na návrh správce vodního toku vodoprávní úřad. Tato území jsou stanovena vodoprávními úřady formou opatření obecné povahy. Způsob a rozsah těchto území je upravenou vyhláškou MŽP č. 79/2018 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace.

**Zvládání povodňových rizik** – soustředí se na zmírnění možných nepříznivých účinků povodní na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou

činnost, a pokud se to považuje za vhodné, na opatření nestavební povahy nebo na snížení pravděpodobnosti zaplavení.

Následky povodní jsou krizové situace, které bývají nečíska doprovázeny ztrátami na životech, velkými materiálními škodami a v neposlední řadě i poškozením krajiny. Povodním nelze zabránit, jsou způsobeny následkem meteorologických jevů, a tudíž musí být považovány za součást projevů životního prostředí a nedílnou součást koloběhu vody. Jejich nepravidelný výskyt velmi negativně ovlivňuje vnímání rizik, které sebou přinášejí, a značně ztěžuje systematickou realizaci preventivních opatření (Simon 2005).

Odhad povodňových škod se provádí pomocí průzkumu bezprostředně po povodni nebo sérii povodní. Šetření a jeho průběh bývá prováděn pokusy s následným vyhodnocením účinků ze všech zaznamenaných povodní. Průměrný roční odhad škod způsobených povodněmi je velmi důležitý v každém protipovodňovém programu, díky kterému můžeme vyhodnotit fakt, že stejné poškození, ke kterému došlo v minulosti, lze ve stejné nebo větší míře očekávat také v budoucnu. Na základě zaznamenání znatelného nárůstu povodňových škod je třeba si položit otázku, jaká opatření, jakého typu je třeba zvolit ke snížení škod (Ghosh 1997).

### 3.2 Charakteristiky povodně

Dle Konvičky (2001) lze povodně rozdělit do dvou základních skupin, a to dle jejich vzniku. Jedná se o povodně přirozené, způsobené přírodními vlivy a povodně umělé (zvláštní), kam patří například povodně způsobené protržením hrází vodních děl, poruchami na hydrotechnických stavbách nebo nečekané události vzniklé nouzovým stavem na vodohospodářských stavbách.

Červený a Lekeš (1984) uvádějí, že po výrazném vzestupu průtoku po určité době následuje jejich pokles. Dochází k vytvoření povodňové vlny, která vlivem charakteristiky příčného profilu udává její tvar, vrchol a objem. Tvar povodňové vlny ovlivňuje několik faktorů. Je to plocha povodí a jeho geologický podklad, výšková členitost, geomorfologický charakter říčního koryta a výška srážek spadlých na plochu povodí. Dalším významným faktorem je velikost postiženého území a nasycenost povodí.

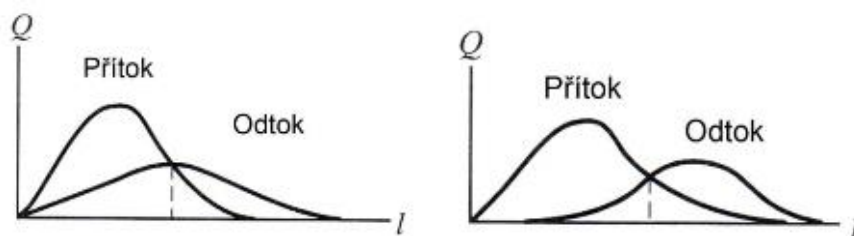
Průběh povodní ovlivňuje i celá řada přírodních a antropogenních faktorů. Chování povodí v různých ročních obdobích ovlivňuje velkou měrou také výpar a vegetační pokryv, a to i při rovnoměrných srážkových úhrnech. Významnou roli v intenzitě povodní hraje i horninové podloží a sklonové poměry v povodí, které výrazně

podmiňují rychlost odtoku vody. Samotný tvar povodí již dotváří vývoj povodně a její postup, střetávání a kulminace povodňových průtoků. Neustále ubývá toků s přirozeným režimem a přibývá toků ovlivněných zásahy technického charakteru. Těmito zásahy dochází k soustředění odtoků z povodí a rovněž ke zvyšování postupové rychlosti průchodu povodňové vlny, což může mít za následek střetávání kulminací a urychlení pohybu velké masy vody v hlavní části toku včetně jeho přítoků.

Neopomenutelný vliv na odtokové poměry z povodí mají rovněž jezové objekty s větším objemem, které ve většině případů nemají až tak podstatný vliv na snížení kulminace povodňové vlny, ale velmi výrazně mohou ovlivnit jejich postupovou rychlost (Čermák a kol. 1970).

Povodeň lze z pohledu vodohospodářských charakteristik popsat následujícími termíny a hodnotami:

**Povodňová vlna** je vlna, při které jsou dosaženy povodňové průtoky. Tato průtoková vlna je pak stav, při kterém dochází k přechodnému zvyšování a k následnému snižování průtoků (vodních stavů). Povodňovou vlnu charakterizují tyto veličiny: objem, kulminační průtok a tvar (doba vzestupu a poklesu).



Obrázek 1: Schéma povodňové vlny ve vodní nádrži (vlevo) a v toku (vpravo) (Bedient a kol. 2008).

**Kulminační průtok** je maximální průtok dosažený v daném profilu za průběhu průtokové vlny. Udává se v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a jeho významnost bývá hodnocena dle doby opakování, kdy doba opakování udává počet let ( $N$ ), v jejichž průběhu bude průtok dosažen nebo překročen v dlouhodobém průměru jednou. V takovém případě lze hovořit o tzv.  $N$ -letém průtoku ( $Q_N$ ).

Významnost  $N$ -letých průtoků lze stanovit na základě statistické analýzy při dlouhodobém časovém pozorování. Z toho plyne, že v časovém průběhu, ve kterém bude docházet k monitoringu, se bude prodlužovat i doba pozorování, což bude mít za následek změny hodnot  $N$ -letých průtoků. Čím častěji bude ve sledovaných úsecích docházet k výskytu extrémních průtoků, tím více se hodnoty kulminačních

průtoků budou měnit. N-letý průtok však nelze chápat tak, že k jeho výskytu dojde v průběhu plánovaného časového intervalu. Jeho výskyt je náhodný a může se stát, že k jeho opakování dojde i několikrát po dobu kratšího intervalu.

Je proto důležité si uvědomit, že N-letý průtok je stanoven jako průměrná hodnota vyplývající z dlouhodobého pozorování, a jeho hodnotu ovlivňuje mnoho faktorů, např. změny klimatu nebo změny způsobené aktuálním využíváním území (Gordon a kol. 2004).

Dle Červeného a Lekeše (1984) bývá frekvence výskytu kulminačních průtoků vyhodnocována, jako N-leté vody. Za maximální průtok N-leté povodně se označuje hodnota, která je překročena nebo dosažena v průměru jednou za N let.

**Objem povodňové vlny** charakterizuje celkové množství vody, které proteče daným profilem v průběhu trvání povodní (Gordon a kol. 2004).

### 3.3 Druhy povodní

Matějček a Hladný (1999) ve své publikaci uvádí, že lze rozlišit pět typů povodní dle příčiny vzniku, období a rozsahu zasaženého území. Toto rozdělení může být popsáno následujícím způsobem:

- letní povodně z krátkodobých přívalových dešťů,
- letní povodně z regionálních dešťů,
- zimní a jarní povodně z tání sněhu,
- zimní a jarní povodně způsobené chodem ledu,
- povodně způsobené specifickými příčinami.

#### 3.3.1 Letní povodně z krátkodobých přívalových dešťů

Tento typ povodně bývá označován lidovým názvem „blesková povodeň“. Důvodem tohoto označení je velmi rychlý časový průběh mezi spadlým objemem dešťové srážky a dosaženým vrcholem utvářejícího se povrchového odtoku z plochy zasaženého povodí. Tzv. „bleskovou povodní“ bývá území nejvíce zasaženo v období od druhé poloviny dubna do konce září a jsou způsobeny typickými bouřkovými a konvekčními dešťovými srážkami o velmi silné intenzitě lokálního charakteru. V extrémních případech spadne na území více jak 100 mm srážek za hodinu (neboli 100 l/m<sup>2</sup> za hodinu).

Velký problém následně nastává v urbanizovaných oblastech, kde kvůli prudkému nahromadění povrchového odtoku z dešťového přívalu nemá voda téměř žádnou

přirozenou možnost rozlivu a odvodňovací systém těchto oblastí není schopen takové množství vody v dané chvíli pojmout.

Přivalové deště tohoto typu jsou úzce spjaté se zvlněnou studenou frontou nebo oblasti labilního teplotního zvrstvení, bez nutné existence frontální oblačnosti. Nejvíce ohroženy jsou povodí malých toků kterékoliv oblasti České republiky, které bývají touto událostí nezdřídka zasaženy (Matějčec a Hladný 1999).

### 3.3.2 Letní povodně z regionálních dešťů

Jak již sám název napovídá, povodně vyskytující se v letním období mají za následek převážně regionální deště, které lze charakterizovat třemi parametry, a to průměrnou výškou, zasaženou plochou a dobou trvání. Tyto tři veličiny spolu velmi úzce souvisí a bývá pravidlem, že srážky spadající na rozlehlé oblasti se vyznačují menší intenzitou, na rozdíl od krátkodobých přivalových dešťů, které zasahují převážně malé plochy v území.

Vznik trvalých regionálních srážek, zasahujících území o velikosti tisíců, až stovek tisíců km<sup>2</sup> ovlivňují převážně atmosférické fronty, které se vyznačují mírnější intenzitou s rovnoměrnějším rozložením po celou dobu jejich trvání. Několikadenní deštivé počasí v regionálním měřítku má přímý důsledek na rozvodnění velkých toků, a pokud objem spadlých srážek za 24 hodin překročí určitý limit, výrazně narůstá riziko nebezpečí vzniku povodňové situace.

Limitní hodnota srážek pro povodňovou únosnost krajiny je ovšem velmi různorodá a má přímou závislost na tom, zda dešťové srážky padají do povodí nasyceného předešlými srážkami, nebo zda větší část jeho objemu spadne do prostředí povodí dostatečně nenasyčeného. Únosná hodnota povodňového objemu srážek pro území bývá také významně ovlivněna nadmořskou výškou povodí. V souvislosti s výškovou členitostí České republiky dochází převážně k rozsáhlejšímu zaplavení ploch povodí v jeho středních a dolních částech než v úsecích výše položených.

Ze statistik vyplývá, že průměrné délky doby trvání vydatných dešťů způsobujících regionální typ vodní v České republice se pohybují v řádech jednoho až tří dnů. V krajních extrémních případech však mohou mít i delší průběh, což dokládá pětidenní výskyt intenzivních srážek v červenci roku 1997. Při vytrvalých a vydatných srážkách na ploše celého území dochází k vytváření průtokových vln převážně v oblastech s menší schopností koncentrace odtoků.



Povodně v regionálním měřítku z pravidla doprovázejí rozsáhlé záplavy, které mohou dosáhnout rozlivů v řádu několika kilometrů. Výskyt těchto plošných záplav lze pozorovat v přilehlých oblastech povodí středního Labe, dolní Ohře, střední a dolní Moravy a dolní Dyje. Bývají-li taková inundační území osídlena či jinak hospodářsky využívána, škody způsobené zaplavením těchto oblastí bývají velmi vysoké (Matějček a Hladný 1999).

### 3.3.3 Zimní a jarní povodně z tání sněhu

Povodňové situace vznikající v zimním nebo jarním období mají přímou souvislost s odtáváním sněhové pokrývky v horských oblastech a mohou být výrazně podpořeny dešťovými srážkami. Samotné tání sněhu ale ve většině případů na našich tocích rozvodnění nezpůsobuje.

Aby teplota sněhové pokrývky dosáhla hodnoty nad 0 °C je zapotřebí notné dávky tepelné energie ve formě slunečního záření v kombinaci s teplotou vzduchu, větrem a dešťovými srážkami. Dojde-li vlivem nástupu meteorologické situace k intenzivnímu nebo kombinovanému působení některého z výše uvedených faktorů ovlivňujících tání, závisí především na výškovém sloupci sněhové vrstvy, podílu vody ve sněhové vrstvě, zámrazu půdy, nadmořské výšce a expozici povodí. Všechny tyto faktory se vznikem povodňové situace velmi úzce souvisí.

Největší nebezpečí hrozí při náhlých vpádech teplého vzduchu doprovázených vydatným deštěm o delší intenzitě, kdy se do procesu tání postupně zapojují všechny výškové oblasti horských úseků. Jelikož se v těchto lokalitách vyskytuje mnohem větší objem sněhové pokrývky než v níže položených oblastech, může docházet k tvorbě zvýšeného odtoku, který má za následek rychlé stoupání hladin vodních toků v podhorských oblastech a zvýšení rizika objemu povodňové vlny.

Povodňové vlny vzniklé právě v důsledku jarního tání zpravidla dosahují největšího objemu v roce a vyznačují se dlouhou dobou trvání. Vzestup průtoků má pozvolnější charakter než u povodňových situací způsobených letními dešti, jelikož i velmi rychlou formu tání lze přirovnat k účinkům dešťových srážek mírné intenzity. Výjimkou však mohou být povodňové situace způsobené prouděním velmi teplého vzduchu se současným výskytem intenzivních dešťových srážek (Matějček a Hladný 1999).

### 3.3.4 Zimní a jarní povodně způsobené chodem ledu

Typickým rysem povodně způsobené vlivem ledových projevů na tocích lze označit zmenšenou průtočnost koryta, díky čemuž dochází ke vzestupu hladiny na povodňovou úroveň. K výskytu těchto situací dochází obvykle tehdy, jakmile dojde k poklesu maximální denní teploty pod 0 °C. V těchto podmínkách vznikají ve vodě ledové krystalky formující se do větších struktur, čímž při dlouhotrvajících mrazech dochází i v tekoucích vodách k tvorbě zapouzdřených ledových celin vytvářejících se pozvolně směrem od břehů k hlavní proudnici.

K jejich narušení, rozpořybování či k definitivnímu uvolnění z koryta dochází při oblevových stavech a jejich rychlost může být umocněna vydatnými dešti. K tříštění ledové krusty zpravidla nejdříve dochází v úsecích vodního toku, kde je vlivem prudšího proudu či vyšší teploty vody ledová krusta nejslabší. Pozvolnému odchodu takto vytvořených ledových bloků brání především plochy s nenarušeným ledovým příkrovem. Rozpořybované kusy ledových bloků se na mělkých místech, v meandrech či zúžených průtočných profilech mohou na sebe nasouvat, kupit se, popřípadě vytvářet ledové zácpy narůstající pozvolně jak do výšky, tak i do délky.

Dojde-li k jejich prolomení, vzniknou nové, zpravidla ještě objemově větší ledové bloky a průběh se opakuje až do finální fáze nakupení ledových bloků v dolní části toku. Vzniklá situace je nebezpečná tím, že průtok, který lze za normálních průtočných poměrů označit za zcela neškodný, se po nahromadění ledových ker za určitých podmínek stává nebezpečný a může být schopen způsobit záplavy v rozsahu nezdřídka většího, než je běžná hodnota průtoku opakujícího se v průměru jednou za sto let.

Historická fakta dokazují, že hodnoty nejvyšších povodňových hladin byly dosaženy právě v období výskytu ledového typu povodňových událostí (Matějček a Hladný 1999).

### 3.3.5 Povodně způsobené specifickými příčinami

Výskyt povodní způsobených specifickými příčinami ovlivňuje celá řada faktorů. Obvyklou komplikací bývají situace způsobené zmenšenou kapacitou průtočného profilu koryta, což vede k rychlému stoupání vodní hladiny do úrovně povodňového stavu. Výše uvedený stav ovlivňují například níže uvedené okolnosti:

- neočekávané události způsobující přehrazení toku v důsledku sesuvů půdy (dochází k podemletí paty svahů v důsledku boční eroze v závislosti na síle

- vodního proudu a celkovému nasycení přilehlých svahů vlivem srážkových událostí),
- povodňové stavy vzniklé následkem vzduť vodní hladiny v dolních částech přítoků, které jsou přímo závislé na rozvodněném hlavním toku (tento typ záplav lze definovat také jako „záplavy ze zpětného vzduť“),
  - přívaly splaveninových nánosů vzniklé v důsledku intenzivních srážek či táním sněhu na nezalesněných částech svahů horských oblastí, kdy následkem síly pohybové energie odtokového ronů dochází postupně ke strhávání částic zvětralé horniny do rozpohybovaného vodního proudu, přičemž vzniklá směs vody, bahna, štěrku a kameniva následně cestou do údolí ničí vše, co jí stojí v cestě (tento povodňový stav je možno definovat jako „povodně splaveninové“),
  - záplavy vzniklé v důsledku extrémně silných poryvů větru (vichřice aj.), kdy dochází k vytvoření vysokých vln, které jsou následkem silných větrů vehnány do pobřežních pásem větších jezer či nádrží (takové formy záplav označujeme termínem „záplavy z větrných vln“),
  - povodňové události vzniklé porušením nebo protržením koruny hráze vodní nádrže či rybníku (Matějček a Hladný 1999).

### 3.4 Faktory ovlivňující průběh povodně

Za jeden z klíčových faktorů ovlivňující tvorbu odtoku vody v povodí lze označit množství atmosférických srážek a intenzita srážkové události, kterou je povodí zasaženo. Intenzitu srážky je možné vypočítat jako podíl množství srážek k délce trvání konkrétní srážky a bývá vyjádřena v  $\text{mm}\cdot\text{hod}^{-1}$ . Velmi důležitou roli hraje rovněž prostorové a časové rozložení srážky v rámci povodí. Čím je vyšší úhrn a intenzita, tím vzniká vyšší riziko výskytu povodně s devastujícími účinky.

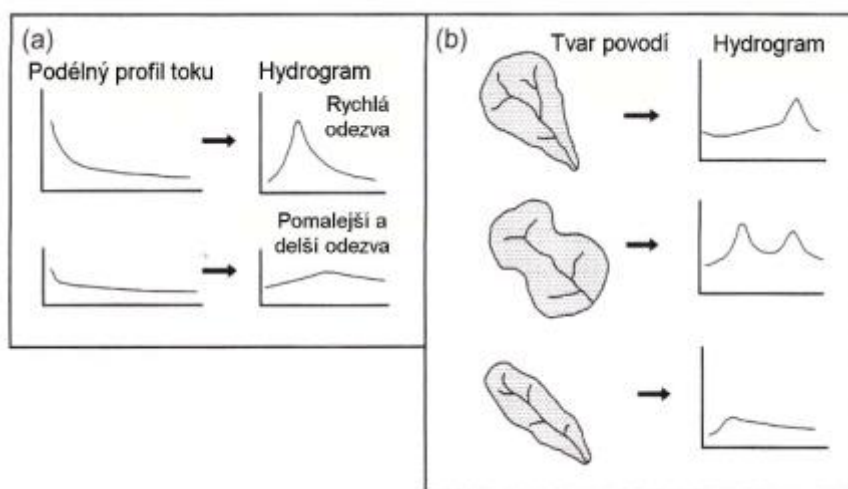
Neméně významným klimatickým faktorem, který velmi významně ovlivňuje odtok je evaporace (výpar z vodní hladiny, z povrchu rostlin, či půdy) a dále transpirace (dýchání rostlin). Tyto dva faktory se často sdružují, čímž dochází k tzv. evapotranspiraci, která udává celkový výpar z půdy a rostlinného pokryvu. Ke klíčovým faktorům, ovlivňujícím evaporaci a evapotranspiraci patří např. teplota vzduchu a půdy, druh a kvalita vegetačního pokryvu, či úroveň nasycení půdního profilu. Evaporaci lze tedy z pohledu tvorby povrchového odtoku označit za žádoucí ztrátu, která při protipovodňové ochraně hraje významnou roli, a proto je důležité, aby její hodnota byla dostatečně vysoká. S ohledem na dobu trvání a intenzitu srážky však výpar při vzniku povodňové události nezastupuje tak významnou roli. Jeho role je ale nepostradatelná při celkové bilanci, zejména v obdobích sucha.

K dalším klíčovým faktorům, které ovlivňují jak rozložení, tak intenzitu srážek a vznik povrchového odtoku jsou fyzikálně geografické poměry v povodí. Zde můžeme vyjmenovat: sklonitost svahů a jejich expozice (orientace oproti světovým stranám), tvar povodí a údolní nivy, geologické poměry (které úzce souvisí s poměry pedologickými), dále vegetační pokryv, stávající využití území a typ hydrografické sítě (tvar, hustota říční sítě, sklon, upravenost toků a výskyt vodohospodářských staveb ovlivňujících transformaci povodňové vlny) (STRIMA © 2020).

Gordon a kol. (2004) uvádí, že tvar povodí a jeho podélný sklon má velmi významný vliv na grafickém znázornění průtokové vlny neboli hydrogramu. Na základě jeho křivky je možné vykreslit výši průtoku uzávěrovým profilem koryta v souvislosti s časem zobrazujícím průběh povodně.

Hydrogram charakterizující horské toky (obrázek 2, a) nahoře) je znázorněn úzkou základnou, přičemž doba vzestupu vlny je jen o málo kratší než doba poklesu. Důvodem je strmý podélný sklon povodí, kdy nedochází k zadržení vody v území a voda rychle odtéká. Tvar vlny má v podstatě podobu trojúhelníku.

Hydrogram zobrazující nížinné toky (obrázek 2, a) dole) udává širokou základnu, kdy křivka poklesu při srovnání se vzestupovou křivkou znázorňuje mnohem delší trvání. Je tedy na první pohled patrné, že celková odezva je zde mnohem delší než u horských toků, objem povodňové vlny je déle zadržen, pomaleji odchází a je více rozprostřen v čase. Rovněž kulminační průtok dosahuje menších hodnot. Tvar povodí a hydrografické sítě vymezuje, zda se jedná o hydrogram jednoduchého tvaru (obrázek 2, b) nahoře), který charakterizuje vějířovité povodí, nebo hydrogram složitějších tvarů skládající se například z několika průtokových špiček (povodí uvedené na obrázku 2, b) uprostřed).



Obrázek 2: Vliv podélného profilu toku (a) a tvaru povodí (b) na tvar průtokové vlny (Gordon a kol. 2004).

Velmi významným faktorem, který ovlivňuje velikost, tvorbu a rychlost odtoku lze označit způsob využití území a půdní vlastnosti. Odtok ze zpevněných ploch např. ze silnic, vydlážděných ploch, plochých střech a dalších antropogenizovaných ploch bude mnohem vyšší a rychlejší než odtok z ploch uměle nezpevněných např. z keřových či travních porostů, nebo ze zemědělské půdy.

Avšak z pohledu zemědělsky využívaného území bude mít na tvorbu povrchového odtoku velký vliv druh vyseté plodiny, její vegetační stádium a v neposlední řadě také způsob obhospodařování pozemku. Obecně lze konstatovat, že čím je větší listová plocha a kořenový systém použité plodiny v daném čase, tím nižší je hodnota povrchového odtoku z lokality. Pro příklad je možno uvést širokořádkovou plodinu – kukuřici, kde bude docházet k velmi rychlému odtoku brzy po začátku srážky. Oproti tomu odtok ze vzrostlého porostu např. vojtěšky bude minimální, a to i při vysoké dešťové intenzitě.

Neméně důležitou a velmi významnou roli hraje rovněž kvalita půdy a její propustnost. Odtoky z půd nepropustných (jílovitých, ulehlých) budou v porovnání s odtokem z půd hlinitopísčitých či písčitých mnohem vyšší. Retenční kapacita půd tedy zcela zásadně ovlivňuje tvorbu a velikost povrchového odtoku (STRIMA © 2020).

Dle Pokorného (1998) průběh povodní z velké míry ovlivňuje odvodnění pozemků (polí, luk, lesů), čímž se zrychlil rozklad organických látek v půdě a následně snížila schopnost půdy vázat vodu. Vlivem technických opatření v podobě vybetonování malých struh a potoků dochází k urychlování odtoku vody odváděné z velkých ploch z horních částí povodí a zamezuje přirozený rozliv vody do údolních niv, ve kterých ještě nedocházelo ke způsobování škod.

Důvody záplav tedy jasně ovlivňuje: nízká sorpční schopnost půdy následkem rozkladu organických látek, likvidace trvalých porostů lesních i drnových, které dokáží s velkou kapacitou vázat vodu, utužení půdy, zahloubení malých toků, přičemž dochází ke snížení retence v horních částech povodí, a v neposlední řadě i likvidace malých záplavových území v horních částech povodí.

Krešl (1997) zmiňuje, že na zvýšený odtok v povodí má velký vliv i odlesnění. Zpomalení snížení odtoku vody je závislé na velikosti infiltrace a propustnosti půdy. Pod smíšeným a listnatým porostem dochází k vytváření hydrologicky příznivějších forem humusu, než je tomu pod jehličnatými porosty, zejména smrkovými monokulturami. Ambros (1998) uvádí, že kapacita zachycení deště lesem je však

také limitovaná. Tento příznivý vliv lesů se v důsledku snížení nebo zpomalení odtoku projevuje většinou u krátkodobých intenzivních dešťů.

Kasprzak a Hejduk (1997) ve své publikaci popisují, že na vzniku lokálních povodní z krátkodobých intenzivních dešťů se může značnou měrou podílet i zemědělská půda. Z pohledu tvorby povrchového odtoku představují však největší nebezpečí holé půdy připravené k osetí, které bývají nejčastější příčinou vzniku lokálních povodní s devastujícími následky.

Důvody záplav lze tedy heslovitě shrnout: nízká sorpční schopnost půdy následkem rozkladu organických látek, utužení půdy, likvidace trvalých porostů lesních i drnových s vysokou kapacitou vázat vodu, zahloubení i malých toků a tím snížená retence horních částí povodí, likvidace malých záplavových území v horních částech povodí (Pokorný 1998).

### 3.5 Vodní eroze, plaveninový a splaveninový režim

Z metodického pohledu je možné rozeznávat mnoho druhů eroze dle různých kritérií a to např. dle časového hlediska (historická, současná), dále dle intenzity (normální, zrychlená) nebo podle příčiny (vodní, větrná, ledovcová, sněhová, zemní a antropogenní).

V lokalitách povodňových výskytů bývá pozornost věnována výhradně vodní erozi, která v našich podmínkách představuje největší podíl veškerých erozních jevů. Za druhý nejvýznamnější typ bývá označována eroze větrná, která ovšem nemá přímou vazbu na nakládání s vodou ani na síť vodních toků.

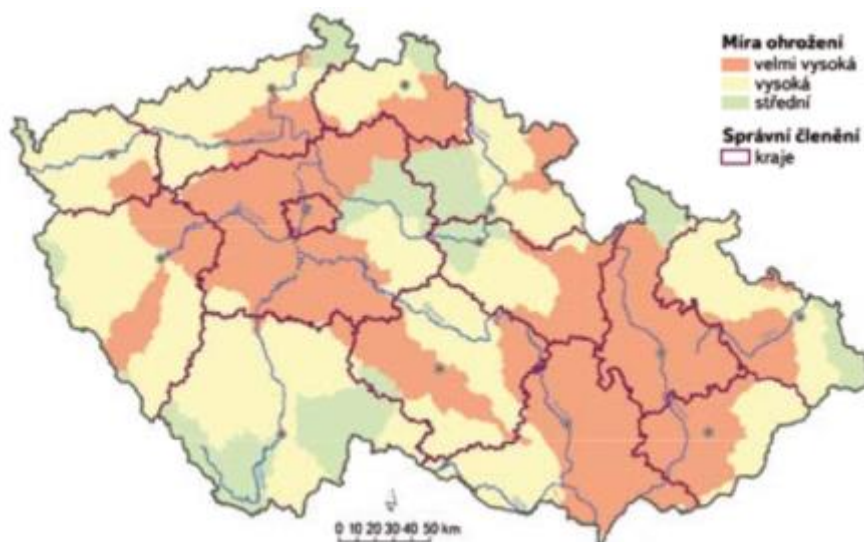
Vodní erozi je dále možné rozlišit na povrchovou, a to sice způsobenou buď tekoucí vodou (srážková, říční, bystřinná, závlahová), vodou stojatou (jezerní, mořskou) nebo podzemní (vnitropůdní, tunelová).

Povrchová vodní eroze se vyskytuje v řadě forem a lze ji členit na:

- plošnou (areální), kdy dochází k rovnoměrnému smyvu půdy na celé ploše,
- rýhovou (lineární), kdy se povrchový plošný ron začíná soustřeďovat a vytvářet linie o různých tvarech a velikostí (rýhy, výmoly, strže),
- mnohotvarovou (polymorfní), která vzniká za současného působení dalších faktorů, např. destrukčních jevů, ochranných vlivů vegetačního pokryvu, působením zvěře, člověka atd.

Příčinou vodní eroze dochází nejen ke snižování vrstvy ornice v půdách, ale i k celkovému zhoršení jejich fyzikálních a chemických vlastností s přímou

vazbou na zhoršení vodního režimu. Vlivem smyvu půdy se do vodních toků spolu s půdními částicemi dostávají i živiny, které podporují růst nežádoucích mikroorganismů, např. sinic. V současné chvíli se odhaduje, že na území České republiky je následkem vodní eroze ohrožena cca 1/3 výměry celkové zemědělské půdy (Povodí Moravy 2009).



Obrázek 3: Kategorizace území ČR podle míry ohrožení povodněmi a erozí (VTEI © 2016).

Splaveninový režim je zcela přirozenou a nezbytnou součástí každého vodního toku. Unášení splavenin neboli tuhých částic přemísťovaných vodou má velmi významný podíl na spotřebovávání energie vodního toku. Jakákoliv umělá omezení tohoto režimu může vést k poruchám koryta, např. jeho nežádoucímu a nadměrnému vymílání.

Průtokový a splaveninový režim vodního toku může být ovlivněn různou škálou faktorů. K těm nejvýznamnějším patří:

- nevhodně zvolená forma zemědělského hospodaření v plochách povodí,
- nadměrné omezování průtoků v důsledku nepřiměřeně velkých odběrů vody,
- nadměrné odběry vody potřebné k provozování postranních vodních elektráren, nezajišťování potřebných průtoků v korytech vodních toků,
- špičkové vypouštění vody z nádrží či jezových zdrží,
- omezování vzniku a pohybu splavenin vlivem existence technických a stabilizačních úprav koryt v povodí, výstavbou přehrázek, stupňů, jezů či nádrží (Just 2012).

### 3.6 Říční eroze

Následkem říční eroze (hloubková, boční) dochází k nestabilitě koryt vodních toků, což bývá velkým problémem v hustě osídlených oblastech. Důvodem zásahů do morfologie koryt vodních toků nebývá vždy jen potřeba ochrany okolního území před zaplavením, ale především nutnost zajistit potřebnou stabilitu území před erozí. V oblastech povodí vodních toků je sledování splaveninového režimu součástí péče o stabilitu toků a je soustavně prováděno již po dlouhou dobu.

Rovněž lze říci, že tento monitoring je i základním východiskem pro koncepci většiny návrhů na úpravu odtokových poměrů v území, a to nejen protierozních opatření, ale globální ochrany před povodněmi jako celku. Při návrzích revitalizací vodních toků do původního stavu, je nutno pečlivě zvažovat, zda tímto zásahem nemůže dojít k oslabení současného stabilizovaného stavu ve prospěch znovuoživení říční eroze (Povodí Moravy 2009).

Říční erozi lze rozdělit na následující typy:

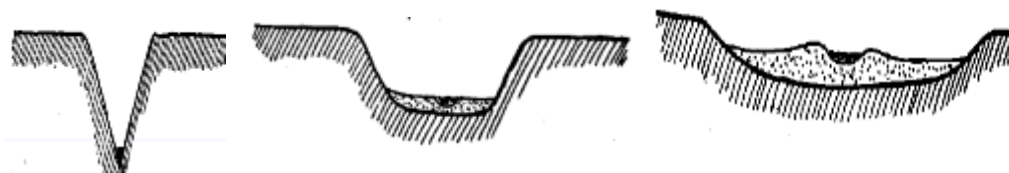
- **eroze hloubková** – vzniká v důsledku nevyrovnané spádové křivky,
- **eroze zpětná** – je následkem intenzivní hloubkové eroze v pramenním úseku,
- **eroze boční** – dochází při ní ke vzniku meandrů.

Dále lze říční erozi rozdělit dle místa jejího vzniku na erozi v horní části toku, erozi ve střední části toku a erozi v dolní části toku.

Při *erozi v horní části toku* převážně převládá hloubková a zpětná eroze. Tvar příčného profilu toku bývá z pravidla ve tvaru „V“.

*Eroze ve střední části toku* má za následek tvorbu převážně hloubkové a boční eroze, kdy údolní profil lze charakterizovat neckovitým tvarem. Dochází tak k tvorbě zakleslých meandrů a okrouhlíků.

Posledním erozním činitelem je *eroze v dolní části toku*, kde dochází k velkým průtokům s mírným spádem. Nejohroženější jsou tak široká plochá údolí zahloubená ve vlastních sedimentech (volné meandry, mrtvá ramena).



Obrázek 4: Vlevo: příčný tvar typu „V“; uprostřed: údolí neckovitého tvaru; vpravo: údolí dolního části toku (Povodí Moravy 2009).



## 4. PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA

### 4.1 Obecná charakteristika

Povodně představují v České republice nejčastější příčiny krizových situací a materiálních škod v důsledku živelných pohrom. Je potřeba si uvědomit, že globální ochrana proti těmto jevům je nereálná a protipovodňová opatření je nutno považovat spíše za nástroj ke snižování jejich důsledků na co nejmenší možnou přijatelnou míru, a to obzvláště tehdy, pokud je jimi postihováno urbanizované území. Rámcové cíle ochrany před povodněmi vytyčují plány hlavních povodí ČR a zaměřují se na sledování legislativních a ekonomických nástrojů, přípravu povodňových plánů, zdokonalování podkladů, finanční a pojišťovací politiky či podporu aktivit nejen v záplavových územích, ale i v oblasti mezinárodní spolupráce a ostatních aktivit dlouhodobé povahy. Zde můžeme hovořit převážně o způsobu hospodaření na lesních pozemcích a zemědělské půdě, zlepšení vlastností retenční schopnosti území či ovlivňování vodního režimu v krajině.

Neopomenutelnou součástí celkového konceptu jsou také technická opatření, která pozitivně napomáhají zlepšit kapacity koryt vodních toků a zajistit potřebné retenční objemy pro převedení povodňových vln. Velmi důležitou roli hraje správné nastavení stupně ochrany před povodněmi (Povodí Moravy 2009).

Chráněné území dle charakteru	Míra ochrany
Historická centra měst, historická zástavba, provozy používající při výrobě nebezpečné látky	Q <sub>100</sub>
Suvislá zástavba, průmyslový areál, významné liniové stavby a objekty	Q <sub>50</sub>
Rozptýlená bytová a průmyslová zástavba a souvislá chatová zástavba	Q <sub>20</sub>
Plochy s významnými stavbami infrastruktury (dálnice, významné produktovody, vodní zdroje, ČOV)	Q <sub>50</sub> až Q <sub>100</sub>

Tabulka 1: Doporučená míra ochrany pro zastavěná a ostatní území (Povodí Moravy 2009) upravila Jílková (2020).

