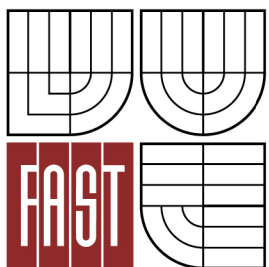


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

# HYDRAULICKÉ POSOUZENÍ VLIVU REVITALIZACE VODNÍHO TOKU NA RETENČNÍ KAPACITU ÚDOLNÍ NIVY

HYDRAULIC ASSESSMENT OF A STREAM REVITALIZATION EFFECT ON A FLOODPLAIN RETENTION  
CAPACITY

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. ONDŘEJ BERKA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.**

## **Abstrakt**

Diplomová práce “Hydraulické posouzení vlivu revitalizace vodního toku na retenční kapacitu údolní nivy“ posuzuje pomocí spřaženého 1D/2D výpočetního modelu programu BASEMENT schopnost údolní nivy transformovat povodňovou vlnu a porovnává zjištěné hodnoty na případu revitalizovaného a upraveného koryta. První část je věnována úvodu do problematiky. Ve druhé části je popsáno modelové území a jsou stanoveny hypotézy. Ve třetí části jsou popsána vstupní data, použité nástroje, výpočtový model, jeho tvorba a výpočtové varianty. Ve čtvrté části jsou jednotlivé hypotézy vyhodnoceny. Bylo zjištěno, že v případě modelového území dochází k transformaci povodně do  $Q_{20}$  mnohem lépe u revitalizovaného koryta a upravené koryto může povodeň urychlit, povodně  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$  transformuje mírně lépe upravené koryto. Pro zobecnění výsledků by bylo vhodné provést výzkum na větším množství případových studií, založených na kombinaci 1D/2D a srážko-odtokového modelu.

## **Klíčová slova**

BASEMENT, BASEmesh, hydrogram, povodeň, revitalizace, Rokytná, spřažený 1D/2D model, transformace, údolní niva

## **Abstract**

Diploma thesis “Hydraulic Assessment of a Stream Revitalization Effect on a Floodplain Retention Capacity“ assess availability of revitalized stream and its floodplain to transform floods and compare determined values with transformed floods from model of technically modified stream, both by using coupling 1D/2D BASEMENT computational model. In the first part is overall introduction to research issue. In the second part the territory of interest is described and the hypothesis are set. In the third part are described input data, used tools, computational model, its making and computational versions. In the fourth part the hypothesis are evaluated. It was determined, that for in this thesis used terrain and hydrographs are floods smaller than  $Q_{20}$  transformed much more by revitalized stream and that technically modified stream can speed up the flood, floods  $Q_{50}$  and  $Q_{100}$  are more transformed by technically modified stream. For generalization of the results would be appropriate to make research on bigger amount of case studies based on combination of 1D/2D and rainfall-runoff model.

## **Keywords**

BASEMENT, BASEmesh, coupling 1D/2D model, flood, floodplain, hydrograph, stream revitalization, transformation, Rokytná river

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Ondřej Berka *Hydraulické posouzení vlivu revitalizace vodního toku na retenční kapacitu údolní nivy*. Brno, 2014. 74 s., 67 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12.12.2014

.....  
podpis autora  
Bc. Ondřej Berka

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D., za vedení práce a cenné technické připomínky. Dále bych chtěl poděkovat svému oponentu Ing. Tomáši Havlíčkovi za ideu výzkumu a praktické rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval své dlouholeté partnerce Mgr. Zuzaně Uhrové za trpělivost a péči, kterou mi při psaní diplomové práce velkou měrou poskytla.

# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY A CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2 STAV VODNÍCH TOKŮ V ČR</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 REVITALIZACE VODNÍCH TOKŮ</b> .....	<b>5</b>
<b>2 KONCEPČNÍ MODEL</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 VÝBĚR MODELOVÉHO ÚZEMÍ</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2 POPIS MODELOVÉHO ÚZEMÍ</b> .....	<b>8</b>
2.2.1 Geografie.....	8
2.2.2 Geomorfologie.....	9
2.2.3 Geologie.....	11
2.2.4 Hydrologie.....	12
<b>2.3 TERÉNNÍ PRŮZKUM MODELOVÉHO ÚZEMÍ</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4 CÍLE A METODIKA VÝZKUMU</b> .....	<b>13</b>
<b>2.5 STANOVENÍ HYPOTÉZ</b> .....	<b>14</b>
2.5.1 H1: Po revitalizaci se oddálí doba kulminace.....	14
2.5.2 H2: Po revitalizaci se zmenší hodnota kulminačního průtoku.....	14
2.5.3 H3: Po revitalizaci dojde k zaplavení větší plochy pozemků kolem vodního toku.....	14
2.5.4 H4: Po revitalizaci dojde k prodloužení doby nástupu povodně.....	15
2.5.5 H5: Po revitalizaci dojde k prodloužení doby trvání povodně.....	15
2.5.6 H6: Vyšší drsnost údolní nivy vede k větší transformaci povodně.....	15
2.5.7 H7: U revitalizovaného koryta dojde k maximální transformaci při nejnižších průtocích, při nejvyšších bude vliv revitalizace minimální.....	15
2.5.8 H8: Větší objem a pomalejší nástup povodně způsobí menší transformaci povodně.....	16
<b>3 VÝPOČTOVÝ MODEL</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 POUŽITÝ SOFTWARE</b> .....	<b>17</b>
3.1.1 QGIS.....	17
3.1.2 HEC-RAS.....	18
3.1.3 AutoCAD Civil 3D.....	18
3.1.4 BASEMENT.....	19
3.1.5 BASEmesh.....	21
<b>3.2 POUŽITÝ HARDWARE</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3 HYDROGRAMY POVODNĚ</b> .....	<b>22</b>
3.3.1 Hydrogramy poskytnuté ČHMÚ (Q5 a Q100).....	22
3.3.2 Odvozené hydrogramy (Q1, Q2, Q10, Q20 a Q50).....	23
3.3.3 Další úprava hydrogramů.....	25

<b>3.4 DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU.....</b>	<b>26</b>
3.4.1 Terén.....	26
3.4.2 Hráze.....	27
3.4.3 Upravený vodní tok.....	27
3.4.4 Vodní toky revitalizované.....	28
<b>3.5 MODEL KORYTA (1D).....</b>	<b>31</b>
3.5.1 Drsnost.....	31
3.5.2 Tvorba 1D modelu v programech HEC-RAS a BASEmesh.....	32
<b>3.6 MODEL NIVY (2D).....</b>	<b>33</b>
3.6.1 Drsnost.....	33
3.6.2 Tvorba 2D modelu v programech QGIS a BASEmesh.....	34
<b>3.7 NASTAVENÍ VÝPOČTOVÉHO MODELU.....</b>	<b>35</b>
3.7.1 Nastavení projektu.....	35
3.7.2 Nastavení 1D modelu.....	35
3.7.3 Nastavení 2D modelu.....	36
3.7.4 Nastavení párování 1D a 2D modelu.....	36
<b>3.8 VARIANTY VÝPOČTU.....</b>	<b>37</b>
3.8.1 Obecný popis variant.....	37
3.8.2 Varianta A1.....	38
3.8.3 Varianty A2, A3, A4, B2, B3 a B4.....	39
<b>3.9 VÝSTUPY.....</b>	<b>41</b>
3.9.1 Formát výstupů.....	41
3.9.2 Varianta A1.....	41
3.9.3 Varianty A2, A3, A4, B2, B3 a B4.....	45
<b>4 VÝSLEDKY.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 VARIANTA A1.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 HYPOTÉZY.....</b>	<b>48</b>
4.2.1 H1: Po revitalizaci se oddálí doba kulminace.....	48
4.2.2 H2: Po revitalizaci se zmenší hodnota kulminačního průtoku.....	49
4.2.3 H3: Po revitalizaci dojde k zaplavení větší plochy pozemků kolem vodního toku.....	50
4.2.4 H4: Po revitalizaci dojde k prodloužení doby nástupu povodně.....	51
4.2.5 H5: Po revitalizaci dojde k prodloužení doby trvání povodně.....	51
4.2.6 H6: Vyšší drsnost údolní nivy vede k větší transformaci povodně.....	53
4.2.7 H7: U revitalizovaného koryta dojde k maximální transformaci při nejnižších průtocích, při nejvyšších bude vliv revitalizace minimální.....	56
4.2.8 H8: Větší objem a pomalejší nástup povodně způsobí menší transformaci povodně.....	58
<b>4.3 DISKUZE.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4 ZHODNOCENÍ NEJISTOT.....</b>	<b>64</b>
<b>5 ZÁVĚR.....</b>	<b>65</b>
<b>6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>67</b>
<b>6.1 LITERATURA.....</b>	<b>67</b>

6.2 INTERNETOVÉ ZDROJE.....	67
6.3 OSTATNÍ ZDROJE.....	69
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	70
8 SEZNAM MAP, GRAFŮ A FOTOGRAFIÍ.....	71
9 SEZNAM TABULEK.....	72
10 SEZNAM PŘÍLOH.....	73



# 1 ÚVOD

## 1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY A CÍLE PRÁCE

V posledních 20 letech zažila Česká republika množství katastrofických povodní, jak lokálních, tak regionálních. Vzhledem k tomuto faktu se čím dál tím více diskutuje jak mezi odborníky a odbornou veřejností, tak mezi laiky, nejen o technické protipovodňové ochraně (ve smyslu stavby hrází a přehrad), ale také o péči o povodí jako celek a o vlivu provedených technických úprav vodních toků. Nyní spíše převládá snaha navracet tyto toky do přírodě blízkého stavu a to hlavně formou revitalizací.

S pojmem revitalizace se v dnešní době pojí termíny jako „zvyšování potenciálu nivy“, „zvýšení retence“ nebo „zpomalení odtoku“. U nás ovšem neproběhlo komplexní šetření, které by kvantifikovalo, potvrdilo nebo vyvrátilo tyto myšlenky. Tato práce má za účel podrobně popsat, kvantifikovat a zhodnotit vliv revitalizace na retenční kapacitu údolní nivy ve zvoleném úseku vodního toku, kde proběhla jeho technická úprava. Cílem této práce není definitivně určit výhodnost nebo nevýhodnost revitalizací jako celku, ale najít a zdokumentovat určité závislosti, které se s revitalizací a transformací povodňové vlny revitalizovaným korytem a jeho přílehlou nivou pojí.

Popsat a spočítat proudění ve složitém systému různorodého terénu, revitalizovaného koryta a nivy je mnohem těžší než výpočet proudění v technicky upraveném korytě. Až s nástupem moderních počítačů a rozvinutí numerických modelů je možno přesně spočítat a nasimulovat tento komplexní problém. Vzhledem k plošně různorodému charakteru proudění v nivě je žádoucí použít 2D hydraulické modelování, v případě této práce kombinovaný 1D/2D model, kombinující efektivní výpočet proudění v hlavním korytě a podrobný výpočet v ploše nivy.

## 1.2 STAV VODNÍCH TOKŮ V ČR

Již od středověku probíhala na našem území úprava toků, ať už šlo o budování tzv. selských hrází v jejich blízkosti, stavbu jezů, odstraňování balvanů z řeky za účelem zlepšení podmínek voroplavy nebo těžba štěrku a písku. Až s příchodem průmyslové revoluce byly technologie natolik pokročilé a lidská pracovní síla natolik dostupná, aby mohly probíhat cílené

úpravy celých toků. To se dělo na našem území především za účelem zlepšení plavebních podmínek (například na Labi nebo na Odře). Teprve ve druhé polovině 19. století se začíná uvažovat o koncepčních úpravách vodních toků za účelem změny odtokových poměrů.

Hlavním cílem těchto úprav bylo urychlení odtoku, respektive rychlejší odvedení povodní. To spočívalo (podobně jako u splavnování řek) především v napřímění toku, průkopu meandrů, vytvoření jednoho hlavního koryta, jeho prohloubení, zvýšení jeho průtočné kapacity a jeho stabilizace. Zároveň s tím se v této době dostává do popředí potřeba zisku zemědělské půdy, a tak byly ve velkém nejen vysoušeny rybníky, ale probíhalo také odvodňování niv, a to pomocí výše uvedených, a v té době také osvědčených úprav.

Vrchol tohoto snažení nastal v 60. a 70. letech 20. století, kdy byla silná politická poptávka po zemědělské půdě, a tisíce hektarů tak byly tzv. „meliorovány“, a to nejen drenážemi, ale hlavně napřímováním a zahlubováním, někdy dokonce zatrubněním toků. Tím se nejen zvýšila úrodnost půdy, ale také zvětšila obdělávatelná plocha, protože technicky upravené koryto je znatelně užší než pás meandrujícího koryta. V této době také vznikla naše typická zemědělská krajina, tedy rozlehlé lány s prostředkem údolí táhnoucí se, v lepším případě řadou stromů, v horším případě táhnoucím se zářezem v terénu.

V současné době je u nás technicky upraveno více než 13 000 km vodních toků z celkových 60 000 km a jejich trasa byla zkrácena o 4 600 km. Více než 28 % ze všech vodních toků vykazuje známky upravenosti.<sup>1</sup> Vzhledem k tak velkému počtu a rozsahu upravených toků je žádoucí se zabývat jejich vlivem na současné odtokové poměry, a to nejen z hlediska konkrétní funkce v určitém území, ale také na jejich funkci v komplexu povodí.

### 1.3 REVITALIZACE VODNÍCH TOKŮ

Z definice uvedené na stránkách AOPK ČR (Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky) je revitalizace „*obnova v minulosti nevhodně technicky upravených koryt vodních toků směrem k původnímu, přírodě blízkému stavu*“<sup>2</sup>. Obecně se dá říct, že se jedná o postup, kdy je nalezen přirozený tvar toku s přihlédnutím k místním přírodním podmínkám a průtokovým poměrům, a poté je navržena a provedena taková úprava, aby se výsledek revitalizace co nejvíce blížil

1 PITHART, David, Tomáš DOSTÁL, Jakub LANGHAMMER, Bohumír JANSKÝ a kol. *Význam retence vody v říčních nivách*. 1. vydání. Praha, 2012. ISBN 978-80-260-3697-5.

2 *Revitalizace vodních toků*. [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.dotace.nature.cz/voda-opatreni/revitalizace-vodnich-toku.html>

tomuto přirozenému stavu. Největší omezení jsou v tomto případě vzhledem k velké plošné náročnosti revitalizace existující zástavba a majetkoprávní vztahy vlastníků pozemků.

Z ekologického hlediska se dá technická úprava zvláště malých vodních toků považovat za katastrofu. Dochází k likvidaci přirozených biotopů koryta a jeho okolí, výraznému snížení biodiverzity, ztrátě stanovišť a úkrytů vodních živočichů a další bioty vázané na vodní prostředí a také dochází k destabilizaci jednotlivých společenstev kvůli přerušení migrace. Z technického hlediska má technická úprava koryta také množství negativ, jako například změnu splaveninového režimu, zhoršení půdních vlastností odvodněné nivy, a také výrazné zmenšení samočisticích a dočišťovacích procesů ve vodním toku.<sup>3</sup>

To bude do budoucna velice důležité téma, neboť výhledově by následujících 50 let měl průměrný odtok i přes mírně stoupající množství srážek klesat.<sup>4</sup> I přes velké pokroky v technologiích čištění odpadních vod a velký rozvoj počtu ČOV bude zvláště při suchu samočisticí schopnost toků velmi významným faktorem. V dnešní době ale na pomyslných miskách vah převažuje ekologický a krajinný faktor spolu z výše zmíněnými nevýhodami nad hlavním důvodem „budování“ upravených koryt, tedy získání další orné půdy pro intenzivní zemědělské využití. Stejně tak není ospravedlněna ekonomická stránka věci, kdy je upravené koryto nutno čistit a „opravovat“, zatímco revitalizované koryto je ze své podstaty bezúdržbové a tedy bez dalších vstupních nákladů.

Až dosud byla záměrně ignorována funkce revitalizace v rámci protipovodňové ochrany. Ta je obzvláště po katastrofálních povodních v letech 1997 a 2002 a dalších povodňových událostech v letech 2006, 2010 a 2013 velmi diskutovaným tématem. Zahloubením, případně ještě ohrázkováním koryta, se úplně potlačuje funkce nivy jako takové a její retenční prostor není využit. U revitalizace je naopak retenční potenciál nivy využíván naplno, neboť revitalizované (respektive přírodní) koryto má násobně menší kapacitu než koryto upravené, a už i nízké průtoky jsou nivou retardovány.