Výše uvedený přístup při určování stupně ochrany musí vždy zohledňovat konkrétní podmínky v lokalitě, která má být před povodněmi primárně chráněná. Stanovená kritéria pro odvození stupně protipovodňové ochrany je třeba provádět s přihlédnutím k:

- počtu obyvatel žijících v zaplavovaném území,
- hodnotě majetku na daném území a výši škod při povodňové události,
- umístění klíčových infrastrukturních a jinak důležitých staveb, jejichž chod je pro širší území nepostradatelný (silnice, železnice, rozvodny),
- výšce záplavy a rychlosti proudění vody.

## 4.2 Povodňové plány

Vodní zákon v § 64 charakterizuje povodňové plány jako dokumenty, které obsahují způsob zajištění včasných a spolehlivých informací o vývoji povodně, možnosti ovlivnění odtokového režimu, organizaci a přípravu zabezpečovacích prací; dále obsahují způsob zajištění včasné aktivizace povodňových orgánů, zabezpečení hlásné a hlídkové služby a ochrany objektů, přípravy a organizace záchranných prací a zajištění povodní narušených základních funkcí v objektech a v území a stanovené směrodatné limity stupňů povodňové aktivity.

Povodňovými plány územních celků jsou:

- povodňové plány obcí, které zpracovávají orgány obcí, v jejichž územních obvodech může dojít k povodni,
- povodňové plány správních obvodů obcí s rozšířenou působností, které zpracovávají obce s rozšířenou působností,
- povodňové plány správních obvodů krajů, které zpracovávají příslušné orgány krajů v přenesené působnosti ve spolupráci se správcem povodí,
- Povodňový plán České republiky, který zpracovává Ministerstvo životního prostředí.

## 4.3 Povodňové orgány

Dle § 64 vodního zákona řízení ochrany před povodněmi zabezpečují povodňové orgány. Řízení ochrany před povodněmi zahrnuje přípravu na povodňové situace, řízení, organizaci a kontrolu všech příslušných činností v průběhu povodně a v období následujícím bezprostředně po povodni včetně řízení, organizace a kontroly činnosti ostatních účastníků ochrany před povodněmi. Povodňové orgány se při své činnosti řídí povodňovými plány.

V období mimo povodeň jsou za povodňové orgány považovány:

- orgány obcí a v hlavním městě Praze orgány městských částí,
- obecní úřady obcí s rozšířenou působností a v hlavním městě Praze úřady městských částí stanovené Statutem hlavního města Prahy,
- krajské úřady,
- ministerstvo životního prostředí; zabezpečení přípravy záchranných prací přísluší ministerstvu vnitra.

Po dobu povodně jsou povodňovými orgány:

- povodňové komise obcí a v hlavním městě Praze povodňové komise městských částí,
- povodňové komise obcí s rozšířenou působností a v hlavním městě Praze povodňové komise městských částí stanovené Statutem hlavního města Prahy,
- povodňové komise krajů,
- Ústřední povodňová komise.

#### 4.4 Stupně povodňové aktivity

Dle § 70 vodního zákona se stupni povodňové aktivity rozumí míra povodňového nebezpečí vázaná na směrodatné limity, jimiž jsou zpravidla vodní stavy nebo průtoky v hlásných profilech na vodních tocích, popřípadě na mezní nebo kritické hodnoty jiného jevu uvedené v příslušném povodňovém plánu.

Míra a rozsah operativních opatření prováděných pro ochranu před konkrétní povodní se řídí nebezpečím nebo vývojem povodňové situace, která se vyjadřuje třemi stupni povodňové aktivity, kterými jsou:

**První stupeň** (stav bělosti): nastává při nebezpečí přirozené povodně a zaniká, pominou-li příčiny takového nebezpečí. Dochází ke zvýšené pozornosti věnované vodnímu toku, zahajuje se činnost hlásné a hlídkové služby.

**Druhý stupeň** (stav pohotovosti): nastává, když nebezpečí přirozené povodně přerůstá v povodeň, ale nedochází k větším rozlivům a škodám mimo koryto. Aktivizují se povodňové orgány a další účastníci ochrany před povodněmi, uvádějí se do pohotovosti prostředky na zabezpečovací práce, provádějí se opatření ke zmírnění průběhu povodně podle povodňového plánu.

**Třetí stupeň** (stav ohrožení): nastává při bezprostředním nebezpečí nebo vzniku škod většího rozsahu, ohrožení životů a majetku v záplavovém území. Vyhlašuje se při dosažení kritických hodnot sledovaných jevů a skutečností na vodním díle. Provádějí se povodňové zabezpečovací práce podle povodňových plánů a podle potřeby záchranné práce nebo evakuace.

#### 4.5 Záplavová území

Pojem záplavová území definuje § 66 vodního zákona jako administrativně určená území, která mohou být při výskytu povodně zaplavená vodou. Jedná se o území přímo přilehlá vodnímu toku, která mohou být zaplavena při povodňových situacích, zejména při průtocích, které přesahují kapacitu koryta. Správně zvolené vymezení těchto území může velmi výrazně pomoci v předcházení škodám způsobeným povodněmi. Cílem stanovení záplavových území je stanovení územního limitu pro nově vznikající zástavbu v oblastech, kde lze definovat nejvyšší ohrožení lidských životů a majetku.

Záplavová území se stanovují veřejnou vyhláškou na návrh správce vodního toku a posuzuje jej příslušný vodoprávní úřad, který má na návrh správce vodního toku povinnost toto území stanovit. Vodoprávní úřad může rovněž příslušnému správci vodního toku udělit povinnost zpracovat a předložit návrh na rozsah záplavového území nebo úseku, pokud je tato povinnost zakotvena v plánu hlavních povodí ČR nebo v plánu oblasti povodí. Určení záplavových území má v neposlední řadě přímý vliv na tvorbu územních plánů jednotlivých obcí.

Nově se ve vodním zákoně vyskytuje pojem „aktivní zóna“, která je definována jako část zaplaveného území, která je stěžejní pro odvádění rozhodujícího povodňového průtoku v případě povodňové události. V § 67 tohoto zákona jsou uvedena konkrétní omezení platná ve stanovených záplavových územích, především pak v aktivních zónách.

Konvička (2001) doplňuje, že vedle aktivních a pasivních záplavových zón existují také historické průtočné zóny přirozených záplavových území, ke kterým bývá přístupováno jako k zónám opatrnosti. Tato omezení se vztahují na plošný zákaz stavební činnosti s výjimkou umožnění staveb nezbytných k zajištění dopravní a technické infrastruktury.

V oblastech mimo aktivní zónu lze v záplavovém území stanovit omezující podmínky, které však musí být schváleny vodoprávním úřadem. Stejný postup se provádí i v případech, není-li aktivní zóna prozatím stanovena. V těchto případech správce povodí navrhuje, aby v oblastech mimo aktivní zónu nedocházelo k umísťování staveb typu zdravotní zařízení, sociální ústavy, školní zařízení, veřejné stavby a objekty, jejichž předmětem obchodní činnosti bude nakládání s nebezpečnými látkami. Ostatní stavby mimo tento výčet lze v těchto oblastech připustit pouze na riziko jejich majitelů. Obecně se ale zástavba

v zátopových oblastech nedoporučuje, jelikož v případě ohrožení zvyšuje nároky na integrovaný záchranný systém.

Tvorba návrhů záplavových území je velmi náročný proces a má smysl zejména v úsecích toku, které vedou napříč intravilány obcí nebo s nimi přímo souvisí. Problematictější se řeší na úzkých podhorských tocích s vysokým podélným sklonem a bystřinách, kde k povodním dochází následkem výškové a směrové nestability koryt a plošné rozlivy zde nehrají tak velkou roli. Přesný návrh záplavových oblastí proto hraje důležitou roli na větších tocích, kde inundace dosahují většího plošného rozsahu (Povodí Moravy 2009).

#### 4.6 Území určená k rozlivům povodní

Jedná se o území, která jsou vymezena v § 68 vodního zákona a která jsou stanovena rozhodnutím vodoprávního úřadu pro účely zmírnění účinku povodní formou opatření obecné povahy, jejichž smyslem je omezení práv užívání pozemků v takto určených oblastech. Pojmeme omezení práva se rozumí vyloučení umístování staveb či skládek ohrožujících jakost vody a eliminace výskytu snadno odplavitelných předmětů. Vlastníkům dotčených pozemků a staveb za toto omezení náleží náhrada dle tohoto zákona. Vyžaduje-li to situace, může být ze strany vodoprávního úřadu ve veřejném zájmu podaný návrh na vyvlastnění těchto dotčených pozemků a staveb, popřípadě může být stavebnímu úřadu podán návrh na vyhlášení stavební uzávěry. Významem těchto opatření je zajištění zvýšené retence vody v území při povodňových událostech a docílení retardace odtoku vody z povodí. V důsledku se jedná jen o krátkodobé zadržení vody během povodňových situací nikoliv však o zadržení vody v krajině.

Cílem těchto opatření je možnost vymezení potřebných území k rozlivům povodní při současném zachování běžného zemědělského a lesnického hospodaření v těchto územích. Velkým problémem však zůstává otázka náhrad za škody osobám dotčeným rozhodnutím povodňových orgánů o využití retenčního prostoru stanoveného území. Původní znění zákona s nejasně definovaným stanovením těchto náhrad mělo za následek jejich nevyužívání v praktické rovině.

Další problém byl detekován v tom, že pokud nebylo dosaženo shody s vlastníky nebo nebyly nalezeny příznivé podmínky pro náhradu pozemku v rámci pozemkových úprav, neexistoval žádný vhodný nástroj, který by ve veřejném zájmu mohl omezit práva k pozemkům a stavbám pro účely ochrany před povodněmi, jelikož zákonná formulace předpokládala možnost vyvlastnění. K samotnému kroku

vyvlastnění ve veřejném zájmu však nebylo možné využít zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), který výslovně nezahrnoval mezi účely vyvlastnění veřejné prospěšné stavby k protipovodňové ochraně.

Z tohoto důvodu byla připravena tzv. „malá novela“ vodního zákona za účelem vyřešení a jasného definování současné patové situace v této oblasti. Způsob náhrad za omezení práv vlastníků byl navrhován dvěma způsoby, a to formou:

- *jednorázové náhrady za omezené využívání pozemků a z toho vyplývající pravděpodobné snížení tržní ceny,*
- *náhrad za každou škodu, ke které v budoucnosti dojde v důsledku zaplavení pozemku při povodňových událostech.*

V připomínkovém znění se však nepodařilo odstranit rozpory s Ministerstvem financí a navrhovaná novela byla v srpnu roku 2007 vrácena zpět k přepracování. Její upravené znění bylo schváleno vládou dne 09. 01. 2008 a od 01. 06. 2009 vzešla v platnost, a to jako zákon č. 181/2008 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Nové znění upravuje způsob poskytování náhrad za škody a další újmy vzniklé následkem rozlivu povodně v území. K řízeným rozlivům povodní bývají v dnešní době určena jednak území v bezprostřední blízkosti neohrázovaných velkých a středních toků, ale i tam, kde menší tok přirozeným způsobem meandruje a zasahuje do lučních a polních pozemků či lučních lesů. Většinou se jedná o toky, kdy se břehová kapacita pohybuje v rozmezí průtoků  $Q_1$  až  $Q_5$  a při větších průtocích voda volně vybřežuje do přilehlých inundačních území bez přilehlé zástavby.

Dále jsou k rozlivům určená povětšinou úzká území v okolí ohrázených vodních toků a v místech, kde v minulosti došlo k vybudování tzv. podélných ochranných hrází přisazených ke korytu, ale i v místech odsazení od vlastního koryta. Rozlivy jsou tedy limitovány v určitém návrhovém průtoku v průtočném profilu mezi ochrannými hrázemi po obou březích toku, nebo v místech od koryta vodního toku po ochrannou hráz na pravém či levém břehu. Stupeň povodňové ochrany území za hrázemi závisí na výšce ochranné hráze neboli návrhovém průtoku, který byl zvolen při projektování ochranné hráze (Povodí Moravy 2009).

Hlavní technické parametry pro návrh a úpravu vodního toku jsou stanoveny za pomoci technickoekonomických a ekologických rozborů s porovnáním všech účinků. Na zřetel se bere zejména návrhový průtok pro kapacitu koryta, pro celé

koryto a pro jeho jednotlivé části a upravuje je TNV 75 2103 – Úpravy řek. (Polešáková 2013).

<b>Druh pozemků přilehlých ke korytu vodního toku / Návrhový průtok</b>	
Historická centra měst, historická zástavba	$\geq Q_{100}$
Souvislá zástavba, průmyslový areál, významné liniové stavby a objekty	$\geq Q_{50}$
Rozptýlená bytová a průmyslová zástavba a souvislá chatová zástavba	$\geq Q_{20}$
Velmi cenná půda jako sady, chmelnice apod.	$\geq Q_{20}$
Orná půda (podle její bonity)	$Q_5$ až $Q_{20}$
Louky, lesy	$Q_{30\text{denní}}$ až $Q_1$

Tabulka 2: Limity ochrany vodních koryt a jejich toků (Polešáková 2013) upravila Jílková (2020).

#### 4.7 Revitalizace vodních toků

Vrána a kol. (1998) uvádí, že vodní tok je složitým ekosystémem zahrnujícím jak složku vodního prostředí, tak složku suchozemskou. Úpravy koryt prováděné pouze na základě vodohospodářských požadavků sebou často nesou přidružené negativní projevy v ekologické stabilitě celého území.

V současné době se na území České republiky vyskytuje síť drobných toků o celkové délce 60 711 km, z čehož je asi 13 000 km upraveno. Jen za posledních 200 let byly naše toky různými úpravami zkráceny o 4 700 km.

Revitalizace je nástroj, který umožňuje řízeně obnovit hydrologické, ekologické, estetické či další funkce vodních toků a nádrží, u kterých v minulosti došlo necitlivým zásahem k potlačení jejich funkcí. Pro kompletní obnovu výše uvedených funkcí vodních ekosystémů je potřeba řešit spojitost nivy toku a celého povodí. Dle Skleničky (2003) si program revitalizace říčních systémů po roce 1995 klade za cíl zejména:

- obnovu přirozené funkce vodních toků,
- podporu a zvyšování retenčního potenciálu krajiny,
- zvyšování samočisticích schopností toku,
- zvyšování stability vodního režimu snižováním rozdílů extrémních průtoků,
- napravování negativních důsledků nevhodně provedených pozemkových úprav, velkoplošných odvodnění a nevhodných způsobů využití půdy.

Cílem revitalizačních úprav by mělo být vytvoření vhodného prostředí umožňujícího vznik relativně přirozeného charakteru toku, ale i podmínek pro jeho následný, přirozený vývoj (Sklenička 2003). Pomocí vhodně zvolené revitalizační metody,

je možné docílit zvýšení retence území, transformace povodňových vln, což pozitivně ovlivní snižování kulminací a dále dochází k pozitivním projevům převážně z pohledu stability koryt a eliminací materiálních škod při průchodu povodňové vlny. Pomocí revitalizací povodí je možné prodloužit doby odtoku vytvořením nových retenčních prostorů a celkově zlepšit kvalitu vody ve vodním toku (Vrána a kol. 1998). Dle Tlapáka a kol. (1992) pomáhají revitalizace zpomalit erozní projevy v daném území.

Cílem revitalizací je i podpora a zvyšování retenční schopnosti krajiny, zpomalování povrchového i podzemního odtoku, zvyšování infiltračních vlastností a retenčních schopností půdního profilu. Dalším cílem je zachycování vody ve vodních nádržích (rybnících, mokřadech i v malých vodních nádržích) což velmi pozitivně ovlivní navýšení podzemní vody v území. Napravování důsledků negativně provedených úprav způsobených nevhodně zvoleným typem obhospodařování půdy a velkoplošného odvodnění, obnova přirozené ekologické funkce vodních toků a koryt, zvyšování odolnosti břehových hran proti erozi vhodnou volbou vegetačního doprovodu a v neposlední řadě podpora samočisticí schopnosti vody, ustálení hladiny toků, zajištění minimální hodnoty průtoků a celkově zlepšení podmínek pro přirozenou obnovu biologické diverzity toku.

Smyslem revitalizačních úprav vodních toků není pouze obnovení vzhledu lokality, ale především obnovení struktury a zajištění příznivého fungování celého ekosystému. Bez zásahů, které vedou k obnově přirozeného charakteru hydromorfologie koryt vodních toků, není možné docílit ani výskytu druhově pestrých, přirozených a stabilních společenstev vodních organismů, jejichž výskyt je základním předpokladem k dosažení dobrého ekologického stavu vodních útvarů tekoucích vod dle Rámcové směrnice o vodách. Rovněž nelze opomenout aktivizaci samočištění, bez které se nelze obejít při aktuálních problémech s jakostí vody zejména vlivem eutrofizace a organických mikrokontaminantů (MŽP 1993).

#### 4.8 Přírodě blízká protipovodňová opatření

Pod pojmem přírodě blízká protipovodňová opatření (dále také „PPO“) lze popsat, opatření, které se snaží zajišťovat nezbytné technické funkce vodních toků, ale zároveň nezhoršovat a pokud možno zlepšovat jejich ekologický stav. V současné době bývá ve vyspělých zemích prosazován nový koncept nakládání s vodními toky, který se snaží zúžit rozpětí degradujících technických úprav na míru



nezbytně nutnou při zapojení podpory procesů samovolné renaturace koryt vodních toků (Just 2012).

Tento koncept vychází z níže uvedených hlavních zásad:

- Rozlišuje mezi úseky vodních toků vyskytujících se ve volné krajině a v zastavěných územích. Členitá a mělká koryta s malou kapacitou by ve volné krajině měla napomáhat tlumit povodňové rozlivy mimo urbanizovaná území jako součást komplexně pojaté protipovodňové ochrany. V prostředí obcí a měst musí koryta v zájmu ochrany zástavby splňovat kapacitní požadavek, přičemž by měla být zachována přijatelná ekologická hodnota, vzhled a možnost rekreačního využití,
- Účinný systém ochrany proti povodněmi nelze zajistit pouze formou technického či přírodě blízkého opatření, ale je třeba nalézt co nejvhodnější soulad obou řešení,
- Nezbytná opatření technického charakteru je nutno provádět s ohledem na ekologický stav vodních toků a jejich niv i zabránit škodám vzniklým při výstavbě na úroveň nezbytně nutnou. Vzniklé škody musí být kompenzovány,
- Na říční prostor je nutno nahlížet, jako na vícefunkční. Vodní tok již neplní pouze funkci recipientu, kterým se má kamsi odvádět něco nežádoucího. Vodní tok a niva by se plnohodnotnou měrou měly podílet na běžném i povodňovém převádění vodních stavů a zadržování vody v krajině. Dále by měla plnit ekologické funkce, popřípadě v blízkosti sídel být schopna plnit funkci pobytovou a rekreační.

Renaturaci technicky upravených koryt z velké části ovlivňuje zanášení, zarůstání, rozpad technického opevnění a vymílání břehů. Převážně v úsecích ve volné krajině mohou tyto změny významně zlepšovat ekologické i vodohospodářské vlastnosti toků, což ale nelze paušalizovat. Každý případ musí být přiměřeně hodnocen a porovnán s místními podmínkami. Celkově však lze říci, že přítomnost renaturací v rámci povodí je významným pozitivním jevem pracujícím zadarmo a z pohledu přínosů vedoucích ke zlepšování stavu vodních toků jsou významnější a rozsáhlejší než přínosy záměrně prováděných revitalizačních opatření (Just 2009). Smyslem renaturací a revitalizací je tedy částečně obnovení přirozeného prostorového rozsahu vodních toků v krajině a obnovení jejich plošné a hydraulické členitosti, a především v obcích či v jejich blízkosti je nutno brát na zřetel i obnovu pobytové a rekreační funkce říčního území (Just 2010).

Přírodě blízká protipovodňová opatření si stejně jako opatření technická kladou za cíl zabránění soustředování srážkového odtoku. Primární funkce těchto opatření spočívá ve zvýšeném retenčním účinku půdy a zvětšení ploch určených pro rozlivy v nivách. Dle Jůvy a kol. (1984) lze prostředky přírodní povahy, které se podílí na velikosti srážkového odtoku z povodí, rozdělit do skupin týkajících se jak správně zvolené formy užívání půdního fondu, tak principů, které mají za následek zlepšení celkového stavu zemědělsko-lesnických opatření. Vhodně zvolená forma užívání půdního fondu reprezentuje účelné rozmístění kultur, např. orné půdy, pastvin, luk a lesů.

Prostředky účelných zemědělsko-lesnických opatření zabraňují koncentraci srážkového odtoku a napomáhají obnovení retenční schopnosti půdy pomocí vhodně zvoleného postupu obdělávání zemědělské půdy, ochranného zatravnění či zalesňováním. Just (2005) uvádí, že další z možností, která ovšem není sama o sobě schopna zabezpečit kompletní ochranu před povodněmi, avšak je schopna průběh povodně výrazně utlumit, je výstavba revitalizačních opatření. Zde lze uvést úpravy nevhodně zkrácených říčních sítí, podporu přirozeného rozlivu, tvorbu přírodě blízkých ochranných koryt či odstraňování příčných překážek z vodních toků (jezy, stupně).

#### 4.8.1 Hlavní pilíře při realizaci přírodě blízkých PPO

##### **I. Ochrana ploch pro přirozené povodňové rozlivy**

Představuje formu pasivních, přesto velmi důležitých opatření. Je třeba chránit nedotčená území nivy toku pro možnost transformace povodňových vln a tato území ochránit před neuváženým hrázováním v rámci technické protipovodňové ochrany. Dále je potřeba zamezit nevhodnému umístění staveb, navážek a objektů obdobného charakteru.

##### **II. Revitalizace koryt vodních toků ve volné krajině**

Členitá, mělká a málo kapacitní přírodě blízká koryta, dokáží zpomalit postup a koncentraci povodňových vln a podporují utlumení rozlivů do nezastavěných nivních území.

##### **III. Rozšiřování přírodě blízkých povodňových perimetrů vodních toků**

Cílem je docílit alespoň částečné obnovy plochy říčních povodňových pásů, které byly následkem technických úprav toků neúměrně zúženy. Přínosné se rovněž jeví posílení ochrany určité části zastavěného území před vybřežováním a lokální

zpomalení povodňových průtoků. Zkapacitnění koryta může být provedeno například pomocí ochranných hrází odsazených dál od osy toku. Významný vliv v rámci povodí hraje zvětšování povodňových retenčních prostorů.

#### **IV. Přírodě blízká ochranná koryta**

Realizace výstavby přírodě blízkých koryt neboli průlehů umožňujících odlehčení povodňových průtoků mimo dotčená zastavěná území. V období mimo povodňové situace mohou tato koryta v urbanizovaných oblastech plnit funkci parkové zeleně.

#### **V. Přírodě blízké hloubené retenční prostory v nivách**

Vhodné využití tzv. terénních depresí v územích s vhodně směřovanou těžbou štěrků a písků. Po ukončení těžby nedochází k zavezení, ale jsou ponechány jako přírodě blízké, rekreačně, sportovně či rybařsky využívané vodní plochy s retenční kapacitou v případě povodňové události.

#### **VI. „Ekologické“ poldry**

Ekologické poldry s rozdílem jednoúčelových suchých poldrů obohacují krajinu o přírodě blízké záplavové plochy s uplatněním tůní, mokřadů, lučních či dřevinných porostů, proto je zde nasnadě jejich revitalizace a přetvorba v poldry „ekologické“.

#### **VII. Přírodě blízká řešení kapacitních koryt v intravilánech**

Na rozdíl od revitalizací ve volné krajině se zde jedná o zajištění povodňové průtočné kapacity, popřípadě zpomalení dočasné retence povodňového průtoku v korytech situovaných v přímé blízkosti zástavby. Běžným řešením zde bývá tzv. povodňové rozvolnění koryta a navrácení jeho přirozeného tvaru.

#### **VIII. Odstraňování průtokových překážek, které jsou zároveň překážkami migračními**

Zde se převážně jedná o nevhodně umístěné jezové objekty, které v případě umístění v blízkosti obcí mohou nechtěně vzdouvat povodňové průtoky a umocňovat jejich rozlévání do přilehlé zástavby. Revitalizačním zásahem do jezového tělesa, jeho přímé odstranění, popřípadě snížení či nahrazení vhodnějšími objekty pak spočívá v obnovení migrační prostupnosti vodního toku pro vodní živočichy. Odstranění překážky se jeví být podstatně spolehlivějším řešením, než návrh a následná výstavba rybiho přechodu nehledě na potenciální možnost obnovy hydraulické členitosti úseku toku, jehož ekologické funkce byly dříve důsledkem vzduť degradovány.

## **IX. Kompenzační revitalizační opatření**

V případech, kdy stávající technicky orientovaná protipovodňová opatření, byť odůvodněně, omezují přirozenou schopnost tlumit rozlivy nebo jiným způsobem poškozují ekologickou funkci toku, by mělo dojít k přiměřené revitalizační

kompensaci. V našich podmínkách tento princip zatím není standardně prováděn. V sousedních státech, např. v Německu je však již pevně zakotven ve vodohospodářských i obecně ekologických předpisech a je součástí běžné vodohospodářské praxe (Just 2010).

## 5. MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH PROCESŮ

### 5.1 Charakteristika srážko-odtokových modelů

Tok řeky je základním kamenem sladkovodních ekosystémů, jejichž ekologická integrita závisí na přirozených výkyvech v režimu toku řeky (Pöff a kol. 1997). Dlouhá historie lidských změn režimu toku řeky pro zásobování vodou, zavlažování, ochranu před povodněmi nebo vodní energii ohrožuje zabezpečení vody a sladkovodní biodiverzitu v mnoha regionech světa (Vörösmarty a kol. 2010). Richter a kol. (1997) položil zastřešující výzkumnou otázku „Kolik vody potřebuje řeka?“. Aby bylo možné tyto potřeby kvantifikovat a posoudit účinky změněného režimu průtoku na sladkovodní ekologii, existuje mnoho různých hydrologických indexů.

Matematické modelování hydrologických procesů si klade za cíl vyjádřit časově nebo časově-prostorově závislost určitých veličin, které charakterizují hydrologický režim modelovaného objektu povodí nebo části povodí. Srážko-odtokové poměry jsou ovlivňovány vzájemným působením deterministických a stochastických vlivů, přičemž samotná míra působení je dána samotnou podstatou přírodních jevů.

Pomocí metod matematického modelování můžeme nejen simulovat skutečný hydrologický proces, ale zároveň určovat i reakci modelovaného objektu či prototypu objektu v nejrůznějších extrémních (srážkových) situacích, a to jak pro účely prognózy nebo návrhu. (Kulhavý a Kovář 2000). Hydrologický matematický model tedy představuje algoritmus řešení soustavy rovnic, kterými je popsána struktura, či chování povodí (nebo obojí) během srážko-odtokového procesu (Fleming a Rymond 1975).

Daňhelka a kol. (2003) uvádí, že matematický model srážko-odtokových procesů ukazuje zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními hodnotami určitého hydrologického systému.

Ten je definován jako systém převážně fyzikálních procesů, působících na vstupní proměnné, jež pak transformuje ve výstupní veličiny. V matematickém pojetí jde tedy o algoritmus řešení soustavy rovnic, které popisují strukturu a chování systému (Clarke 1973). V praxi to znamená, že naleznou uplatnění především pro předpovědi a návrhové účely (Kovář 1973). Hrnčíř (1997) pak doplňuje, že jsou také dobrým diagnostickým nástrojem při prevenci povodňových rizik.

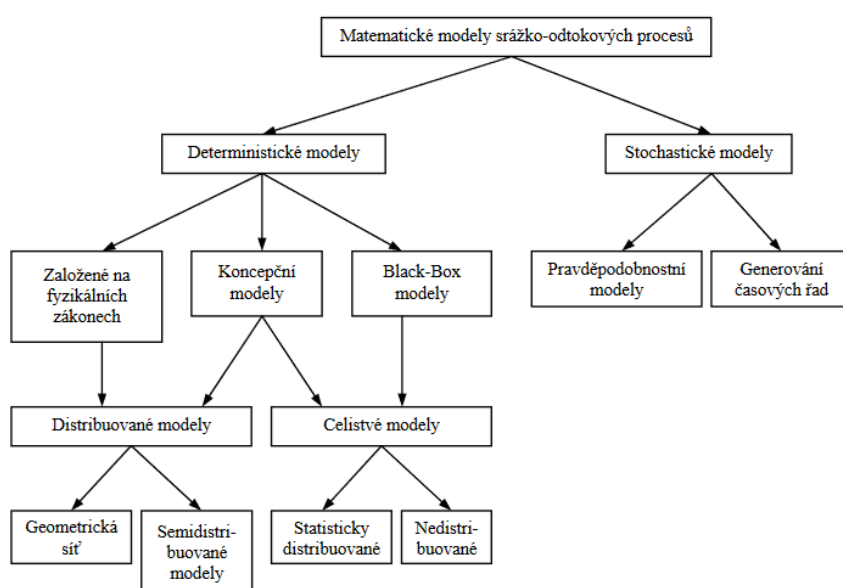
Další výrazný pokrok v rozvoji matematického modelování přináší rozvoj výpočetní techniky a informačních technologií (Jeníček 2005).

## 5.2 Klasifikace srážko-odtokových modelů

Základním prvkem hydrologického modelu je srážko-odtokový model, díky kterému je možno popsat reakci zvoleného úseku povodí na konkrétní srážkovou událost. Reakce povodí na srážkovou událost ve srážko-odtokovém modelu je nejčastěji charakterizována formou odtoku z povodí. Tato výstupní data bývají použita jako základní vstupní údaj pro použití hydraulických modelů (Knebl 2005).

V dnešní době máme možnost použití celé řady modelů, které se od sebe odlišují použitím různých přístupů k jednotlivým situacím srážko-odtokového procesu nebo strukturu zkoumaného povodí na základě toho, za jakým účelem a pro jakou oblast byl model vytvořen. Tato klasifikace si klade za cíl pomoci uživateli s výběrem nejvhodnějšího modelu, který je nejvíce aplikovatelný pro řešení konkrétní problematiky. WMO (World Meteorological Organisation) klasifikuje hydrologické modely dle níže uvedených principů (Becker a Serban 1990):

- *účel aplikace modelu,*
- *typ systému, který je simulován,*
- *zohlednění hydrologického procesu, který je modelován,*
- *princip příčin a důsledků (kauzality),*
- *míra časové a prostorové diskreditace.*



Obrázek 5: Klasifikace hydrologických modelů (Becker a Serban 1990).

### 5.3 Dělení modelů dle účelu aplikace

Na základě tohoto principu můžeme modely rozdělit do 3 kategorií, a to sice:

- *modely používané v operativní hydrologii,*
- *modely aplikované pro návrhovou a projekční činnost v oblasti vodního hospodářství,*
- *modely využívané ve výzkumu.*

První z typů bývá aplikován v operativní hydrologii, přičemž vstupní data tvoří okamžité údaje z automatických meteorologických stanic nebo radarů. Takto získaná data jsou modelu automaticky předávána. Prioritou pro tento typ modelu je rychlost zpracování vstupních dat a jejich transformace na krátkodobou předpověď vodní hladiny nebo průtoku v daném profilu.

Druhý modelový typ nalezne své využití u návrhů dlouhodobějších řešení protipovodňové ochrany (např. stavby vodních děl, poldrů, hydrotechnické úpravy vodních toků), ale rovněž jej lze využít při návrhových řešeních technických staveb (např. čistírny odpadních vod, plavební kanály, mosty). Díky tomuto modelu lze simulovat srážko-odtokové procesy v povodí při zadání různorodých vstupních podmínek. Tímto způsobem lze porovnávat vliv změny pokryvu vegetace v povodí nebo charakteru údolní nivy na výsledný odtok.

Třetí kategorie je zaměřena na možnosti dalšího vývoje modelu, který umožňuje podrobnější výzkum jednotlivých vstupních dat srážko-odtokového procesu a tím umožňuje jejich detailnější vyhodnocení a popis. Aby bylo možné data objektivně vyhodnotit, bývají pro tyto účely zřizovány tzv. experimentální povodí s vysokým počtem měřících stanic.

Veškeré výstupy z hydrologických modelů mohou sloužit jako vstupní veličiny pro další modely, které se zabývají například rychlostí šíření znečištění ve vodním prostředí (Jeníček 2005).

### 5.4 Hodnocení dle typu systému a hydrologického procesu

Dle Daňhelky a kol. (2003) lze modely dle typu systému rozdělit na **elementární** a **komplexní**. Elementární modelový systém tvoří jednotka s konstantní charakteristikou, tzv. „Hydrotop“. Pod tímto označením si můžeme například představit malou odtokovou plochu, nádrž, jezero či zvodnělou vrstvu. Komplexní

systém je tvořen velkými odtokovými plochami povodí nebo systémem říčních sítí, jezer a nádrží.

U klasifikace modelu hydrologického procesu rozlišujeme, zda se jedná například o model výpočtu:

- *půdní vlhkosti,*
- *evapotranspirace,*
- *průtoku podzemní vody,*
- *hladiny průtoku, vodního stavu v korytě (průchod povodňové vlny),*
- *teploty vody, ledových podmínek,*
- *režimu splavenin, šíření znečištění či kvality vody.*

### 5.5 Hodnocení dle stupně kauzality

Na základě tohoto hodnocení se modely dělí na **deterministické** a **stochastické**. Kauzalitu zde můžeme chápat jako vztah mezi příčinou a jejím následkem (Zeman 1994).

**Deterministické modely** popisují vzájemný vztah proměnných výstupních veličin k nezávislým proměnným vstupním veličinám, kdy:

$$y = f(x, a)$$

(a) představuje koeficient nebo parametr, který popisuje konkrétní chování systému

V současné době existuje mnoho deterministických modelů odlišujících se navzájem svojí strukturou, fyzikálním přístupem nebo časovou a prostorovou diskretizací.

Výčet hlavních skupin deterministických modelů:

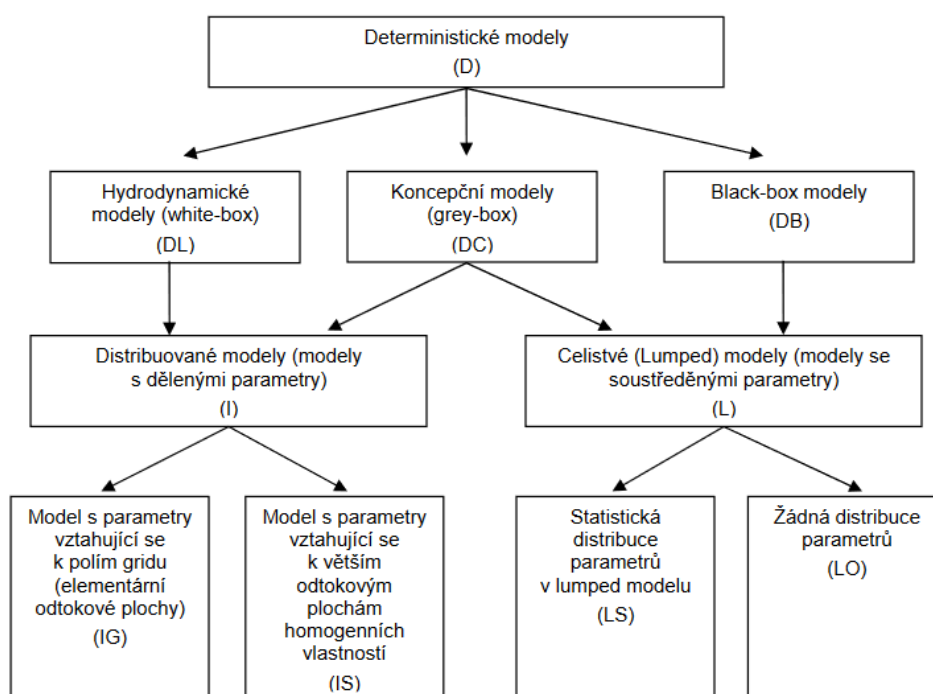
**DL (Deterministic, Hydrodynamic Laws)** – jsou modely fungující na fyzikálním popisu srážko-odtokového procesu při snaze respektování zákonů o zachování hmoty, energie a hybnosti (Kulhavý a Kovář 2000). Tyto modely využívají poznatky z mnoha dalších oborů např. hydrodynamiky a termodynamiky, chemie nebo biologie a bývají rovněž označovány jako „white-box“ modely (Daňhelka a kol. 2003).