Je předpoklad, že povodňová vlna se upraveným korytem šíří mnohem rychleji než korytem revitalizovaným, a to nejen kvůli většímu sklonu a menší délce, ale také kvůli menší

---

3 JUST, Tomáš. *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Praha: Český svaz ochránců přírody, 2005, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.

4 HANEL, Martin, Ladislav KAŠPÁREK, Magdalena MRKVIČKOVÁ et. al. *Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*. VÚV TGM, Praha 2011. [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: [http://www.vuv.cz/fileadmin/user\\_upload/pdf/publikace/Hanel\\_Odhad-02.pdf](http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/publikace/Hanel_Odhad-02.pdf)

drsnosti a větší hloubce vody. Ta především by měla v případě revitalizovaného toku způsobovat zpomalování odtoku, protože v nivě dojde k rozlivu při malé hloubce, na rozdíl od upraveného koryta, kde jsou průtoky sevřeny mezi břehy, respektive hráze a voda zde dosahuje mnohem větších rychlostí. Tyto předpoklady ale zatím nebyly v našich podmínkách ověřovány.

## 2 KONCEPČNÍ MODEL

### 2.1 VÝBĚR MODELOVÉHO ÚZEMÍ

Vybrané modelové území musí splňovat několik kritérií:

1. nachází se na území zmapovaném pomocí Digitálního modelu reliéfu páté generace,
2. obsahuje technicky upravené koryto nejlépe v zemědělské krajině,
3. v korytě toku se nenachází žádné příčné překážky (jezy, stupně apod.),
4. obsahuje dostatečně dlouhou nezastavěnou a dostatečně širokou nivu,
5. neobsahuje žádnou významnou údolní nádrž,
6. jedná se o relativně malé povodí (okolo 100 km<sup>2</sup>).

Dále bylo také pohlíženo na dobrou dopravní dostupnost kvůli terénnímu průzkumu, existenci map z II. nebo III. vojenského mapování a také na pokud možno co nejjednodušší odtokové podmínky, tedy neexistenci převodů většího množství vod mimo povodí apod. Na základě zhodnocení všech výše uvedených podmínek byl vybrán tok Rokytné od soutoku s potokem V Herklích až po soutok s tokem Rokytky.

### 2.2 POPIS MODELOVÉHO ÚZEMÍ

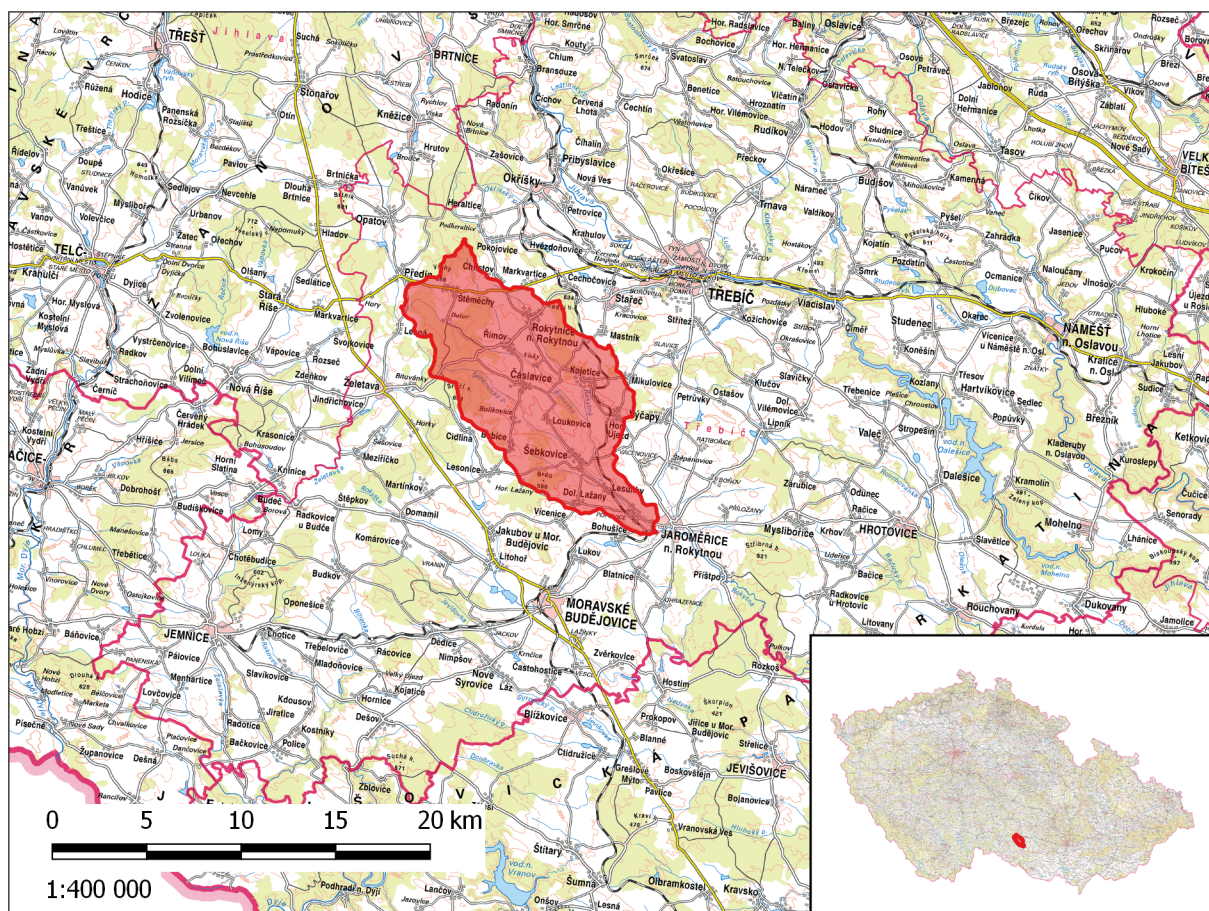
#### 2.2.1 GEOGRAFIE

Zájmové území se nachází v povodí Rokytné, a to až po závěrový profil na soutoku s Rokytkou. Celé území o rozloze 97 km<sup>2</sup> se nachází v České republice, v jižní části Kraje Vysočina, v okrese Třebíč. Území má protáhlý tvar a směrem od severozápadu na jihovýchod se jeho nadmořská výška snižuje. Nejvyšší vrchol území je Mařenka o výšce 711 m n.m., nejnižším bodem je pak soutok Rokytné a Rokytky o nadmořské výšce 418 m.n.m.<sup>5</sup> Na vybraném

---

5 *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>

území se nachází celkem 9 povodí IV. řádu. Jednotlivá čísla hydrologických pořadí jsou 4-16-03-001 až 4-16-03-009.<sup>6</sup>



Obr. 2.1: Geografická poloha zájmové oblasti.<sup>7</sup>

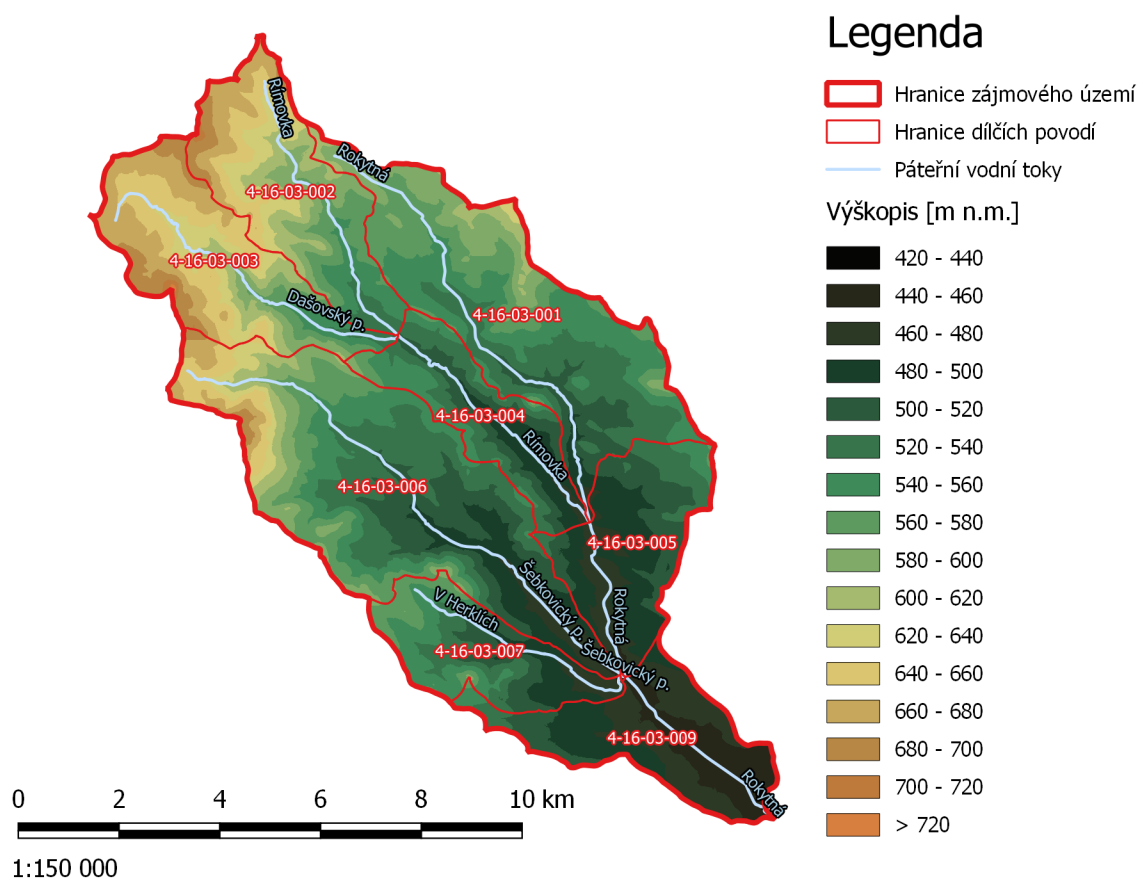
## 2.2.2 GEOMORFOLOGIE

Území je, co se sklonů týče, poměrně různorodé. V údolních partiích se rozkládají rovinaté nivy toků s minimálními sklony, v jižní části území a v jeho středu se nachází pahorkatiny, stále ještě s poměrně malými sklony. V severozápadní části se pak nachází vrchoviny s výškou nad 650 m n.m. Celkové převýšení mezi nejnižším bodem (soutok Rokytky a Rokytné - 418 m n.m.) a nejvyšším bodem (vrch Mařenka - 711 m n.m.) je 293 m.<sup>5</sup>

6 *Objekty DIBAVOD*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>

7 *Prohlázečská služba WMS - ZM 200*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM200\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM200_PUB/WMSservice.aspx)

5 *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>



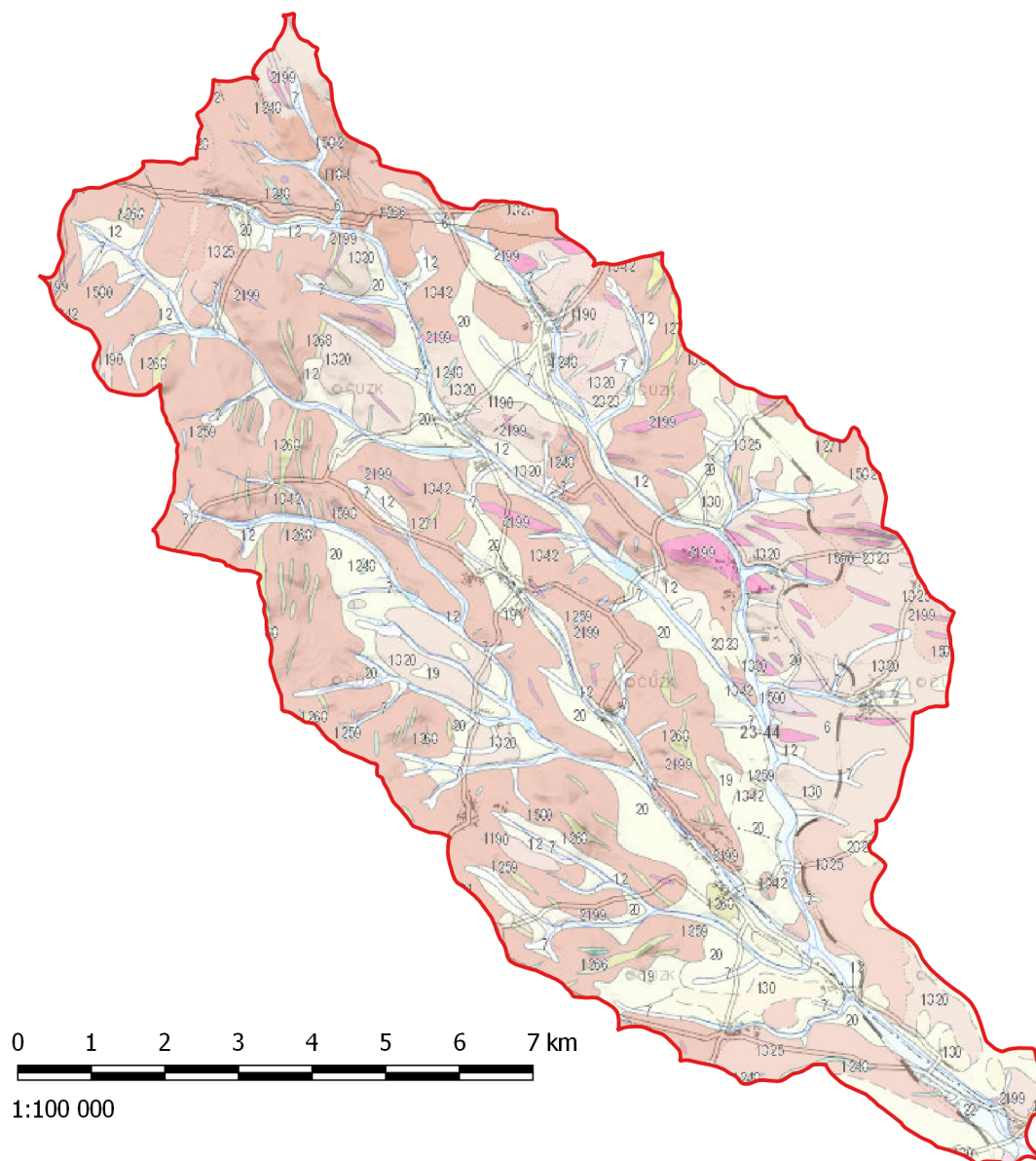
**Obr. 2.2: Výškopis a dílčí povodí IV. řádu zájmové oblasti.<sup>6</sup>**

V rámci geomorfologického členění patří celé území do Hercynského systému, subsystému Hercynská pohoří, provincie Česká vysočina, subprovincie Česko-moravské a do oblasti Českomoravské vrchoviny. Jižní část pak dále patří do celku Jevišovické pahorkatiny, podcelku Jaroměřická kotlina a severní část do celku Křižanovské vrchoviny, podcelku Brtnické vrchoviny.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> *Objekty DIBAVOD*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>

<sup>8</sup> *Horopisné členění České republiky*. [online]. [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: [http://www.trasovnik.cz/k\\_ainfcr/horopis/horopis.asp](http://www.trasovnik.cz/k_ainfcr/horopis/horopis.asp)

### 2.2.3 GEOLOGIE



**Obr. 2.3: Geologická mapa zájmové oblasti.<sup>9</sup>**

V údolnicích se okolo větších vodních toků (viz Obr. 2.3: *Geologická mapa zájmové oblasti*) vyskytují smíšené sedimenty (6 - světle modrá), v údolnicích s menšími toky se pak vyskytují smíšené sedimenty (7 - světlá žlutomodrá). Kolem údolnic se pak nachází písčito-hlinité až hlinito-písčité sedimenty (12 - světle oranžová), sprašové hlíny (19 - světle žlutá) a deluvioeolické sedimenty (20 - světle žlutá). V jižní části území se objevují štěrky, písčité štěrky s vložkami jílu (130 - oranžová) a prachovito-jílovité písky s výskyty vltavinů (2323 - oranžová).

<sup>9</sup> *Geologická mapa 1 : 25 000*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: [http://mapy.geology.cz/geocr\\_25/](http://mapy.geology.cz/geocr_25/)



Ve vyšších polohách se ve východní části nejčastěji vyskytují ruly (1320 - světle růžová) a v západní části nejčastěji pararuly (1342 - světle červená). Místy se u vrcholů vyskytuje granit (2199 - růžová). Dále se zde místně vyskytují: žilný křemen, brekcie (1580 - červená), granit až syenit křemenný (1590 - světle fialová), amfibolit (1248 - modrozelená), erlan, stromatit (1259 - modrá), kvarcit, pararula (1268, 1271 - tmavě žlutá a žlutá) a pararula až magmatit (1325 - oranžová).<sup>10</sup>

## 2.2.4 HYDROLOGIE

Průměrný roční úhrn srážek na území se pohybuje v rozmezí cca 600 - 700 mm ročně<sup>11</sup>, průměrný výškový odtok činí 99,2 mm. Orná půda zabírá více než 63 % území a uměle přetvořené plochy (tedy intravilán a průmyslové a zemědělské objekty) dalších 3,5 %, což výrazným způsobem ovlivňuje odtokové poměry. Zbytek zájmové plochy je tvořen lesem, dle ortofotomap převážně jehličnatým.<sup>12</sup> Sběrným tokem a zároveň dominantním tokem celého zájmového území je řeka Rokytná.

Ta pramení jižně od obce Chlístov, asi 10 km západně od Třebíče, uprostřed zemědělských pozemků. Na drtivé většině své (v zájmovém území) 18,6 km dlouhé trasy prochází zemědělskou krajinou a je napřímená a zahloubená. Dvěma výjimkami jsou okolí Újezdského mlýna, kde řeka protéká skalnatou soutěskou s vodopády a úsek před a za Kojeticemi, kde úzké údolí neumožňuje efektivní zemědělské využití, a nejspíše z tohoto důvodu zde koryto upraveno nebylo. Průměrný roční průtok je 0,305 m<sup>3</sup>/s, o N-letých průtocích informuje následující tabulka:

**Tab. 2.1: N-leté průtoky toku Rokytna pro závěrový profil zájmového území<sup>13</sup>**

Opakování [roky]	1	2	5	10	20	50	100
Průtok [m <sup>3</sup> /s]	4,15	6,00	9,40	12,50	16,10	21,90	26,90

Řeka Rokytná má tři významné pravostranné přítoky, a to Římovku (29,5 km<sup>2</sup>), Šebkovický potok (24,1 km<sup>2</sup>) a potok V Herklích (7,1 km<sup>2</sup>). Zajímavým faktem je, že na soutoku Římovky

10 *Geologická mapa 1 : 50 000*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace>

11 *Průměrná roční teplota vzduchu za období 1961-1990*. [online]. [cit. 2014-12-18]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/sra6190.gif>

12 *Plán oblasti povodí Dyje*. Povodí Moravy, s.p., 2009. Průvodní list útvaru povrchových vod Plánu oblasti povodí Dyje 2010 - 2015.

13 ČHMÚ. *Hydrologické údaje povrchových vod, značka P14007199/561*. 2014-12-01.

a Rokytné má Rokytná plochu povodí pouze 18,5 km<sup>2</sup>, tedy cca 62 % velikosti povodí Římovky. Až na potok v Herklích pramení všechny v zalesněné oblasti a poté postupují upraveným korytem zemědělskou krajinou. Typickým rysem je množství propustků a hrází bývalých rybníků, respektive naspů komunikací, protínajících nivu.

## **2.3 TERÉNNÍ PRŮZKUM MODELOVÉHO ÚZEMÍ**

Na podzim a v zimě roku 2014 byly provedeny terénní průzkumy modelového území. Podzimní průzkum se soustředil na pořízení fotodokumentace (uvedena v příloze 4 - *Fotodokumentace*) a na zmapování celého povodí. Byly při něm také změřeny příčné profily významných vodních toků (celkem přes 20 zaměřených profilů Rokytné, Šebkovického potoka, Římovky a některých bezejmenných přítoků), které posléze posloužily pro zhodnocení stavu upravenosti povodí, a pro finální výběr území vhodného k simulaci. Zimní průzkum se soustředil na doměření a doplnění chybějících, či neúplných dat.

Zároveň s tím byly také zaměřeny důležité mostní profily v území (tedy dva mostní profily v dolní části povodí na toku Rokytná), které byly použity pro testovací výpočet „současného“ stavu. Současný stav je dán do uvozovek záměrně, neboť v horní části modelovaného území (tesně po soutoku Rokytné a potoku V Herklích) došlo k velmi výrazné hloubkové erozi a dno Rokytné je zde o 1 - 2 metry níže, než bylo dno původního upraveného koryta, soudě podle několika málo zbytků kamenného opevnění. Proto také nebude v práci uváděn „současný“ stav upraveného koryta, ale pouze „upravený“ stav, tedy ten stav, který podle pozorování ostatních toků a dochovaného opevnění v dolní části modelovaného území nastal po vybudování úpravy.

## **2.4 CÍLE A METODIKA VÝZKUMU**

Hlavním cílem tohoto výzkumu je porovnat a popsat rozdílnost transformace povodně v případě revitalizovaného a technicky upraveného koryta. Protože prostý popis tvaru a průběhu grafů transformovaných povodňových vln by nebyl plně objektivní, byly vytvořeny hypotézy, popisující tyto transformace. Hypotézy budou hodnoceny samostatně, bez přihlídnutí k vlivu celku a až teprve na základě závěrů jednotlivých hypotéz bude problematika diskutována a řešena jako celek.

Pro výzkum bylo stanoveno několik hypotéz. Každá z nich bude podrobně popsána a bude obsahovat odůvodnění, předpokládaný výsledek a popis pozorovaných veličin. Po shromáždění výsledků budou tyto hypotézy posouzeny a bude určeno, zda jsou pravdivé, nepravdivé, případně pokud bude nalezena viditelná závislost, tak za jakých okolností jsou pravdivé či nepravdivé.

## **2.5 STANOVENÍ HYPOTÉZ**

### **2.5.1 H1: PO REVITALIZACI SE ODDÁLÍ DOBA KULMINACE**

Při revitalizaci dojde ke snížení průtočné kapacity koryta a prodloužení jeho trasy. Povodňové průtoky se tak budou muset propagovat v malé výšce v údolní nivě, což způsobí zmenšení rychlosti proudění, a tudíž zpomalení odtoku. Prodloužení trasy koryta také způsobí další transformaci povodňové vlny. Očekávaný výsledek je, že se budou lišit doby kulminace transformovaných povodňových vln vzhledem k době kulminace původní povodňové vlny, a to tak, že v revitalizované variantě bude tato doba delší. Bude sledován pouze rozdíl časů než dojde ke kulminaci.

### **2.5.2 H2: PO REVITALIZACI SE ZMENŠÍ HODNOTA KULMINAČNÍHO PRŮTOKU**

Při revitalizaci dojde ke snížení průtočné kapacity koryta a tím pádem bude více využita údolní kapacita nivy. Kvůli zmenšení kapacity koryta by také mělo dojít ke zpomalení odtoku, a tudíž k vyšší retenci v nivě. Očekávaný výsledek je, že transformace povodňové vlny bude větší v případě revitalizovaného koryta než v případě upraveného koryta. Bude sledována pouze hodnota kulminace.

### **2.5.3 H3: PO REVITALIZACI DOJDE K ZAPLAVENÍ VĚTŠÍ PLOCHY POZEMKŮ KOLEM VODNÍHO TOKU**

Při revitalizaci dojde ke snížení průtočné kapacity koryta a to až na  $Q_{30d}$ . Při stejném průtoku to znamená častější vylévání vody z hlavního koryta toku a zaplavení okolních pozemků. Očekávaný výsledek je, že v případě revitalizovaného koryta bude zaplavená plocha větší než v případě upraveného koryta. Bude sledována celková plocha zaplavení.

#### **2.5.4 H4: PO REVITALIZACI DOJDE K PRODLOUŽENÍ DOBY NÁSTUPU POVODNĚ**

Při revitalizaci se očekává větší transformace povodně údolní nivou a tedy zpomalení postupu povodňové vlny. S tím by se zároveň měl měnit tvar hydrogramu povodně tak, že její nástup bude mírnější, tedy že graf nástupu povodně bude mít menší sklon. Očekávaný výsledek je, že část hydrogramu, popisující nástup povodně, bude mít mírnější sklon než v případě upraveného koryta. Bude porovnáván (pouze opticky) sklon a tvar křivky nástupu povodně.

#### **2.5.5 H5: PO REVITALIZACI DOJDE K PRODLOUŽENÍ DOBY TRVÁNÍ POVODNĚ**

Po revitalizaci by mělo docházet k větším rozlivům do údolní nivy, kterou by se voda kvůli nižší výšce než v samotném korytě měla šířit pomaleji. Protože bude voda z nivy odváděna korytem o menší kapacitě, měla by povodňová událost trvat delší dobu. Očekávaným výsledkem je delší doba trvání „povodně“ v případě revitalizovaného koryta než v případě upraveného koryta. (pozn.: za „povodeň“ zde není považována povodeň ve smyslu znění zákona 254/2001 Sb.<sup>14</sup>, ale prosté období zvýšených průtoků) Budou sledovány doby trvání mezi překročením 10 %, 30 % a 50 % průtoku původní povodňové vlny.

#### **2.5.6 H6: VYŠŠÍ DRSNOST ÚDOLNÍ NIVY VEDE K VĚTŠÍ TRANSFORMACI POVODNĚ**

Při revitalizaci dojde ke snížení průtočné kapacity koryta, což způsobí větší zapojení údolní nivy v transformaci povodně. Pokud dojde ke zvýšení drsnosti nivy, dojde k větší transformaci u revitalizovaného koryta. Očekávaným výsledkem je, že změna povodňové vlny bude u revitalizovaného koryta tím větší, čím větší drsnost bude niva mít. Bude se sledovat relativní rozdíl hodnot kulminací průtoků a doba kulminace.

#### **2.5.7 H7: U REVITALIZOVANÉHO KORYTA DOJDE K MAXIMÁLNÍ TRANSFORMACI PŘI NEJNÍŽŠÍCH PRŮTOCÍCH, PŘI NEJVYŠŠÍCH BUDE VLIV REVITALIZACE MINIMÁLNÍ**

Upravené koryto je dostatečně kapacitní na to, aby pojalo průtoky do  $Q_{10}$ , a proto nedojde k jejich transformaci, respektive dojde pouze k minimální transformaci. U revitalizovaného koryta

---

14 Zákon 254/2001 Sb. *Zákon o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon)*. Červen 2001, §64, odstavec (1)

bude docházet k využití retenčního potenciálu nivy již u  $Q_1$ , a proto dojde k výrazné transformaci už při těchto nízkých průtocích. Při vysokých průtocích bude vliv změny geometrie koryta minimální. Očekávaným výsledkem je, že zmenšení kulminačních průtoků bude mnohem větší u povodní s větší četností opakování a menší u povodní s menší četností opakování ve prospěch větší změny u revitalizovaného koryta. Budou sledovány relativní rozdíly kulminačních průtoků u revitalizovaného a upraveného koryta.

#### **2.5.8 H8: VĚTŠÍ OBJEM A POMALEJŠÍ NÁSTUP POVODNĚ ZPŮSOBÍ MENŠÍ TRANSFORMACI POVODNĚ**

Větší objem a pomalejší nástupu povodňové vlny způsobí zaplavení údolní nivy při nástupu povodně a její retenční kapacita tak nebude využita pro transformaci povodňové vlny. Zatímco u upraveného koryta dojde k transformaci „špičky“ povodňové vlny, v případě revitalizovaného koryta dojde k transformaci nástupu povodňové vlny a dále již transformace probíhat nebude. Očekávaným výsledkem je, že relativní rozdíly v kulminacích při normální a zvětšené povodňové vlně budou u revitalizovaného koryta menší než u upraveného koryta. Bude sledován kulminační průtok a doba kulminace.

# 3 VÝPOČTOVÝ MODEL

## 3.1 POUŽITÝ SOFTWARE

### 3.1.1 QGIS

QGIS (Quantum Geographic Information System) je geografický informační systém, který umožňuje prohlížení, editaci a zpracování geografických dat. Je vyvíjen uživatelskou komunitou jako open-source pod licencí GNU GPL a to od roku 2002. Jádro je postavené na programovacím jazyce Python. Dnes QGIS zastřešuje více open-sourcových platform, jako jsou SAGA GIS, GRASS GIS nebo GDAL/OGR.

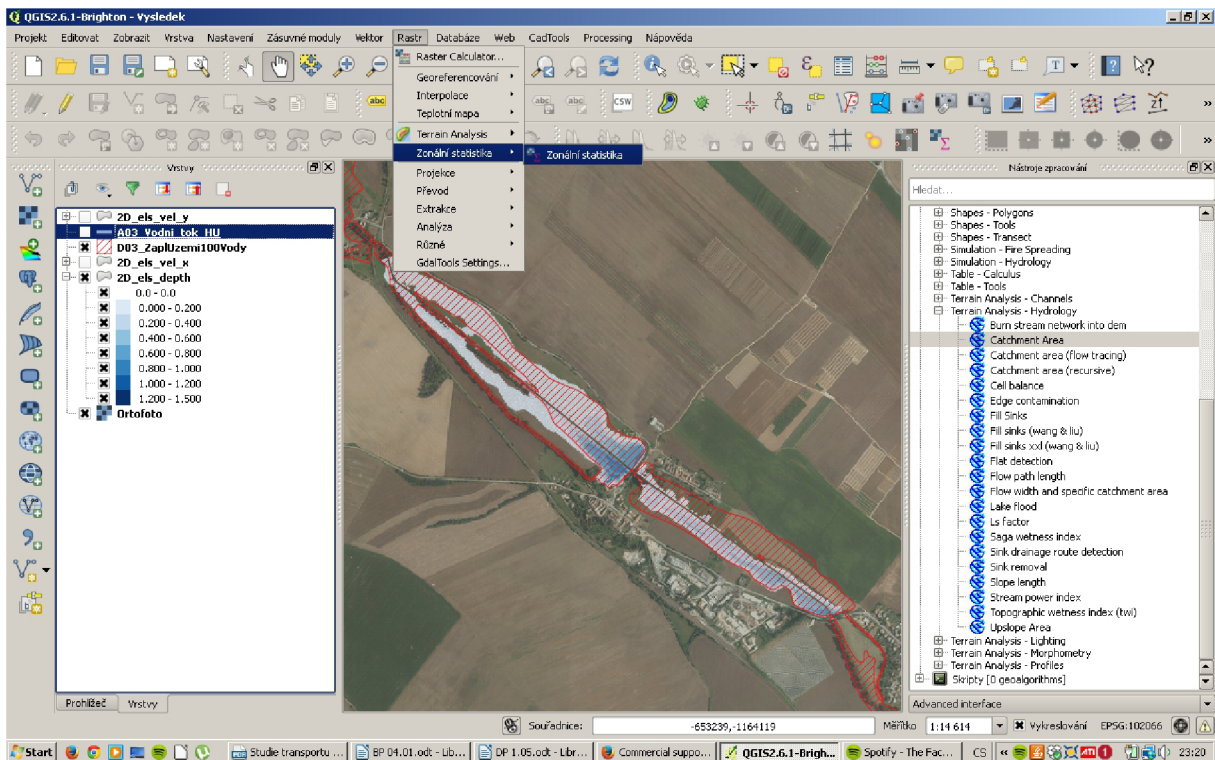
V základu je QGIS schopen zobrazovat a modifikovat vektorové vrstvy (celkem téměř 40 formátů, především pak \*.shp, \*.dxf a \*.csv), rastrové vrstvy (např. \*.tif, \*.asc nebo \*.xyz) a umožňuje také připojování a zobrazování stažitelných dat, tedy WMS, WFS nebo WCS. Mimo to je schopen analýzy terénu či odtokových poměrů, tedy všeho, co přináší u ArcGISu balík „Spatial Analyst“. QGIS celkem obsahuje přes 600 různých nástrojů a algoritmů a umožňuje instalaci dalších stovek nástrojů přes uživateli vytvářené pluginy nebo tvorbu kombinací algoritmů prostřednictvím vestavěného GUI.