**DC (Deterministic, Conceptual)** – přístup popisuje fyzikální spojitost zákonů ve zjednodušené tzv. koncepční formě a obsahuje i mnohé experimentálně doložené vztahy (Becker a Serban 1990). Koncepční modely tlumí prostorovou složku a jsou založeny na domněnce, že změny stavových parametrů vznikají v určitých reprezentativních bodech (Kulhavý a Kovář 2000). Stávající souvislý



systém je tímto prostorově diskretizován a modely se následně tvoří na základě obyčejných diferenciálních rovnic, spojením fyzikálního a empiristického přístupu. Tato skupina modelů bývá označována jako „grey-box“ modely.

**DB (Deterministic, Black-box)** – modely tohoto typu neberou v potaz řídicí zákony, ale využívají pouze experimentálně ověřený vztah mezi vstupujícími a vystupujícími veličinami (Beven 2001). Jelikož veškeré postupy probíhají uvnitř systému a zůstávají tak skryty, jsou tyto modely označovány jak „black-box“ modely. Buchtele (2002) uvádí, že použití těchto modelů je vhodné převážně u malých povodí. S ohledem na zvětšující se dobu předpovědi (cca 6 hod.) je již vhodnější zvolit aplikaci fyzikálně strukturovaného koncepčního modelu. Nejklasičtějším příkladem DB modelů jsou neutronové sítě.



Obrázek 6: Klasifikace deterministických modelů (Becker a Serban 1990).

Výčet hlavních skupin stochastický modelů:

Stochastické modely ve své podstatě nemají přímou vazbu mezi příčinou a důsledkem a můžeme je rozdělit do dvou základních skupin (Becker a Serban 1990):

**SP (Stochastic Probabilistic)** – jak již vyplývá z názvu, jedná se o modely tzv. pravděpodobnostní. Jednotlivé hydrologické parametry např. maximální či minimální průtok, vodní stavy nebo podzemní odtok jsou charakterizovány formou pravděpodobnostního rozdělení.

**ST (Stochastic Time series generation)** – jsou modely pro vytváření extrapolací časových řad pozorovaných parametrů, přičemž dochází k zachování jejich statistických charakteristik. Příkladem těchto modelů je možno uvést ARMA modely (Autoregressive Moving Average).

Stochastický přístup v hodnocení působících vlivů v krajině je přímo závislý na statickém vyhodnocení sledovaných údajů, a to zejména srážek a odtoku. Nutná podmínka je v tomto principu podmíněna existencí dlouhodobě trvajících srážek a odtokovými poměry. Na základě zvolených statistických metod, například korelačních, regresních či shlukové analýzy lze odhalit změny v postupu časových řad a určit možná potenciální období, ve kterých byly zaznamenány výrazné změny v průběhu srážkových úhrnů nebo odtoku. Takto detekovaná období je nutné podrobit dalšímu zkoumání, ze kterého bude možné odhalit příčiny zjištěných odchylek (Kliment a Matoušková 2006).

Naopak deterministický přístup vychází z přímo zvolených metod hydrologického modelování, jejichž cílem je zjištění vztahu mezi vstupní a výstupní veličinou neboli o posouzení kauzality přírodních procesů. Jde tedy převážně o popis fyzikálních procesů působících na vstupní proměnné, které jsou transformovány ve výstupní veličiny. Matematicky může být tento přístup vyjádřen algoritmem řešení soustavy rovnic, popisujících strukturu a chování systému. Z pohledu hydrologického modelování na změny režimu odtoku je deterministický přístup velmi rozšířený pro jeho schopnost určit dopad těchto změn na krajinu a povodně a lze s jeho pomocí posoudit míru účinnosti navrhovaných protipovodňových opatření (Clarke 1973).

Celkově je však v deterministickém přístupu velmi obtížné vyjádřit všechny vstupní parametry a proměnné, které mají vliv na výstupní veličiny. Obecně všechny modely tohoto typu jsou ovlivněny určitou chybou, která se skládá ze dvou dílčích chybových složek, a to vlastní chyby modelu a chyby měřených veličin. Obě tyto složky lze popsat určitým pravděpodobnostním rozdělením (Jeníček 2005).

V praxi se můžeme setkat s využitím obou přístupů. Stochastická složka bývá přítomna ve většině modelů v oblasti plánování nebo projekční činnosti vodohospodářských staveb a nalezne své využití i v operativní hydrologii. Zde bývá použita především pro dlouhodobé předpovědi (Daňhelka a kol. 2003). Z obecného hlediska lze ale říci, že využití deterministického přístupu v současné době převažuje.

## 5.6 Hodnocení dle míry časové a prostorové diskretizace

Míru **časové diskretizace** je možné určovat dle způsobu použití modelu například pro povodňové studie, operativní předpovědi, modelování šíření znečištění, transportu plavenin či splavenin. Pro toto hodnocení bývá běžně využito hodinového až denního kroku, u bilančních modelů však může být tato délka použitého výpočtového kroku i vyšší (týden či měsíc). Zde je ale důležité zdůraznit, že tyto jednotlivé časové hodnoty mohou mít odlišný časový krok a je nutno počítat s tím, že stejné hodnoty časového kroku nebude možné naměřit u vstupních a výstupních veličin (Daňhelka a kol. 2003).

Odlišný způsob rozdělení vychází z časové spojitosti výpočtu. Zde rozlišujeme modely *kontinuální*, které nám simulují delší i víceleté období a modely *epizodní*, díky nimž je možné simulaci zaměřit pouze pro jednotlivé události např. povodně nebo hydrologické sucho. Kontinuální modely bývají většinou používány pro velká území, kde dochází k povodňovým situacím z důvodu regionálních dešťů. Naopak modely epizodní naleznou větší uplatnění při simulaci přívalových srážek, kterými bývají postiženy oblasti menších povodí.

**Prostorová diskretizace** je poněkud složitější. Zde uživatel volbou vhodného modelu utváří jeho ucelenou topologii. U těchto modelů rozlišujeme dvě hlavní kategorie, kterými jsou *distribuované* a *celistvé* (lumped) modely. V letech minulých dochází taktéž k začleňování kategorií modelů tzv. semi-distribuovaných.

**Distribuované modely** bývají založené na distribuovaných parametrech. Tato forma počítá s prostorovou variabilitou vstupních veličin, které jsou převáděny na výstupní veličiny, vykazující mimo jiné i prostorovou proměnlivost. V tomto případě, kdy přesněji dochází k vystižení skutečného chování systému, bývá povodí rozděleno sítí tzv. gridem (čtvercové nebo trojúhelníkové území) na základní odtokové plochy. Každá jednotlivá plocha gridu obsahuje charakteristickou hodnotu parametru. Velikost bývá různá, maximální velikost však dosahuje rozlohy jednoho kilometru tak, aby mohla být garantována platnost řídicích rovnic (Becker a Serban 1990).

Jak už bylo zmíněno výše, nesou **celistvé modely** nejčastěji označení lumped modely. Kritéria charakterizující povodí (veličiny stavu, časové řady) bývají vztahovány plošně k celému povodí nebo pouze k jeho části. Jelikož tato forma modelů využívá pro své vstupní veličiny bodově naměřené hodnoty (srážky naměřené na stanici, průtoky v závěrovém profilu), musí být použito nejrozličnějších geostatistických metod, které zaručí převod těchto parametrů na hodnoty plošné.

**Semi-distribované modely** jsou založené na principu rozdělení povodí na jednotlivé odtokové plochy (hydrotopy). Ty se na rozdíl od předešlých kategorií vyznačují jednotnými prostorovými parametry např. stejným druhovým typem půd či vegetačním pokryvem. Modely tohoto typu nalézají v poslední době své uplatnění stále častěji, jelikož s jejich pomocí lze efektivně kombinovat oba výše uvedené přístupy. Při vymezování odtokových ploch semi-distribovaných modelů je potřeba brát v úvahu jak prostorové dělení jednotlivých veličin hydrologického systému (povodí), tak rozčlenění územních charakteristik, které ovlivňují odtokový režim (topografie, půdní podmínky, vegetační pokryv nebo hydrogeologii) (Graham a Butts 2005).

### 5.7 Charakteristika hydrodynamických modelů

Hydrodynamické modely je možno použít pro popis a grafické znázornění pohybu vody v korytech vodních toků, případně v nádržích a lze díky nim stanovit záplavová území pro jednotlivé N-leté průtoky. Díky těmto výstupům lze získat cenné informace, které mohou v budoucnu sloužit jako podkladová data při tvorbě povodňových plánů. Hydrodynamické modely jsou založeny nejen na soustavě matematických rovnic (algebraických, integrálních i diferenciálních), ale i ze znázornění reálného prostředí. Ty lze rozlišit se rozlišují dle dimenzí na 1D (jednorozměrné) a 2D (dvourozměrné) modely nebo jejich kombinace (1D/2D) (Novák a kol. 2015).

1D modely vyžadují menší náročnost na aplikaci vstupních dat, nežli je tomu u modelů dvourozměrných, a potřebná doba výpočtu je kratší. Schematizace modelované oblasti se provádí vytvořením osy toku a příčných profilů. Další vstupní veličinou jsou hodnoty návrhových N-letých průtoků, geometrie objektů vyskytujících se na vodním toku a vhodně zvolený součinitel drsnosti (Smelík a kol. 2011).

Spuštění výpočtu je realizováno po částech v jednotlivých úsecích příčných profilů, jejichž počet a rozmístění musí být správně stanoveno s ohledem na ne vždy známý průtok vodní hladiny a směrový charakter osy toku. Správně zvolené rozmístění příčných profilů zpřesňuje celkový výstup modelu. Modely tohoto typu zpravidla nebývají používány pro modelování členitějších vodních toků (Brunner 2016).

Dle výše uvedeného textu vyplývá, že pro modelování toků s větší členitostí bývá použito 2D modelů, které umožňují přesnější analýzu s podrobnějšími výstupy. Modely tohoto typu jsou zpravidla náročnější na vstupní data a samotná práce v jejich prostředí včetně sestavení a doby výpočtu je složitější. Na rozdíl od 1D

modelů se schematizace vodního toku s inundačním územím provádí prostřednictvím digitálního modelu terénu (Novák a kol. 2015).

Dle Jeníčka (2005) se mezi nejvíce používané modely v našich podmínkách řadí: MIKE-SHE; HEC-HMS (WMS); NASIM a SAC – SMA (SACRAMENTO).

Novák a kol. (2015) považuje za nejrozšířenější typ modelu v České republice HEC-RAS, který je volně stažitelný a jeho uživatelské prostředí je přívětivé. Soubor softwarových funkcí a použitých rovnic je obsáhlý a přehledný a pomocí doplňkové nástavby softwaru HEC-GeoRAS lze připravit podklady a výsledky a ty poté převést do prostředí programu ArcGIS.

## 5.8 Volba vhodného modelu

Při volbě vyhovujícího modelu je nutno brát v úvahu několik kritérií, které jsou závislé např. na charakteru vybraného povodí či dostupných datových podkladech. Výčet těchto kritérií lze popsat následovně:

- *přizpůsobivost lokálním podmínkám a požadavku, pro který je model aplikován,*
- *způsobilost simulovat odtokovo-srážkový proces v prostorovém i časovém horizontu s přihlédnutím k velikosti povodí,*
- *možnost propojení srážko-odtokového modelu s podrobným korytovým (routing) modelem,*
- *dostupnost nezbytných dat pro funkčnost modelu,*
- *vazba na podpůrný software pro umožnění tvorby grafických výstupů, zapojení GIS,*
- *komerční dostupnost použitého modelu s možností systémové podpory a reference.*

Primárním předpokladem je, aby použitý model byl schopen simulovat srážko-odtokové procesy s ohledem na fyzicko-geografické podmínky. Zde je třeba zvážit, zda pro řešení dané problematiky zvolit model celistvý, distribuovaný nebo semi-distribuovaný. Smith a kol. (2004) uvádí, že cílem mnoha různých projektů bývá rovněž snaha o použití různých modelovacích návrhů, na základě jejichž výsledků je provedena analýza kladů a záporů použitých prostředků. Při vytváření modelů pro oblasti rozlehlejších povodí, kde hraje velkou roli postup vody v korytě toku, může být vhodným řešením použití kombinace srážko-odtokového modelu s vhodně zvoleným tzv. routing modelem. Při využití modelů pro hydrologické prognózy

se jeví jako velmi vhodné zapojení prostředků, které umožňují sběr, transfer a zpracování dat formou databáze (Havlík 2003).

Problematika hydrologického modelování pomocí matematických modelů propojených přímo či nepřímo s existujícími databázemi úzce příbuzných oborů je v současné době velmi živým a otevřeným tématem. Široké rozpětí této problematiky je vyjádřeno jednak různorodostí použitého modelu, ale rovněž i zvolenými metodickými přístupy a účelem jejich aplikace. Hydrologické procesy v povodí jsou ovlivněny celým spektrem doprovodných přírodních dějů. Díky rozvoji výpočetní techniky je dnes možné obsáhnout téměř kompletní oblast lidských aktivit, včetně hydrologie. Tyto poznatky nám umožňují podávat přehledné informace např. o krajině, povodí, vlivu zemědělské činnosti a složkách životního prostředí (Kulhavý a Kovář 2000).

Uplatnění bilančních hydrologických modelů využívaných pro aplikace v podmínkách malých zemědělsko-lesních povodích, lze použít v projekční činnosti ve fázi zpracování územních studií a posouzení hydrologické účinnosti navrhovaných protipovodňových a jiných krajinnotvorných opatření, hodnocení vlivu krajinného plánování či ostatních antropogenních činností ovlivňující hydrologický režim.

Hydrologické modely nalézají své uplatnění i v realizační sféře zejména při výstavbě zpevněných ploch, odkanalizování obcí či zpracování projektů pro pozemkové úpravy, dále v případě přípravy organizačních opatření pro ochranu před povodněmi, protierozní ochranu půd, ochranu extravilánu obcí a zpracování individuálních plánů protipovodňové ochrany. V neposlední řadě jsou nepostradatelným nástrojem ve státní správě, při hodnocení návrhových studií revitalizací vodních toků, vodohospodářských staveb, vlivů změny organizace půdního fondu, četnost jeho využití apod.

Matematické modely jsou nepostradatelným nástrojem hydrologického modelování při řešení problematiky vodohospodářských úkolů v urbanizované krajině. Své uplatnění naleznou při návrzích pozemkových úprav, a to jak jednoduchých, tak komplexních, ve studiích zaměřených na revitalizaci říčních systémů i revizích pásem hygienické ochrany vodních zdrojů. Jsou také nepostradatelným pomocníkem při ochraně půdního fondu a při plánování zemědělských a dalších hospodářských aktivit v místním až regionálním měřítku (Kulhavý a Kovář 2000).

HEC-RAS je jednorozměrný hydrodynamický model umožňující řešení stromových i okružních sítí přirozených otevřených koryt včetně příčných a podélných objektů na toku a byl vyvinut americkým hydrologickým centrem (Hydrologic Engineering Center - HEC), který spadá pod tým inženýrů institutu vodních zdrojů (Institute for Water Resources - IWR) americké armády. Program dále umožňuje výpočet nerovnoměrného proudění v korytě, a to jak v ustáleném, tak v neustáleném režimu metodou po úsecích (Brunner 2010).

V modelu lze detailně zpracovat řešenou hydrauliku ustáleného proudění v otevřených korytech i v objektech na přirozených či uměle vytvořených tocích (Křovák 2001).

Rozhraní modelu HEC-RAS je složeno ze čtyř základních jednodimenzionálních říčních analýz, kam můžeme zařadit např. výpočet ustáleného proudění, simulaci neustáleného proudění či transport sedimentů a analýzu kvality vody. Lze díky němu provádět modelaci v bystřinném, říčním i smíšeném režimu proudění v říčním profilu a do výpočtu je možno zahrnout překážky v podobě mostů, jezů nebo propustek. Pomocí možnosti ustáleného proudění lze tento model rovněž použít jako nástroj pro zhodnocení povodňových a protipovodňových opatření (Brunner 2010).

**Režim ustáleného proudění** lze definovat, jako druh říční analýzy, která simuluje ustálené proudění vody v otevřeném korytě a určuje průběh hladin. Tento nalezne uplatnění nejen pro tvorbu studií protipovodňových opatření a jejich zhodnocení, ale i pro povodňová řízení. V tomto režimu je možné zvolit bystřinný, říční nebo kombinovaný způsob proudění za pomoc tzv. Bernoulliho jednorozměrné rovnice, která je založená na principu zachování energie při vymezení dvojice sousedních profilů.

$$Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} - h_e$$

Rovnice 1: Matematické vyjádření Bernoulliho rovnice (Brunner 2010).

**Příčemž:**  $Z_1$  a  $Z_2$  = výška dna v profilech jedna a dva v (m);  $Y_1$  a  $Y_2$  = vodní stav v profilech jedna a dva v (m);  $V_1$  a  $V_2$  = průtočná průřezová rychlost v profilech jedna a dva ( $m \cdot s^{-1}$ );  $a_1$  a  $a_2$  = rychlostní koeficient v profilech jedna a dva (-);  $g$  = gravitační zrychlení ( $m \cdot s^{-2}$ );  $h_e$  = energetickou ztráta v (m).

Dle Brunnera (2010) lze energetickou ztrátu stanovit na základě Manningovy rovnice, která definuje míru sklonu energetického horizontu proudění a lze graficky znázornit následujícím způsobem:

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

Rovnice 2: Matematické vyjádření energetické ztráty (Brunner 2010).

Příčemž:  $L$  = je vzdálenost profilů (m),  $S_f$  = drsnost mezi profily (-),  $C$  = koeficient místních ztrát (-).

V programu HEC-RAS je neustálené proudění možno řešit jednorozměrnou variantou metody sítí za předpokladu použití Preissmanova diferenčního schématu (Valentová a Valenta 2006).

**Režim neustáleného proudění** je forma říční analýzy, na základě které je možno provádět simulaci neustáleného proudění vody. Pro výpočet proudění HEC-RAS využívá Saint - Venantových rovnic neustáleného proudění.

Příčemž:  $A$  [m<sup>2</sup>] = průtočná plocha;  $g$  [m.s<sup>-2</sup>] = gravitační zrychlení;  $J_E$  = sklon čáry energie;  $J_0$  = sklon dna;  $Q$  = průtok [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>];  $U$  [m.s<sup>-1</sup>] ( $U=Q/A$ ) = střední průřezová rychlost;  $x$  [m] = vzdálenost s osou x;  $t$  [s] = čas (Valentová a Valenta 2006).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0, \quad (\text{rov. 7a})$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(UQ)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} - J_0 \right) + gAJ_E = 0, \quad (\text{rov. 7b})$$

Rovnice 3: Matematické vyjádření rovnic Saint Venanta (Valentová a Valenta 2006).

Pro přípravu podkladů a výslednou prezentaci grafiky (záplavového území) lze rovněž využít doplňkový program HEC-GeoRAS, který umožňuje práci s daty v programu ArcGIS. Následný export dat zpět do HEC-RAS umožní provedení konečných úprav a finálních výpočtů. Získaný výsledek je možné exportovat do ArcGIS, kde může být provedena finální vizualizace (Novák a kol. 2015).



## 6. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

### 6.1 Základní charakteristika povodí řeky Desná



Obrázek 7: Poloha povodí Desné (VÚV T. G. M. © 2006).

Řeka Desná pramení v Hrubém Jeseníku na svahu Kamzičnicku (1419 m n. m.) ve výšce 1 322,79 m n. m. v pohoří Hrubého Jeseníku a vznikla soutokem Divoké a Hučivé Desné v Koutech nad Desnou. Právě díky svému prameni na temeni Vysoké hole utváří nejdelší horské údolí v pohoří Hrubého Jeseníku a odvádí veškeré vody z Pradědské hornatiny.

Společně s Divokou Desnou, která bývá nazývána hlavním pramenným tokem (délka po soutok s Divokou Desnou je 8,2 km), dosahuje celkové délky 43,4 km. Řeka protéká obcemi Loučná nad Desnou, okrajem Maršíkova a Rapotínem, kde ji výrazně posilují přítoky řek Merty a Losinky. Dále řeka protéká Vikýřovicemi, Šumperkem a obcí Sudkov. Desná je levostranným přítokem řeky Moravy, do které se vlévá u Postřelmovu v ř. km 285,10 v nadmořské výšce 281,03 m. Jejím největším přítokem je řeka Merta (17,05 km). Povodí řeky Desná má bystřinný charakter a jeho tvar je převážně vějířovitý. Dno toku je skalnaté a balvanité. V blízkosti řeky Moravy ustupují balvany, dno je štěrkové a nese jemné splaveniny. Vegetační doprovod tvoří stromy a keře, rostoucí většinou souvisle podél celého toku (Povodí Moravy 2012).

V povodí se celkově nachází 95 vodních ploch o celkové rozloze 50,44 ha. Nejznámější a největší z nich jsou vodní nádrže Dlouhé stráně – horní nádrž (13,85 ha) a spodní nádrž (9,48 ha). Celková plocha povodí zaujímá téměř 338 km<sup>2</sup> a spadá pod správu Moravy (VÚV T. G. M. © 2006).

Největšími pravobřežními přítoky jsou: Bratrušovský potok, Losinka a Přemyslovský potok. Největšími levobřežními přítoky jsou: Sudkovský potok, Anenský potok, Hraběšický potok, Maršíkovský a Tříramenný potok.

Pod vrchem Zámčisko, který byl vytěžen při stavbě přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně, se stéká s potoky z Medvědího žlebu a ze žlebu Velký Děd, čímž vzniká již svižná říčka s přítvlastkem Divoká. Toto hluboké údolí vysokohorského charakteru bývá velmi často považováno za jedno z nejkrásnějších údolí Jeseníků. Řeka Desná a její přítoky (Divoká a Hučivá Desná) odvádí 99 % odtoků povrchových vod z celého území. Z tohoto důvodu je celá zájmová oblast vodohospodářsky významná a s přihlédnutím k možným rozlivům přívalových vod z Desné je celé území považováno za vodohospodářsky velmi problematické (Jílková 2017).

## 6.2 Biogeografická charakteristika

Zájmové území je součástí Šumperského bioregionu (1.53), biochory 4Nh – hlinité nivy 4 v.s., ve kterém jsou v ČR již jen relativně úzké nivy menších řek, kde se ovšem i ve vyšších polohách vyvinuly celé meandrové pásy. Nivy zde bývají zpravidla odlesněné. Bioregion leží na severní Moravě, zabírá přibližně plochu 978 km<sup>2</sup> a geomorfologicky spadá pod celek Hanušovická vrchovina, kde ze severu zasahuje do části Zábřežské vrchoviny. Bioregion je z velké části tvořen vrchovinou až hornatinou řezanou údolím horských řek s pestrou geologickou stavbou s ostrůvky vápenců a hadců. Bioregion má biotu 3., dubovo-bukového až 5., jedlovo-bukového vegetačního stupně. Vegetace je převážně řazena do květnatých bučin. Biota je v oblasti mírně ochuzená, hercynského charakteru a ovlivněná kontaktem s východosudetskými pohořími. Pro faunu (méně pro flóru) je typické zastoupení východních, zpravidla karpatských migrantů. Netypická část je tvořena výběžky nížin a nevyhraněnými přechodnými územími s dubohabrovými háji a ostrovy acidofilních doubrav, tj. území, která mají ráz blízký sousedním bioregionům (Pravec 2017).



Obrázek 8: Meandr řeky Desná (Matějčíček 2011).

### 6.3 Geomorfologické a morfologické poměry

Dle Demka (1987) se zájmová lokalita z geomorfologického hlediska řadí do:

- provincie **Česká vysočina**,
- subprovincie Krkonošsko – Jesenická,
- oblast Jesenická,
- celek Hanušovická vrchovina,
- podcelek Šumperská kotlina.

Území má charakter tektonického příkopu vyplněného kvartérními sedimenty v mocnostech až 40 m a je mírně zvlňené. Významnými morfologickými prvky jsou vodoteče – Desná a Losinka. Území se mírně svažuje jednak k Desné a jednak ve směru toku. Nadmořská výška terénu se pohybuje okolo cca 320 m n. m. (Pöyry Environment 2012).

Lokalitu lze zařadit do kategorie vysočin, kdy nadmořská výška v žádném místě neklesá pod 250 m n. m. Oblasti s nejnižší nadmořskou výškou je možné nalézt v nivě řeky Desná na území města Šumperk s výškou 320 až 330 m n. m. Nejvyšším bodem v lokalitě je Mravenečník (1 342 m), který se nachází jihozápadním směrem od horní nádrže přečerpávací elektrárny Dlouhé stráně. Zájmovou oblast tvoří systémy horských hřbetů a hluboko zaříznutá údolí vodních toků. Vrcholy a hřbety skal jsou osety skalními útvary v podobě izolovaných skal, skalních hradeb, mrazových srubů nebo kamenných moří (Janků 2009).



Obrázek 9: Vymezení Šumperské kotliny ([www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)).

Morfologie kvartéru zájmové lokality má charakter erozního reliéfu, přičemž na modelaci terénu se uplatnily především toky – reliéf niv a nejnižších teras středních úseků vodních toků. Ke tvorbě kvartérních sedimentů došlo ve větší míře hlavně v údolí řek Morava a Desná (okolí Vikýřovic, Rapotína, Velkých Losin a Loučné nad Desnou) spadajícího do Šumperské kotliny. Mocnost sedimentů se v této lokalitě pohybuje okolo 40 m a jedná se převážně o fluviální sedimenty, eolické, organické a antropogenní uložení. Ojedinělým zástupcem eolických sedimentů jsou zde spraše, které vytvářejí závěje na jihovýchodních a východních svazích východně až severně od města Šumperka, kde mocnost eolických uloženin dosahuje 6,7 – 11,1 m (Opletal a kol. 1980).

#### 6.4 Horniny a reliéf

Šumperská kotlina se nachází v západním úpatí Hrubého Jeseníku v Olomouckém kraji a spadá do Hanušovické vrchoviny. Nejvyšším vrcholem je Strážník s výškou 470 m n. m. Je to tektonická sníženina vyplněná mocnými pliocenními a kvartérními sedimenty. Celková rozloha kotliny je 69,43 km<sup>2</sup> (Demek a Mackovčín 2006.) Střední nadmořská výška oblasti je 401,4 m a střední sklon je 4°56'. Severní část kotliny tvoří protáhlé údolí řeky Desná, které se rozšiřuje směrem na jih. Nejširší částí kotliny je oblast, kde dochází k soutoku Hraběšického potoka s řekou Desná. Severní část kotlinovitého údolí Desné je souběžná s hlubinným zlomem

Červenohorského sedla. Dno je vyplněno balvanitými štěrky nivy Desné a jejích přítoků. Nemalá část celé kotliny je zastavěná městem Šumperkem a menšími sídly, které ovlivnily celkový vzhled krajiny s četnými antropogenními strukturami.

Území se celkově zvedá od jihu k severu a má převážně charakter zvednutých, zarovnaných povrchů, která jsou rozčleněna zaříznutými, max. 150 až 440 m hlubokými údolními, nad které se zvedají jednotlivé tektonicky zdvižené kry (Jeřáb, Bradlo). Naopak místy došlo ve vzniku tektonicky podmíněných kotlin, mezi které patří např. kotliny u Šumperka a v oblasti Velkých Losin. V bioregionu dochází k četnému výskytu skalních útvarů, především v zaříznutých údolích (údolí potoku Krupé a řeky Moravy). Tyto útvary se postupně vytrácí na vrcholech některých výrazných kopců. Kotliny mají výškovou členitost ploché roviny tj. 150 – 200 m n. m. Vyšší oblasti pak mají ráz ploché hornatiny s členitostí 300 – 370 m n. m. V lokalitě Jeřábu má ráz ploché až členité hornatiny s výškovou členitostí 320 – 600 m n. m. Nejnižší bod se nachází na okraji bioregionu u Dubicka s kótou cca 270 m n. m. a nejvyšším vrcholem Jeřáb. Typická výška bioregionu je 400 – 800 m n. m. (Pravec 2017).

Hrubý Jeseník s nejvyšší horou Praděd (1 491,3 m n. m.) je nejvyšším místem moravského a slezského pohoří. Z jižní strany podhůří ji tvoří celek Hanušovická vrchovina s nejvyšším vrcholem zvaným Jeřáb (1 002,8 m n. m.). Pro geomorfologii vrchoviny jsou typické hojně se vyskytující antropogenní formy georeliéfu, tvořené převážně agrárními valy dlouhými často stovky metrů a agrárními haldami (Šafář 2003).

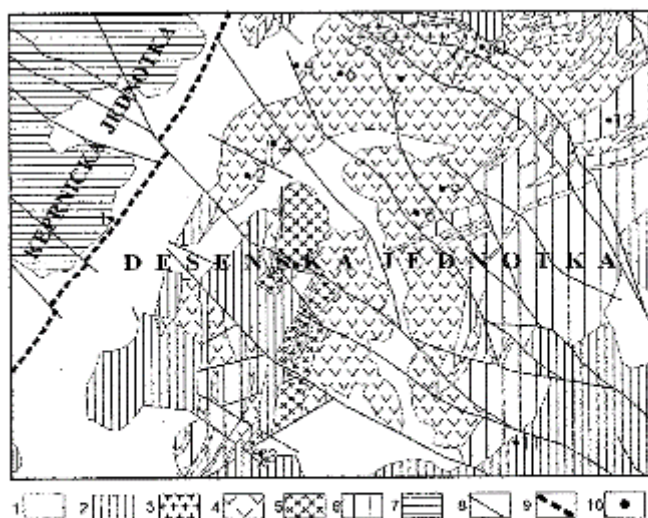
V zájmové oblasti je hlubší podloží tvořeno převážně horninami předdevonského patra silesika. Předdevonské patro silesika je litologicky vytvořené převážně z metamorfovaných hornin – dominantně převažují biotické a dvojslídne pararuly a svory. V oblasti se také podružně vyskytují erlány, amfibolity, grafitické horniny, které jsou svým složením charakteristické spíše pro oblast svrchní části předdevonského patra. Stáří intruze odpovídá hercynskému geotektonickému cyklu. Ruly neboli skalní horniny, se ve sledované oblasti vyskytují v hloubce 40 m p. t. (Demek a Mackovčín 2006).

Tyto skalní horniny jsou na povrchu překryty souborem mladších uložených hornin. V údolní nivě řeky Desná se vyskytují fluviální štěrky, které jsou překryty slabou vrstvou aluviálních hlín. Údolní okraje nivy Desné pokrývají spraše a drťové spraše. Svrchní vrstvu pokryvu v zájmovém prostoru tvoří fluviální štěrky řeky Desná a jejích přítoků, jejichž stáří je datované k období plioleistocennímu. Struktura štěrku

je hrubě zrnitá až balvanitá s příměsí jemnozrnné hlinité a jílovité frakce. Velikost valounů dosahuje velmi často 20 – 25 cm, zřídka až 50 cm a tvoří je převážně ruly, svory, amfibolity, granitoidy a křemen. Svrchní část v zájmovém prostoru tvoří vrstva aluviálních hlín. Mocnost hlín není velká a pohybuje se řádově v decimetrech. Pouze místy je mocnost hlín větší než 1 m. Hlíny mají zpravidla prachovitou a písčitou strukturu (Czudek 1997).

## 6.5 Geologické poměry

Z geologického pohledu představuje výše uvedená oblast jedno z nejsložitějších území Českého masívu, kde vystupují horniny dvou geologických jednotek – „keprnické“ a desénské“ s obalovou skupinou hornin devonského stáří. Šumperská kotlina je vyplněna mocnými kvartérními sedimenty, jejichž mocnost dosahuje až 40 m. Geologickou stavbu lokality určuje převážně průběh geologických jednotek a jednotlivých horninových pruhů. Převážně se jedná o krystalinické série různě silně metamorfované a intenzivně deformované. Horninová posloupnost má v rámci jednotlivých geologických jednotek často šupinovitou strukturu a je postižena vrásovými a střížnými deformacemi (Pöyry Environment 2012).



Obr. 1-2. Přehled geologických jednotek na listu 14-421 Velké Losiny.

1 – kvartér, 2 – vršenská skupina (devon), 3 – granit Rudné, 4 – sobotínský bazický masiv, 5 – metatonalit v sobotínském masivu, 6 – ruly desénské jednotky, 7 – keprnická jednotka, 8 – zlom, 9 – hranice mezi keprnickou a desénskou jednotkou, 10 – významná geologická lokalita.

Obrázek 10: Výřez geologické mapy (Pöyry Environment 2012).

Z geologického hlediska tvoří podklad Hrubého Jeseníku tzv. silezikum. Sedimenty z období třetihor vyplňují propadlinu Mohelnické brázdy, která se táhne od Šumperské kotliny po Nový Malín. V období poslední doby ledové došlo v jižní části regionu k návějším spraše a sprašových hlín. Pro oblast šumperského regionu

je typická velká složitost geologické stavby, kterou budují komplexy vyvřelých, přeměněných a usazených hornin datovaných do období starohorního až čtvrtohorního. Při formování území v průběhu geologického vývoje docházelo v území k pravidelnému zaplavování mořem. Probíhala zde řada geologických procesů, kde docházelo k přeměnám hornin, vznikem vyvřelých hornin a výraznou strukturně tektonickou modelací v několika horotvorných etapách (Šafář 2003).

V období čtvrtohor probíhaly v oblasti výzdvihy centrálních částí jesenických hor, čímž docházelo k tvorbě plošin, které se v okolí Šumperka pohybují ve výškách od 820 do 890 m n. m. Klenbovitý zdvih dále pokračoval v centrálních částech, kde byl doprovázen tvorbou tektonických příkopů – příkladem může být již právě několikrát zmíněná Šumperská kotlina. Ve čtvrtohorách docházelo v oblasti k zalesnění, které probíhalo s porovnáním s dnešním klimatem ve vlhčích a teplejších klimatických podmínkách. Následkem tohoto procesu došlo v oblasti ke vzniku rašelin a slatin. V oblasti jsou zastoupeny všechny typy hornin, a to jak vyvřelé, sedimentární i metamorfované. K tvorbě těchto kvartérních sedimentů docházelo převážně v údolí řeky Desná v oblasti obcí Vikýřovice, Rapotín, Velké Losiny a Loučná nad Desnou. Můžeme zde nalézt sedimenty fluviální, deluviální, eolické, organické a antropogenní. Jediným zástupcem eolických sedimentů jsou zde spraše, jejichž mocnost dosahuje v oblasti Šumperka 6,7 až 11,1 m. Tyto uloženiny vytvářejí závěje na jihovýchodních a východních svazích východním směrem od města Šumperk a v minulosti zde byly nalezeny zbytky zuhelnatělých rostlin (Opletal a kol. 1980).