Až na několik málo výjimek nabízí QGIS stejné funkce jako plná verze ArcGIS, a to v operačních systémech Windows, Linux, BSD, Mac OS X a Android. Ve světě je široce využíván především jednotlivci, neziskovými organizacemi a mnoha univerzitami, v poslední době se začíná uplatňovat také v soukromé a veřejné sféře (využívá ho například rakouská spolková republika Vorarlberg nebo švýcarský kanton Solothurn). Oficiální stránky QGIS nabízejí množství případových studií a činí z něj tak plnohodnotný a důvěryhodný systém pro zpracování geografických dat.<sup>15 16</sup> V této práci byla využita verze QGIS 2.6 Brighton.

---

15 *Discover QGIS*. [online]. [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://qgis.org/en/site/about/index.html>

16 *QGIS*. [online]. [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/QGIS>



Obr. 3.1: Ukázka práce v programovém prostředí QGIS.

### 3.1.2 HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) je program pro výpočet 1D, respektive 1,5D proudění. Je stejně jako další dvě desítky „HEC“ programů vyvíjen US Army Corps of Engineers, která spadá pod ministerstvo obrany Spojených států amerických. Je široce využívaným softwarem pro přípravu a výpočet ustáleného i neustáleného proudění, stejně tak jako pro výpočet transportu sedimentů. Jeho hlavní výhodou je stabilita, rychlost výpočtů a cena, neboť je volně šiřitelný. Program také nabízí velmi podrobné zadávání příčných objektů na tocích a dokáže pracovat s georeferencovanými daty.<sup>17</sup> V této práci byla využita verze HEC-RAS 4.1.0.

### 3.1.3 AUTOCAD CIVIL 3D

AutoCAD Civil 3D je program vyvíjený společností Autodesk jako nadstavba na velmi populární a široce rozšířený AutoCAD. Hlavní zaměření programu Civil 3D je na dopravní a liniové stavby, svou povahou ovšem umožňuje využití i ve vodním hospodářství. Obsahuje

<sup>17</sup> HEC-RAS. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

množství nástrojů na úpravu terénu a má vestavěný export příčných řezů a osy toku do programu HEC-RAS. V této práci byla využita verze programu AutoCAD Civil 3D 2012.

### 3.1.4 BASEMENT

BASEMENT je software vyvíjený Laboratoří hydrauliky, hydrologie a glaciologie na Švýcarském federálním technologickém institutu v Curychu, který slouží k výpočtům kombinovaného 2D/1D proudění a transportu sedimentů. Software je vyvíjen od roku 2006 a byl použit v množství vědeckých studií, disertačních prací a také např. v mezinárodním projektu Rhone - Thur.<sup>18 19</sup>

Program umožňuje vytvoření nekonečně mnoha sekcí (jak 1D, tak 2D), které mohou být pomocí okrajových podmínek spojeny do jednoho modelu. Každá ze sekcí může obsahovat vlastní okrajové podmínky, stejně tak jako vlastní propojení k ostatním sekcím. Model se řídí 1D a 2D Saint-Venantovými rovnicemi proudění. Hlavní výhodou programu BASEMENT je schopnost pracovat s více procesorovými jádry, tzv. multithreading, což na moderních procesorových architekturách znamená několikanásobné zvýšení rychlosti výpočtu a stejně tak umožňuje zapojení více počítačů do jednoho výpočtu.

Matematický model programu BASEMENT je založen na 2 typech rovnic. Pro výpočet 1D modelu byla použita plná (dynamická) verze Saint-Venantových rovnic, tedy (v pořadí rovnice kontinuity a pohybová rovnice) ve tvaru:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad , \quad (5.1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} = -S_e \quad , \quad (5.2)$$

kde  $Q$  je průtok,  $A$  je průtočná plocha,  $u$  je průměrná rychlost,  $g$  je gravitační zrychlení,  $t$  je čas,  $x$  je vzdálenost,  $h$  je výška hladiny nade dnem a  $S_e$  je sklon čáry energie.

Pro výpočet 2D modelu jsou použity tzv. „shallow water equations“, tedy „rovnice mělké vody“. Jejich zjednodušením na 1D verzi vzniknou výše zmíněné Saint-Venantovy rovnice. Znění

18 *Rhone - Thur*. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.rhone-thur.eawag.ch>

19 *ETH - D-BAUG - VAW - Basement - References*. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.basement.ethz.ch/ref/index>



rovnice mělké vody může vypadat např. následovně (v pořadí rovnice kontinuity a 2 pohybové rovnice):

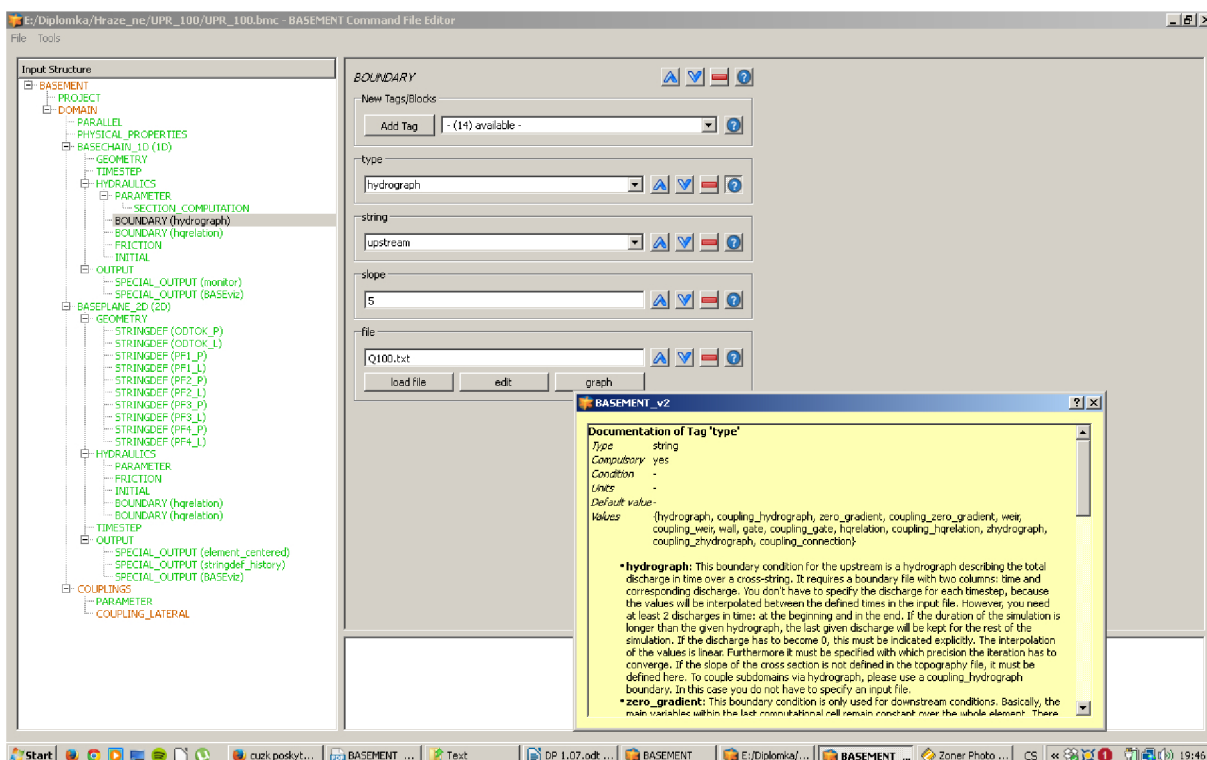
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_v = -g \frac{\partial h}{\partial x} - bu \quad , \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f_u = -g \frac{\partial h}{\partial y} - bv \quad , \quad (5.4)$$

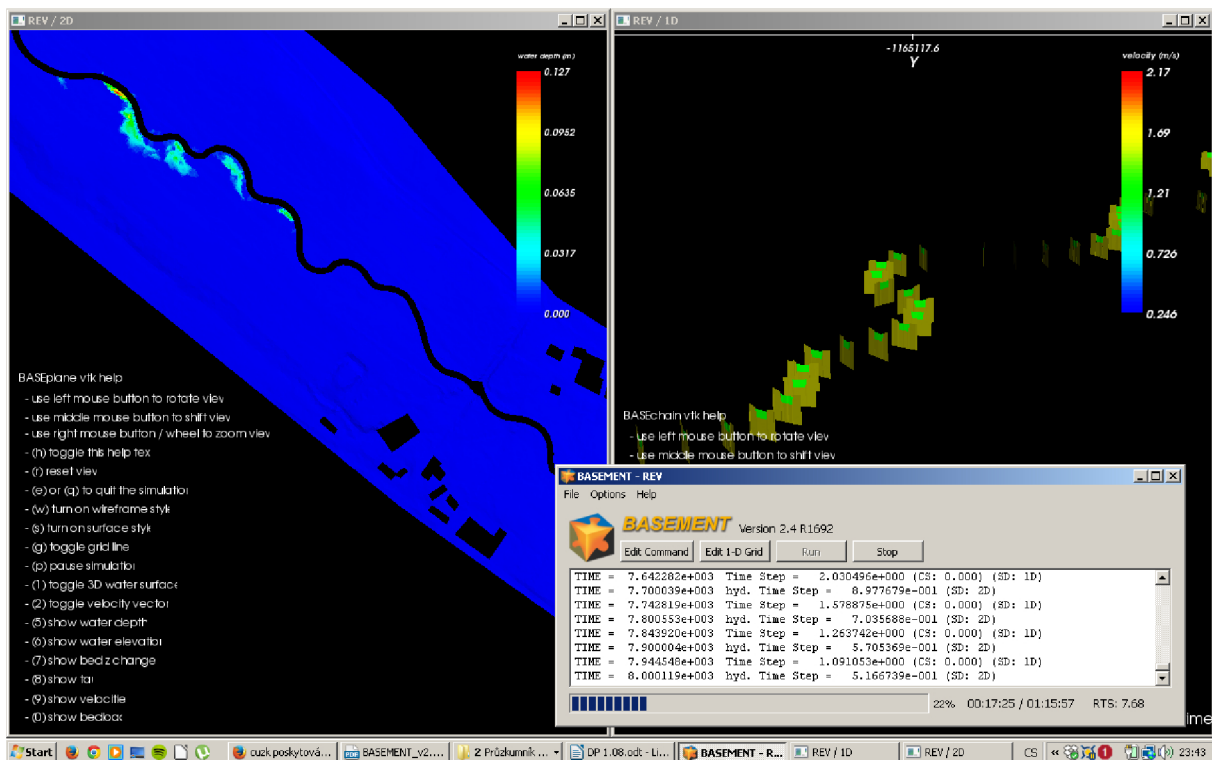
$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [u(H+h)] - \frac{\partial}{\partial y} [v(H+h)] \quad , \quad (5.5)$$

kde  $u$  a  $v$  jsou dvě složky horizontální rychlosti,  $t$  je čas,  $x$  a  $y$  jsou vzdálenosti,  $f_v$  a  $f_u$  jsou síly, působící na kapalinu (např. tření na dně),  $g$  je gravitační zrychlení,  $b$  je difúzní koeficient, který zahrnuje molekulární viskozitu a disperzi,  $h$  je hloubka vody a  $H$  je poloha hladiny.

V práci byla použita verze BASEMENT v2.4.



Obr. 3.2: Ukázka práce v programu BASEMENT.



Obr. 3.3: Ukázka vizualizace výpočtu v programu BASEMENT.

### 3.1.5 BASEMESH

BASEmesh umožňuje tvorbu výpočtové trojúhelníkové sítě a export dat ve formátech \*.bmg a \*.2dm, potřebné pro výpočet v programu BASEMENT. Je zdarma stažitelný jako rozšíření (plugin) pro QGIS. Na základě daných vytvořených podmínek (hranice, hrany, velikost trojúhelníků, maximální úhly trojúhelníků) je schopen vytvořit meshovací síť, skládající se ze samotných trojúhelníků (elements) a styčných bodů (nodes).

Elementy obsahují informace o vlastnostech terénu (drsnost, respektive typ materiálu) a o vzájemných vztazích mezi ostatními elementy a body, zatímco body obsahují informace o poloze a o nadmořských výškách. BASEmesh umožňuje import georeferencovaných dat z programu HEC-RAS a jejich úpravu. V práci byla použita verze BASEmesh v1.2.

## 3.2 POUŽITÝ HARDWARE

Veškeré výpočty byly prováděny na stejném stroji s parametry, uvedenými v následující tabulce:

**Tab. 3.1: Tabulka parametrů PC, použitého k výpočtům**

Část	Název	Poznámky
Procesor (CPU):	Intel Core-i7 4790K, 4,4 GHz	4 fyzická jádra, 8 vláken se zapnutou funkcí Hyperthreading
Operační paměť (RAM):	8GB Crucial Ballistix Tactical LP, 1600 MHz	Celkem 4 kusy, tedy 32 GB CL 8-8-8-24 (standardní)
Pevný disk (HD):	SSD Samsung 840 EVO Series Basic 250 GB	Sekvenční čtení/zápis 540/520 MB/s Náhodné čtení/zápis 97k/66k IOPS
Operační systém (OS):	Windows 7 Ultimate	64 bitová verze

Výpočty byly velmi náročné na procesorový výkon, znatelné bylo také zdržení způsobené zápisem na disk při pokusném záznamu dat na magnetický pevný disk (HDD). Data se zaznamenávala každých 100 a 500 s, pokud byla spuštěna celá dávka výpočtů (tedy upraveného i revitalizovaného koryta od  $Q_1$  do  $Q_{100}$ ), přístup na disk a zápis na něj byl velmi častý a v některých fázích byl disk zahlcen a tím byl výpočet pozastaven.

Náročnost na operační paměť byla překvapivě malá, upravená varianta zabírala ve špičce cca 750 MB, revitalizovaná varianta cca 830 MB. V případě spuštění celé dávky se celkem jednalo o téměř 12 GB, což umožnilo případné spuštění dvou variant výpočtů současně. Délka výpočtů se pohybovala u revitalizovaného koryta od 2 h 5 minut u  $Q_1$  až po 2 h 40 minut u  $Q_{100}$ , u upraveného koryta od 30 minut u  $Q_1$  (pouze 1D výpočet) až po 1 h 40 minut u  $Q_{100}$ . V obou případech šlo o výpočet neustáleného proudění s časovým krokem cca 0,1 s, dobou trvání 35 000 s a v upraveném případě o 120 tisíc elementů, v revitalizovaném případě o 130 tisíc elementů.

### 3.3 HYDROGRAMY POVODNĚ

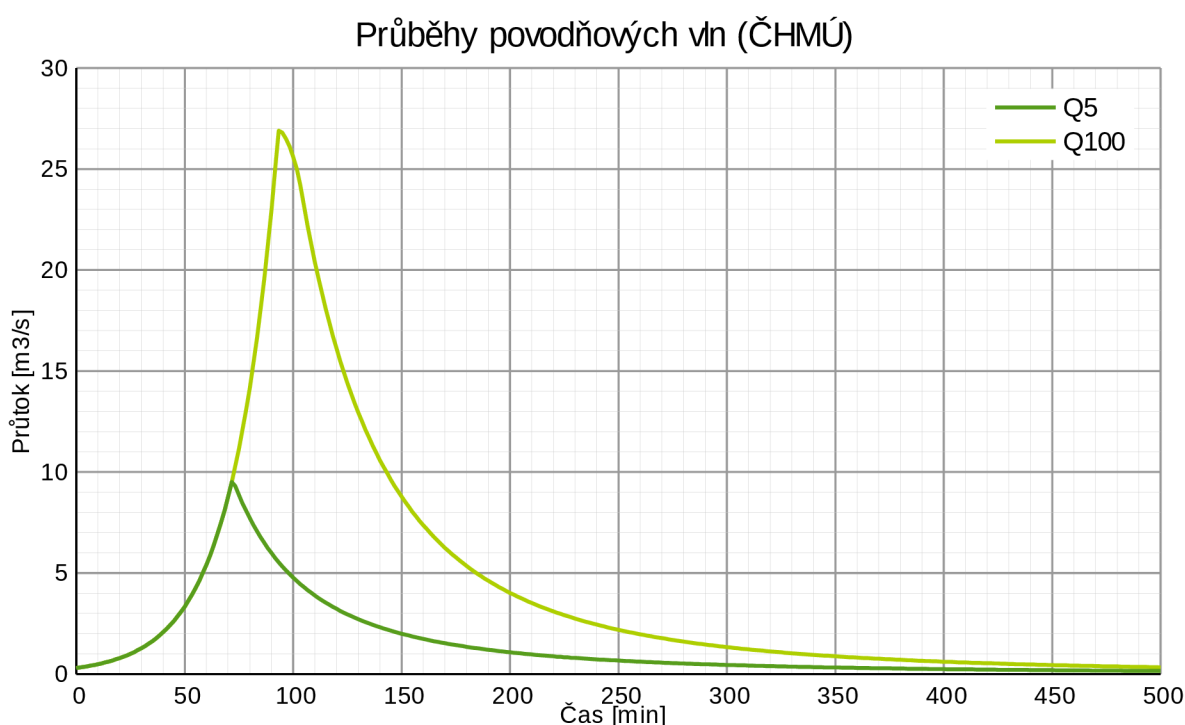
#### 3.3.1 HYDROGRAMY POSKYTNUTÉ ČHMÚ ( $Q_5$ A $Q_{100}$ )

U Českého hydrometeorologického ústavu byly v rámci slevy pro vysoké školy objednány hodnoty N-letých průtoků a hydrogramy povodní  $Q_5$  a  $Q_{100}$  pro profil mostu Jaroměřice nad Rokytnou - Popovice.<sup>13</sup> Třída přesnosti údajů je II, tedy „Hydrologické údaje zpracované na základě dlouhodobých pozorování, která svojí délkou nevyhovují třídě I. Hydrologické údaje odvozené pro jiný profil na témže toku, pokud to připouští charakter odvozované veličiny,

13 ČHMÚ. *Hydrologické údaje povrchových vod, značka P14007199/561*. 2014-12-01.

charakter vodního toku, délka a kvalita pozorování aj.<sup>20</sup> Oba hydrogramy začínají a končí při průtoku  $Q_a = 0,305 \text{ m}^3/\text{s}$ .

„Objemy teoretických PV100 a PV5 byly odvozeny podle objemů povodní z tání sněhu, neboť jarní povodně z tání mají při stejných kulminacích zpravidla větší objemy než povodně dešťové. Je to důsledek menšího výparu.“<sup>13</sup> Objem povodňových vln je  $2,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  u  $Q_5$  a  $7,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  u  $Q_{100}$ , což odpovídá průměrnému výškovému odtoku z povodí cca 27 mm v případě  $Q_5$  a cca 80 mm v případě  $Q_{100}$ . Níže jsou zobrazeny oba hydrogramy.



**Obr. 3.4: Graf průběhu teoretických povodňových vln  $Q_5$  a  $Q_{100}$ .<sup>13</sup>**

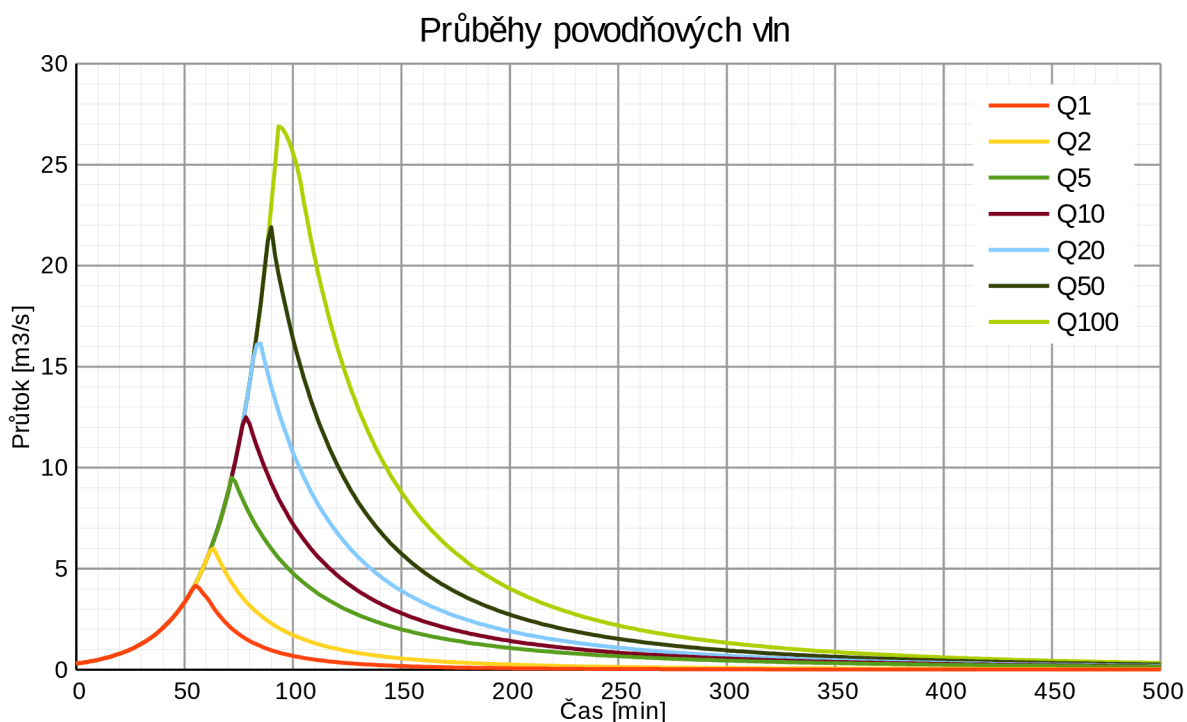
### 3.3.2 ODVOZENÉ HYDROGRAMY ( $Q_1$ , $Q_2$ , $Q_{10}$ , $Q_{20}$ A $Q_{50}$ )

Vzhledem k velké cenové náročnosti objednávaných dat bylo rozhodnuto, že budou objednána pouze data o průběhu teoretických povodňových vln u  $Q_5$  a  $Q_{100}$  a zbytek odvodit. Obě křivky jsou naprosto shodné ve své vzestupné části a velmi podobné ve své části sestupné. Proto byly obě křivky rozděleny na dvě části a to na vzestupnou a sestupnou. Bylo zjištěno, že křivky nástupu povodně jsou totožné, takže pro ně bude využita pouze jedna rovnice. Všemi třemi vzniklými křivkami (1 vzestupná, 2 sestupné) byly proloženy křivky tak, aby byl rozptyl

<sup>20</sup> *Zatřídění hydrologických údajů*. [online]. [cit 2015-01-03]. Dostupné z: [http://voda.chmi.cz/hr04/images/o\\_4\\_1.jpg](http://voda.chmi.cz/hr04/images/o_4_1.jpg)  
<sup>13</sup> ČHMÚ. *Hydrologické údaje povrchových vod, značka P14007199/561*. 2014-12-01.

co nejmenší. V případě vzestupné části šlo o křivku exponenciální s rovnicí  $Q_t = 0,3 \cdot e^{8,035E-04 \cdot t}$ , kde  $t$  je čas od začátku povodně v sekundách, a v případě sestupné části šlo o rovnici mocninné.

Odvozené hydrogramy byly vytvářeny tak, že podle výše uvedené exponenciální rovnice průtok stoupal až po kulminaci a poté následovala sestupná část. Oblast kolem kulminace byla dotvořena ručně, jelikož zde tato přechodová oblast neodpovídala ani jedné z rovnic. Sestupná část byla tvořena změnou koeficientů rovnice tak, aby její tvar subjektivně „navazoval“ a aby se „plynule“ měnil z  $Q_{100}$  na  $Q_5$  a z  $Q_5$  na  $Q_1$ . Níže, na *Obr.3.5: Graf průběhu teoretických povodňových vln  $Q_1$  až  $Q_{100}$* , uvádím graf výsledných tvarů hydrogramů a použité koeficienty mocninné rovnice ve tvaru  $Q_t = a \cdot t^b$ .



**Obr. 3.5: Graf průběhu teoretických povodňových vln  $Q_1$  až  $Q_{100}$ .**

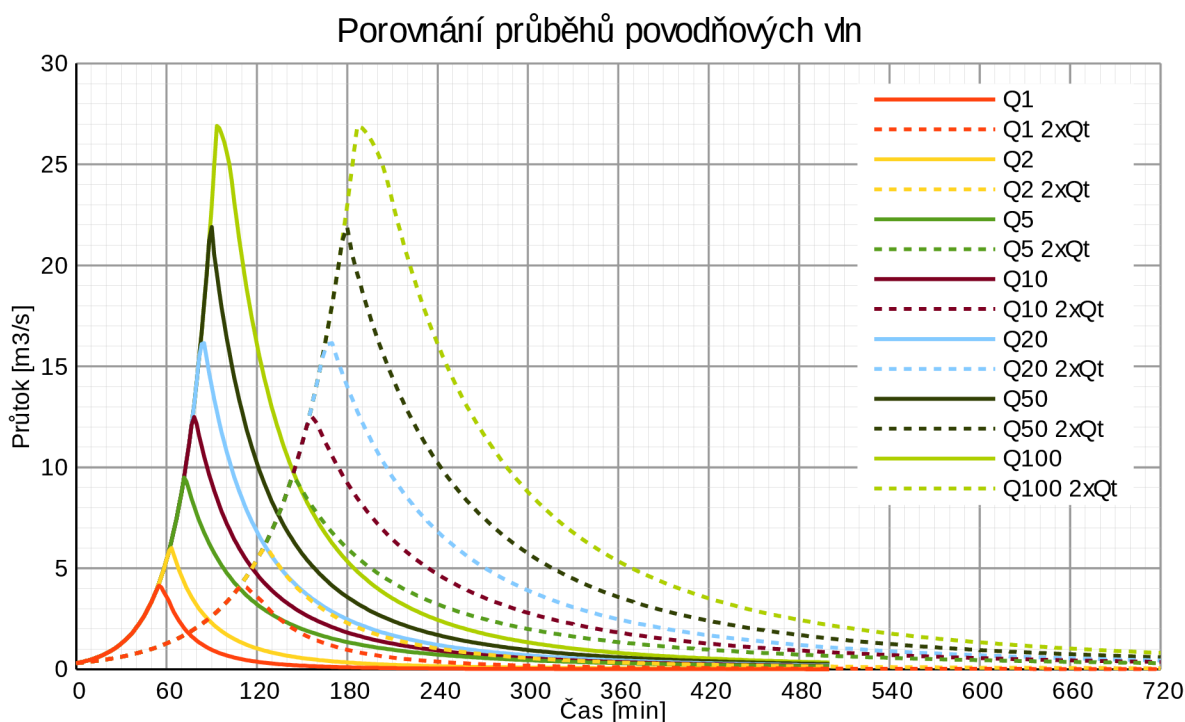
**Tab. 3.2: Koeficienty mocninných rovnic sestupné části hydrogramů.**

$Q_N$	<b>a</b>	<b>b</b>
$Q_1$	2,0E+12	-3,30
$Q_2$	5,0E+10	-2,77
$Q_5$	6,4E+08	-2,15
$Q_{10}$	5,0E+09	-2,34
$Q_{20}$	3,0E+10	-2,50
$Q_{50}$	1,0E+11	-2,59
$Q_{100}$	5,0E+11	-2,72

### 3.3.3 DALŠÍ ÚPRAVA HYDROGRAMŮ

V našich podmínkách dochází k příchodu povodně do suchého koryta velmi zřídka. Z toho důvodu bylo uvažováno se stavem, kdy v korytě protéká  $Q_a$  a až poté dojde ke zvýšení průtoků. Proto byly hydrogramy upraveny tak, že prvních 100 minut je průtok roven  $Q_a$  a následně dojde k nástupu hydrogramu povodně. Za tuto dobu nejen dojde k zavodnění celé délky koryta, ale také dojde k ustálení vypočtené hladiny. Toto prodloužení má malý vliv na prodloužení doby výpočtu, protože průtok je pouze v rámci 1D modelu koryta.

Pro potřeby zkoumání hypotézy „H8: Větší objem a pomalejší nástup povodně způsobí menší transformaci povodně“ bylo potřeba vytvořit hydrogram povodně o větším objemu. Byly zvažovány dvě varianty: prodloužení doby kulminace a při zachování hodnoty průtoků násobení času určitým koeficientem. Vzhledem ke snaze vytvořit podmínky pomalého nástupu povodně a menšího vlivu dynamických vlastností povodňové vlny bylo přistoupeno k druhé možnosti, kdy byl zvolen koeficient 2. Grafické porovnání průtoků  $Q_{100}$  je zobrazeno na obrázku níže. (pozn.: pro potřeby této práce bude tento upravený hydrogram označován jako „2x  $Q_t$ “)



Obr. 3.6: Graf porovnání průběhů povodňových vln  $Q_t$  a  $2x Q_t$

### 3.4 DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU

#### 3.4.1 TERÉN

Digitální model terénu (dále jen DMT) byl poskytnut ČÚZK v rámci poskytování dat studentům zdarma ve formě nepravidelné sítě bodů s nadmořskými výškami. Konkrétně se jedná o Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). Model vznikl leteckým snímkováním a úplná střední chyba výšky v odkrytém terénu je 0,18 m a v zakrytém terénu 0,30 m.<sup>21</sup>

Pro vizualizaci terénu byla data zpracována pomocí programu QGIS, respektive s pomocí nástroje „Interpolace“. Ten vytvoří z množiny bodů trojúhelníkovou síť a následně do rastru o dané velikosti (v tomto 1 m a 5 m) interpoluje dle zvoleného algoritmu hodnoty výšky. Jelikož data poskytnutá ČÚZK nepokrývala celé zájmové území, v okrajových částech byla použita jako podkladová data Základní mapa ČR 1:10 000, kdy byla dotvořena síť vrstevnic a bodů, které nástroj „Interpolace“ zahrnul do výpočtové trojúhelníkové sítě a vytvořil rastrovou mapu výšek.

21 ČÚZK: Geoportál. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/%28S%281arwmntb3d2nszejpqnrdw%29%29/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302>

Následně byl rastr ořezán dle hranic povodí. Pro výpočet byla data zpracována v programu Civil 3D. Pomocí trojúhelníkové sítě byl vytvořen model terénu, který byl posléze upraven (viz následující odstavce).

### 3.4.2 HRÁZE

Uprostřed a na konci úseku se nachází pravděpodobně hráze bývalých rybníků, které jsou v současnosti využity jako zemní tělesa pro vozovku. Protože by při výpočtech způsobovaly nežádoucí ovlivnění výsledků a mohly by potlačit vlivy způsobené změnou hydrauliky koryt, byly z DMT odstraněny. Hráze byly zarovnaný s terénem takovým způsobem, že se vytvořený terén mírně (ve sklonu 1:100) svažuje stejným směrem jako údolnice. Hranice této úpravy sahají od jedné říční terasy ke druhé.

### 3.4.3 UPRAVENÝ VODNÍ TOK

DMT nezachycuje tvar koryt drobných a menších vodních toků. Trasa koryta je (alespoň v datech poskytnutých pro povodí Rokytne) zarovnaná s terénem, pouze místy se vyskytne sníženina zhruba odpovídající šířce a hloubce koryta. Metoda zachycení podoby DMT spočívá v leteckém laserovém skenování, tedy v odrazu světelného paprsku. Z principu tedy není možné zachytit tvar koryta a proto jsou pro zpracování dat použity další metody, které upravují nasbíraná data dle výšky porostu. V případě malých vodních toků se jedná o velké výškové změny a DMT se nedá použít v „surové“ podobě.