Fluviální štěrkovité písky se nacházejí v určitých částech nivy řeky Desná a vystupují k povrchu v místě obcí Vikýřovice a Rapotín. Mocnost těchto sedimentů se pohybuje od 4 až do 4,8 m, místy dokonce hloubky až 43 m. Usazené sedimenty v okolí vodních toků mají velmi hrubou strukturu a jsou tvořeny štěrkovitými až písčitými štěrky s obsahem velkého množství polooválných valounů a balvanů (Opletal a kol. 1980).

## 6.6 Klimatické poměry

Dle Quitta (1975) se v území projevuje velmi výrazný gradient ve směru od severu k jihu. Jižní okraje území leží v relativně teplejších, mírně teplých klimatických oblastech s označením MT 10, MT 9, MT 7. Centrální část území spadá do klimatické oblasti MT 2. Mírně teplá oblast neboli MT 2 pokrývá území až po oblast Hanušovické vrchoviny včetně všech lokálních pohoří s nadmořskou

výškou převyšující 500 m n. m. Pro tuto klimatickou oblast je charakteristické krátké léto s dlouhými periodami mezi přechodovým obdobím jednotlivých ročních období. Zimní období zde bývá dlouhé, mírně vlhké s vydatnou sněhovou pokrývkou s velmi dlouhou schopností pokryvu. Zbylé území náležící k Šumperské kotlině se nachází v klimatické oblasti MT 7. Pro tuto oblast je charakteristické normálně dlouhé a mírně suché léto. Zima bývá z pravidla krátká, mírná, suchá a vydatnost sněhové pokrývky zde nemá dlouhého trvání.

Charakteristika	MT7	CH7
Počet letních dnů	<b>30 - 40</b>	10 - 30
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	140 - 160	120 - 140
Počet mrazových dnů	<b>110 - 130</b>	140 - 160
Počet ledových dnů	<b>40 - 50</b>	50 - 60
Průměrná teplota v lednu [°C]	-2 - (-3)	-3 - (-4)
Průměrná teplota v červenci [°C]	16 - 17	15 - 16
Průměrná teplota v dubnu [°C]	6 - 7	4 - 6
Průměrná teplota v říjnu [°C]	7 - 8	6 - 7
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	100 - 120	120 - 130
Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm]	<b>400 - 450</b>	500 - 600
Srážkový úhrn v zimním období [mm]	<b>250 - 300</b>	350 - 400
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	<b>60 - 80</b>	100 - 120
Počet zamračených dnů	120 - 150	150 - 160
Počet jasných dnů	40 - 50	40 - 50

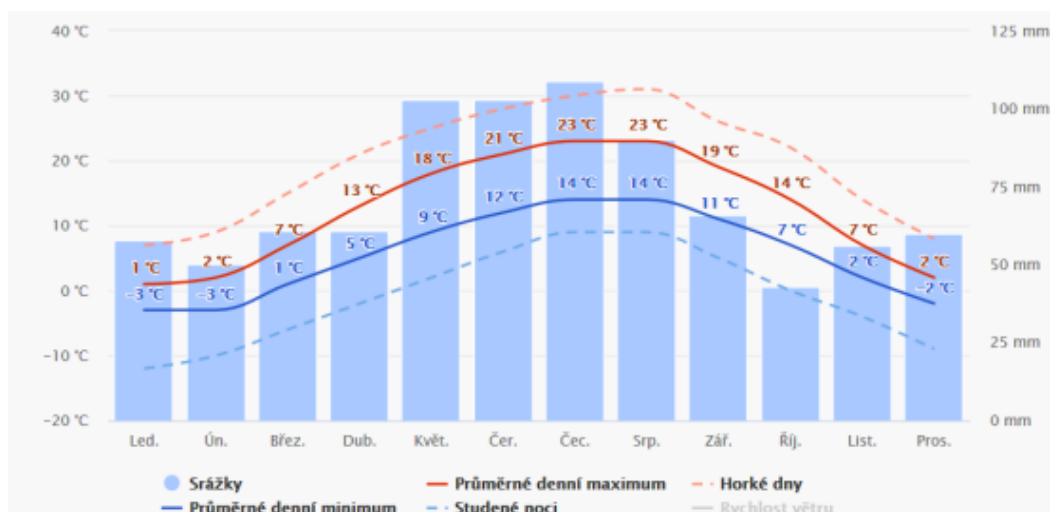
Tabulka 3: Charakteristika klimatické oblasti (www.edpp.cz) upravila Jílková (2020).

Region je dostatečně zásoben srážkami, které narůstají od jihu k severu a stejným směrem klesají i teploty. Bioregion je tvořen nížinami a do velké míry ovlivněn blízkostí hor. V zimním období dochází k výskytu teplotních inverzí regionálního rozsahu (Culek a kol. 2013). Podnebí šumperského okresu je charakteristické velkými rozdíly na poměrně malé vzdálenosti, které jsou podmíněné velkým rozpětím nadmořských výšek. Velmi charakteristickým jevem v oblasti Šumperska jsou časté teplotní inverze. Zvláště v chladné polovině roku bývá teplota ve vrcholových částech pohoří vyšší než v kotlinách pod pohořím. Hojný výskyt srážek nad 1 000 m zachycuje ročně téměř celá lokalita Hrubého Jeseníku a Kralického Sněžníku. V extrémních vrcholových polohách nejsou s ohledem na silné větry zachyceny všechny srážky, jejichž skutečné množství je mnohem vyšší než naměřené (Melzer a Schulz 1993).

ČSN 730540 řadí Šumperk do klimatické oblasti číslo 3 s výpočtovou venkovní teplotou 17 °C v krajině s intenzivními větry bez výskytu námrazových mikrooblastí s průměrnou nadmořskou výškou 317 m. Pro tuto oblast je typické krátké mírné a mírně vlhké léto, krátká a mírná přechodná období jara a podzimu. Zima bývá



normálně dlouhá s normální sněhovou pokrývkou (Melzer a Schulz 1993). Nejchladnějším měsícem v roce je leden s průměrnou teplotou  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Quitt 1975).



Obrázek 11: Průměrné teploty a úhrn srážek ([www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)).

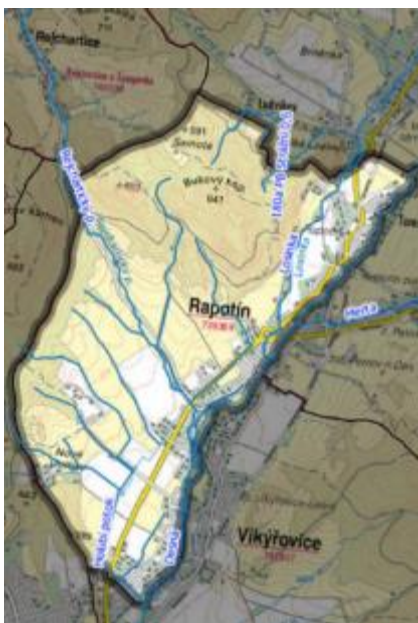
## 6.7 Hydrologické a odtokové poměry

Jak uvádí Šafář (2003), má Šumpersko rysy charakteristické pro pramennou oblast. Zájmové území se nachází v úmoří Černého moře a spadá pod povodí Moravy. Celkově se jedná asi o 20 km dlouhé úseky s výjimkou řeky Desná (43,6 km), kde se vyskytují vesměs pstruhové vody a kde dochází ke značnému kolísání vodní hladiny a k povodňovým situacím.

Nejvodnatější řekou v oblasti je již zmíněná řeka Desná se svými menšími přítoky, z nichž nejvýznamnější jsou Merta, Losinka a Bratrušovský potok. K menším přítokům se řadí Přemyslovský potok, Tříramenný potok, Rejchartický potok, Holubí, Malínský a Sudkovský potok. V zájmové oblasti je koryto řeky Desná prakticky v celém území upravené. V úsecích přilehlé zástavby je téměř nepřístupné přes oplocení soukromých pozemků. Mimo zástavbu jsou břehové hrany porostlé hustým dřevním porostem a nezdávka se na oplocených pozemcích nacházejí přímo za břehovými hranami různé nadzemní objekty a budovy hospodářského typu.

Téměř celá část zástavby obcí v povodí řeky Desná nad Šumperkem je v dnešní době ohrožována především inundovanými vodami při vyšších N – letých průtocích prakticky v celé délce jejího toku, a to i v předmětném úseku pod zaústěním řeky Merty až po stávající jez Červený Dvůr. Kapacitně se stávající upravené koryto řeky Desná pohybuje v rozmezí mezi  $Q_5$  až  $Q_{10}$ . Pětileté a desetileté průtoky se momentálně odlehčují z koryta Desná jak pod řekou Mertou, tak i pod Losinkou

a Rejchartickým potokem až do zástavby, která provází oba dva břehy toku, kde protékají v celé délce úseku níže směrem k Šumperku (AQUATIS 2017).



Obrázek 12: Významné vodní toky na území obce Rapotín ([www.edpp.cz](http://www.edpp.cz)).

Oblast toku povodí řeky Desná a řeka Morava se řadí do dvou hydrogeologických rajónů. V povodí horní Moravy jsou ideální podmínky pro vytvoření dostatečných zásob podzemních vod zásluhou vysokého průměrného ročního úhrnu srážek a optimálního časového rozložení. Velkou zásluhou se také podílí pozvolné odtávání sněhové pokrývky na konci zimního období. Řeka Morava a Desná se z vodohospodářského pohledu řadí do významných toků. Vodohospodářský význam řek v okolí byl zdůrazněn vyhlášením Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV Jeseníky). Výskyt kolektorů s fluviálními sedimenty v místě soutoku řeky Morava a Desná byl podtržen vyhlášením CHOPAV v kvartéru řeky Morava (Opletal a kol. 2000).

V daném území jsou ideální podmínky pro vytvoření dostatečných zásob podzemních vod. Zásluhu na tom má vysoký průměr ročního úhrnu srážek, dobré časové rozložení srážek a zejména pozvolné odtávání sněhové pokrývky na konci zimního období (Opletal a kol. 2000).

Řeka Merta pramení v nadmořské výšce 1 240 m na jihovýchodních svazích Vřesníku. Do řeky Desná ústí v 360 m n. m. v obci Rapotín. Plocha povodí zaujímá téměř 74,5 km<sup>2</sup> a je dlouhá 16,6 km. Průměrný průtok činí okolo 1,2 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Tok spadá do kategorie pstruhových vod a většinou své celé délky se nachází v CHKO Jeseníky. Hydrologické statistiky se vztahují k profilu v Rapotíně.

Pramen řeky Losinky se nachází severně od obce Bukovice v nadmořské výšce 812 m a do řeky Desná ústí zleva v 350 m n. m. v obci Rapotín. Plocha povodí zaujímá 37,3 km<sup>2</sup> a délka toku činí 11,7 km. Průměrný průtok v ústí řeky se pohybuje okolo 0,53 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Hydrologické statistiky se vztahují k profilu v Rapotíně.

Pramen Bratrušovského potoka nalezneme u vrcholu Lužné v nadmořské výšce 595 m. n. m. Do řeky Desná ústí zprava u obce Dolní Studénky v 299 m n. m. Celková plocha povodí zaujímá 31,9 km<sup>2</sup>. Hydrologické statistiky se vztahují k profilu v Šumperku (Vlček a kol. 1984).

## 6.8 Hustota říční sítě

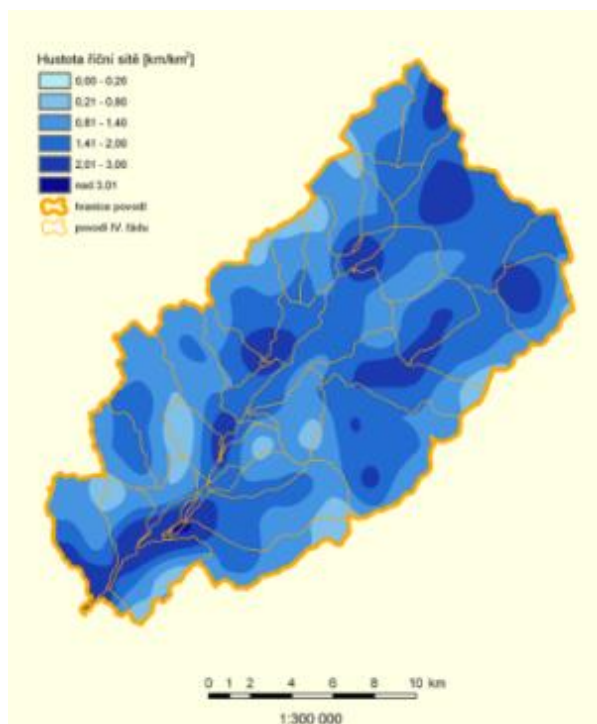
**Hustotu říční sítě** lze charakterizovat jako ukazatel pro velikost povrchového odtoku. Průměrná hodnota ve sledovaném povodí je 1,50 km/km<sup>2</sup> (VÚV T. G. M. © 2006).

Netopil (1981) uvádí, že hustota říční sítě vyjadřuje celkovou délku toků připadající na plochu 1 km<sup>2</sup>. Lze ji určit, jako podíl délky toků v daném povodí v km a plochy povodí v km<sup>2</sup>. Můžeme tedy říci, že hustota říční sítě nám dává přesný přehled o výskytu řeky v určité oblasti a podává názorný obraz o celkovém vzhledu krajiny.

Hustota říční sítě závisí na několika faktorech, například:

- *je rozdílná v různých částech říčního systému,*
- *je proměnlivá v závislosti na okolnostech ovlivňujících odtok,*
- *objektivně a celkově vyjadřuje vliv hlavních činitelů působících na odtok a míru erodovatelnosti,*
- *v členitém území roste hustota říční sítě v závislosti na zvýšeném povrchovém odtoku podmíněném příznivým sklonem a malou propustností podloží,*
- *menší hustota se nachází v nížinách s malým sklonem a propustným povrchem.*

Průměrná hustota říční sítě na území České republiky činí 0,85 km.km<sup>-2</sup> (VŠB © 2018).



Obrázek 13: Hustota říční sítě toku Desná a jeho povodí (VÚV T. G. M. © 2020).

Kdy:  $r = \frac{\sum L}{P}$   $\sum L = \text{součet délek všech vodních toků [km]}$   
 $P = \text{plocha povodí [km}^2\text{]}$

Dle plochy povodí je rozložení hustoty říční sítě v území nerovnoměrné. Nejvyšší hustotu lze zaznamenat v oblasti kolem řeky Moravy, nejnižší naopak ve vrcholových partiích lemujících hřebeny hor (Janků 2009).

## 7. BLIŽŠÍ CHARAKTERISTIKA ŘEŠENÉHO ÚSEKU

### 7.1 Záplavové území řeky Desná v ř. km 0,00 – 37,090

Záplavové území řeky Desná bylo stanoveno veřejnou vyhláškou Krajského úřadu Olomouckého kraje, č. j. KUOK/552/2010 – konkrétně Odborem životního prostředí a zemědělství, jako příslušným vodoprávním úřadem dle ustanovení § 104 odst. 2 písm. d) a § 107 písm. o) vodního zákona, ustanovení § 25 a § 172 zákona č. 500/2004 Sb., správní řád, ve znění pozdějších předpisů, v souladu s ustanovením § 7 vyhlášky č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu stanovování záplavových území (dále jen „vyhláška“), a to na základě návrhu správce toku Povodí Moravy s. p. ze dne 13. 10. 2008. Sdělení nabylo účinnosti dne 14. 01. 2010 a ustanovuje:

**Záplavové území** podle ustanovení § 66 odst. 1 vodního zákona a § 4 odst. 2 vyhlášky pro rozliv při  $Q_{100}$ ;  $Q_{20}$  a  $Q_5$  pro vodní tok:

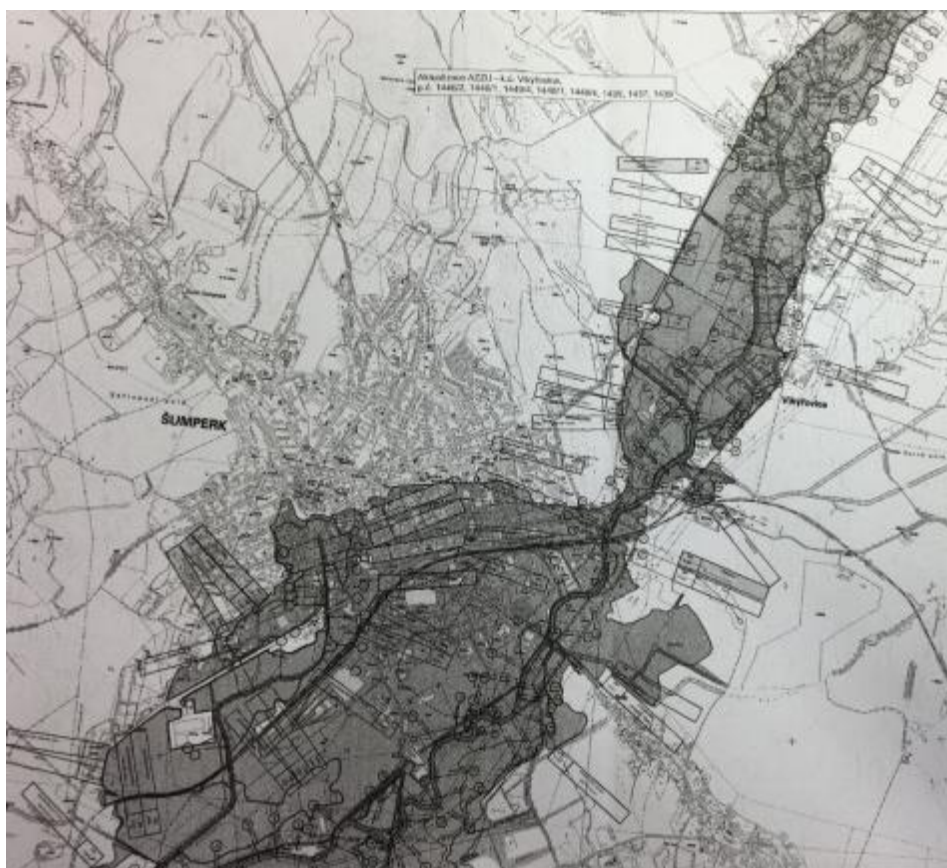
**Desná v ř. km 0,00 – 37, 090** tj. soutok s řekou Moravou až VD Dlouhé Stráně. Číslo hydrologického pořadí 4-10-01-059 až po ústí vodního toku 4-10-01-095.

**Hučivá Desná v ř. km 0,00 – 5,140** tj. číslo hydrologického pořadí pramene vodního toku 4-10-1-062 až povodí ústí vodního toku 4-10-01-064.

Tímto rozhodnutím byla rovněž stanovena **aktivní zóna záplavového území** dle ustanovení § 66 odst. 2 vodního zákona a § 4 odst. 3 vyhlášky pro vodní tok:

1) řeka Desná od ústí s řekou Moravou po soutok s Hučivou Desnou v rozsahu povodně  $Q_{20}$ .

2) řeka Desná nad soutokem s řekou Hučivou Desnou v rozsahu povodně  $Q_{100}$  a pro Hučivou Desnou  $Q_{100}$  zvětšenou o podélný pruh v šířce trojnásobku hloubky koryta (KÚ Olomouckého kraje © 2010).



Obrázek 14: Záplavové území toku Desná (Povodí Moravy 2012).

## 7.2 Představení projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840

Pro návrh funkčního a účelného protipovodňového opatření (dále jen PPO) musel být nejdříve vytipován nejohroženější úsek řeky Desná v Rapotíně. Z tohoto důvodu obec v roce 2012 ve spolupráci s Povodím Moravy s. p. podala žádost ke zpracování projektové dokumentace pod názvem „Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v říčním km 14,231 – 16,840“. Zpracovatelem dokumentace byla společnost AQUATIS a.s.

Při podrobnějším zpracovávání projektové dokumentace pro územní rozhodnutí (DUR) v návaznosti na dříve zpracované studie byla stavba vyhodnocena jako technicky i investičně velmi náročná a původně předpokládané a plánované řešení ochrany přílehlé zástavby podél toku řeky Desná před povodněmi za pomoci jednodušších a levnějších hrází ve více odsazené poloze od koryta Desná a od břehů jejich průtoků se ukázalo jako nedostatečné. V rozpracovaném stavu DUR došlo k rozhodnutí o upřesnění technického řešení PPO a rozsahu stavebních objektů (dále jen SO) pro ochranu přílehlé zástavby po obou březích řeky Desná v celém zájmovém úseku. Zvětšil se také rozsah SO, kde se předpokládá zlepšení odtokových poměrů a vyřešení protipovodňové ochrany v celé řešené lokalitě. V souvislosti s výše uvedenými důvody bylo mezi objednatelem projektů – obcí Rapotín a zhotovitelem projektů – spol. AQUATIS a.s. dohodnuto, že s ohledem na větší rozsah stavebních prací oproti původním předpokladům bude projekt rozdělen na dva samostatné na sebe navazující projekty.

**Kapacita stávajícího koryta** je v současné chvíli limitována v rozmezí přibližně  $Q_5$  –  $Q_{10}$  a je úzce spjata s jeho podélným sklonem a morfologií koryta. Tyto pětileté až desetileté průtoky jsou v současné chvíli odlehčovány z koryta řeky Desná jak pod řekou Mertou, tak pod řekou Losinkou a Rejchartickým potokem, odkud protékají v celé délce popisovaného úseku směrem k Šumperku. Inundované vody jsou v současné chvíli vzdouvány stávajícími silničními náspy, kdy tato zemní tělesa usměrňují možné proudění inundovaných vod i dále podél silničních komunikací a železničních násypů níže po toku do zastavěného území. Mostní profily vyskytující se ve sledovaném úseku jsou málo kapacitní a zvyšují povodňové průtoky, čímž dochází k vybřežování vody do okolní zástavby (AQUATIS 2018).

Proto protipovodňová ochrana zástavby ve sledovaném úseku řeky Desná v k.ú. obce Vikýřovice, Rapotín a následně ve druhé etapě výstavby v k.ú. obce Petrov

nad Desnou počítá s využitím obou typů PPO pro možné zajištění ochrany vyššího stupně s výhledem až na stoletý průtok ( $Q_{100TR}$ ).

V první fázi projektu dojde podél toku k vybudování přisazených i odsazených ochranných hrází a protipovodňových zdí ve stísněných podmínkách. Do budoucna projekt předpokládá vybudování retenčních nádrží (suchých poldrů) jak na vlastním toku řeky Desná, tak i na jeho přítocích. Velikost akumulčních nádrží je předběžně projektována tak, aby tyto nádrže byly schopny pojmout stoletý průtok, který bude transformován na hodnotu padesátileté vody  $Q_{100TR} = Q_{50}$ .

Technická řešení všech ochranných prvků, jejich založení, rozsah těsnění propustných podloží navrhovaných hrází a zajištění stability břehů podél toku mají rovněž úzkou vazbu na hydrogramy a vykreslené povodňové vlny z období extrémních povodňových událostí z let 1984 a 1997. Nejdůležitější roli hrají tvary povodňových vln pro transformaci vysokých průtoků, které mají být zachytávány v plánovaných nádržích a poldrech a to hydrogramy v místě profilu pod zaústěním řeky Merty po transformaci v plánovaném suchém poldru ve Velkých Losínách. Na základě získaných hydrogramů lze konstatovat, že povodňové vlny vysokých N-letých průtoků jsou velmi úzké, náběhy a opadávání povodňových událostí jsou velmi rychlé a trvání kulminačních průtoků v případě normálních a obvyklých srážek je krátké s trváním řádově několika hodin (AQUATIS 2018).

Návrh přírodě blízkých PPO v popisovaném projektu pro provádění stavby vychází z předchozích stupňů dokumentace pro stavební povolení z roku 2015, územního rozhodnutí z roku 2014, a také ze studie zpracované zástupci správce toku Povodí Moravy s. p. v listopadu roku 2011 (AQUATIS 2017). Samotná stavba byla zahájena na jaře roku 2018.

### 7.3 I. ETAPA projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840

**I. ETAPA** projektu řeší úsek od jezu Červený Dvůr v ř. km 14,231 až po povodňový park č. 4 na pravém břehu dnešního koryta řeky Desná v ř. km 15,438 a po ulici Rybářská v ř. km 15,573 na levém břehu řeky Desná. Stavba v rámci I. ETAPY bude realizována v k.ú. obcí Vikýřovice a Rapotín. Protipovodňová ochrana bude v předmětném úseku řešena formou trvalé liniové stavby s vybudováním ochranných hrází a zdí podél stávajícího koryta řeky Desná a podél nových obtokových ramen vytvořených při okraji přilehlé zástavby intravilánu obcí Vikýřovice a Rapotín (AQUATIS 2017).

Primárním předmětem I. ETAPY bude zkapacitnění stávajícího pevného jezu, který se nachází na konci předmětného úseku na jez pohyblivý, tzv. „vakový“. Dále zkapacitnění koryta řeky Desná formou prohrádky zaneseného koryta v úseku nad tímto jezem a rovněž zvětšení a opevnění průtočných profilů nynějšího silničního mostku v ř. km 14,655. Projekt počítá s výstavbou nového mostu a zvýšením mostovky do bezpečné výšky nad hladinu návrhového průtoku (AQUATIS 2017).

Celkový úsek v rámci I. ETAPY počítá s úpravou toku v délce **1 342 m**.

#### 7.3.1 Celkový zábor zemědělských pozemků v rámci I. ETAPY

- **k.ú. obce Vikýřovice**

**Trvalý zábor** celkem **31 387 m<sup>2</sup>**, z toho trvalé odnětí ze PPF = 7 283 m<sup>2</sup>

**Dočasný zábor** celkem 5 155 m<sup>2</sup>

- **k.ú. obce Rapotín**

**Trvalý zábor** celkem **28 787 m<sup>2</sup>**, z toho trvalé odnětí ze ZPF = 16 948 m<sup>2</sup>

**Dočasný zábor** celkem 6 160 m<sup>2</sup>

Cílem I. ETAPY je vyřešení protipovodňové ochrany formou přírodě blízkých PPO, a to formou zvětšení průtočného profilu řeky Desná ve vhodně zvolených místech. K tomuto opatření bude využito převážně pozemků zemědělsky využívaných, kde na loukách a pastvinách dojde k vybudování obtokových kanálů, odlehčovacích koryt spojených s revitalizačním opatřením a vytvoření 3 tzv. povodňových parků, které budou zpřístupněny po obou březích formou dřevěných lávek pro pěší a pro cyklisty (AQUATIS 2017).

#### 7.4 II. ETAPA projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840

**II. ETAPA** projektu řeší úsek pravého břehu řeky Desné od ř. km 15,438 a úsek levého břehu řeky Desné v ř. km 15,573 až po zaústění řeky Merty v ř. km 16,840. Současně dojde k zajištění průchodnosti stávajícího jezu pro vodní živočichy v ř. km 15,780 s objektem MVE na levém břehu řeky Desná. Zprůchodnění bude realizováno výstavbou rybího přechodu v krátkém obtoku na pravém břehu řeky Desná. Projekt dále počítá se zvětšením a opevněním průtočného profilu stávajícího silničního mostu v ř. km 16,125 na ulici Osvobození a výstavbou nového mostu se zvýšenou mostovkou navrženou v bezpečné výšce nad hladinou návrhového



průtoku. V úseku levého břehu bude stavba tvořit liniovou protipovodňovou ochranu formou vybudování odsazených hrází a ochranných zdí podél stávajícího koryta řeky Desná a rovněž podél nově vybudovaných obtokových ramen, které budou kopírovat okraje přilehlé zástavby v intravilánu obcí Vikýřovice, Rapotín a Petrov nad Desnou.

V rámci horní části celého úseku, jsou projektem navrženy 2 povodňové parky, které budou v jednom profilu zpřístupněny obyvatelstvu z obou břehů pomocí dvou nově vybudovaných dřevěných lávek pro pěší. S ohledem na zajištění trvalého průtoku vod i v obdobích sucha, budou na vtocích do obtokových a odlehčovacích ramen na stávajícím hlavním toku řeky Desná vybudovány nízké vzdouvací a omezovací objekty, které umožní regulaci nátokového množství říčních vod do nově vybudovaných souběžných odlehčovacích ramen řeky Desná. Tyto omezovací objekty umožní regulaci výšky hladiny přelivů v případě odlehčování vod až nad průtoky v rozmezí  $Q_{330d}$  až  $Q_{30d}$  na základě potřeby a doporučení kompetentních orgánů státní správy.

Celkový úsek v rámci I. ETAPY počítá s úpravou toku v délce **1 400 m**.

#### 7.4.1 Celkový zábor zemědělských pozemků v rámci II. ETAPY

- **k.ú. obce Rapotín**

**Trvalý zábor** celkem **51 880 m<sup>2</sup>**, z toho trvalé odnětí ze PPF = 27 862 m<sup>2</sup>  
**Dočasný zábor** celkem 3 990 m<sup>2</sup>

- **k.ú. obce Vikýřovice**

**Trvalý zábor** celkem **2 905 m<sup>2</sup>**, z toho trvalé odnětí ze ZPF = 170 m<sup>2</sup>  
**Dočasný zábor** celkem 692 m<sup>2</sup>

- **k.ú. Petrov nad Desnou**

**Trvalý zábor** celkem **8 850 m<sup>2</sup>**, z toho trvalé odnětí ze ZPF = 265 m<sup>2</sup>  
**Dočasný zábor** celkem 2 781 m<sup>2</sup>

## 8. METODIKA

### 8.1 Rozsah řešeného území

Řešený úsek ř. km 14,247 – 14,674 se nachází v katastrálním území obcí Vikýřovice – 781827 a Rapotín – 739359 pod soutokem dvou řek Divoká Desná a Hučivá Desná a spadá do I. ETAPY projektu popsaného v předchozí kapitole.

Charakter toku je převážně bystřinný. Vegetační doprovod je tvořen většinou vzrostlými a mnohdy přestárlými stromy včetně doprovodného keřového porostu vyskytujícího se prakticky souvisle podél celého toku. Koryto řeky Desná je ve výše uvedeném předmětném úseku téměř po celé své délce upravené a vlivem hustého dřevního porostu v úsecích mimo zástavbu velmi špatně přístupné. V úsecích s přilehlou zástavbou se setkáváme s problémem soukromých, oplocených pozemků, které mnohdy vedou až k břehové hraně řeky Desná a jejích přítoků. Ne zřídka se na oplocených pozemcích, které zasahují až za břehové hrany řeky, nacházejí různé objekty v podobě přístřešků, kůlen, skleníků, skládek stavebního materiálu včetně doprovodu okrasných dřevin a rostlin (AQUATIS 2017).



Obrázek 15: Ortofoto pohled na řešené území ([www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) upravila Jílková 2020).

## 8.2 Popis stavební objektů v řešeném úseku ř. km 14,247 – 14,674

V rámci řešeného úseku je projektováno celkem deset stavebních objektů (z celkového počtu 46 objektů v rámci I. a II. ETAPY), které budou tvořit kombinaci přímých zásahů do koryta řeky Desná, vybudování jak liniových protipovodňových staveb v odsazených polohách, tak i přírodě blízkých PPO objektů a revitalizovaných ploch velkého rozsahu, které po svém dokončení budou velmi výrazně ovlivňovat odtokové poměry lokality.

Financování projektu bude realizováno z prostředků SFŽP částkou ve výši 326,5 mil. Kč. Mimo podporu SFŽP se obcím Rapotín, Vikýřovice a Petrov nad Desnou podařilo získat individuální dotaci na vlastní zdroje ve výši 15 mil. Kč. Další finanční podporu projekt získá od Povodí Moravy s. p., který z vlastních zdrojů uvolnil částku přesahující 10 mil. Kč.

- **SO 01.3 – Prohrábka (zahloubení) koryta řeky Desná v ř. km 14,231 – 14,713**

Vzhledem k požadavku na zkapacitnění jezového profilu a koryta řeky nad jezem je projektovou dokumentací spol. AQUATIS a.s. navržena prohrábka (zahloubení) koryta řeky Desná v úseku od rekonstruovaného jezu Červený Dvůr v ř. km 14,231 až po stávající mostek na místní komunikaci ve Vikýřovicích, tj. po ř. km 14,713. Celkový úsek prováděné prohrábký bude dlouhý **480 m**. Hloubka prohrábký se v předmětném úseku bude s ohledem na navrhované snížení pevného prahu dnešního jezu a za účelem zkapacitnění jezového profilu a snížení hladin povodňových průtoků nad jezem pohybovat v rozmezí od 1,0 m do 0,00 m. Při zahlubování dna bude nutno ihned po výkopu zajistit opevnění paty obnažených svahů v korytě řeky Desná dle TNV 7521 03 – Úpravy řeky, které tvoří štěrkové podloží na obou březích pomocí záhozové patky z lomového kamene o velikosti frakce 200 až 500 kg (i více).

- 200 kg (0,4 x 0,4 x 0,6 m)
- 500 kg (0,6 x 0,6 x 0,6 m)
- 1 000 kg (1,0 x 0,8 x 0,6 m)

Kameny menších velikostí budou přípustné pouze pro vyklínování již urovnaného záhozu. Všechny záhozové patky budou zasahovat min. do hloubky 0,8 m pod návrhový stav nivelety dna toku. Záhozy z lomového kamene jsou navrženy převážně v konkávách (vyhloubeninách) a budou oživeny vhodným nízko vzrůstovým, doprovodným porostem (např. vrbami). Vrchní plochy záhozů budou

přizpůsobeny tak, aby byly pochůzná. Pojízdny plochy berem (úzké terasy podél břehu, sypaných hrází) budou ohumusovány a osety travním porostem s cílem dosažení stability svahů při pojezdů těžší technikou (AQUATIS 2017).



Obrázek 16: Vzhled kamenného záhozu s vyklínováním a urovnáním líce (Jílková 2020).



Obrázek 17: Prohrábka (zahloubení) koryta řeky Desná (Jílková 2020).

- **SO 02 – Odsazená ochranná hráz nad jezem na pravém břehu po Rejchartický potok**

Výše zmíněný SO je navržen na pravém břehu řeky Desná z důvodu zabránění rozlivu inundačních vod do zastavěného přilehlého území. Odsazená ochranná hráz bude vystavěna těsně nad lokalitou stávajícího rybníku v Rapotíně a bude

zasahovat do přilehlé zástavby v délce 144,0 m. Hráz bude vybudována od trasy zvýšeného terénu hráze rybníka podél řady vzrostlých jehličnanů a bude pokračovat dále podél oplocení sousedního pozemku v lokalitě dnešního příkopu k místu zaústění Rejchartického potoka. V jejím horním konci dojde k zavázání do konstrukce navrhované ochranné zídky stavebního objektu SO 03. Těleso homogenní hráze bude zasahovat cca 1,0 m nad stávajícím terénem a bude zhotoveno z těsných zemních materiálů. Šířka hráze v koruně bude dosahovat 3,0 m. Návodní svah počítá se sklonem 1:2,5 a vzdušný svah se sklonem 1:2. Povrch koruny ochranné a svahy budou ohumusovány v tl. 0,15 m a osety vhodnou travní směsí (AQUATIS 2017).