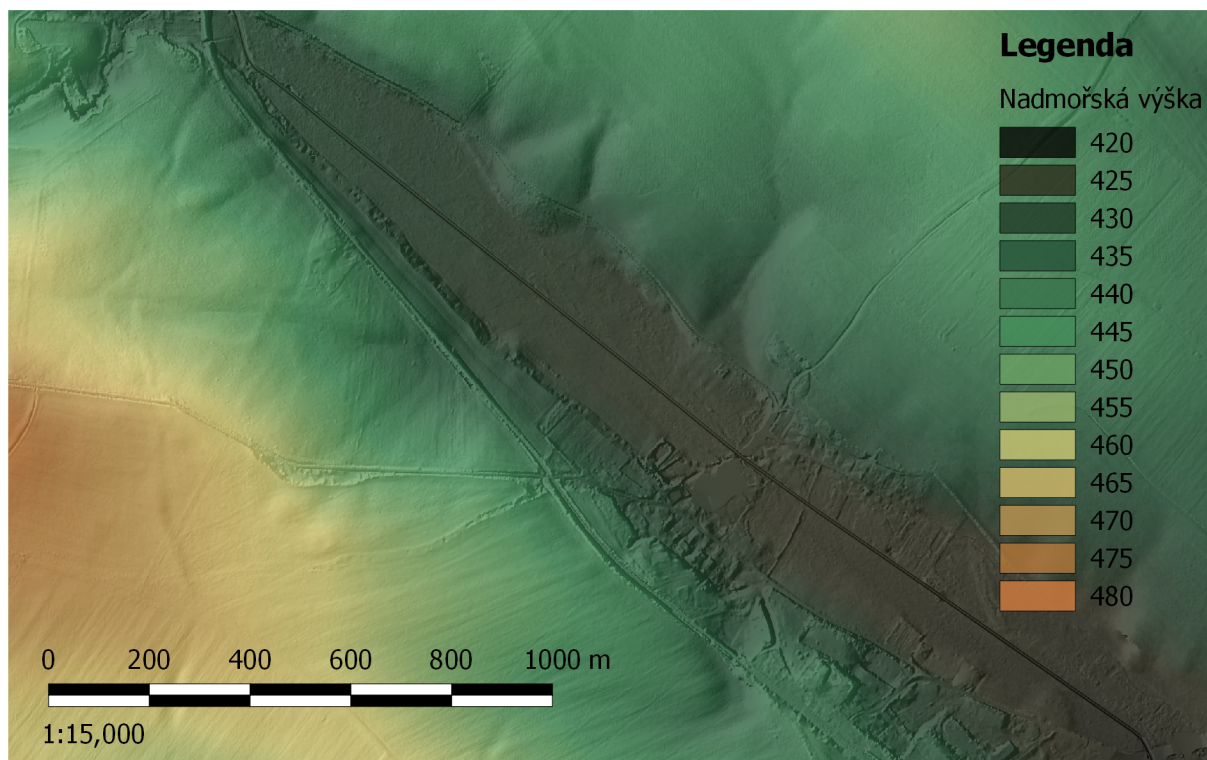
Proto bylo nutné upravit stávající podobu terénu. V programu Civil 3D byla z databáze DIBAVOD<sup>6</sup> převzata osa koryta a byla vložena jako „trasa“. Z této trasy byl vytvořen podélný profil povrchu, který posloužil pro tvorbu nivelety dna koryta. Poté byl vytvořen „koridor“ o požadovaném tvaru „sestavy“ (rozuměj příčnému profilu koryta včetně navázání na terén). Z koridoru byl vytvořen „povrch“ koridoru, tedy styčná plocha povrchu výkopu a následně byl vytvořen samostatný „povrch“, který má tvar původního DMT s nově vytvořeným výkopem ve tvaru koryta.

Na trase byly vytvořeny řezy příčných profilů ve vzdálenostech po 10 metrech a o šířce 10 m. Na začátku úseku se nachází u koryta terénní deprese, která ve 2D modelu způsobovala nestabilitu, a tak zde byl 1D model rozšířen na 16 m. V hranách styku výkopu a původního

6 *Objekty DIBAVOD*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>



terénu byly pomocí polygonového obvodu povrchu vytvořeny dvě linie, které reprezentují levou a pravou břehovou hranu. Posledním krokem byl export dat příčných profilů nově vytvořeného terénu do programu HEC-RAS a to včetně pozice břehových hran.



Obr. 3.7: DMT ve variantě s upraveným korytem.

#### 3.4.4 VODNÍ TOKY REVITALIZOVANÉ

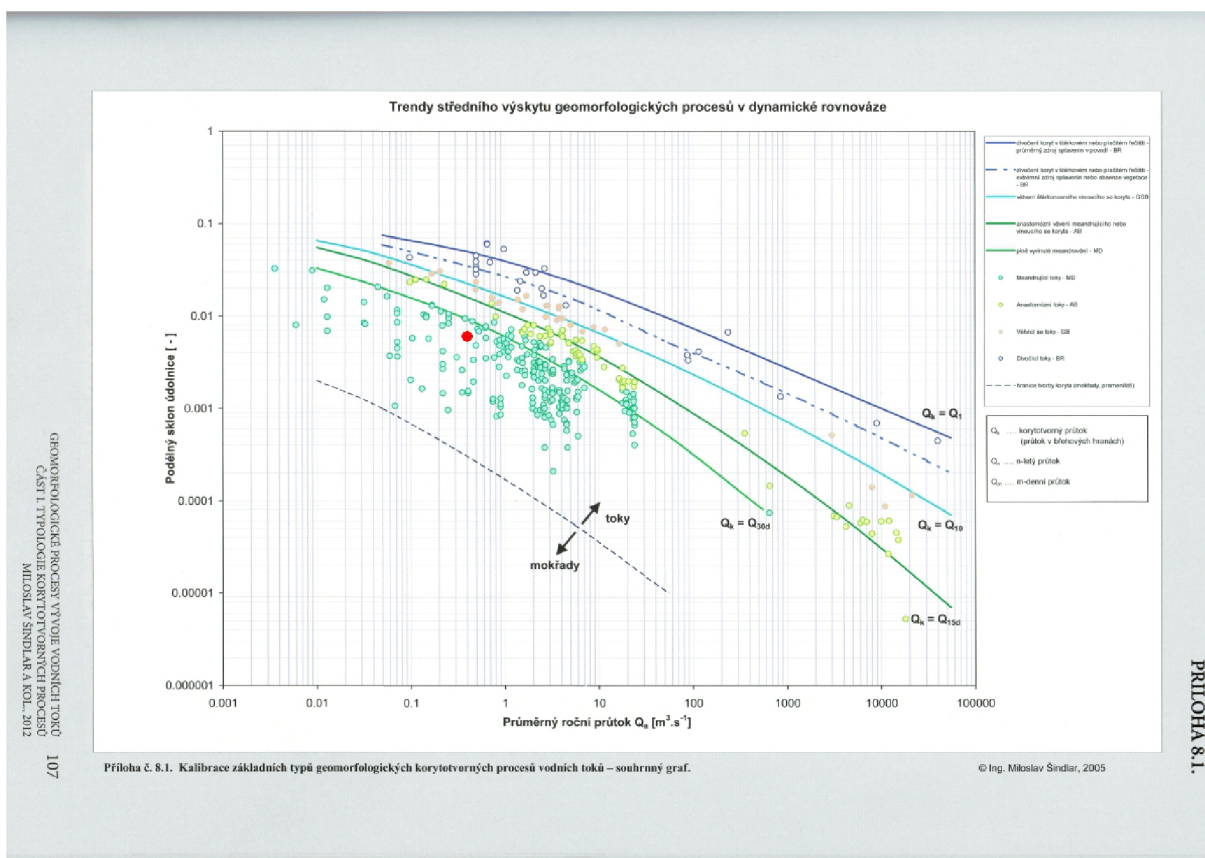
V rámci návrhu revitalizovaného koryta byl upraven původní DMT. Pomocí nově vytvořených koridorů byly zahlazeny deprese, které v DMT reprezentovaly současné reálně existující koryto. Nově vytvořený terén se svažuje v minimálním sklonu (1:100) směrem ke „starému“ korytu. Trasa nového, revitalizovaného koryta byla vytvořena na základě dvou zdrojů, a to dle Typologie korytotvorných procesů<sup>22</sup> a dle analýzy historických dat z II. vojenského mapování.<sup>23</sup>

Průměrný podélný sklon údolnice je 0,5 % a průměrný roční průtok je 0,3 m<sup>3</sup>/s. Zařazení dle trendu středního výskytu geomorfologických procesů v dynamické rovnováze je znázorněno

22 ŠINDLAR, Miloslav. *Geomorfologické procesy vývoje vodních toků*. Vyd. 2. Hradec Králové: Sindlar Group, 2012, 148 s. ISBN 978-80-254-2445-2.

23 Prohlížečské služby: II. vojenské mapování. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/>

na následujícím obrázku (Obr. 3.8: Zařazení toku dle trendu středního výskytu geomorfologických procesů v dynamické rovnováze) červenou tečkou:



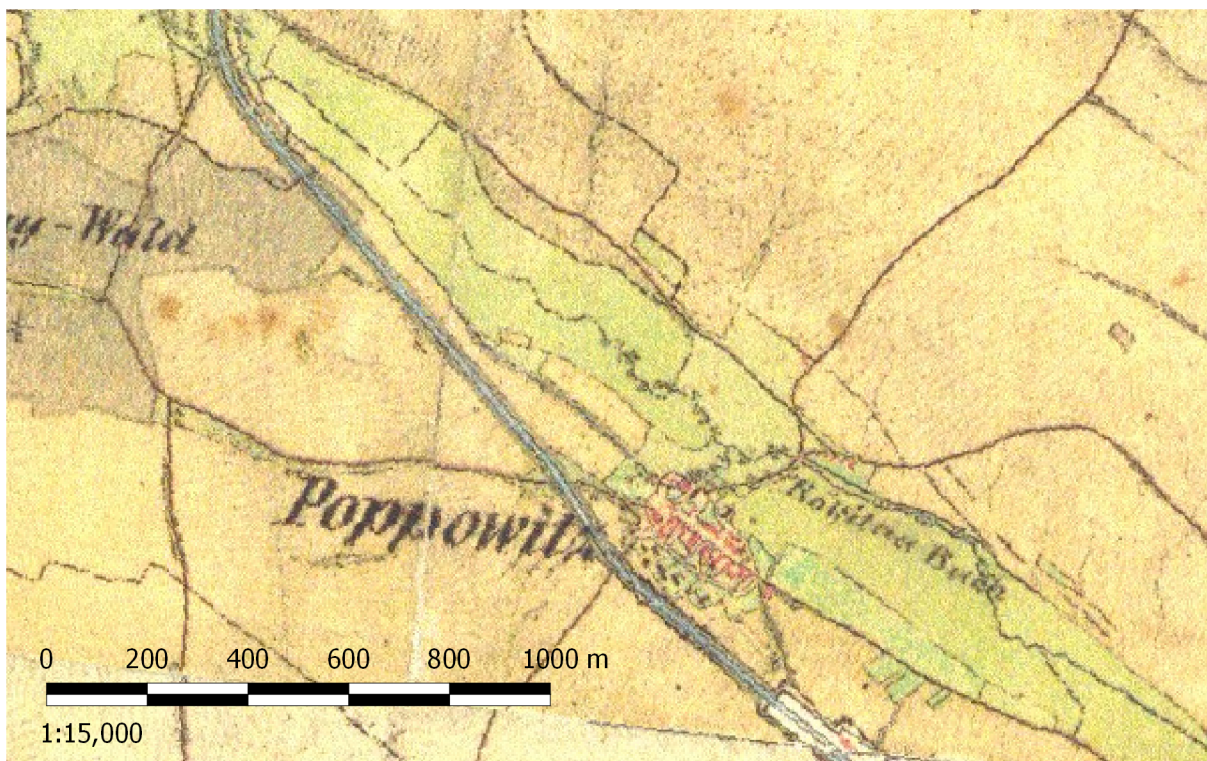
**Obr. 3.8: Zařazení toku dle trendu středního výskytu geomorfologických procesů v dynamické rovnováze<sup>22</sup>**

Rokytná v úseku nad Jaroměřicemi nad Rokytnou tedy patří mezi meandrující toky. Dle Orientačních základních charakteristik výsledných geomorfologických typů vodních toků je výsledný indikační znak „jedno meandrující koryto v meandrovém pásu vinoucí se kolem údolnice“. Korytotvorný průtok je cca  $Q_{30d}$ , poměr průměrné šířky a hloubky toku je 5 - 20, vinutí meandrového pásu má hodnotu 1,3 - 2 a vinutí hlavní trasy koryta má hodnotu 1,5 - 3.<sup>22</sup>

Dle mapy zájmového území z II. vojenského mapování (Obr. 3.9: Mapa zájmového území, II. vojenské mapování) odpovídá typu meandrujícího toku, i když se parametry meandrování pohybují na dolní hranici výše uvedených hodnot. Je pravděpodobné, že tento historický stav není úplně přirozený, neboť vzhledem k pastvě v celé nivě údolí a žádným stromům, které by zpevňovaly

<sup>22</sup> ŠINDLAR, Miloslav. *Geomorfologické procesy vývoje vodních toků*. Vyd. 2. Hradec Králové: Sindlar Group, 2012, 148 s. ISBN 978-80-254-2445-2.

břehy, měl tok tendenci více meandrovat.<sup>3</sup> I tak se dá ale tento tvar považovat za přírodě velmi blízký.

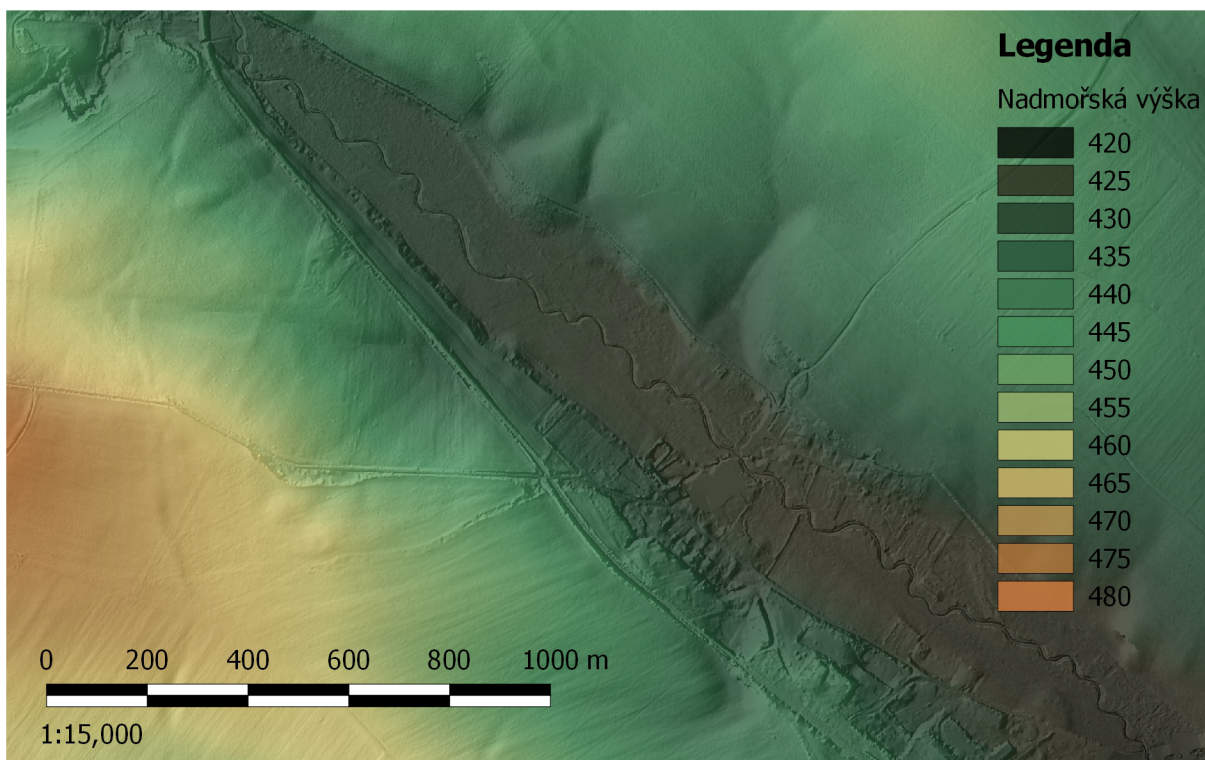


**Obr. 3.9: Mapa zájmového území, II. vojenské mapování.<sup>23</sup>**

Výsledný tvar osy koryta revitalizovaného koryta se držel pokud možno co nejvíce trasy koryta dle II. vojenského mapování. V horním úseku, kde je koryto narovnáno, se tvar osy koryta držel vzoru ve střední části. V úseku u Popovic níže po toku od nich muselo být koryto „přeloženo“, neboť v současné době stojí v místě bývalého koryta, pravděpodobně na navážce, rodinné domy.

3 JUST, Tomáš. *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Praha: Český svaz ochránců přírody, 2005, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.

23 Prohlížečské služby: II. vojenské mapování. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/>



Obr. 3.10: DMT ve variantě s revitalizovaným korytem.