Obrázek 18: Odsazená ochranná hráz nad jezem (Jílková 2019).

- **SO 04 – Revitalizační opatření na pravém břehu řeky Desná pod Rejchartickým potokem (povodňový park č. 1)**

Neboli mokřad v povodňovém parku. Revitalizační opatření ve formě mokřadu bude vybudováno v dnešním zatravněném inundačním území na pravém břehu řeky Desná v lokalitě pastviny mezi rybníkem a výustní částí koryta Rejchartického potoka. Revitalizační opatření zde bude představovat formu menšího přirozeně meandrujícího koryta s proměnlivou šířkou a hloubkou. Součástí parku bude vybudování tůňek, mokřadních útvarů a místních vyvýšenin, které umožní rozčlenit rovinný terén a zlepšit životní podmínky pro mnoho různých živočichů a rostlin.

Příkopy a meandrující koryto mokřadu bude zaplaveno vodou z blízkého Rejchartického potoka díky novému přívodnímu potrubí. Uprostřed revitalizovaného

území lemovaného novým meandrujícím potokem bude vytvořen mělký rybníček nepravidelného tvaru a v jeho přílehlé blízkosti mokřadní plochy. Koncová část tohoto nově vytvořeného koryta bude vyúsťovat na pravém břehu do řeky Desná těsně nad dnešním rybníkem nad jezovým profilem.

Revitalizační opatření v rozsahu povodňového parku č. 1 budou tvořena v lokalitě dnešního záplavového území na pravém břehu řeky Desná v těsné blízkosti nad jezem a budou doplněna o vhodně zvolený vegetační doprovod s ohledem na druhy dřevin odpovídající danému stanovišti. Z návrhu byly také vyřazeny nepůvodní dřeviny (např. topol černý) a dřeviny, které jsou náchylné na šířící se bakteriální infekce na území ČR, způsobující odumírání tohoto druhu (např. jasan ztepilý). Břehy nového koryta, břehy nově vybudovaného rybníčku a vzniklých ostrůvků budou osázeny dubem letním, olší lepkavou a šedou, vrbou bílou a střemchou hroznovitou. Doprovodný keřový porost bude tvořit brslen evropský, kalina obecná, krušina olšová a různé keřovité druhy vrb (mandlová, nachová, košatá, ušatá).

Ve vhodně vytipovaných místech povodňového parku budou za ochrannými hrázemi vytvořena broukoviště v pyramidových tvarech z přestálých a trouchnivějících kmenů a větví původních listnatých a jehličnatých dřevin (AQUATIS 2017).



Obrázek 19: Zaplavené meandrující koryto a provedená revitalizace v povodňovém parku č. 1 (Jílková 2020).

- **SO 05 – Berma na pravém břehu řeky Desná pod Rejchartickým potokem**

Nedaleko pod zaústěním Rejchartického potoka dojde ke snížení stávající břehové hrany a zmírnění sklonů neopevňených strmých svahů. Dále bude více zpřístupněno samotné koryto řeky Desná. Stavební dokumentace u tohoto objektu počítá s odstraněním přestárých stromů a vytvoření snížené odsazené bermy v konvexním oblouku až za břehovým porostem z důvodu ponechání stávajícího funkčního porostu, a to v co největším rozsahu. Z tohoto důvodu bude zahloubené koryto řeky propojeno s nově vytvořenou bermou, která je projektovaná na úroveň hladiny jednoletého průtoku v širších mezerách mezi stávajícím vzrostlými stromy.

Berma (pojízdná plocha hráze) bude vybudována tak, aby nedošlo k poškození zdravých mladých stromků vysázených v nedávné době v odsazené poloze od břehových porostů. Šířka pravobřežní bermy se bude pohybovat v rozmezí od 3,0 do 5,0 m s břehovou hranou nepravidelného tvaru a s proměnnými sklony svahů nad bermou v hodnotách 1:2 do 1:5. Sjezd na bermu bude vybudován ve sklonu 1:10 jak v místě zaústění Rejchartického potoka do řeky Desná v ř. km 14,484 tak i ve spodní části stávajícího rybníka v ř. km 14,338.

Povrch bermy bude po odtěžení povodňových hlín ohumusován vrstvou 15 cm a oset vhodnou směsí travního porostu. V úseku vyústění bermy do koryta řeky Desná dojde ke stabilizaci svahů proti zpětné erozi formou těžkého kamenného záhozu a dlažby z lomového kamene. Celková délka bermy na pravém břehu pod zaústěním Rejchartického potoka je cca **140 m** (AQUATIS 2017).



Obrázek 20: Pojízdná plocha bermy (Jílková 2020).

- **SO 06 – Ochranná zídka a berma na pravém břehu řeky Desná od potoka po most v ř. km 14,484 – 16,654**

Konstrukční řešení tohoto objektu spočívá v odsazení od stávající břehové hrany toku ve vzdálenosti 3,0 až 5,0 m pro dosažení zvětšení průtočného profilu a pro zajištění stability zídky. Dále vytvoření průjezdné plochy stavebních strojů podél břehových hran při realizaci stavby a vybudování manipulačního pruhu pro správce toku nezbytného k provádění údržby břehů koryta řeky Desná v úseku podél oplocených soukromých zahrad.

Konstrukční řešení ochranné zdi počítá se základovým blokem, který bude založen pod úroveň navrhované snížené bermy v nezámrazné hloubce 1,2 m a bude jej tvořit nadzemní železobetonová zeď o tloušťce 0,30 m. Propustné podloží bude při návodní straně zpevněno tryskovou injektáží ze sloupů o průměru 1,0 m s roztečí 0,8 m a do hloubky cca 2,7 m pod základ. Délka nové odsazené ochranné zídky se bude pohybovat okolo **98 m** a bude navázána výše proti toku v ř. km 14,579 na stávající opěrnou nábrežní zeď, vybudovanou již v dřívější době. Tato zeď bude v rámci stavebního objektu SO 06 navýšena alespoň na úroveň vypočtené hladiny návrhového průtoku v hodnotě dnešní padesátileté vody  $Q_{50} = Q_{100TR} = 131 \text{ m}^3/\text{s}$ . Toto navýšení bude realizováno na cca 70 m úseku v rozmezí 0,6 m až 0,8 m nad korunu stávající nábrežní zdi. Pod nábrežní zdi bude provedena stabilizace a utěsnění štěrkového podloží formou tryskové injektáže v průměru 1,0 m a o hloubce cca 2,0 m. Zeď bude v jedné třetině výšky přikotvena pomocí tyčových injekčních kotev.

Všechny potřebné vývrty budou provedeny pomocí jádrových vrtů, které neohrozí statiku opěrné zdi. Samotné navýšení stávající nábrežní zdi bude realizováno vytvořením železobetonového věnce s výškou 0,60 m až 0,80 m. V horních 30 cm bude vytvořena římsa a tvar věnce s římsou bude později vyarmován betonářskou žebříkovou ocelí a pracovní spára bude vybavena bobtnacím těsnícím páskem (AQUATIS 2017).





Obrázek 21: Ochranná zídka a berma na pravém břehu řeky Desné (Jílková 2020).

- **SO 07 – Odsazená ochranná hráz nad jezem na levém břehu řeky Desná v ř. km 14,176 – 14,449**

Počítá s ochranou zástavby na levém břehu řeky Desná nad a pod jezovým profilem. Tato hráz bude dostatečně odsazena od navrženého rybího přechodu tak, aby v budoucnu nedocházelo k podemletí říční vodou při zvýšených rychlostech způsobených povodňovými stavy. Projekt navrhuje homogenní zemní hráz z těsných zemních materiálů a šířkou koruny 4 m. Sklon návodního svahu se bude pohybovat v rozmezí 1:2,5 až 1:3 a sklon vzdušného svahu hráze bude odpovídat sklonu přibližně 1:2,5.

Po odstranění humózní vrstvy bude ochranná odsazená hráz zakládána v tloušťce 0,30 m na malé vrstvě povodňových hlín s ohledem na propustnější podloží, které je tvořeno štěrky a štěrkopísky. Konstrukční materiál zemní hráze bude vytvořen z místních povodňových zemín, které byly při povrchu stávajícího terénu odtěženy. Hráz bude kopírovat tok paralelně s korytem řeky Desná až do místa, kde dojde ke křížení s rybovodem v ř. km 14,329. V tomto místě bude zavázána do železobetonového stavidlového objektu vybudovaného na rybím přechodu. Celková délka hráze je **246 m** a bude vybavena několika sjezdovými rampami ve sklonu 1:10, které budou navazovat na nové i stávající nebezpečné cesty (AQUTATIS 2017).

- **SO 09 – Ochranná zídka a berma na levém břehu řeky Desná pod mostkem v ř. km 14,449 – 14,650**

Ochranná zídka bude navázána výše proti toku na stavební objekt SO 08 (odpad náhonu). Projekt počítá s odsazením od břehové hrany koryta řeky Desná

tak, aby zde mohla být vytvořena levobřežní průjezdná berma, která umožní zvětšení průtočného profilu a lepší zpřístupnění toku v úseku pod silnicí mezi Vikýřovicemi na levém břehu a obcí Rapotín na pravém břehu. Výška hladiny vody v řece Desná se v tomto úseku pohybuje v rozmezí 1,0 až 1,2 m nad stávajícím terénem zahrad.

Z tohoto důvodu bylo zhodnoceno, že jako nejvýhodnější ochrana zástavby s ohledem na co nejmenší zábor dotčených soukromých pozemků (trvalý zábor) je výstavba betonové ochranné zdi. Zeď bude ve svém spodním konci navázána na stavidlový objekt umístěný na korytě odpadu od náhonu v úseku pod stavebními a oplocenými zahradami. Konstrukční řešení ochranné zdi se základovým blokem založeným pod úrovní navrhované snížené bermy bude umístěno v nezámrné hloubce 1,2 m. V trase dnešních zahrádek bude vytvořena nadzemní část (nad základovým blokem) formou železobetonové zídky o tloušťce 0,30 m a tato zídka bude odsazena od stávající břehové hrany koryta řeky Desná cca 5 m.

Celková délka navrhované ochranné zdi na levém břehu řeky Desná je rozdělena na dva úseky, které navzájem dělí přejezdová rampa. Délka prvního úseku od stavidlového objektu po rampu v ř. km 14,635 měří **234 m** a druhý úsek vzdálenosti od rampy po most měří celkově **30,5 m**. Ochranná zeď bude při návodní straně zpevněna tryskovou injektáží o průměru 1,0 m s roztečí 0,8 m a hloubkou cca 2,70 m od místa spodní hrany základu zdi (AQUATIS 2017).



Obrázek 22: Ochranná zídka a berma na levém břehu řeky Desná (Jílková 2020).

- **SO 10.2 – Revitalizační opatření na levém břehu řeky Desná (povodňový park č. 2)**

Revitalizační opatření na levém břehu řeky Desná bude vybudováno formou meandrovitého koryta rybího přechodu, který bude mít charakter přírodě blízkého obtokového ramene a bude hrát velmi významnou roli při povodňových stavech, tzn. převádění a odlehčení povodňových průtoků z řeky Desná. Aktuálně jsou vody odlehčovány a přelévány přes levobřežní břehovou hranu řeky Desná v oblasti jezového profilu. Revitalizační opatření na levém břehu nad jezovým profilem budou také obsahovat terénní úpravy mezi řekou a odsazenou hrází, kde dojde k vytvoření sníženin a průlehů. V těchto místech pak při deštích a zvýšených průtocích v řece Desná vzniknou tůňky a mokřadní plochy s vodními společenstvy a různými travinami.

Okolní terén budovaného zvlněného obtokového ramene s rybochodem a v oblastech průlehů s mokřady bude vhodně revitalizován a osázen vhodně zvoleným vegetačním keřovým a stromovým porostem. Ve vyhloubených částech koryta (konkávách) rybochodu dojde k vysázení nízkovrzůstových vrb vhodných druhů, které budou kromě svých estetických vlastností rovněž napomáhat zmírňovat také rychlost proudící vody.

V rámci revitalizačních opatření v povodňovém parku č. 2 dojde rovněž k doplnění stávajících břehových porostů na levém břehu řeky Desná, a sice na březích rybochodu a náhonu. V místě přeloženého úseku náhonu a korytem řeky Desná bude zachován stávající porost květnaté vlhké louky. K výsadbě dalších dřevin dojde u paty hráze a na místech trvalého záboru za hrází. Skladebná část vysazovaných dřevin, vrbových a keřových porostů bude odpovídat výsadbě u výše zmiňovaného SO 04 a doplní je lípa malolistá a jilm vaz. Opatření dále počítá s využitím velkých objemů vytěžených štěrků v trase obtokového koryta. Pokud tyto štěrky nebudou využity mimo obvod staveniště, bude možné je uložit na obou stranách ochranné hráze v podobě zemního valu s mírnějším sklonem svahů. V případě zvolení této varianty musí být svahy zhutněny, na povrchu ohumusovány a zatravněny (AQUATIS 2017).



Obrázek 23: Meandrovité koryto rybího přechodu (Jílková 2020).

- **SO 13 – Ochranná zeď nad mostem na pravém břehu řeky Desná v ř. km 14,658 – 14,812**

Ochranná zeď bude vybudována na pravém břehu v konkávním oblouku v těsné blízkosti nad silničním mostkem na silnici z obce Rapotín do obce Vikýřovice. Z důvodu stísněných poměrů bude při břehové hraně toku mezi řekou Desná a místní cestou vybudováno PPO ve formě opěrné zdi umístěné těsně nad mostem a odsazené ochranné zdi umístěné za nově vybudovanou pravobřežní bermou v úseku od mostu (SO 11) a zasahující až k lokalitě lučních a polních pozemků ve vzdálenosti 162 m nad mostem.

Stávající opěrná a nábrežní zeď nad novým mostem bude odbourána a místo ní bude vystavěná nová opěrná betonová zeď s obkladem z kamenobloků a korunou v úrovni hladiny návrhového průtoky nad mostním profilem. Délka opěrné zdi bude 14,4 m. V navazující části proti toku nad mostem dojde k vybudování nové ochranné protipovodňové zdi, která bude odsazená od koryta řeky Desná tak, aby bylo možné vytvořit průjezdnou bermu o šířce cca 3,0 m. Délka ochranné zdi se bude pohybovat okolo **147,6 m** a bude založena na betonovém základu z převrtávaných pilotů. Konstrukce ochranné zdi nad terénem bude dosahovat výšky od 0,8 – 1,2 m. Výše proti toku bude zavázána další část odsazené ochranné zídky v celkové délce 162 m, která bude zasahovat do navrhované ochranné hráze u stavebního objektu SO 14 a bude mírně odsazená od koryta řeky Desná tak, aby bylo možné zachovat stávající stromový porost ve svahu koryta a v jeho břehových částech. Tímto

řešením bude docíleno vzniku složeného průtočného profilu a zlepšení migrační prostupnosti lokality (AQUATIS 2017).

- **SO 22 – Ochranná zeď nad mostem na levém břehu řeky Desná v ř. km 14,652 – 14,702**

V úseku nad novým mostem v ř. km 14,655 dojde k odbourání stávající opěrné a nábrežní kamenné zdi, která je v současné chvíli ve špatném stavu a místo ní je navržena opěrná betonová zeď ve výškové úrovni nad nově vybudovanou sníženou bermou. Nově vybudovaná svislá betonová zeď s obkladem z kamenobloků počítá s řešením koruny v úrovni hladiny návrhového průtoku.

S ohledem na zkapacitnění koryta řeky Desná v úrovni nad mostním profilem počítá návrh s vybudováním levobřežní bermy, která bude na konvexním břehu snížena do úrovně hladiny průtoku  $Q_1$ . Povrchová úprava bermy pod stávající mostní konstrukcí bude opevněna kamennou dlažbou do betonu a v přechodových místech dlažbou uloženou do materiálu z místních štěrků s vyspárováním cementovou maltou. K tomuto řešení bylo přikročeno proto, neboť se ve zúženém mostním profilu předpokládají zvýšené rychlosti proudění vody při povodňových stavech (návrhový průtok počítá s profilovou rychlostí okolo 3 m/s). Ochranná zeď bude založena na plošném základovém bloku v nezámrné hloubce 1,2 m pod úrovní bermy podobně jako v úseku pod mostem. Návodní strana základového bloku se bude nacházet ve štěrkovém podloží, proto bude toto podloží zpevněno a utěsněno proti průsakům říčních vod pomocí tryskové injektáže v průměru 1,0 m v rozteči 0,8 m. V úseku pod zdí s kamenobloky bude provedena injektáž hloubky 1,65 m a pod zdí o tloušťce 30 cm bude provedena injektáž hloubky 2,4 m pod jejím základem. Snížená berma bude opevněna v úseku nad mostem těžkou kamennou dlažbou a její spáry budou ve spodní části prolité betonem. Spáry při povrchu budou vysypány hrubým štěrkem říčního charakteru.

Ve finální úpravě bude berma nad mostem proti toku ohumusovaná v tloušťce cca 15 cm a oseta směsí travního porostu. Levý okraj bermy bude vybaven kamenným záhozem za účelem zpevnění okraje řeky pro umožnění pohybu těžké techniky správce toku. Celková délka ochranné zdi je **54 m** a bude obsahovat záchytný příkop dešťových vod (AQUATIS 2017).



Obrázek 24: Nevyhovující nábřežní kamenná zed' (Jílková 2019).

## 9. POSTUP ZPRACOVÁNÍ

### 9.1 Postup při vyhotovení hydrotechnického modelu

Pro vytvoření hydrologického modelu byl zvolen volně stažitelný program HEC-RAS, který je v tuto chvíli dostupný ve verzi HEC-RAS 5.0.7 na stránkách (<https://www.hec.usace.army.mil>). Pro vytvoření hydrologického modelu byl zvolen úsek ř. km **14,247 – 14,674**.

V diplomové práci byly použity dva typy výpočtů, a to sice pro: **stávající** a **návrhový** stav protipovodňových opatření.

Postup pro tvorbu modelu byl u obou výpočtů provedený stejným způsobem. Jedinou provedenou odlišností byla změna geometrie profilů, jelikož v návrhovém stavu byly ve výpočtu zohledněny navržené PPO ve formě prohrábky, odsazených ochranných hrází, zídek, berem.

Metodický postup tvorby hydrotechnického modelu:

- založení nového projektu v HEC-RAS,
- schematizace říční osy a zadání geometrie vodního toku,
- zadání příčných profilů s navrženými objekty,
- určení Manningova součinitele drsnosti,
- zadání okrajových podmínek,
- spuštění výpočtu,
- zhodnocení výsledků.

### 9.2 Založení nového projektu v HEC-RAS

Prvním krokem před samotným spuštěním programu je potřeba změnit v *Ovládacích panelech*-> v záložce *Oblast a jazyk* vlastního zařízení namísto předdefinovaného oddělovače desetiny jako výchozí oddělovač tečku (standardně je čárka). Následně po tomto kroku je v samotném programu HEC-RAS nutné nastavit trvalou změnu jednotek na mezinárodní systém (*System international*), který se provádí následujícím způsobem: (*Options* -> *Unit system* -> *System International (Metric System)*) a (*Set us default for new project*). Program je totiž primárně nastaven na americký jednotkový systém. Bez těchto výše popsanych kroků nelze program spustit. Pomocí nástroje (*File* -> *New Project*) dojde k založení nového projektu.

### 9.3 Schematizace říční osy a zadání geometrie vodního toku

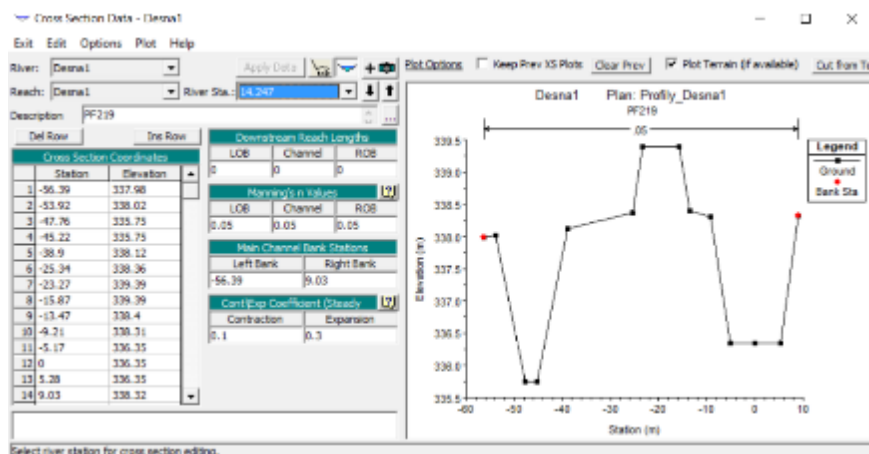
Základním krokem při tvorbě hydrotechnického modelu je zakreslení osy toku pomocí nástroje *River reach* v nově otevřeném okně *Geometric Data*. Vykreslování osy toku se provádí pomocí myši, přičemž každé zmáčknutí levého tlačítka myši vytváří nový polygon trasy. Dvojklikem myši dojde k ukončení nákresu a zobrazení nového okna, do kterého se vkládá název toku (*River Name*) a název úseku (*Reach Name*).

Podle Daly a kol. (2003) je další možností zakreslit osu toku na předem nadefinovaný, například naskenovaný mapový podklad vložený do nového okna pomocí nástroje *Background Layers on Schematic*. Tato možnost ale v diplomové práci využita nebyla.

Přiřazení souřadnic osy toku se provádí za použití nástroje *GIS Tools -> Reach Invert Lines Table*. Tento krok byl zvolen z důvodu následného exportu výsledků, který je také v souřadnicích.

### 9.4 Zadání příčných profilů s navrženými objekty

Následně po přiřazení souřadnic bylo ručně jednotlivě zadáno všech 15 příčných profilů (PF) pod označením: PF 219; 220; 220.1; 221; 221.1; 222; 222.1; 223; 224; 225; 225.1; 226; 227; 228; 229. Zadání příčných profilů se provádí pomocí nástroje *Cross section -> Options -> Add a new Cross section*.

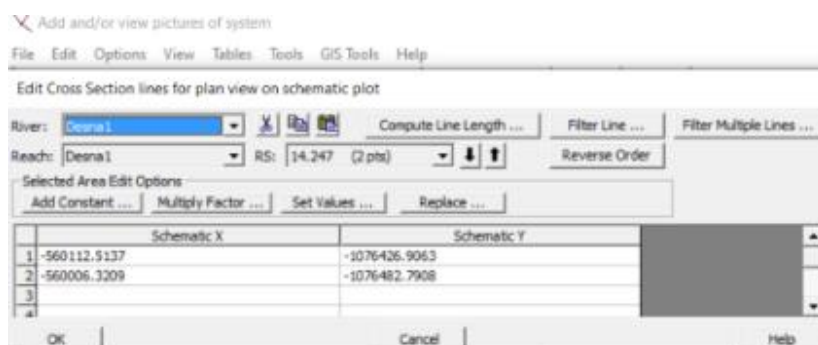


Obrázek 25: Ukázka zadání příčného profilu v HEC-RAS (Jílková 2020).

V tom samém okně je možné přiřadit zvolený název zadávaného profilu, (např. PF 219), k čemuž slouží okno *Description*. Zadávané hodnoty geometrie toku jsou tvořeny staničením a nadmořskou výškou a zapisují se do sloupců *Station* a *Elevation*. Každému PF byly rovněž přiřazeny souřadnice za pomoci nástroje *GIS*



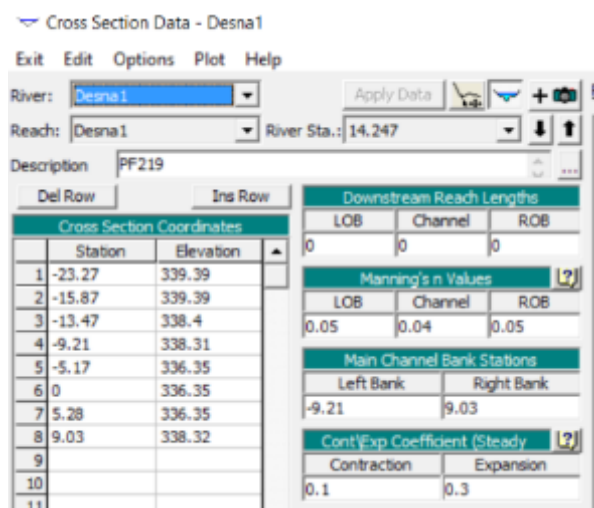
Tools -> XS Cut Lines Table. Uložení všech zadaných hodnot se opět provádí kliknutím na nástroj *Apply Data*.



Obrázek 26: Ukázka zadávání souřadnic jednotlivých příčných profilů v HEC-RAS (Jílková 2020).

Zadané hodnoty souřadnic osy toku a příčných profilů jsou uvedeny v příloze č. 2.

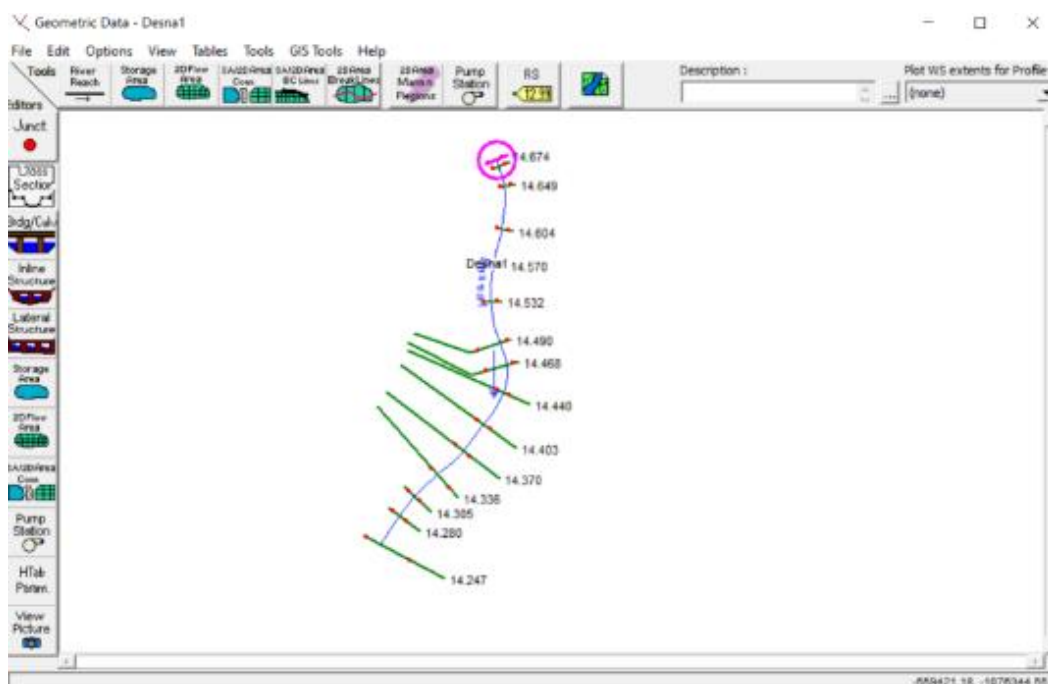
Vzdálenosti jednotlivých profilů byly zadávány do políčka *Down Stream Reach* Lengths, kde lze zadat hodnoty jednotlivých vzdáleností jak pro pravou a levou část koryta, tak pro samotné koryto. Dále je pak nutno doplnit hodnoty *Manning's Values*, čili hodnoty drsnostního součinitele a vzdálenosti břehových hran, pro které slouží políčko *Main Channel Bank Stations*. Stejně jako v předchozím kroku data ukládáme pomocí tlačítka *Apply Data*. Pro uložení zadaných hodnot program vyhodnotí správnost zadaných dat, popřípadě upozorní na chybu zadaných bodů a ty v informačním okně označí a ukáže.



Obrázek 27: Ukázka zadávání hodnot vzdáleností, Manningova součinitele a břehových hran (Jílková 2020).

Pro kompletní vytvoření schematizace říčního profilu (osy toku) byly jako vstupní údaje použity zaměřené příčné a podélné profily z projektové dokumentace poskytnuté společností AQUATIS a.s. V poskytnutých jednotlivých řezech

návrhového stavu pro provedení protipovodňové ochrany byly použité příčné řezy již omezeny hrázemi nebo zídkami, proto tyto objekty nemusely být do modelu zadávány samostatně.



Obrázek 28: Kompletní schéma osy řeky Desná po zadání geometrie toku a příčných profilů (Jílková 2020).

## 9.5 Určení Manningova součinitele drsnosti

V modelu lze nadefinovat odpory koryta pro jednotlivé dílčí profily a z toho důvodu je možné těmto profilům přiřadit proměnlivou drsnost na základě vhodně zvoleného Manningova součinitele drsnosti. Tato hodnota byla odvozena proměnlivě pro každý zadaný profil dle pochůzky terénu řešeného úseku a za použití odborné literatury.

<b>A Vyhlobené nebo hlinitá koryta</b>			
1 Neudržované koryto s plevelnou trávou a řídkými křovinami	0.05	0.08	0.12
2 Koryto s řídkými keři na březích	0.035	0.05	0.06
<b>B Upravená nebo umělá koryta</b>			
3 Dlažba na sucho	0.02	0.03	0.04
4 Beton (zatrubnění)	0.013	0.015	0.016
<b>C Inundační území</b>			
5 Nízká tráva bez keřů	0.025	0.03	0.035
6 Převážně plevel s roztroušeným porostem	0.035	0.05	0.07
7 Porost keřů a křovin mimo vegetační období	0.035	0.05	0.06
8 Kulturní krajina (pole bez plodin)	0.02	0.03	0.04
9 Porost stromů bez podrostu	0.03	0.04	0.05

Obrázek 29: Součinitel drsnosti dle Manninga (Smelík a kol. 2011).

Zadané hodnoty drsnostního součinitele se pohybovaly v rozmezí hodnot od 0,04 po 0,08 a byly zvoleny na základě osobní pochůzky řešené lokality a výše uvedené tabulky drsností se zveřejněnými fotografiemi v online publikaci.


## 9.6 Zadání okrajových podmínek

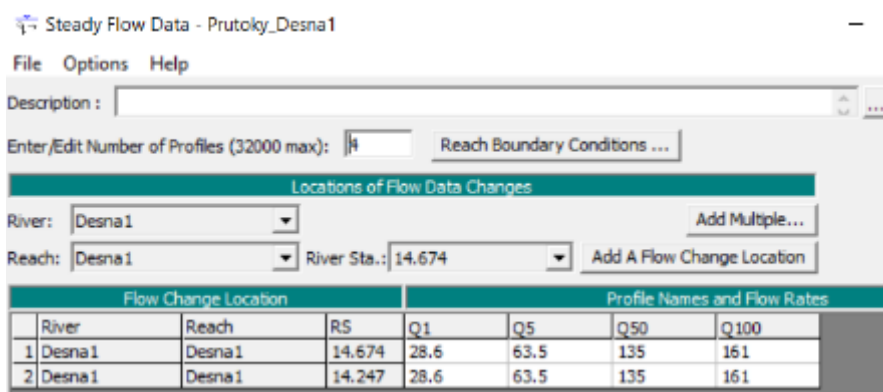
Hodnoty dolní okrajové podmínky (výšky hladin v dolním profilu) byly převzaty z dokumentace spol. AQUATIS a.s. Pro zvolení horní okrajové podmínky byla zvolena časová závislost N-letých průtoků v rozsahu  $Q_{100}$  v Desné, případně Hučivé Desné, které byly na přítocích doplněny o hodnoty průtoků tak, aby bylo dosaženo N-letých kulminací v každém hydrologickém profilu.

Pro výpočet byly použity níže uvedené povodňové průtoky stanovené ČHMÚ, které byly poskytnuty Povodím Moravy s. p. dne 05. 02. 2020 v profilu mostu u penzionu U Jirsáka v ř. km 12,060.

N	1	5	50	100
$Q_N (m^3 \cdot s^{-1})$	28,6	63,5	135	161

Tabulka 4: Hodnoty N-letých průtoků (ČHMÚ © 2020), upravila (Jílková 2020).

Okrajové podmínky se v programu zadávají v prostředí základního okna pomocí tlačítka  *Wiew / Edit steady flow data*. Do zobrazené tabulky, byly zadány celkem 4 hodnoty pro simulaci průtoků ( $Q_1$ ;  $Q_5$ ;  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$ ). Pro finální výpočty byly však použity jen hodnoty pro  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$ , a to z důvodu, že plánované PPO opatření je projektováno na hodnotu  $Q_{100TR} = Q_{50}$  (tedy hodnota stoletého průtoku transformovaná na hodnotu padesátiletého průtoku).



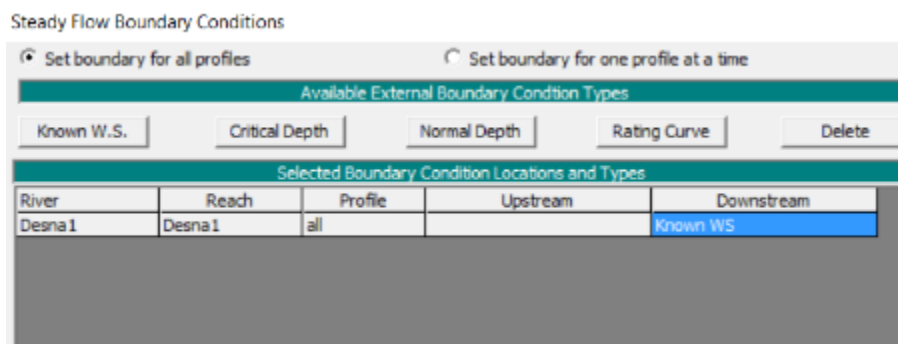
Obrázek 30: Zadané hodnoty horní okrajové podmínky (Jílková 2020).

Po kliknutí na pole *Reach Boundary Conditions* dojde k otevření okna pro zadání dolních okrajových podmínek. K tomuto slouží zaškrťovací kolečko *Set boundary for all profiles* a jako dolní okrajová podmínka byla zvolena možnost *Known W.S.*,

což v překladu znamená „Znamá úroveň hladiny v dolním příčném profilu pro každý řešený průtok“.


Další možnosti pro zadání dolní okrajové podmínky jsou: *Critical Depth* – kritická hloubka, *Normal Depth* – sklon dna koryta a *Rating Curve* – konsumpční křivka.

Po vyplnění všech potřebných hodnot následuje kliknutí na tlačítko *O. K.*, čímž dojde k potvrzení zadaných údajů, které se následně uloží kliknutím již několikrát zmíněné tlačítko *Apply Data*.



Obrázek 31: Zadané hodnoty dolní okrajové podmínky (Jílková 2020).

## 9.7 Spuštění výpočtů

Aby bylo možné provést spuštění výpočtu návrhového stavu PPO v úseku ř. km 14,231 – 14,674 včetně navržených úprav, byl sestaven hydrotechnický model daného úseku složený z osy toku a příčných profilů. Výpočet průběhu zvolených hladin pro průtoky  $Q_1$ ,  $Q_5$  a  $Q_{50}$  byl proveden pomocí režimu ustáleného nerovnoměrného proudění a spuštěn v prostředí hlavního okna po kliknutí na ikonu *Perform a steady flow simulation* . Spuštění výpočtu bylo vyvoláno tlačítkem *Compute*.

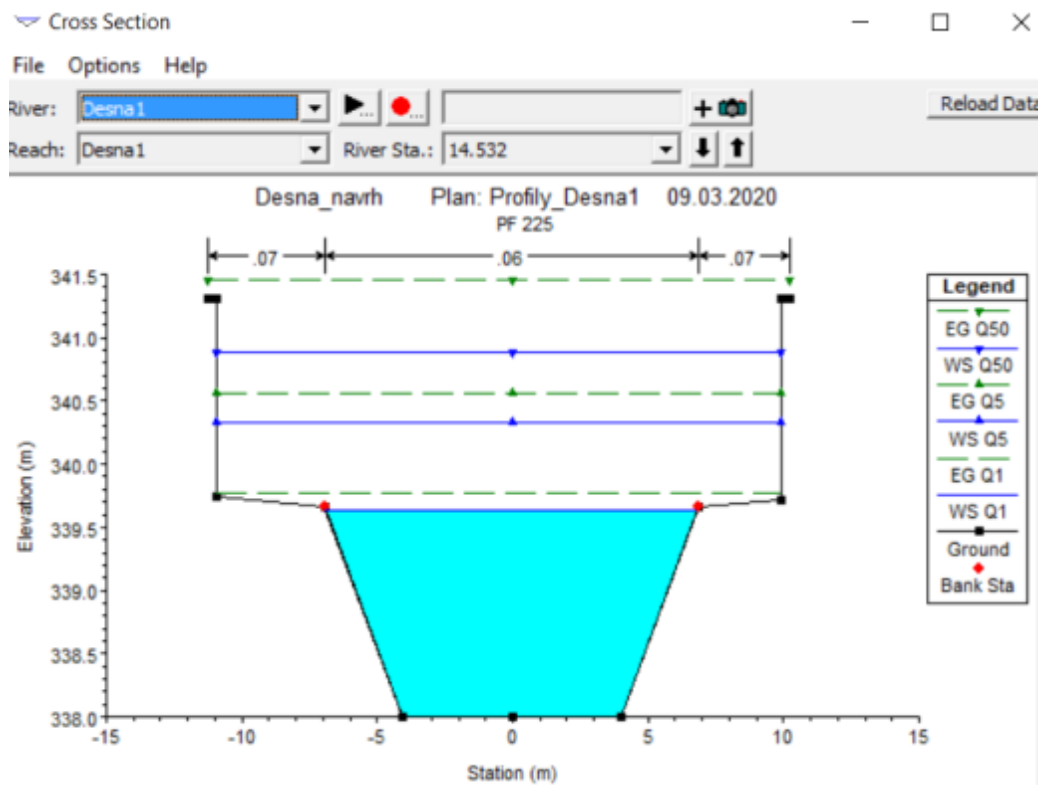
Jakmile program ukončí výpočet, oznámí to hláškou *Complete Process*. Spuštění výpočtu není umožněno, pokud chybí některá z potřebných hodnot, např. není uveden drsnostní součinitel, chybí okrajové podmínky atd.

## 10. VÝSLEDKY


### 10.1 Zobrazení výsledků v programu HEC-RAS

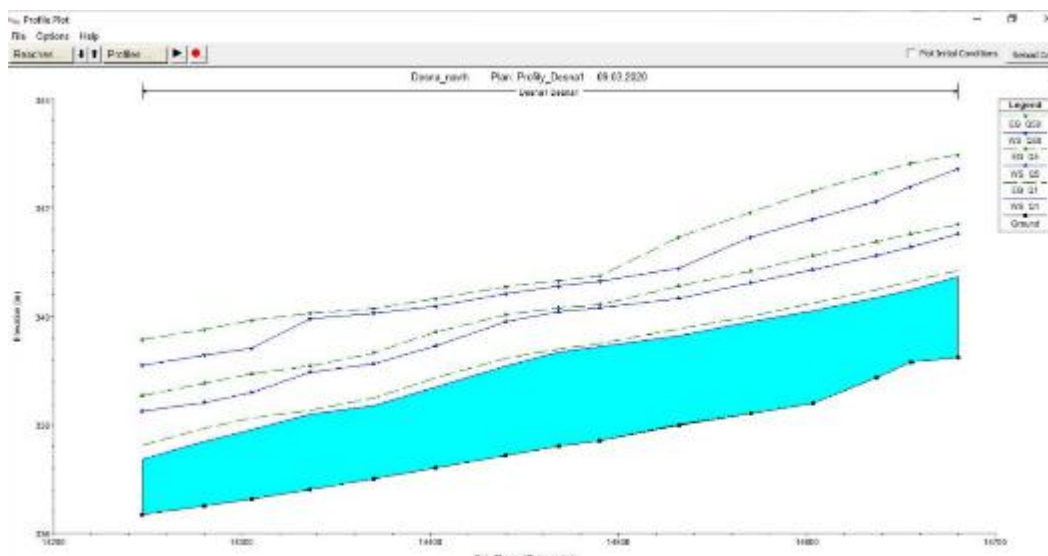
V prostředí programu HEC-RAS lze výsledky prezentovat v několika níže znázorněných grafických formách.

„**View cross section**“ – pro zobrazení příčných profilů




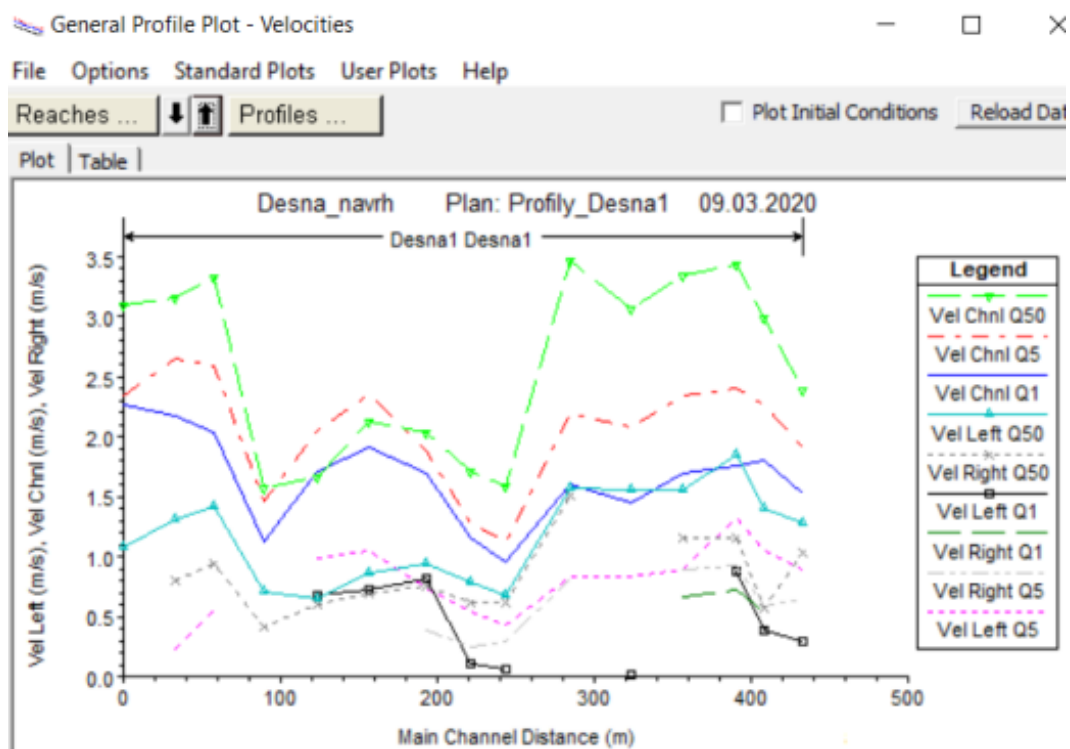
Obrázek 32: Ukázka příčného profilu 219 s návrhovým protipovodňovým objektem „SO 07 – Ochranná hráz“ při spuštění výpočtu pro průtok  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$  (Jílková 2020).

„View profiles“ – pro zobrazení podélného profilu. 




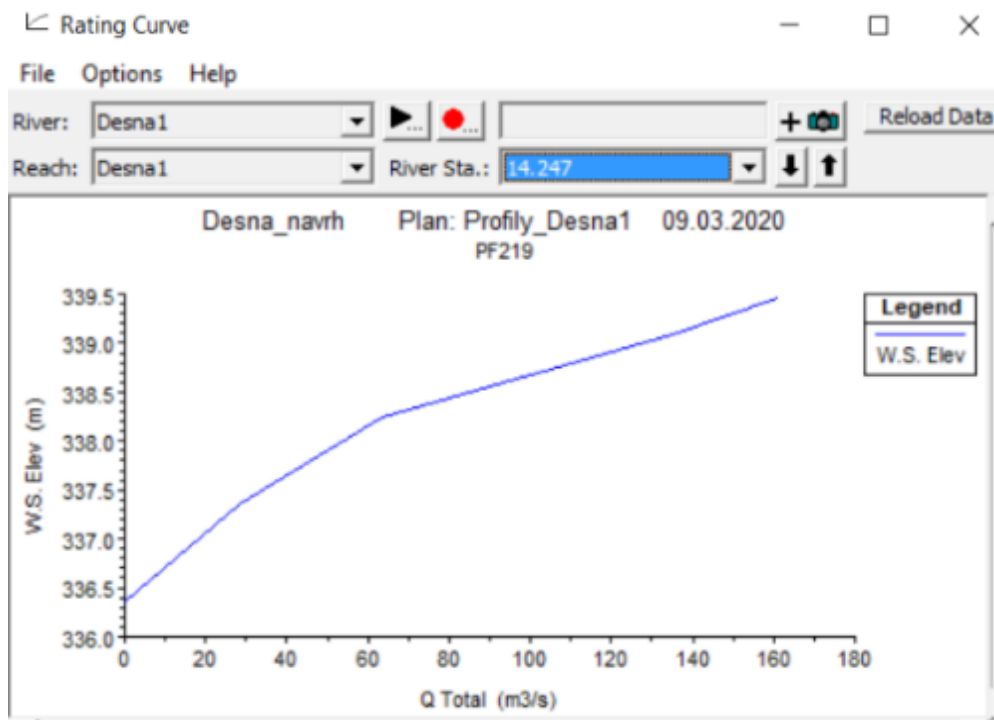
Obrázek 33: Ukázka vykreslení podélného profilu č. 219 (Jílková 2020).

„View General profile Plot“ – pro zobrazení Hydraulických parametrů   
(např. zobrazení rychlosti proudění vody, průtoků, hloubek, Freudeho čísla).




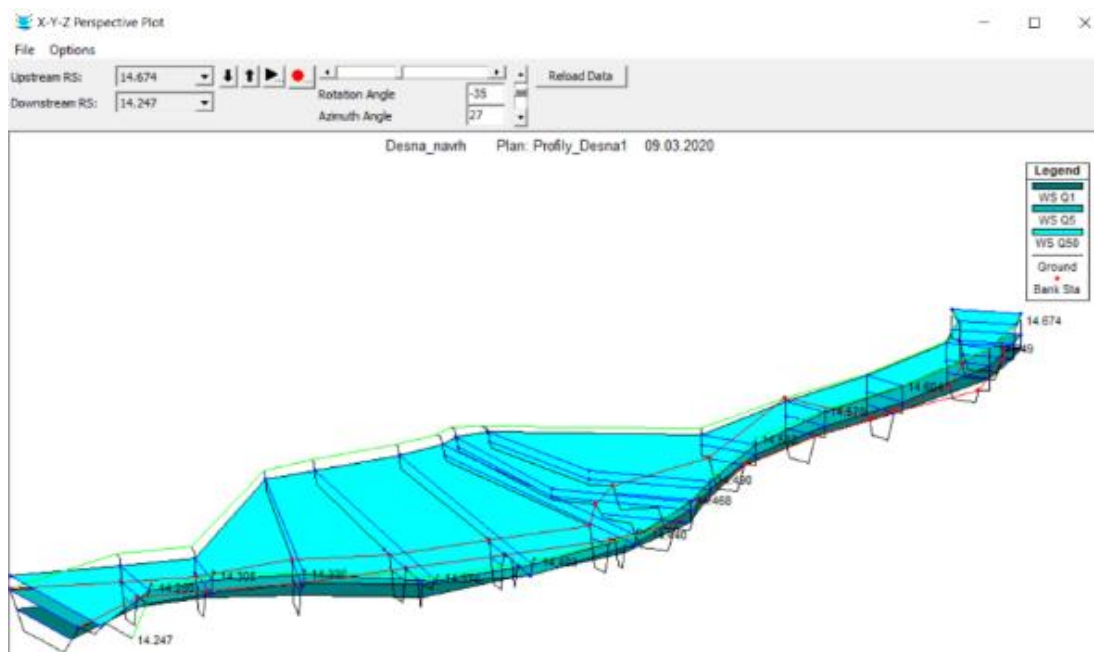
Obrázek 34: Rychlost proudění vody (m/s) v jednotlivých částech profilu (Jílková 2020).

„**View computed rating curves**“ – pro zobrazení konsumpční křivky 



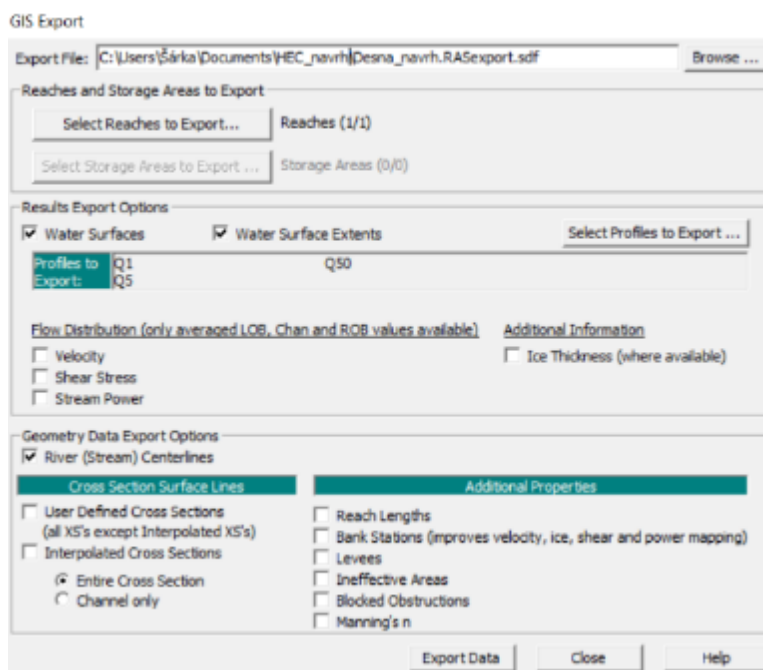
Obrázek 35: Ukázka zobrazení konsumpční křivky v příčném profilu 219 (Jílková 2020).

„**View 3D multiple cross sections**“ – pro přehlednou 3D situaci všech příčných profilů 



Obrázek 36: Ukázka 3D zobrazení situace a záplavových čar pro jednotlivé rozlivy  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$  (Jílková 2020).

Pro vizualizaci rozsahu záplavových území byly provedené výsledky vyexportovány do programu AutoCAD. Vyexportování dat bylo provedeno v prostředí hlavního spouštěcího okna programu HEC-RAS prostřednictvím tlačítka *File -> Export GIS Data ->* (program nás vyzve k volbě místa uložení) *->* a dále bylo zaškrtnuto pole *Water Surface Extents -> Export Data*.



Obrázek 37: Ukázka exportu dat z programu HEC-RAS (Jílková 2020).

Následně po označení všech potřebných kroků dojde k vygenerování souboru s příponou *.sdf*.

## 10.2 Zhodnocení výsledků a grafické znázornění

Na základě provedených výpočtů bylo možné zhodnotit stávající a návrhový stav PPO, posoudit kapacitu koryta, navržených protipovodňových objektů a stanovit rozsah záplavového území pro průtoky  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$ . Z níže uvedených grafických přehledů pro jednotlivé situace je možné porovnat rozdíly pro sledované kulminační průtoky před a po návrhu PPO.

Z provedeného výpočtu a grafického znázornění **pro stávající stav** před návrhem PPO vyplývá, že koryto řeky Desná je v řešeném úseku ř. km 14,247 – 14,674 nekapacitní a je schopno pojmout max. jednoletý průtok  $Q_1$ . Z grafické situace uvedené na obrázku č. 38 níže je patrné, že koryto toku průtok  $Q_1$  sice pojme, ale místy např. v úseku levého břehu řeky Desná v ř. km 14,305 po cca ř. km 14,532 dochází k mírnému vybřežení. Rozliv je v těchto místech ale pouze lokálního



charakteru, nejedná se zde o nebezpečné průtočné množství, které by představovalo ohrožení přilehlé zástavby či komunikací. Zbýlý úsek vodního toku od ř. km 14,532 po ř. km 14,674 je neupravené koryto při průtoku  $Q_1$  schopno převést téměř bez problémů. Pokud v některých místech dochází k vyběžení toku mimo koryto, je tento rozliv pouze lokálního charakteru a nepředstavuje žádné výrazné ohrožení.



Obrázek 38: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_1$  – „stávající stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Již při průtoku  $Q_5$  se ale projevuje absolutní nedostatečnost koryta řeky Desná v celém řešeném úseku ř. km 14,247 až 14,674. Dle grafické vizualizace uvedené na obrázku č. 39 dochází k masivnímu zaplavení zastavěného území podél pravého a levého břehu a k velmi vysokému stupni povodňového nebezpečí velkého plošného rozsahu.



Obrázek 39: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_5$  – „stávající stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Na levém břehu voda zaplavuje zastavěnou část obce a přibližuje se k lokalitě v okolí ulice Petrovská ve Víkýřovicích. Na pravém břehu dochází k zaplavení obecního rybníka v Rapotíně a pětiletý průtok dále protéká přes zastavěnou část obce, kde zasahuje zemědělské pozemky a zastavuje se cca 50 m před silnicí I. třídy č. I/11 spojující města Hradec Králové, Šumperk, Opava, Ostrava a Havířov a pokračující na Slovensko.

Rozliv při  $Q_{50}$  pak svým rozsahem prakticky kopíruje rozliv při průtoku  $Q_5$ , kdy opouští břehové hrany a postupuje levým břehem dál přes obecní pozemky a zastavěnou část obou obcí, kde se v plném rozsahu rozlévá do zástavby a o něco více se přibližuje k pozemkům v okolí ulice Petrovská ve Víkýřovicích. Pravým břehem se pak přes obecní pozemky, zástavbu rodinných domů a zemědělské pozemky dostává téměř až na úroveň silnice I. třídy č. I/11.



Obrázek 40: Znárodnění rozlivu při průtoku  $Q_{50}$  – „stávající stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Z provedeného výpočtu a grafického znázornění **návrhového stavu** řešeného úseku vodní toku ř. km 14,247 – 14,674 po výstavbě PPO vyplývá, že díky těmto opatřením, tedy prohrábce (zhloubení koryta) a výstavbě PPO opatření ve formě nových hrází, zídek, berem a vybudování protipovodňových parků dojde velmi výrazně k ovlivnění odtokových poměrů v lokalitě. Takto upravené koryto představuje oproti stávajícímu korytu minimální riziko nebezpečí pro přilehlou zástavbu, okolní pozemky a komunikace. Samotné grafické znázornění navržených PPO objektů je uvedeno v příloze č. 11. Grafické znázornění navržených PPO a jednotlivých průtoků pak v příloze č. 16.

Z níže uvedeného grafického zobrazení rozlivu  $Q_1$  po výstavbě PPO je zřejmé, že tento průtok rozšířené koryto toku řeky Desné převede bez sebemenších problémů. K menšímu vybřežení dochází na levém břehu stejně tak, jako u znázornění stávajícího stavu koryta před úpravou, a to v ř. km 14,305 až 14,532. V těchto místech voda částečně zaplavuje přilehlé inundační území toku, ale k žádnému přímému ohrožení zde nedochází. V úseku č. km 14,532 – 14,674 je průtok bezpečně převeden samotným rozšířeným korytem řeky Desná bez ohrožení přilehlé zástavby.

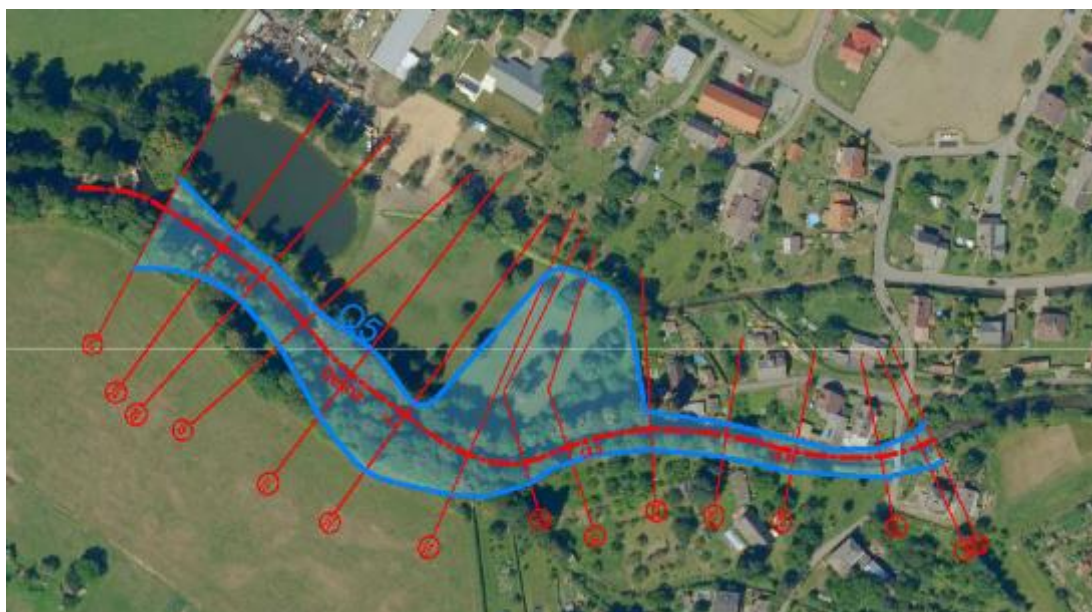


Obrázek 41: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_1$  - „návrhový stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Při průtoku  $Q_5$  v úseku ř. km 14,247 – 14,403 dochází k mírnému vybřežení toku na levém břehu. Dochází zde ale jen k minimálnímu rozlivu do inundačního území vodního toku, průtok neopouští břehové hrany koryta, čemuž velmi výrazně napomáhá SO 01.3 – Prohrábka koryta řeky Desná provedená v celé délce řešeného úseku. V horní části toku se na levém břehu částečně rozlévá do prostoru SO 10.2 – Povodňový park č. 2, kde má možnost v celé své ploše přirozeně zasáknout.

K dalšímu již výraznějšímu vybřežení toku dochází na pravém břehu v místě zahloubeného koryta propojeného s nově vytvořenou bermou (SO 05) projektovanou na úroveň hladiny jednoletého průtoku cca v úseku ř. km 14,338 – 14,484. Po přelítí bermy se voda rozlévá do prostoru SO 04 – Povodňový park č. 1, kde dochází k jeho zastavení v blízkosti SO 02 – Odsazená ochranná hráz nad jezem těsně nad lokalitou stávajícího rybníku v Rapotíně. Díky tomuto PPO opatření v délce 144 m nedojde k dalšímu rozlivu do zastavěného území a ten tak zůstává lokalizován v prostoru povodňového parku č. 1, který umožní jeho transformaci přes uměle vytvořená říční ramena, tůňky, mokřadní útvary a postupnou retenci.

Dále po toku v ř. km 14,440 – 14,532 je pětiletý průtok na levém břehu řeky Desná limitován SO 07 – Hráz, která jej usměřňuje a drží ve svém korytě. V posledních úsecích vodního toku je rozliv korigován liniovými stavebními objekty SO 06 – Zeď a berma na pravém břehu; SO 09 – Zeď a berma na levém břehu; SO 013 – Zeď na pravém břehu a SO 22 – Zeď na levém břehu řeky Desná. Díky těmto liniovým stavbám je pětiletý průtok bezpečně udržen v korytě vodního toku a nedochází k jeho vybřežení a tedy ani k přímému ohrožení přilehlé zástavby.

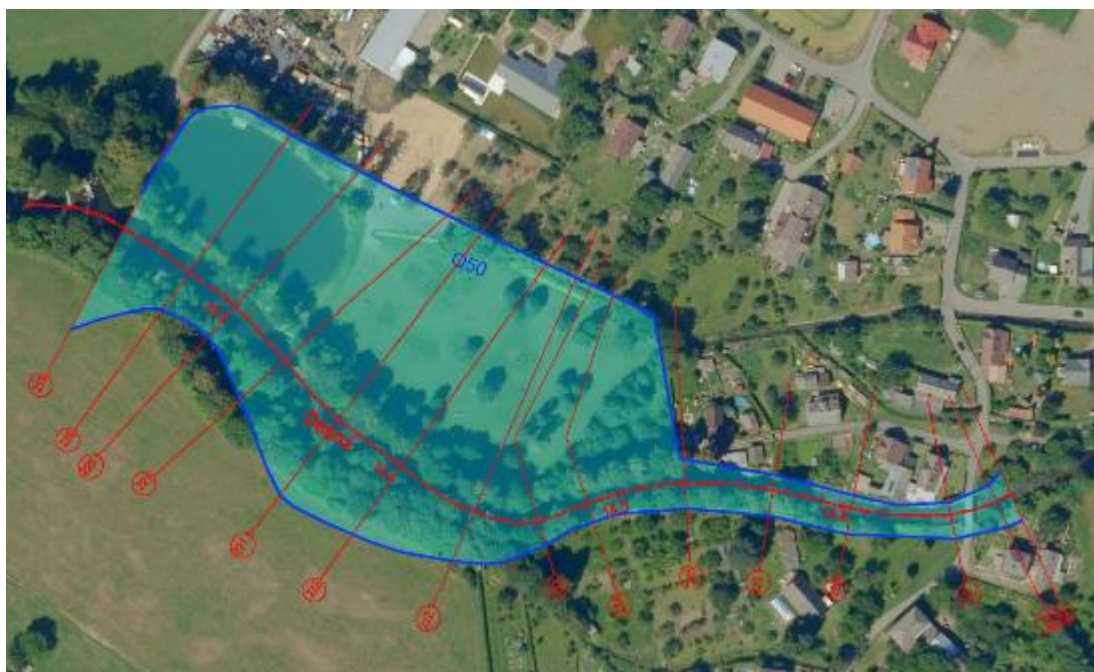


Obrázek 42: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_5$  - „návrhový stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Na grafickém znázornění rozlivu při průtoku  $Q_{50}$  dochází v úseku ř. km 14,247 až 14,532 k plošnému pravostrannému rozlivu do prostoru SO 04 – Povodňový park č. 1, který téměř kompletně zaplňuje. Přelítí padesátiletého průtoku dále do zástavby je stejně jako u předchozího průtoku  $Q_5$  limitováno SO 02 – Hráz, v délce 144 m, která je trasována od zvýšeného terénu hráze obecního rybníku v Rapotíně a dále

pokračuje podél oplocení sousedních pozemků směrem k místu zaústění Rejchartického potoka do řeky Desná. Tento přítok do povodňového parku č. 1 však ve výpočtu návrhového stavu nebyl zadán stejně tak, jako jez a rybí přechod v ř. km 14,231.

Díky absenci těchto objektů ve výpočtu pravděpodobně nedochází v lokalitě levého břehu v úseku ř. km 14,247 – 14,303 k vybřežení padesátiletého průtoku až k úrovni SO 07 – Hráz, což projektová dokumentace předpokládá. Z grafického znázornění níže se může zdát, že padesátiletý průtok neopouští hrany rozšířeného koryta a pokud ano, vybřežuje jen minimálně do prostoru SO 10.2 – Povodňový park č. 2, kde pak díky nově vzniklým tůňkám a mokřadním plochám s vodními společenstvy bude mít možnost přirozeného rozlivu.



Obrázek 43: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_{50}$  - „návrhový stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

## 11. DISKUSE

V diplomové práci byly použity dva typy výpočtů, a to pro stávající stav koryta řeky Desná a návrhový stav PPO. Oba výpočty byly z hlediska postupu provedeny stejným způsobem s rozdílem geometrie profilů návrhového stavu, kde byly zohledněny již navržené PPO formou prohrábky, odsazených ochranných hrází a berem.

Výpočet stávajícího stavu byl omezen pouze na zadání dat geometrie profilů toku. Při tvorbě záplavového území pro stávající stav bylo vycházeno především z dat použitých v předchozích studiích a částí dokumentací vypracovaných pro celkovou oblast vodního toku Desná.

Přípravě vstupních dat byla věnována velká pozornost, jelikož data musela být částečně nakombinovaná ze starších dokumentací a studií a částečně z nových dokumentací návrhového stavu.

Za další okolnost, která poměrně výrazně komplikovala samotný výpočet, lze označit náročnost a složitost území v okolí toku, kvůli čemuž byly z výpočtů vypuštěny některé složité objekty – např. jez a rybí přechod v ř. km 14,231 a zaústění Rejchartického potoka do hlavního koryta řeky Desná (součást SO 02). Díky absenci těchto objektů ve výpočtu nedochází v lokalitě levého břehu v úseku ř. km 14,247 – 14,303 k vybřežení padesátiletého průtoku až k úrovni SO 07 – Hráz, což projektová dokumentace předpokládá. Důležitou roli zde hraje také laicky zvolená hodnota drsnostního součinitele a fakt, že modelování bylo prováděno bez potřebného vodohodspodářského vzdělání.

Z výše popsaných důvodů může u grafického znázornění stávajícího a návrhového stavu docházet k mírným odlišnostem, jelikož software HEC-RAS a zvolený 1D model výpočtu není schopen přesně dopočítat záplavová území ve složitějších profilech a rozsáhlých inundačních územích. Tato odlišnost může být patrná zejména u přílohy č. 16 – grafického znázornění navržených protipovodňových objektů, kde je patrné, že při průtoku  $Q_{50}$  rozliv nezasahuje až do míst SO 07 – Hráz na levém břehu řeky Desná.

Pro hydrotechnické posouzení části vodního toku Desná v ř. km 14,247 – 14,674 bylo použito celkem 15 příčných profilů a zadaná vzdálenost mezi jednotlivými profily se pohybovala v rozmezí od 18,0 do 42,0 m.

Dalším důležitým vstupem, který má vliv na výsledný výpočet, je drsnostní součinitel. Ten byl pro každý jednotlivý profil zadáván proměnlivě a hodnoty se pohybovaly od 0,04 po 0,08.

Posledním krokem bylo zadání horní a dolní okrajové podmínky. Horní okrajová podmínka byla dána návrhovým průtokem pro  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$  a tyto hodnoty byly poskytnuty Povodím Moravy s. p. z hlásného profilu č. 305 a stanoveny ČHMÚ. Hodnoty pro zadání dolní okrajové podmínky byly převzaty z projektové dokumentace vypracované spol. AQUATIS a. s. a jednalo se o výšky hladiny pro jednotlivé průtoky z posledního profilu. V obou případech se tedy jednalo o data s minimální pravděpodobností chybových hodnot.

PPO opatření ve zvoleném úseku spadá do širokého komplexu přírodně blízkých protipovodňových opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840, které jsou v současné chvíli realizovány a svým řešením představují stavbu nezvyklého rozsahu. Provedené výpočty a grafické znázornění lze tedy vztahovat pouze k řešené lokalitě nikoliv k celému území.

Z výsledků uvedených v předchozích kapitolách vyplývá, že stávající koryto vodního toku Desná je v řešeném úseku nekapacitní, odtokové poměry jsou zde vzhledem k charakteru toku velmi komplikované a koryto v řešeném úseku není schopno bezpečně převést průtok vyšší než  $Q_1$ .

Navržené PPO lze tedy zhodnotit, jako efektivní opatření, které po svém dokončení v plánovaném rozsahu bude schopno pozitivně ovlivnit odtokové poměry celé lokality a omezit nebo maximálně snížit aktuální rozsah rozlivů velkých vod do urbanizovaného území podél obou břehů řeky Desná.

## 12. ZÁVĚR

Obsah diplomové práce si kladl za cíl provést:

- Hydrotechnické posouzení stávajícího stavu a navržených protipovodňových opatření na části vodního toku Desná v okrese Šumperk v ř. km 14,247 – 14,674,
- Pomocí hydrotechnického modelu posoudit dostatečnost navržených protipovodňových opatření,
- Grafické vykreslení zátopových čar odpovídající průtokům s periodicitou opakování 1, 5 a 50 let pro stávající a navržený stav.

Většina obcí v povodí řeky Desná nad Šumperkem je v současné době ohrožována rozlivy velkých vod při vyšších průtocích téměř v celé délce toku, a tedy i v předmětném úseku výstavby realizovaného projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desná v ř. km 14,231 – 16,840.

Z provedených výpočtů a grafických výstupů je patrné, že stávající koryto v řešeném úseku není schopno bezpečně převést návrhové průtoky  $Q_5$  a  $Q_{50}$  a zajištění protipovodňové ochrany obcí v bezprostřední blízkosti vodního toku Desná nelze realizovat jinak než formou přímých zásahů do morfologie koryta a vybudováním kombinované formy protipovodňových opatření – technického a přírodě blízkého charakteru. Těmito zásahy lze dosáhnout velmi výrazné a efektivní změny odtokových poměrů v ploše celého území řešené lokality.

Dále je potřeba zmínit, že výše popsané PPO podél toku řeky Desná v obcích Rapotín a Vikýřovice jsou projektovány na hodnotu padesátiletého průtoku  $Q_{50}$  neboli  $Q_{100TR} = Q_{50}$  (tedy hodnota stoletého průtoku transformovaná na hodnotu padesátiletého průtoku). Aby však mohly být obce po celé délce vodního toku Desná bezpečně ochráněny až na výhledově plánovanou hodnotu průtoku  $Q_{100}$  (stoletý průtok), musí v budoucnu dojít k vybudování retenčních nádrží (suchých poldrů) a to jak na vlastním toku řeky Desná, tak na jejích přítocích.

Obecně lze konstatovat, že úkolem ochrany před povodněmi v povodí řeky Desná a ve sledovaném úseku jejího toku je pomocí vhodného opatření ovlivnit odtokové poměry a omezit nebo snížit negativní účinky rozlivů velkých vod do prostoru inundací (urbanizovaná území, hlavní i vedlejší komunikace, prameniště a jiná důležitá místa a lokality).



Eliminace, omezení či úplné vyloučení nežádoucích rozlivů je tedy přímo závislé na projektovaných úpravách vybraných úseků toků, na zkapacitnění koryt, popřípadě volbě jejich vhodného ohrázení, zpevnění břehů a výběru vhodného břehového porostu (AQUATIS 2017).

Obsah diplomové práce by mohl pomoci obcím zapojeným do výstavby projektu „Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840“ sloužit, jako vysvětlující, podpůrný materiál pro místní obyvatele, kteří jsou právě prováděnou stavbou přímo dotčeni a mnohdy třeba nevidí dostatečný smysl prováděných protipovodňových opatření.