### 3.5 MODEL KORYTA (1D)

#### 3.5.1 DRSNOST

Při určování drsností koryta byl využit katalog drsností<sup>24</sup>, vypracovaný na Ústavu vodních staveb Fakulty stavební VUT v Brně, a také tabulky doporučených drsností, uvedené v dokumentaci programu HEC-RAS<sup>25</sup>. Na základě terénního průzkumu a s pomocí výše zmíněných zdrojů byla drsnost dna koryta určena na 0,030 a drsnost břehů a příbřežní oblasti na 0,040 (respektive na 33,3 a 25,0 v případě užití Stricklerova drsnostního součinitele). Dno se skládalo z ohlazeného říčního štěrku a písku. Břehy a příbřežní oblasti byly porostlé stromy a hustým bylinným porostem.

24 SMELÍK, Lukáš. *Katalog drsností*. [online]. [cit. 2014-11-20]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/>

25 US Army Corps of Engineers. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual*. Verze 4.1. Leden 2010.



Obr. 3.11: Fotografie koryta, střední část úseku<sup>26</sup>

### 3.5.2 TVORBA 1D MODELU V PROGRAMECH HEC-RAS A BASEMESH

Po exportu dat o tvaru příčných profilů a umístění břehových čar z programu Civil 3D bylo nutné vytvořit geometrii v programu HEC-RAS. Pomocí nástroje importu GIS dat byla vložena geometrie, která musela být následně upravena, protože v Civil 3D se trasa koryta kvůli staničení zadávala proti směru toku. Byla upravena chybná identifikace některých břehových čar a byly vloženy informace o drsnostech v korytu (0.030 pro koryto a 0.040 pro oblast mimo koryto). Dále byly upraveny některé chybně uvedené vzdálenosti mezi profily.

Protože 1D model v programu BASEMENT v současné verzi podporuje pouze Stricklerovy součinitele drsnosti, byly ve verzi pro další export nahrazeny hodnoty Manningovy převrácenými hodnotami Stricklerova drsnostního součinitele, tj. 33,3 pro koryto a 25,0 pro oblast mimo koryto. Dále bylo nutno upravit vzdálenosti příčných profilů, které jsou v programu

<sup>26</sup> Archiv autora. Vyfoceno: 2014-11-01. Poloha: 49° 05' 55.71" N 15° 51' 44.17" E

BASEMENT uvedeny v kilometrech, takže veškeré vzdálenosti byly vynásobeny 0,001. Poté byla geometrie pomocí BASEmesh exportována do formátu \*.bmg.

Pro kontrolu byla také provedena simulace průtoků v programu HEC-RAS. Horní okrajové podmínky byly sklon 0,5 % a průtok s krokem 0,1 m<sup>3</sup>/s, na odtoku sklon 0,5 %. (pozn.: tyto sklony byly zjištěny z DMT). Poté byla provedena kontrola kapacity koryta, tedy nejmenší průtok, při kterém dojde k rozlivu vody mimo koryto. Kapacita upraveného koryta je cca 8,5 m<sup>3</sup>/s, což přibližně odpovídá Q<sub>5</sub> = 9,6 m<sup>3</sup>/s, kapacita revitalizovaného koryta je 1,3 m<sup>3</sup>/s, což odpovídá přibližně Q<sub>30d</sub>, a je výrazně menší než Q<sub>1</sub> = 4,15 m<sup>3</sup>/s.

## 3.6 MODEL NIVY (2D)

### 3.6.1 DRSNOST

Při určování drsností byly volně využity tabulky doporučených drsností uvedené v dokumentaci programu HEC-RAS.<sup>25</sup> Bylo vytvořeno celkem 10 typů terénu (materiálů), kterým byla přiřazena hodnota Manningova součinitele drsnosti, viz následující tabulka.

**Tab. 3.3: Součinitele drsnosti užití ve 2D modelu**

ID	Materiál	Drsnost	Popis
1	Komunikace	0,010	Silnice, betonové skladovací plochy apod.
2	Vodní plocha	0,005	Rybníky, požární nádrže apod.
3	Pole	0,025	Pole po orbě, strniště, polehlé plodiny
4	Louka	0,035	Polehlé traviny bez keřů a stromů
5	Les - řídký	0,040	Aleje, osamělé stromy
6	Les - normální	0,060	Jehličnatý les, keře
7	Les - hustý	0,080	Listnatý les s vyvinutým keřovým a bylinným patrem
8	Intravilán - zahrady	0,040	Roztroušená zástavba, zahradní kolonie apod.
9	Intravilán - jednotlivé domy	0,100	Městská zástavba s mezerami mezi domy
10	Intravilán - řadová zástavba	0,500	Řadová zástavba, považováno z téměř neprůchozí pro proudící vodu

<sup>25</sup> US Army Corps of Engineers. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual*. Verze 4.1. Leden 2010.

### 3.6.2 TVORBA 2D MODELU V PROGRAMECH QGIS A BASEMESH

V programovém prostředí QGISu byla shromážděna potřebná podkladová data, a to polygonová mapa rozložení drsností a DMT příslušného upraveného nebo revitalizovaného úseku ve formě rastru o velikosti pixelu 0,5 m. Pro tvorbu výpočtové sítě v BASEmesh je nutné určit polygonem hranici sítě a určit její parametry, nepovinně je možno určit hrany a body, podle nichž je síť utvářena, prázdná místa v síti a maximální velikost vytvářených trojúhelníků.

Hranice byly určeny tak, aby výpočtová síť přesahovala říční terasy na obou stranách a výpočet tak probíhal bez vlivu nedostatečné plochy rozlivu. Na počátku a na konci úseku byly hranice vytvořeny přibližně kolmo na údolnici. Na styku 1D a 2D modelu hranice kopírovala okrajové body 1D modelu. Maximální úhel vytvářených trojúhelníků byl nastaven na 28°.

Dále byla vytvořena síť hran, reprezentujících změny v terénu (hrany násypů nebo hrází) a změny v drsnostech na terénu (domy, komunikace, apod.), kolmo na údolnici příčné profily sledování průtoků (pouze ve variantách 2, 3 a 4) a také hranice rozdílné velikosti výpočtové sítě. Hrany musely být dodatečně zkráceny nebo prodlouženy tím způsobem, aby se neprotínaly v úhlu menším jak 28° a aby konce hran ostatní hrany spíše protínaly, než se jich dotýkaly. Obě možnosti mohou způsobit vznik velmi malých trojúhelníků, které se často stávají zdrojem nestability výpočtu.

Dalším krokem bylo vytvoření bodů určujících velikost prvků sítě, případně místa, kde síť nebude vytvářena. Ve variantě 1 bylo uvažováno pouze s hranami kolem budov, v ostatních variantách byly vyloučeny z výpočtové sítě. Velikost sítě byla rozdílná v blízkosti koryta, kde byl předpokládán rozliv, a ve zbytku sítě, kde se předpokládal menší vliv velikosti sítě na přesnost výpočtu. Konkrétně šlo v prvním případě o velikost do 5 m<sup>2</sup> a ve druhém případě o velikost do 10 m<sup>2</sup>. Tyto hodnoty jsou maximální velikostí sítě, takže velikost trojúhelníků se pohybuje v průměru okolo 3,8 a 9,1 m<sup>2</sup>.

Závěrečnými kroky bylo přiřazení materiálových charakteristik jednotlivým elementům a nadmořských výšek jednotlivým bodům. Přiřazení materiálových vlastností probíhalo následujícím algoritmem, vytvořeným v programu QGIS:

1. vytvoření centroidů, tedy bodů v geometrickém středu elementů,
2. přenesení dat z polygonu materiálů do, v předchozím kroku vytvořených, centroidů,
3. přenos dat o charakteristice materiálů z centroidů do elementů.

Tímto procesem mírně utrpěla podrobnost modelu, ale vzhledem k malé velikosti elementů se nejedná o zásadní změnu a výrazně se tím snížila pracnost přípravy.

Vestavěnou funkcí programu BASEmesh byly přeneseny informace o nadmořských výškách do sítě vytvořených bodů. Poté byla vyexportována celá 2D síť do formátu \*.2dm. Posledním krokem bylo nalezení hran, respektive bodů, mezi kterými se nachází okrajová podmínka. Toho je dosaženo pomocí funkce „stringdef“, která z shapefile, vytvořeného podél místa okrajové podmínky, vypíše seznam bodů v pořadí tak, že směr proudu je vpravo v pohledu od začátku číslování k jeho konci.

## **3.7 NASTAVENÍ VÝPOČTOVÉHO MODELU**

### **3.7.1 NASTAVENÍ PROJEKTU**

Grafické uživatelské prostředí programu BASEMENT slouží k vytvoření programového kódu v jazyce C++, podle nějž bude probíhat výpočet. BASEMENT také obsahuje automatický debugger, který také slouží jako průvodce nastavením projektu. Uživatel tak není nucen znát programovací jazyk, pouze přidává jednotky „block“ a „tag“, čímž strukturuje programovací kód. Výpočet byl vzhledem k charakteru procesoru nastaven na 8 výpočtových vláken. Gravitační zrychlení bylo nastaveno na  $9,81 \text{ m/s}^2$ , kinematická viskozita vody na  $1.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a hustota vody na  $1\,000 \text{ kg/m}^3$ .

### **3.7.2 NASTAVENÍ 1D MODELU**

Horní okrajová podmínka byla nastavena na sklon 0,5 % a na průtok dle hydrogramu. Dolní okrajová podmínka byla nastavena na sklon 0,5 %. Pro případ neexistující drsnosti v části modelu je nutné nastavit standardní drsnost, v mém případě šlo o hodnotu 33,3, odpovídající drsnosti dna koryta (využita by ale vzhledem ke korektnosti a manuální kontrole příčných řezů



být neměla). Počáteční stav koryta je bez vody, minimální hloubka vody je 0,1 cm, počáteční čas výpočtu je dán automaticky dle hydrogramu přítoku., tedy  $t_0 = 0$  s.

Maximální délka jednoho kroku je nastavena na 0,1 s a celková doba výpočtu na 10 h, respektive 18 h 30 min u hydrogramů  $2x Q_t$ . Interní výpočet průtočných charakteristik příčného profilu je maximálně po 1 cm. Výstup tvoří hodnoty průtoku a rychlosti vybraných profilů v čase, a to po 100 s, respektive 200 s u hydrogramů  $2x Q_t$ . V případě upraveného koryta se jedná o profily se staničením km 0,07, 0,61, 1,08, 1,47, 1,98 a 2,43 a v případě revitalizovaného koryta o profily se staničením km 0,06, 0,69, 1,29, 1,75, 2,36 a 2,90.

### 3.7.3 NASTAVENÍ 2D MODELU

V rámci geometrie modelu byly nastaveny tzv. „stringdef“, tedy řetězce definovaných bodů, ve kterých existuje okrajová podmínka, nebo které slouží pro monitorování veličin. Takto byly vytvořeny 2 řetězce pro okrajové podmínky a 8 řetězců pro sledování průtoku. Počáteční stav modelu je bez vody, minimální hloubka vody je nastavena na 1 cm, počáteční čas výpočtu se řídí okrajovou podmínkou 1D modelu a celkový čas výpočtu je nastaven na 10 h. Výstupy z modelu jsou dva, a to průtoky v definovaných profilech (po 100 s, respektive 200s u hydrogramů  $2x Q_t$ ) a shapefile s informacemi o hloubkách v území a o absolutních rychlostech.

Model obsahuje čtyři okrajové podmínky, a to standardně typ „wall“, tedy zeď, kde nedochází k žádnému průtoku. Dále je to podmínka párování s 1D modelem na styku koryta a 2D modelu. Posledními dvěma okrajovými podmínkami jsou levá a pravá strana modelu v závěrovém profilu. V případě varianty 1 šlo o sklon, tato podmínka ovšem vyvolávala nereálně vysoké rychlosti, proto bylo u ostatních variant přistoupeno na okrajovou podmínku „zero\_gradient“, tedy nulový gradient rychlostí a průtoku v poslední řadě okrajových elementů.

### 3.7.4 NASTAVENÍ PÁROVÁNÍ 1D A 2D MODELU

Spárovaný 1D a 2D model může kvůli vzájemnému propojení a ovlivňování být výrazným zdrojem nestability a je tak velmi citlivý na nastavení. Proto bylo i za cenu prodloužení doby výpočtu přibližně na dvojnásobek nastaven stejný čas výpočtu u 1D i 2D modelu. Jinak řečeno byla vypnuta optimalizace, která umožňuje diverzifikovat (například při nesmáčení povrchu

jednoho z modelů) čas kroku výpočtu až na 32 násobek. To ale bohužel způsobovalo oscilace na styku 1D a 2D modelu.

Program BASEMENT obsahuje nástroj automatického vytvoření propojení mezi 1D a 2D modelem. Ten hledá v určité vzdálenosti od krajního bodu příčného profilu hrany výpočtové sítě 2D modelu a případně jim přiřadí spojení. Vzhledem k tomu, že zvláště při okrajích sítě může docházet ke zduplikování nebo nechtěnému propojení některých hran, byla nalezená propojení dodatečně upravena. Při horní okrajové podmínce byla ponechána možnost spárování horního příčného profilu i s hranami, které přímo neleží u 1D modelu.

Toto posloužilo k výraznému zmenšení efektu, který nastal kvůli vysokému průtoku v příliš malém profilu. Jelikož jediná okrajová podmínka je na vtoku do 1D modelu, celý průtok je zde koncentrován, ačkoliv by už zde mělo docházet k rozlivu. Tím pádem se zde vytvořil velký gradient hloubek a nereálně vysoké rychlosti. Díky spárování prvního příčného profilu a okrajových hran v jeho okolí je umožněn vtok do modelu i v oblasti 2D.

Prostup vody z jednoho modelu do druhého je dán přepadovými rovnicemi, kterým jsou standardně přiřazeny koeficienty 0,95 pro směr 1D -> 2D a 0,66 pro směr 2D -> 1D. Druhá hodnota byla změněna také na 0,95. Tato korekce slouží k vyšší stabilizaci výpočtu a snížení frekvence výskytu oscilací, při kterém v některých případech u nastavení těchto hodnot na 1,00 dochází. Posledním faktorem ovlivňujícím párování je informace, zda se má počítat s výškou terénu 1D nebo 2D modelu. Vzhledem k tomu, že jedna hrana mezi dvěma příčnými profily obsahuje dvě nebo tři hrany výpočtové sítě 2D modelu, byla zvolena druhá, tedy v tomto případě přesnější, varianta.

## **3.8 VARIANTY VÝPOČTU**

### **3.8.1 OBECNÝ POPIS VARIANT**

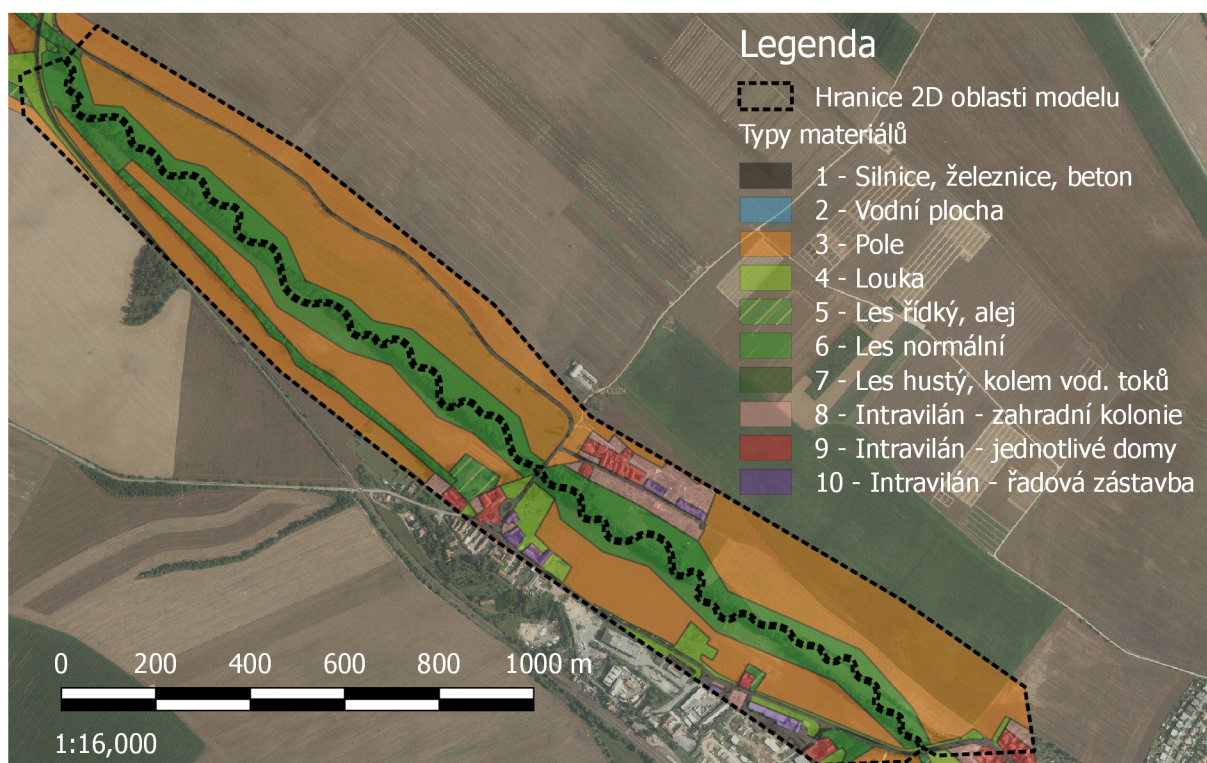
Celkem bylo vytvořeno 7 variant. První varianta (A1) slouží jako testovací, zbylých šest (A2, A3, A4, B2, B3 a B4) variant bude zahrnuto do výzkumu a hodnoceno. Každá z těchto šesti variant je kombinací 3 druhů drsností nivy (verze „2“ odpovídá drsnosti pole, verze „3“ drsnosti louky a verze „4“ lesa) a 2 druhů hydrogramů (verze „A“ počítá s normálními hydrogramy povodně a varianta „B“ s hydrogramy  $2x Q_t$ ). Celkem bylo vytvořeno 49 výpočtových schémat (ke každé z šesti hodnocených variant a jedné testovací je 7 hydrogramů  $Q_1, Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}$ ,

Q<sub>100</sub>) a provedeno 98 výpočtů, jeden zvlášť pro revitalizované koryto a jeden pro upravené koryto.