### 13. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

#### Odborné publikace:

Ambros, Z., 1998: Vliv lesů na povrchový odtok srážkových vod. Veronica, roč. 12. 38 s.

Becker A., Serban P., 1990: Hydrological models for water: resources system desing and operation. Operation Hydrology Report No. 34, WMO, Geneva. P 80.

Bedient P. B., Huber W. C., Vieux B. E., 2008: Hydrology and floodplain analysis – Illustrated eddition, Upper Saddle River, New Jersey - Prentice Hall. 795 s.

Beven K. J., 2001: Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. Wiley, Chichester. 449 s. ISBN 0-471-98553-8.

Buchtele J., 2002: Okolnosti ovlivňující využití modelů a tendence v uplatňování různých přístupů. In Patera A. a kol.: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. České vysoké učení technické, Praha. 55 s.

Clarke R. T., 1973: Mathematical models in hydrology. FAO Irrigation and Drainage paper No. 19, Rome, 282 s.

Culek M., Grulich V., Laštůvka Z., Divíšek J., 2013: Biogeografické regiony České republiky. Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno. ISBN 978-80-210-6693-9.

Czudek T., 1997: Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru. SURSUM, Tišnov, 213 s.

Čermák M., Sochorec R., Solnař O., Zatkalík G., 1970: Velké vody n-leté. In: Horský

Červený J., Lekeš Z., 1984: Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. 416 s.

Daňhelka J., Krejčí J., Šálek M., Šercl P., Zezulák J., 2003: Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Česká zemědělská univerzita, Praha, 214 s.

Demek J., 1987: Obecná geomorfologie. Academia, Praha. 476 s.

Demek J., Mackovčín P., 2006: Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno, 582 s.

Dokoupil, J., 2004: Hraniční efekt. In: Jeřábek, M., Dokoupil, J., Havlíček, T a kol.: České pohraničí – bariéra nebo prostor zprostředkování? Academia, Praha. S. 53–56. ISBN 80-200-4051-3.

Fleming W. H., Rymond W. R., 1975: Deterministic and Stochastic Optimal Control. Springer-Verlag New York. Vo 1. P 222. ISBN 978-1-4612-6380-7.

Ghosh S.N., 1997: Flood control and drainage engineering: USA and Canada. A. A. Balkema Publishers, second edition, Old Post Road, Brookfield. ISBN 90-6191-481-7.

Gordon N.D., Mc. Mahon T.A., Finlayson B.L., Gippel Ch.J, Nathan R.J., 2004: Stream hydrology: an introduction for ecologists, John Wiley, Chichester, England. 429 s.

Graham D. N., Butts M. B., 2005: Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE. In: Singh, V. P., Frevert, D. K.: Watershed Models. CRC Press. Florida. S. 245-272. ISBN: 0849336090.

Havlík A., 2003: Transformace povodňových vln ze srpna 2002 na Berounce a Blanici. Revital, Praha, 33 s.

Hrnčíř V., 1997: Matematický model pro řešení protipovodňové ochrany Prahy: Konference vodní toky 1997. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Ostrava, 54 s.

Janků P., 2009: Vodohospodářské tvary reliéfu v Šumperské kotlině. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geografie, Olomouc. 76 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Univerzita Palackého v Olomouci.

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

Jílková Š., 2017: Protipovodňová opatření ve svazku obcí údolí vodního toku Desná v okrese Šumperk. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. 70 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Just T., 2005: Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Agentura ochrany přírody a krajiny a Ministerstvo životního prostředí, Praha, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.

Jůva K., Pflug J., Tlapák V., 1984: Meliorační kultivace a rekultivace zemědělské půdy. SZN, Praha, 302 s.

Kasprzak K., Hejduk S., 1997: Příspěvek k otázce vlivu vegetačního krytu v povodních na výskyt lokálních a regionálních povodní. Sborník přednášek Povodně a krajina 97, Brno. s. 3/4.

Kliment Z., Matoušková M., 2006: Changes of runoff regime according to human impact on the landscape. Geografie-Sborník ČGS, svazek 111, 3 vydání, s. 60-72.

Knebl M. R., Yang Z. L., Hutchison K., Maidment D. R., 2005: Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. Volume 75, Issue 4, 325-336 s.

Konvička M., 2001: Město a povodeň. Strategie rozvoje měst po povodních. ERA, Brno, 219 s.

Kovář P., 1973: Řešení povrchového odtoku matematickými modely systémové analýzy. Vysoká škola zemědělská, Fakulta agronomická, Praha. 110 s. (disertační práce). „nepublikováno“. Dep.: Vysoká škola zemědělská v Praze.

Krešl J., 1997: Vliv lesa na utváření odtoku při přívalových a dlouhotrvajících deštích. Sborník přednášek Povodně a krajina, Brno. 4-12 s.

Křovák F., 2001: Revitalizace toků s ohledem na extrémní průtoky. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. (eds.): Extrémní hydrologické jevy v povodích. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 182 s.

Kulhavý Z., Kovář P., 2000: Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha. S. 96. ISSN 1211-3972.

Matějček J., Hladný J., 1999: Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky. Ministerstvo životního prostředí, Praha. 60 s.

Melzer M., Schulz J: 1993. Vlastivěda šumperského okresu. Okresní vlastivědné muzeum Šumperk. 585 s. ISBN 80-85083-02-7.

MŽP ČR., 1993: Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí České republiky okresním úřadům k zabezpečování Programu revitalizace říčních systémů. Praha. 56 s.

Netopil R., 1981: Fyzická geografie I. Hydrologie, Limnologie, Oceánografie. SPN, Praha, 258 s.

Novák P., Roub R., Urban F., Vybíral T., Hejduk T., Maxová J., Zajíček A. a Bureš L., 2015: Využití hydrologického měření při schematizaci koryt vodních toků

pro potřeby hydrodynamických modelů na podkladě dat leteckého laserového skenování.

Opletal M. a kol. 1980: Geologie Orlických hor. Academia, Praha, 208 s.

Pokorný J., 1998: Povodně a sucha: následek lidské činnosti. Veronica 12. S. 1-5.

Pöff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., and Stromberg, J., 1997: The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. BioScience 47(11). P 769-784.

Quitt E., 1975: Klimatické oblasti ČSR. Geografický ústav ČSAV. Brno.

Richter, B., Baumgartner, J., Wigington, R., Braun, D., 1997: How much water does a river need? Freshwater Biology Vol. 37. P.231–249.

Simon M., Bekele V., Kulasová V., Maul Ch., Oppermann R., Řehák P., 2005: Labe a jeho povodí – geografický, hydrologický a vodohospodářský přehled. Mezinárodní komise pro ochranu Labe, Magdeburk. 258 s.

Sklenička P., 2003: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková. ISBN: 80-903206-1-9, Praha, 321 s.

Smith M. B., Georgakakos K. P., Liang X., 2004: The distributed model intercomparison project (DMIP). Journal of Hydrology, vol. 298. S. 1-4.

Šafář J., 2003: Chráněná území ČR. VI., Olomoucko. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 454. ISBN 80-86064-46-8.

Tlapák V., Šálek J., Legát V., 1992: Voda v zemědělské krajině. Nakladatelství Brázda, Praha, 320 s.

Valentová J., Valenta P., 2006: Vliv prostorové schematizace na kvalitu numerického modelování proudění vody při povodních. Journal of Hydrology and Hydromechanics Volume 54, No 1: 58–70.

Vlček, V. a kol.: 1984. Vodní toky a nádrže: Zeměpisný lexikon ČSR. Academia 1. vydání, Praha. 316 s.

Vörösmarty C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R., Davies, P. M., 2010: Global threats to human water security and river biodiversity. Nature vol. 467. No 7315. P 555–561.

Vrána K., Dostál T., Kender J., Zuna J., 1998: Krajinné inženýrství. Český svaz stavebních inženýrů, Praha, 197 s.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., Praha, 50 s., ISBN 978-80-87361-49-8.

Zeman E., 1994: Hydroinformatika a hydrologické modely. České vysoké učení technické, Praha 58 s. (habilitační práce). „nepublikováno“. Dep. ČVUT v Praze.

#### **Legislativní zdroje:**

Zákon č. 181/2008 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), v platném znění.

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

Zákon č. 500/2004 Sb., Správní řád, v platném znění.

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

Vyhláška č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území.

TNV 7521 03 – Vodní hospodářství. Úpravy řek.

#### **Internetové zdroje:**

Brunner G. W., 2010: HEC-RAS River Analysis System. User's Manual (online) [cit. 2020.02.02], Dostupné z: [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS\\_4.1\\_Users\\_Manual.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf).

Brunner G. W., 2016: HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>.

ČHMÚ © 2020: Evidenční list hlásného profilu č. 305 (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307334](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307334).

Just T., 2009: Revitalizace, renaturace a ekologicky zaměřená správa vodních toků. Časopis ochrana přírody. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR (online)

[cit. 2020.03.08], dostupné z <http://www.casopis.ochranaprirody.cz/pece-o-prirodu-a-krajinu/revitalizace-renaturace-a-ekologicky-zamerena-sprava-vodnich-toku/>.

Just T., 2010: Přírodě blízká protipovodňová ochrana: Prostor pro vodní toky a zapojení ekosystémů (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <http://www.koaliceproreky.cz/wp-ulozto/sbornik-FIN.pdf>.

Just T., 2012: Ekologicky orientovaná správa vodních toků v oblasti péče o jejich morfologický stav (online) [cit. 2020.03.08], dostupné z <http://vodnihospodarstvi.cz/files/Ekologicky%20orientovan%C3%A1%20spr%C3%A1va%20tok%C5%AF.pdf>.

KÚ Olomouckého kraje © 2010: Stanovení záplavového území včetně vymezení aktivní zóny vodního toku Desná a Hučivá Desná v katastrálních územích Postřelmov, Sudkov, Bludov, Šumperk, Dolní Studénky, Nový Malín, Vikýřovice, Rapotín, Petrov nad Desnou, Velké Losiny, Maršíkov, Filipová, Rejhotice, Přemyslov a Kouty nad Desnou (online) [cit. 2020.02.20], dostupné z [https://editor.dppcr.cz/pk\\_zuz/doc/zapluz/DOC\\_11022600\\_0.PDF](https://editor.dppcr.cz/pk_zuz/doc/zapluz/DOC_11022600_0.PDF).

Polešáková M., 2013: Ochrana před povodněmi v územním plánování (online) [cit. 2020.01.01], dostupné z [http://pvvc.cz/ckfinder/userfiles/files/Dr-Polesakova\\_UPD.pdf](http://pvvc.cz/ckfinder/userfiles/files/Dr-Polesakova_UPD.pdf).

Povodí Moravy s. p. © 2009: Plán oblasti povodí Moravy (konečný návrh). Ochrana před povodněmi a vodní režim krajiny (online) [cit. 2020.01.01], dostupné z [http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/0-uvod/0\\_pruvodni\\_zprava\\_jmk.pdf](http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/0-uvod/0_pruvodni_zprava_jmk.pdf).

Smelík L., Uhmánová H. a Foltýnová L., 2011: Katalog drsností (online) [cit. 27.2.2020], dostupné z <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/uvod>.

STRIMA II © 2020: Charakteristika povodní (online) [cit. 2020.02.20], dostupné z [https://www.strima.sachsen.de/download/Charakteristika\\_povodni\\_final.pdf](https://www.strima.sachsen.de/download/Charakteristika_povodni_final.pdf).

VŠB © 2018: Úpravy toků (online) [cit. 2020.02.20], dostupné z <http://hgf10.vsb.cz/546/UT/index.html>.

VTEI © 2016: Přírodě blízká protipovodňová opatření (online) [cit. 2020.02.20], dostupné z <https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/5572-VTEI-cislo-4-16.pdf>.

VÚV TGM © 2006: Charakteristiky toků a povodí ČR. Charakteristiky 100 nejdelších vodních toků ČR (online) [cit. 2020.01.15],

dostupné z <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html?PHPSESSID=542a5c435b35ada4d2cc3b3b14c860bf>.

### **Projektová dokumentace:**

AQUATIS a.s., 2016: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. I. ETAPA. Dokumentace pro vydání stavebního povolení. Průvodní zpráva. 20 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

AQUATIS a.s., 2016: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. I. ETAPA. Dokumentace pro vydání stavebního povolení. Souhrnná technická zpráva. 58 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

AQUATIS a.s., 2016: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. I. ETAPA. Dokumentace pro vydání stavebního povolení. Technická zpráva stavebních objektů. 38 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

AQUATIS a.s., 2017: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. I. ETAPA. Dokumentace pro provádění stavby. Průvodní zpráva. 14 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

AQUATIS a.s., 2017: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. I. ETAPA. Dokumentace provádění stavby. Souhrnná technická zpráva. 54 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

AQUATIS a.s., 2017: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. I. ETAPA. Dokumentace pro provádění stavby. Dokumentace stavby. Technická zpráva stavebních objektů. 46 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

AQUATIS a.s., 2017: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. II. ETAPA. Dokumentace pro provádění stavby. Průvodní zpráva. 14 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

AQUATIS a.s., 2017: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. II. ETAPA. Dokumentace pro provádění stavby. Souhrnná technická zpráva. 63 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.



AQUATIS a.s., 2018: Přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. Povodňový plán. 41 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

Povodí Moravy, 2012: Záplovové území toku Desná km 0,000 – 37,090. Studie. 65 s. „nepublikováno“. Dep: Povodí Moravy Brno.

Pöyry Environment, a.s. 2012: Aktualizace návrhu PPO Desná, Šumperk – Kouty nad Desnou. Studie. Technická zpráva. 52. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

Pöyry Environment, a.s., 2012: Přírodně blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 14,231 – 16,840. Inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu. 58 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Rapotín.

Ing. Mgr. Michal Pravec., 2017: Biologické posouzení projektu přírodě blízká protipovodňová opatření na řece Desné v ř. km 12,088 – 14,231. 45 s. „nepublikováno“. Dep: Obecní úřad Vikýřovice.

## 14. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A VZORCŮ

### Obrázky:

Obrázek 1: Schéma povodňové vlny ve vodní nádrži (vlevo) a v toku (vpravo) (Bedient a kol. 2008).

Obrázek 2: Vliv podélného profilu toku (a) a tvaru povodí (b) na tvar průtokové vlny (Gordon a kol. 2004).

Obrázek 3: Kategorizace území ČR podle míry ohrožení povodněmi a erozí (VTEI © 2016).

Obrázek 4: Vlevo: příčný tvar typu „V“; uprostřed: údolí neckovitého tvaru; vpravo: údolí dolního části toku (Povodí Moravy 2009).

Obrázek 5: Klasifikace hydrologických modelů (Becker a Serban 1990).

Obrázek 6: Klasifikace deterministických modelů (Becker a Serban 1990).

Obrázek 7: Poloha povodí Desné (VÚV T. G. M. © 2016).

Obrázek 8: Meandr řeky Desná (Matějčík, A.: Meandry Desné (online) [cit. 2019.10.29.], dostupné z <https://www.turistika.cz/mista/meandry-desne/foto?id=416103>).

Obrázek 9: Vymezení šumperské kotliny (online) [cit. 2019.10.29.], dostupné z <https://mapy.cz/zemepisna?x=17.0124257&y=50.0093808&z=11&source=area&id=26277>.

Obrázek 10: Výřez geologické mapy (Pöyry Environment 2012).

Obrázek 11: Průměrné teploty a úhrn srážek (online) [cit. 2019.10.29.], dostupné z [https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelled/%c5%a0umperk\\_%c4%8cesko\\_3064673](https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelled/%c5%a0umperk_%c4%8cesko_3064673).

Obrázek 12: Významné vodní toky na území obce Rapotín (online) [cit. 2019.10.29.], dostupné z [https://www.edpp.cz/rap\\_hydrologicke-udaje/](https://www.edpp.cz/rap_hydrologicke-udaje/).

Obrázek 13: Hustota říční sítě toku Desná a jeho povodí (VÚV T. G. M. © 2016).

Obrázek 14: Záplavové území toku Desná (Povodí Moravy 2012).

Obrázek 15: Ortofoto pohled na řešené území ([www.mapy.cz](http://www.mapy.cz), upravila Jílková 2020).

Obrázek 16: Vzhled kamenného záhozu s vyklínováním a urovnáním líce (Jílková 2020).

Obrázek 17: Prohrábka (zahlobení) koryta řeky Desná (Jílková 2019).

Obrázek 18: SO 02 – Odsazená ochranná hráz nad jezem (Jílková 2019).

Obrázek 19: Zaplavené meandrující koryto a provedená revitalizace v povodňovém parku č. 1 (Jílková 2020).

Obrázek 20: Pojízdna plocha bermy (Jílková 2020).

Obrázek 21: Ochranná zídka a berma na pravém břehu řeky Desná (Jílková 2020).

Obrázek 22: Ochranná zídka a berma na levém břehu řeky Desná (Jílková 2020).

Obrázek 23: Meandrovité koryto rybího přechodu (Jílková 2020).

Obrázek 24: Nevyhovující nábrežní kamenná zeď (Jílková 2019).

Obrázek 25: Ukázka zadání příčného profilu v HEC-RAS (Jílková 2020).

Obrázek 26: Ukázka zadávání souřadnic jednotlivých příčných profilů v HEC-RAC (Jílková 2020).

Obrázek 27: Ukázka zadávání hodnot vzdáleností, Manningova součinitele a břehových hran (Jílková 2020).

Obrázek 28: Kompletní schéma osy řeky Desná po zadání geometrie toku a příčných profilů (Jílková 2020).

Obrázek 29: Součinitel drsnosti dle Manninga (Smelík a kol. 2011).

Obrázek 30: Zadané hodnoty horní okrajové podmínky (Jílková 2020).

Obrázek 31: Zadané hodnoty dolní okrajové podmínky (Jílková 2020).

Obrázek 32: Ukázka příčného profilu 219 s návrhovým PPO objektem SO 07 – Ochranná hráz při spuštění výpočtu pro průtok  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$  (Jílková 2020).

Obrázek 33: Ukázka vykreslení podélného profilu č. 219 (Jílková 2020).

Obrázek 34: Rychlost proudění vody (m/s) v jednotlivých částech profilu (Jílková 2020).

Obrázek 35: Ukázka zobrazení konsumpční křivky v příčném profilu 219 (Jílková 2020).

Obrázek 36: Ukázka 3D zobrazení situace a záplavových čar pro jednotlivé rozlivy  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$  (Jílková 2020).

Obrázek 37: Ukázka exportu dat z programu HEC-RAS (Jílková 2020).

Obrázek 38: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_1$  – „stávající stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Obrázek 39: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_5$  – „stávající stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Obrázek 40: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_{50}$  – „stávající stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Obrázek 41: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_1$  - „návrhový stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Obrázek 42: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_5$  - „návrhový stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

Obrázek 43: Grafické znázornění rozlivu při průtoku  $Q_{50}$  - „návrhový stav“ v ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

#### **Tabulky:**

Tabulka 1: Doporučená míra ochrany pro zastavěná a ostatní území (Povodí Moravy 2009) upravila Jílková (2020).

Tabulka 2: Limity ochrany vodních koryt a jejich toků (Polešáková 2013) upravila Jílková (2020).

Tabulka 3: Charakteristika klimatické oblasti (online) [cit. 2019.10.29.], dostupné z [https://www.edpp.cz/rap\\_charakteristika-zajmoveho-uzemi/](https://www.edpp.cz/rap_charakteristika-zajmoveho-uzemi/) upravila Jílková (2020).

Tabulka 4: Hodnoty N-letých průtoků (ČHMU © 2020) upravila (Jílková 2020).

#### **Rovnice:**

Rovnice 1: Matematické vyjádření Bernoulliho rovnice (Brunner 2010).

Rovnice 2: Matematické vyjádření energetické ztráty (Brunner 2010).

Rovnice 3: Matematické vyjádření rovnic Saint Venanta (Valentová a Valenta 2006).

## 15. SEZNAM ZKRATEK

%	procento
§	paragraf
a.s.	akciová společnost
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
DUR	dokumentace k územnímu řízení
č.	číslo
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	česká technická norma
CHOPAV	chráněná oblast přirozené akumulace vod
Kč	zkratka české měny
km <sup>2</sup>	čtverečný kilometr
kol.	kolektiv
k.ú.	katastrální území
m	metr
m n. m.	metr nad mořem
m p. t.	metr pod terénem
m <sup>2</sup>	čtverečný metr
m <sup>3</sup>	krychlový metr
max.	maximální
mm	milimetr
MVE	malá vodní elektrárna
MŽP	ministerstvo životního prostředí
např.	například
odst.	odstavec
PF	příčný profil
PPO	protipovodňové opatření
písm.	písmeno
ř. km	říční kilometr
s	sekunda
s.	strana
s. p.	státní podnik
Sb.	sbírky
STRIMA	Saskočeský management povodňových rizik
SFŽP	Státní fond životního prostředí
tl.	tloušťka
TNV	technická norma vodního hospodářství
tzv.	takzvaný

tzn.	to znamená
v.s.	vegetační stupeň
VTEI	vodohospodářské technicko-ekonomické informace
VÚV	Výzkumný ústa vodohospodářský
WMO	světová meteorologická organizace
ZPF	zemědělský půdní fond

## 16. PŘÍLOHY

Příloha 1: Evidenční list hlásného profilu č. 305 (ČHMÚ © 2020).

Příloha 2: Souřadnice osy toku a příčných profilů (AQUATIS, 2017).

Příloha 3: Grafické znázornění rozlivů pro průtok Q1 před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14-247 – 14,674 (Jílková 2020).

Příloha 4: Grafické znázornění rozlivů pro průtok Q5 před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14-247 – 14,674 (Jílková 2020).

Příloha 5: Grafické znázornění rozlivů pro průtok Q50 před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14-247 – 14,674 (Jílková 2020).

Příloha 6: Grafické znázornění rozlivů pro průtoky Q1; Q5 a Q50 před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14-247 – 14,674 (Jílková 2020).

Příloha 7: Ukázka příčného profilu č. 225 s návrhovými objekty SO 09; SO 01.3 a SO 06 (Jílková 2020).

Příloha 8: Příčný profil 225 navrženými protipovodňovými objekty (AQUATIS 2017).

Příloha 9: Ukázka příčného profilu č. 221.1 s návrhovými objekty SO 07; SO 10.2; SO 05 a SO 04. (Jílková 2020).

Příloha 10: Příčný profil 221.1 s navrženými protipovodňovými objekty SO 07; SO 10.2; SO 05 a SO 04 (AQUATIS 2017).

Příloha 11: Grafické znázornění protipovodňových objektů v (ř. km 14,247 – 14,674), návrhový stav (Jílková 2020).

Příloha 12: Grafické znázornění rozlivu Q1 v (ř. km 14,247 – 14,674), návrhový stav (Jílková 2020).

Příloha 13: Grafické znázornění rozlivu pro průtok Q5 v (ř. km 14,247 – 14,674), návrhový stav (Jílková 2020).

Příloha 14: Grafické znázornění rozlivu pro průtok Q50 v (ř. km 14,247 – 14,674), návrhový stav (Jílková 2020).

Příloha 15: Grafické znázornění rozlivů pro průtoky Q1; Q5 a Q50 v (ř. km 14,247 – 14,674), návrhový stav (Jílková 2020).

Příloha 16: Grafické znázornění protipovodňových objektů a simulace průtoků Q<sub>1</sub>; Q<sub>5</sub> a Q<sub>50</sub> v (ř. km 14,247 – 14,674), návrhový stav (Jílková 2020).

Příloha 17: Souhrnný přehled stavebních objektů v rámci I a II. ETAPY v ř. km 14,231 – 16,840 (AQUATIS 2016).

Příloha 18: Koordinační situace stavby – I. ETAPA – 1. část (AQUATIS 2016).

Příloha 19: SO 01.3 – Prohrábka (zahloubení) koryta v ř. km 14,231 – 14,713 (Jílková 2019).

Příloha 20: SO 04 – Povodňový park č. 1 a odsazená ochranná hráz (v zadní části obrázku) SO 02 (Jílková 2020).

Příloha 21: SO 05 – Berma na pravém břehu řeky Desná pod Rejchartickým potokem (Jílková 2020).

Příloha 22: SO 09 - Ochranná zídka na levém břehu řeky Desná v ř. km 14,449 – 14,650 (Jílková 2020).

Příloha 23: SO 10.2 - Meandrovité koryto rybího přechodu (Jílková 2020).



### Evidenční list hlásného profilu č.305

Stanice kategorie : **A**

Tok:	<b>Desná</b>	Stanice:	<b>Šumperk</b>		
Kraj:	<b>Olomoucký kraj</b>	ORP:	<b>Šumperk</b>	Obec:	<b>Šumperk</b>
Provozovatel stanice:	<b>ČHMÚ Ostrava</b>			Předpovědní profil ČHMÚ <b>pp+</b>	
Centrum automatického sběru dat:	<b>RPP ČHMÚ Ostrava, VHD Povodí Moravy Brno</b>				
Staničení:	<b>12.60 [km]</b>	Číslo hydrologického pořadí:	<b>4-10-01-0850</b>		
Plocha povodí:	<b>240,63 [km<sup>2</sup>]</b>	Zeměpisné souřadnice:	<b>16.9970677 v.d. 49.9633102 s.š.</b>		
Nula vodočtu:	<b>317,15 [m.n.m.]</b>	Procento plochy povodí toku:	<b>71,0</b>		
Stupně povodňové aktivity:		[cm] [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Platnost SPA pro úsek toku:		
	Bdělost	<b>170 35,4</b>	<b>Velké Losiny - soutok s Moravou</b>		
	Pohotovost	<b>220 61,1</b>	Kritické místo:		
	Ohrožení	<b>260 84</b>			
Průměrný roční stav:	<b>87 [cm]</b>	N-leté průtoky:	$Q_2$	$Q_5$	$Q_{10}$
Průměrný roční průtok:	<b>3,88 [m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>]</b>		<b>28,6</b>	<b>63,5</b>	<b>82,4</b>
			$Q_{50}$	$Q_{100}$	
			<b>135</b>	<b>161</b>	
Odesílatel zpráv:	Četnost hlášení SPA:			I.	
				II.	
				III.	

Odesílatel podá zprávu:

Spojení na adresáta:

Příjemce dále vyrozumí:

Nejvyšší zaznamenané vodní stavy:

[cm]	V. - XI.	[cm]	XII. - IV.
411	08.07.1997	256	12.03.1981
312	06.05.1927	228	06.04.1932
310	20.05.1940	215	08.02.1946
310	13.07.1984	214	09.03.2000
275	17.07.1965	212	07.04.1949
260	30.05.1968	207	04.02.1947
254	23.11.1930	207	14.01.1948
253	25.06.1958	205	16.02.1958

Mapa v měřítku 1:50 000 :



Popis umístění profilu :

305

[ Generováno : 15.03.2020 ]

Český hydrometeorologický ústav, Hlásná a předpovědní povodňová služba

Aplikace vyrobena firmou Hydrossoft Veleslavín s.r.o.

Příloha 1: Evidenční list hlásného profilu č. 305 (ČHMÚ © 2020).

SOUŘADNICE OSY TOKU	
-560068,26670	-1076450,19150
-560065,25720	-1076444,47280
-560057,83430	-1076432,61710
-560049,95530	-1076421,93110
-560037,71180	-1076405,23840
-560030,01370	-1076396,87380
-560010,92070	-1076379,91370
-559997,77880	-1076369,62940
-559988,33590	-1076359,52600
-559977,13370	-1076344,97750
-559966,49610	-1076330,18460
-559960,11530	-1076322,37570
-559952,81040	-1076311,61270
-559947,73930	-1076300,01770
-559945,20180	-1076292,62950
-559943,66190	-1076282,78850
-559944,07260	-1076273,93520
-559946,37640	-1076266,20360
-559951,14920	-1076254,19840
-559957,04070	-1076236,05620
-559958,75070	-1076227,80830
-559960,16660	-1076218,11560
-559960,68670	-1076209,38730
-559960,19540	-1076197,76900
-559959,32870	-1076185,80150
-559957,39270	-1076174,03710
-559955,02260	-1076161,95690
-559951,04700	-1076147,11990
-559948,08010	-1076132,13340
-559947,13740	-1076123,57490
-559946,74680	-1076116,42800
-559946,74680	-1076104,34080
-559947,16310	-1076098,67600
-559949,04000	-1076089,39500
-559951,51660	-1076082,09120
-559955,56320	-1076073,00630

PF	Staničení /km	X	Y
229	14,674	-560001,2371	-1076093,3507
		-559909,8893	-1076052,6619
228	14,667	-559998,3889	-1076099,7451
		-559907,0411	-1076059,0563
227	14,649	-559996,1762	-1076108,5611
		-559917,7636	-1076092,7034
226	14,604	-559998,8640	-1076131,1913
		-559920,3871	-1076146,7278
225,1	14,570	-560005,1566	-1076166,5722
		-559922,9206	-1076180,1053
225	14,532	-560010,4738	-1076214,4476
		-559925,6243	-1076209,3917
224	14,490	-559980,2067	-1076261,8498
		-559913,6292	-1076240,2293
223	14,468	-559992,1146	-1076287,7973
		-559921,4356	-1076266,7369
222,1	14,440	-559994,0227	-1076281,0641
		-559901,3234	-1076321,6060
222	14,403	-560008,2771	-1076302,6440
		-559927,0888	-1076361,0260
221,1	14,370	-560027,2512	-1076328,1107
		-559948,0182	-1076389,1200
221	14,336	-560045,8712	-1076344,0820
		-559971,4906	-1076427,8168
220,1	14,305	-560053,6884	-1076385,6807
		-559983,7856	-1076450,0126
220	14,280	-560070,1003	-1076407,1265
		-559993,4966	-1076463,3125
219	14,247	-560112,5137	-1076426,9063
		-560006,3209	-1076482,7908

Příloha 2: Souřadnice osy toku a příčných profilů (AQUATIS 2017).



Příloha 3: Grafické znázornění rozlivů pro průtok  $Q_1$  před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).



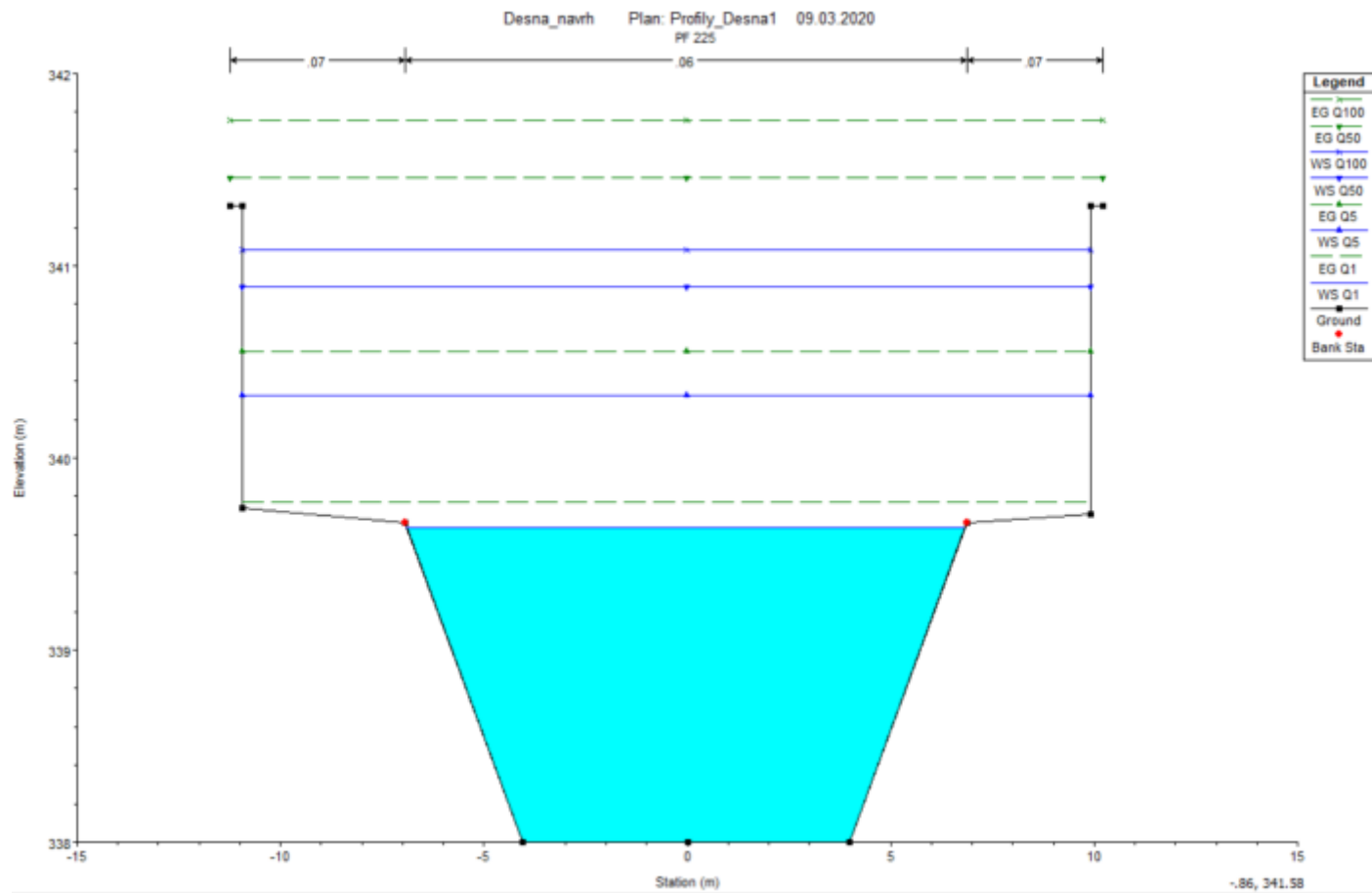
Příloha 4: Grafické znázornění rozlivů pro průtok  $Q_5$  před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).



Příloha 5: Grafické znázornění rozlivů pro průtok  $Q_{50}$  před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).

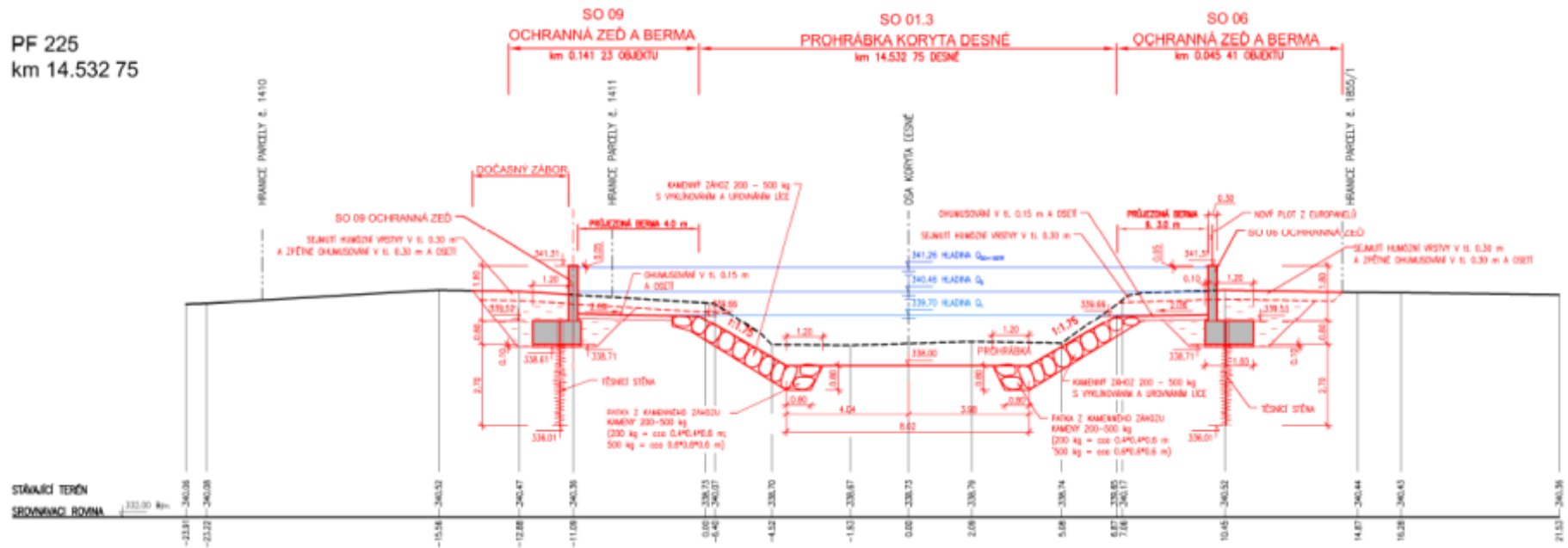


Příloha 6: Grafické znázornění rozlivů pro průtoky  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$  před navrženou úpravou PPO v řešeném úseku ř. km 14,247 – 14,674 (Jílková 2020).



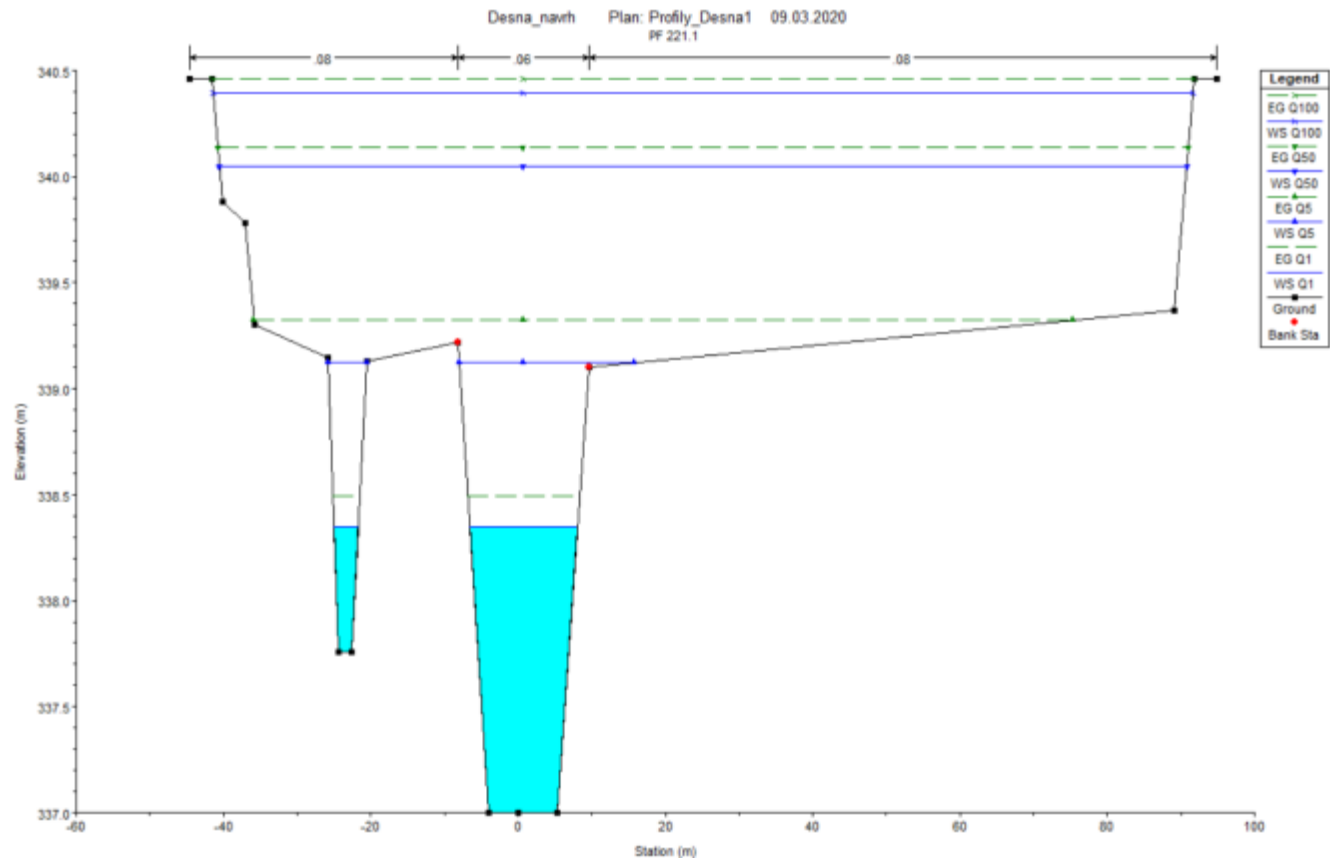
Příloha 7: Ukázka příčného profilu v programu HEC-RAS č. 225 s návrhovým objektem SO 09; SO 01.3 a SO 06 (Jílková 2020).

PF 225  
km 14.532 75

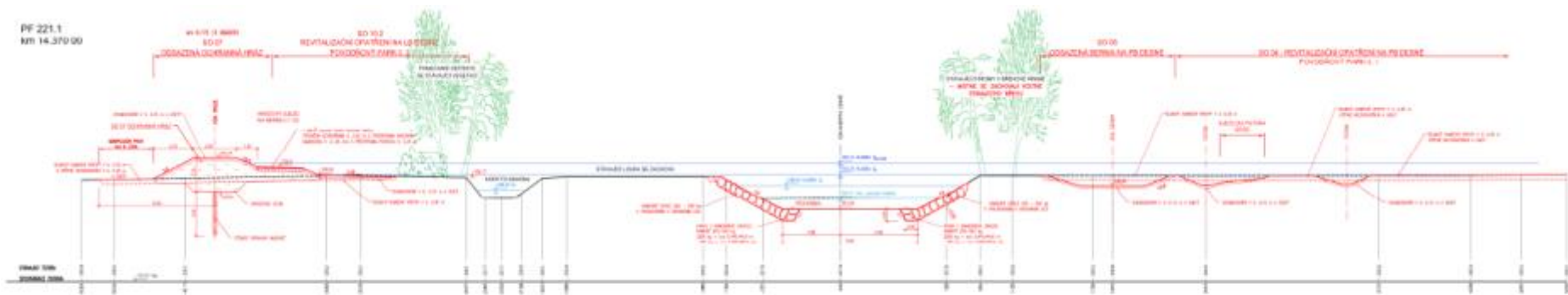


Příloha 8: Příčný profil 225 navrženými protipovodňovými objekty SO 09; SO 01.3 a SO 06 (AQUATIS 2017).

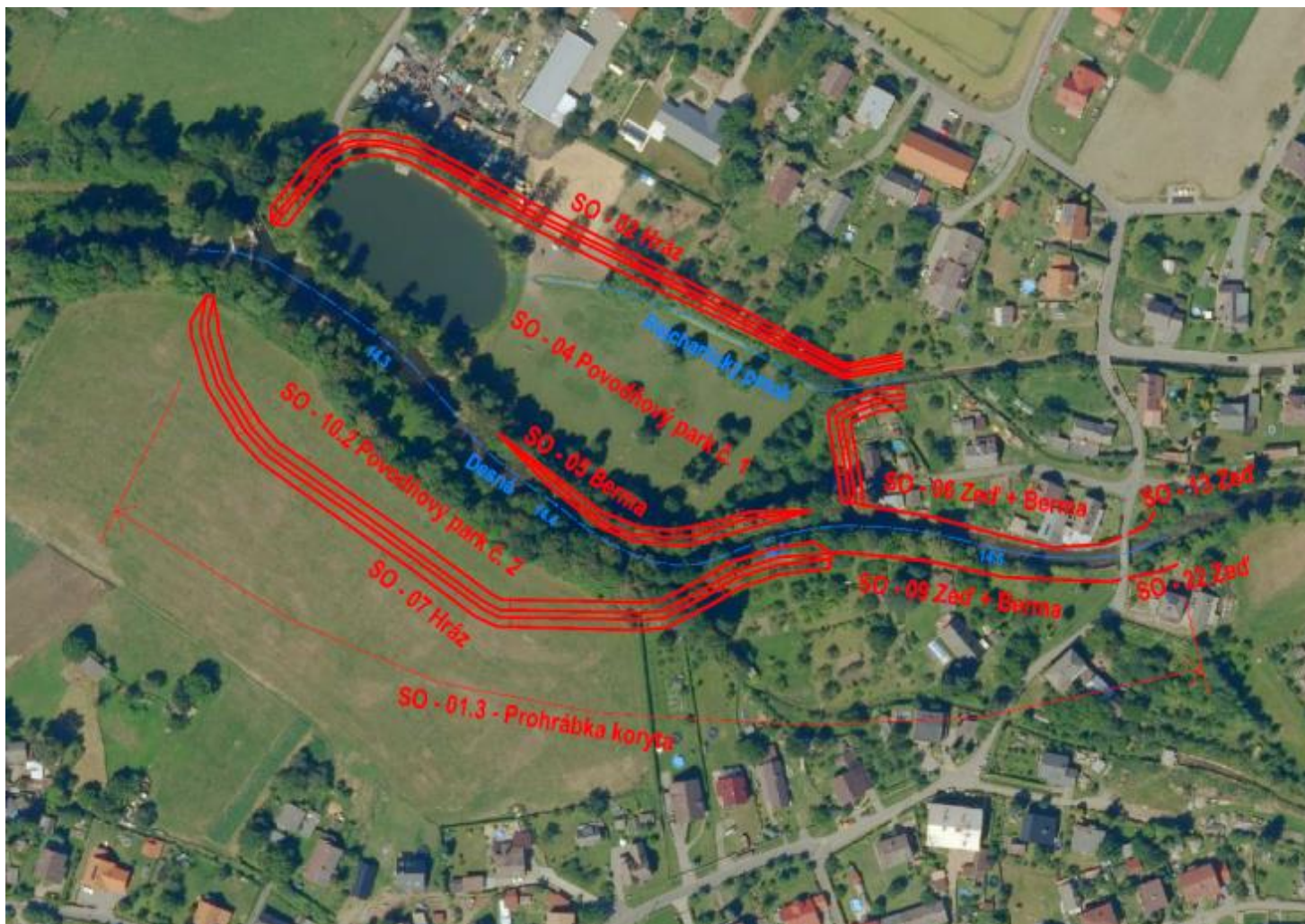




Příloha 9: Ukázka příčného profilu č. 221.1 s návrhovými objekty SO 07; SO 10.2; SO 05 a SO 04. (Jílková 2020).



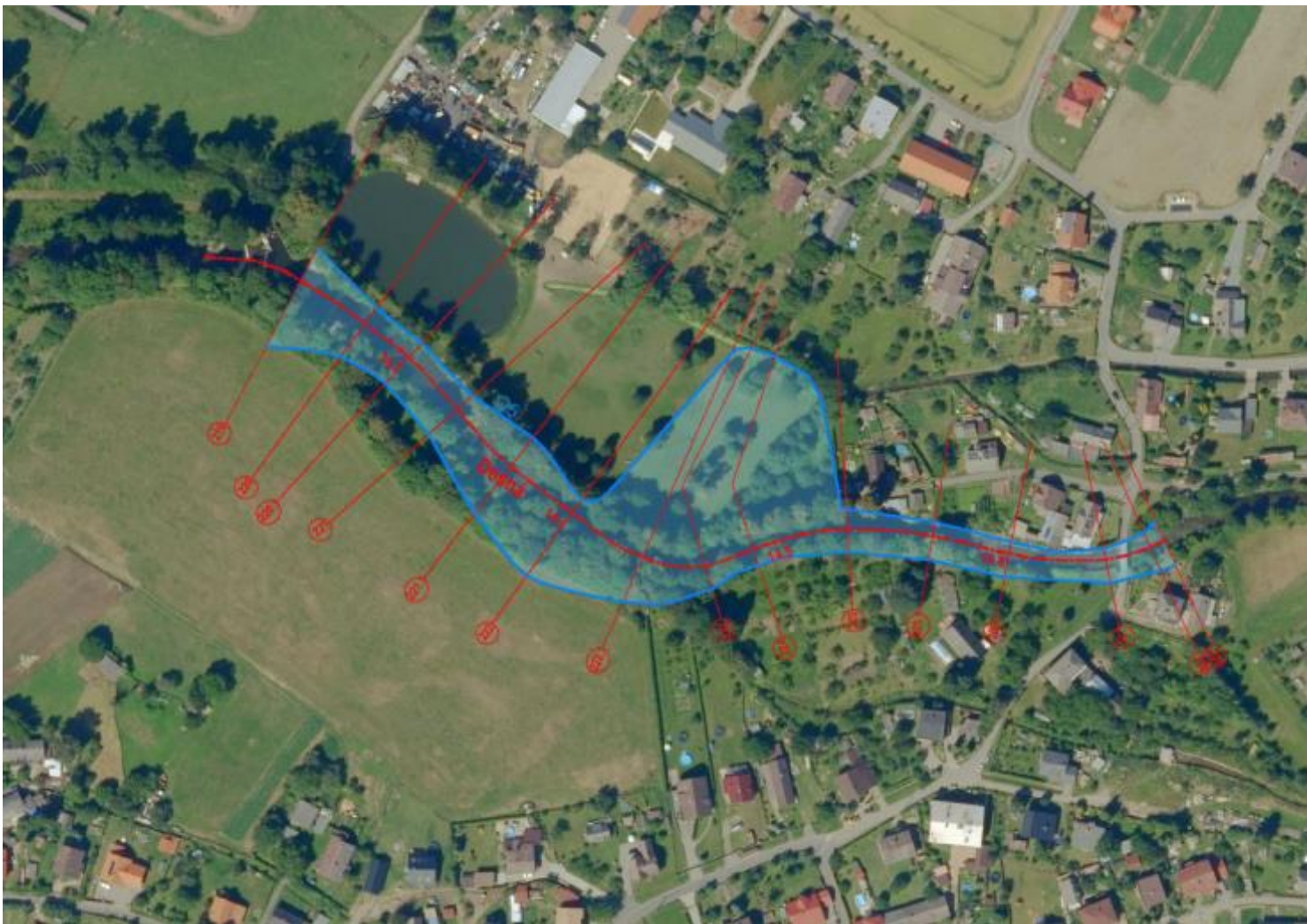
Příloha 10: Příčný profil 221.1 s navrženými protipovodňovými objekty SO 07; SO 10.2; SO 05 a SO 04 (AQUATIS 2017).



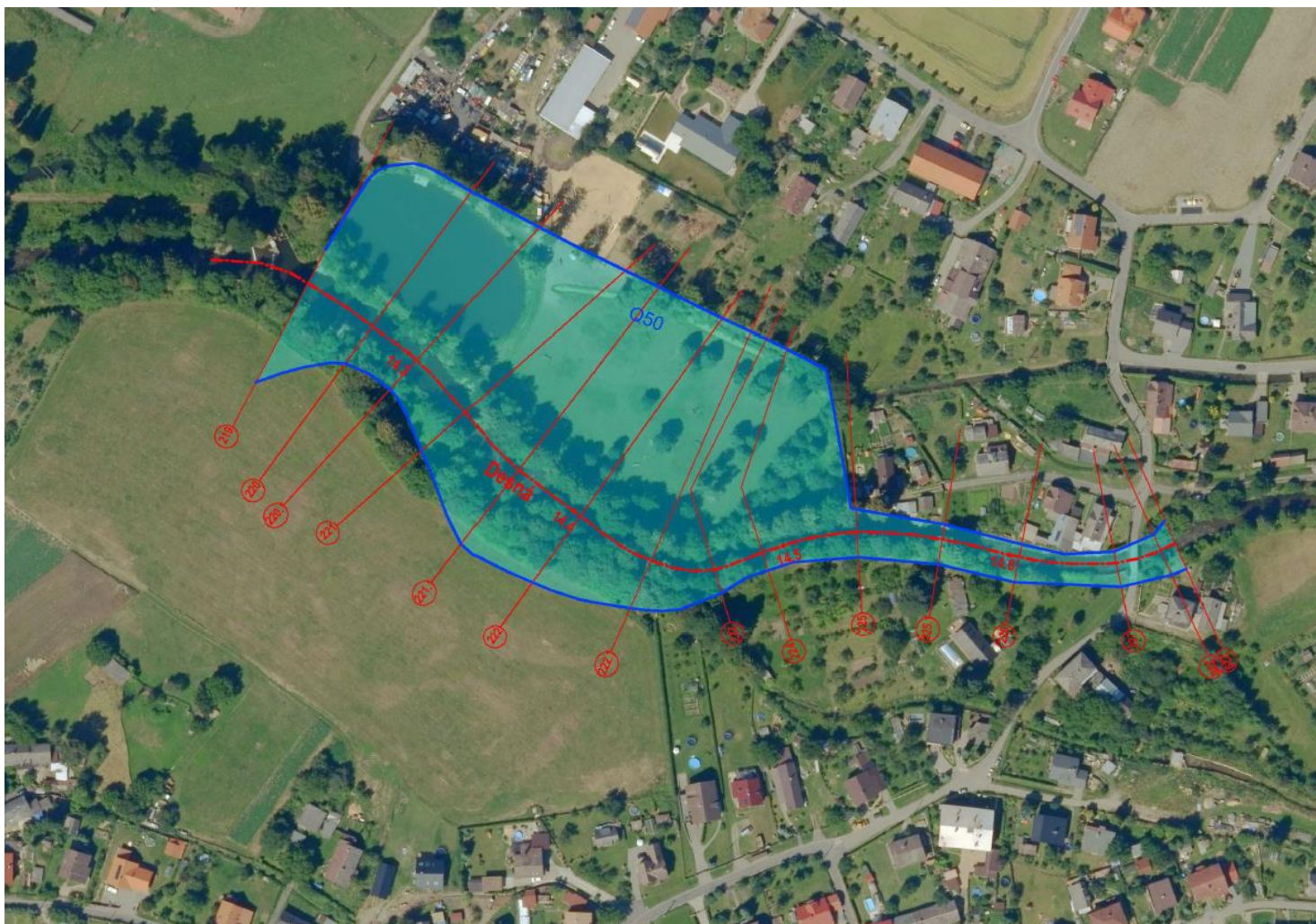
Příloha 11: Grafické znázornění protipovodňových objektů v (ř. km 14,247 – 14,674), **návrhový stav** (Jílková 2020).



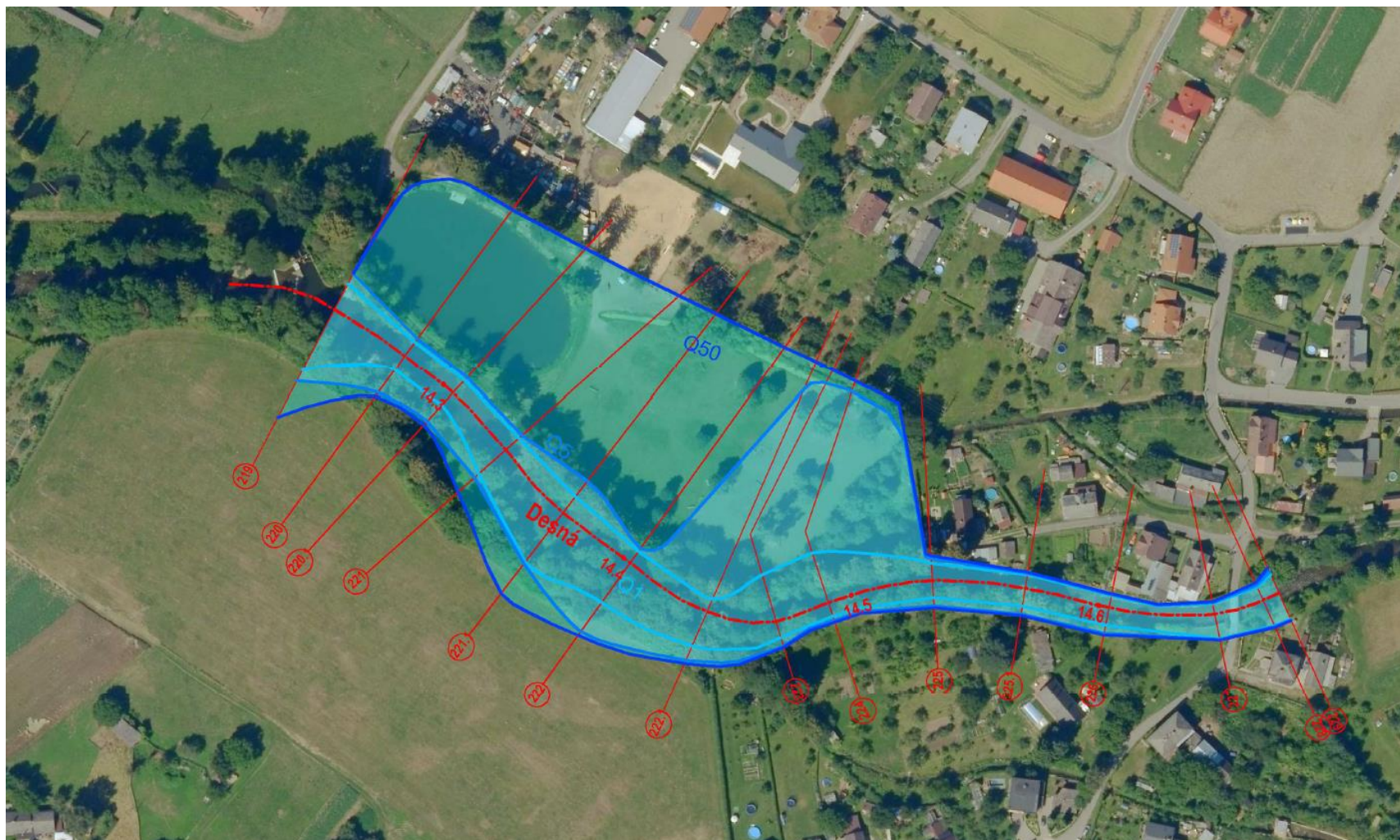
Příloha 12: Grafické znázornění rozlivu  $Q_1$  v (ř. km 14,247 – 14,674), **návrhový stav** (Jílková 2020).



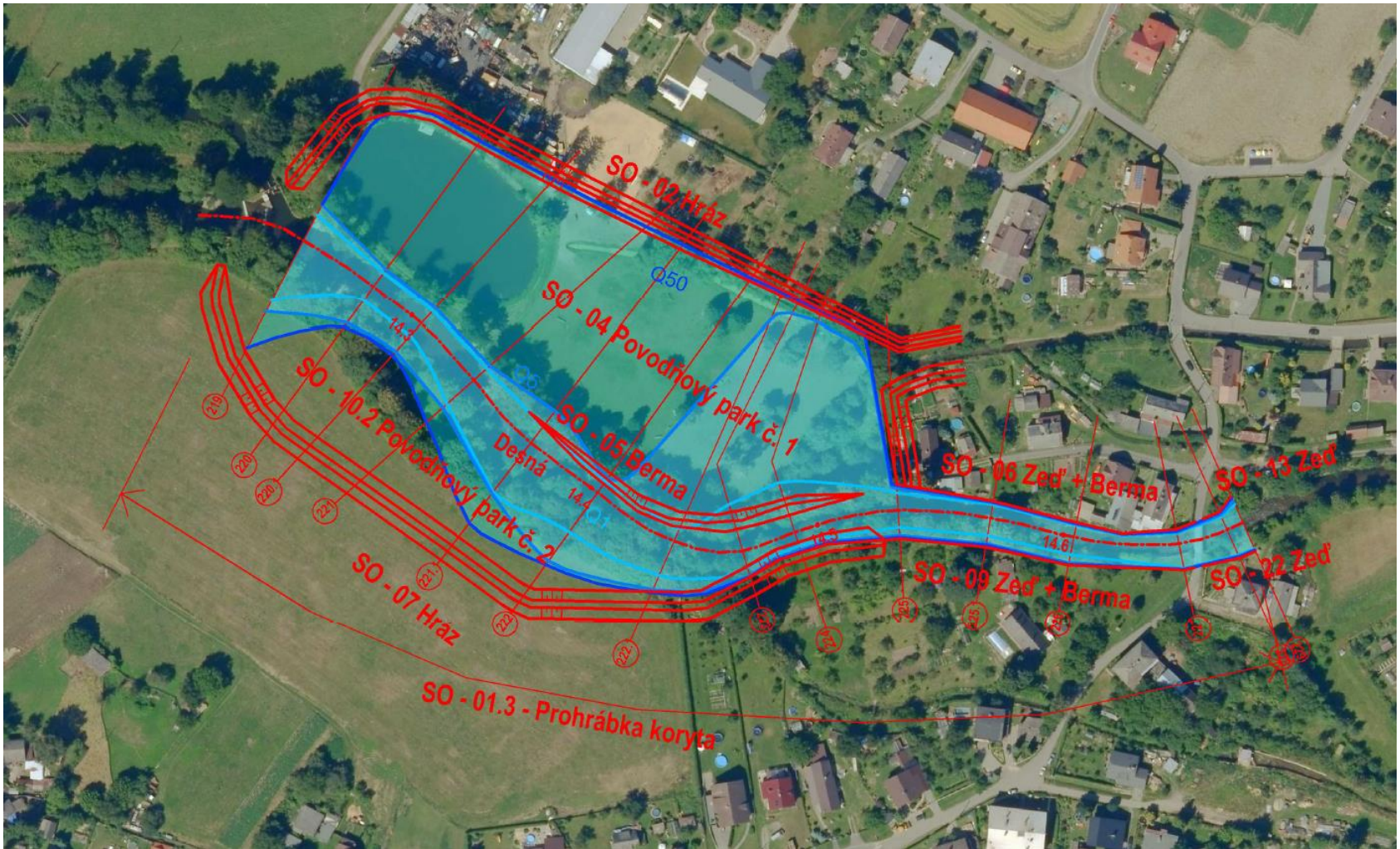
Příloha 13: Grafické znázornění rozlivu pro průtok  $Q_5$  v (ř. km 14,247 – 14,674), **návrhový stav** (Jílková 2020).



Příloha 14: Grafické znázornění rozlivu pro průtok  $Q_{50}$  v (ř. km 14,247 – 14,674), **návrhový stav** (Jílková 2020).

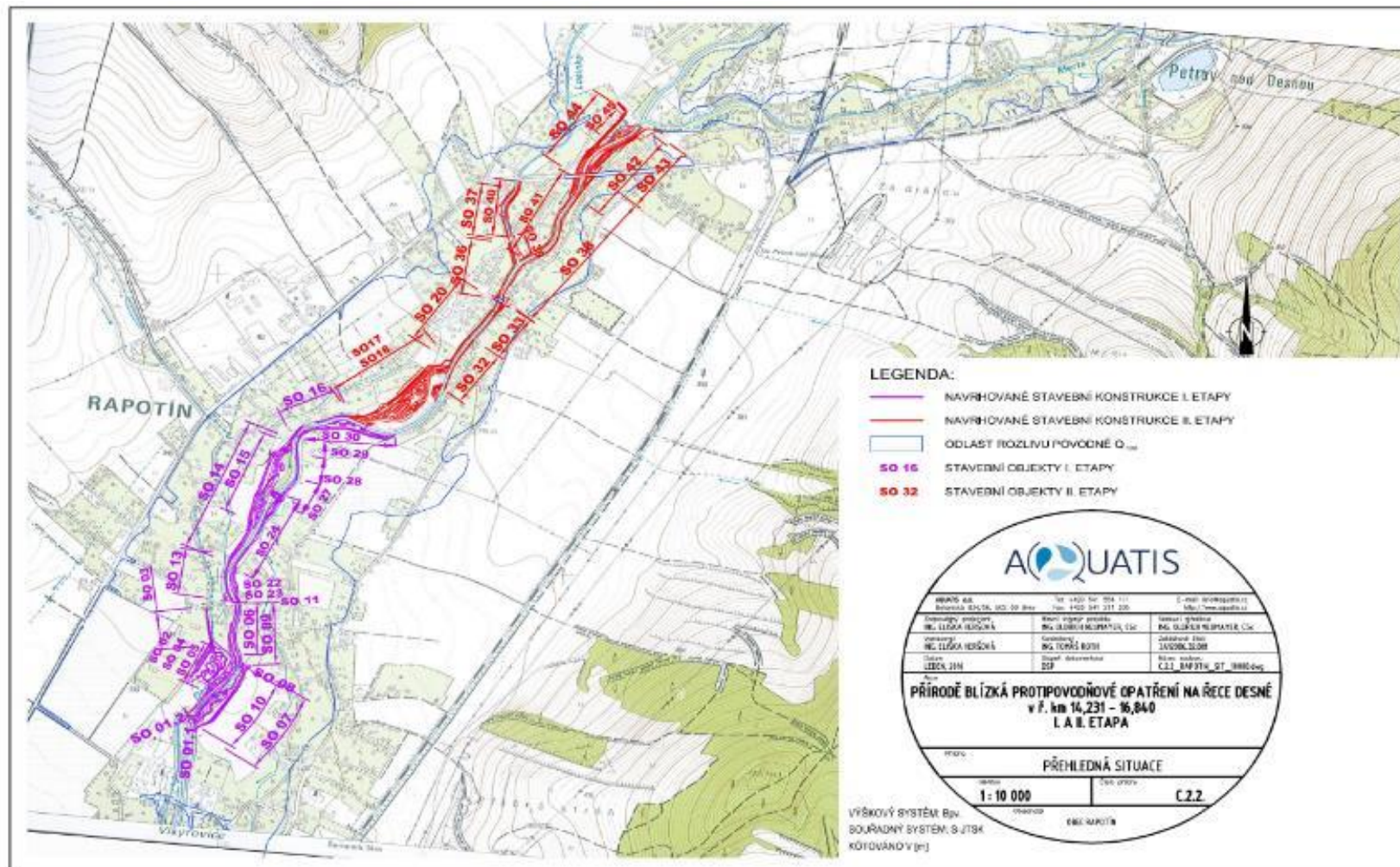


Příloha 15: Grafické znázornění rozlivů pro průtoky  $Q_1$ ;  $Q_5$  a  $Q_{50}$  v (ř. km 14,247 – 14,674), návrhový stav (Jílková 2020).

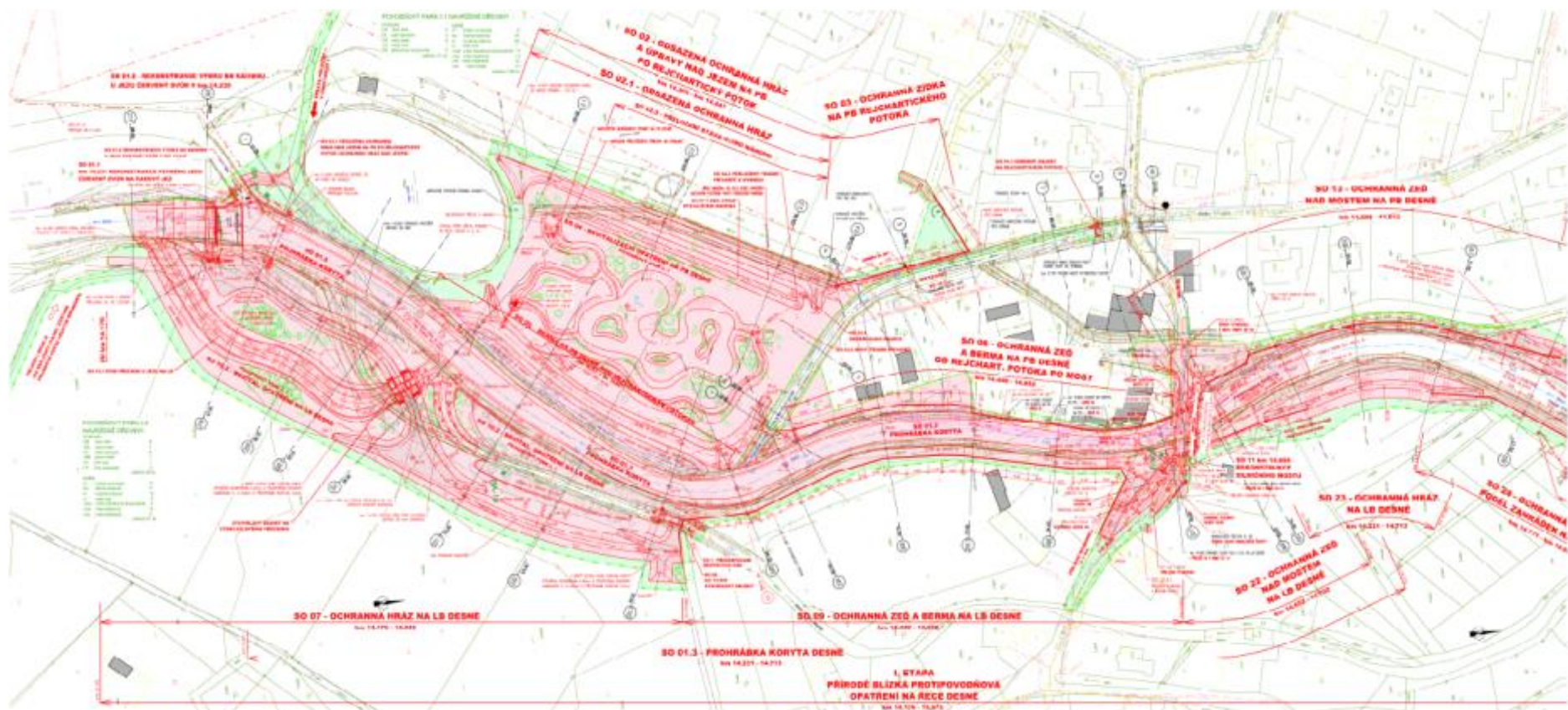


Příloha 16: Grafické znázornění protipovodňových objektů a simulace průtoků  $Q_1$ ,  $Q_5$  a  $Q_{50}$  v (ř. km 14,247 – 14,674), **návrhový stav** (Jílková 2020).





Příloha 17: Souhrnný přehled stavebních objektů v rámci I a II. ETAPY v ř. km 14,231 – 16,840 (AQUATIS 2016).



Příloha 18: Koordinační situace stavby – I. ETAPA – 1. část (AQUATIS 2016).



Příloha 19: SO 01.3 – Prohrábka (zhloubení) koryta v ř. km 14,231 – 14,713 (Jílková 2019).



Příloha 20: SO 04 – Povodňový park č. 1 a odsazená ochranná hráz (v zadní části obrázku) SO 02 (Jílková 2020).



Příloha 21: SO 05 – Berma na pravém břehu řeky Desná pod Rejchartickým potokem (Jílková 2020).



Příloha 22: SO 06 a 09 – Ochranná zídka na levém břehu řeky Desná v ř. km 14,449 – 14,650 (Jílková 2020).



Příloha 23: SO 10.2 – Meandrovité koryto rybího přechodu (Jílková 2020).