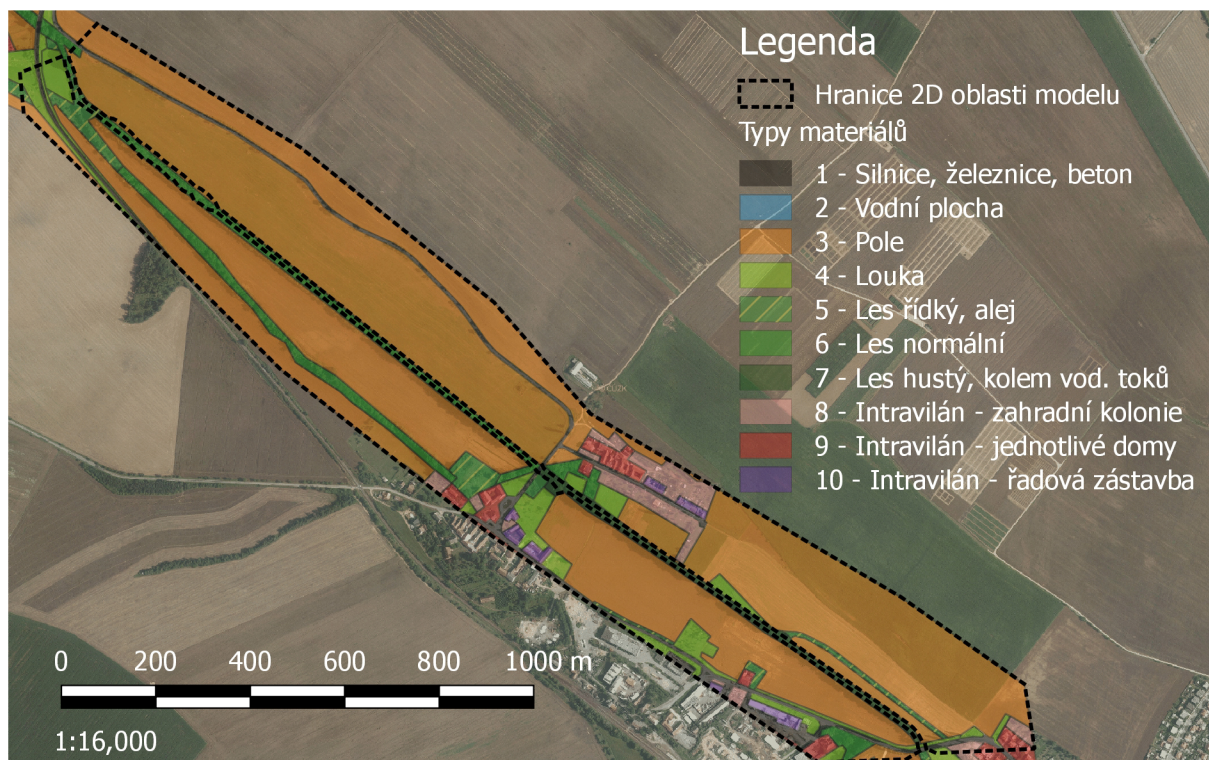
### 3.8.2 VARIANTA A1

První varianta byla vytvořena pro ověření funkce výpočtového modelu, jeho správnosti a také jako nástroj pro kalibraci jednotlivých proměnných. V DMT jsou obsaženy obě hráze, a to uprostřed i na konci úseku. Protože v současné verzi program BASEMENT neumožňuje vkládání mostních profilů, bylo provedeno vytvoření dvou profilů v místech mostovky takového tvaru, aby jejich měrná křivka byla co nejvíce podobná měrné křivce s mostem.

V programu HEC-RAS byly vytvořeny dva typy geometrie, jedna obsahovala mostní profily a druhá místo mostních profilů obsahovala profil ve tvaru lichoběžníku v místě prostředního mostu a profil ve tvaru obdélníku v místě dolního mostu. Po kalibraci drsností těchto profilů bylo dosaženo shody měrných křivek obou modelů a nalezené příčné profily byly implementovány do 1D modelu. Ve variantě A1 bylo uvažováno se zalesněním blízkého okolí revitalizovaného toku, takže jeho drsnost se změnila z 0,025 na 0,060. To ilustrují *Obr. 3.12: Mapa drsností v revitalizované variantě A1* a *Obr. 3.13: Mapa drsností v upravené variantě A1*.



Obr. 3.12: Mapa drsností v revitalizované variantě A1



Obr. 3.13: Mapa drsností v upravené variantě A1

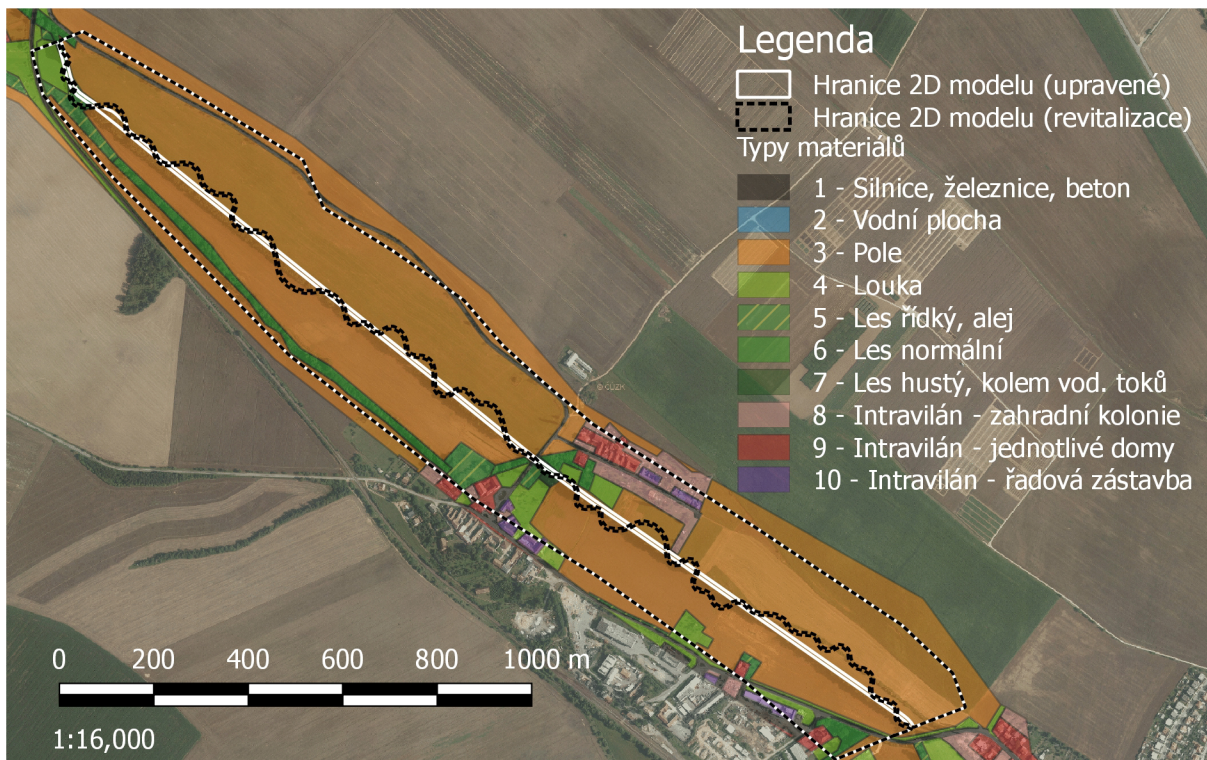
### 3.8.3 VARIANTY A2, A3, A4, B2, B3 A B4

Tyto varianty používají upravený DMT, tedy zde byly odstraněny příčné hráze křížující nivu a ovlivňující průtoky. Pro jednodušší orientaci mezi rozdíly jednotlivých variant byla vytvořena následující tabulka:

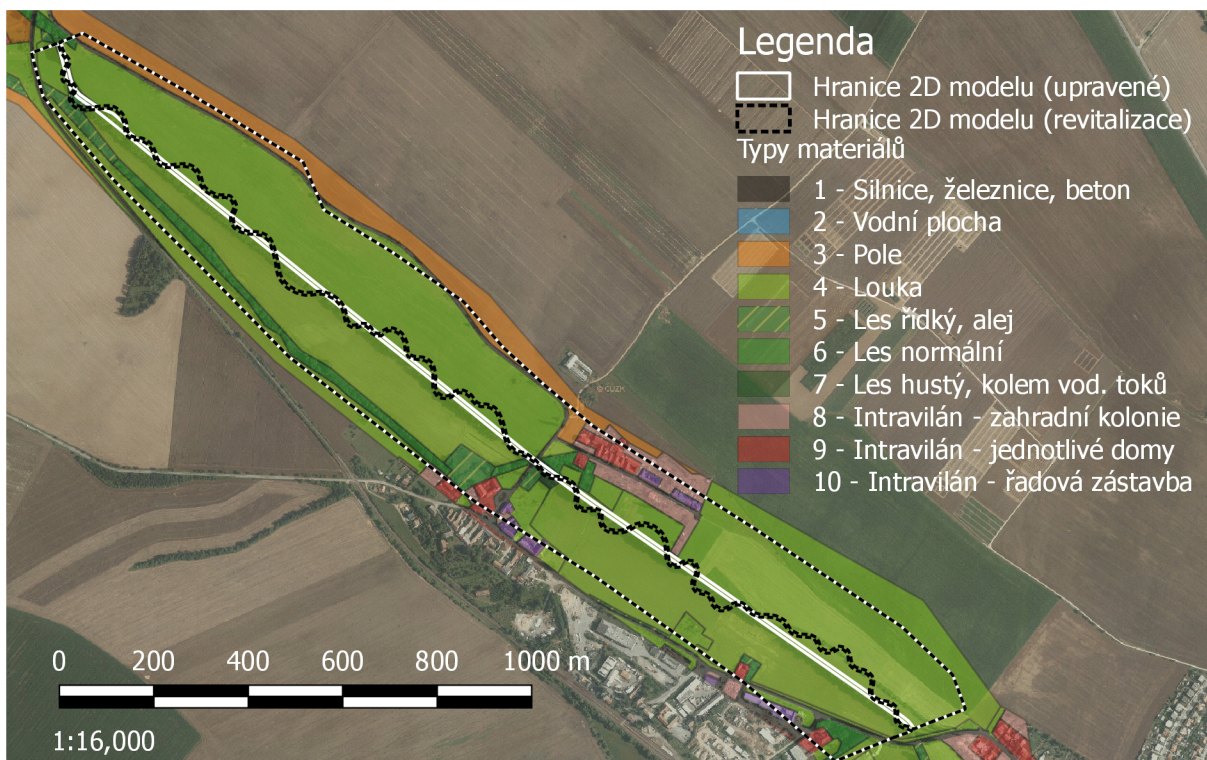
Tab. 3.4: Přehledná tabulka definic variant A2 - B4

		A2	A3	A4	B2	B3	B4
Druh hydrogramu	normální	X	X	X			
	2x $Q_t$				X	X	X
Drsnost nivu	pole (0,025)	X			X		
	louka (0,035)		X			X	
	les (0,060)			X			X

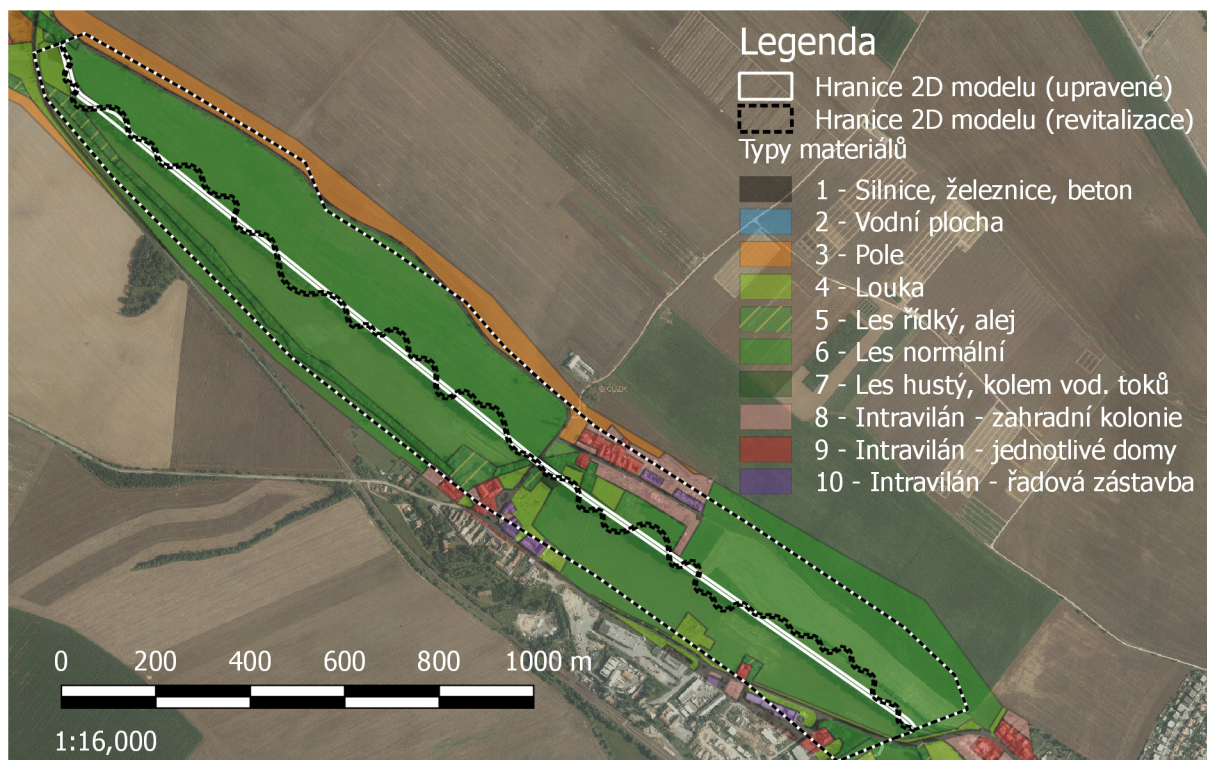
Pro přehled rozložení drsností v ploše nivu byly vytvořeny mapy, zobrazené na Obr. 3.14: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A2 a B2, Obr. 3.15: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A3 a B3 a Obr. 3.16: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A4 a B4.



**Obr. 3.14: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A2 a B2.**



**Obr. 3.15: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A3 a B3.**



Obr. 3.16: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A4 a B4.

## 3.9 VÝSTUPY

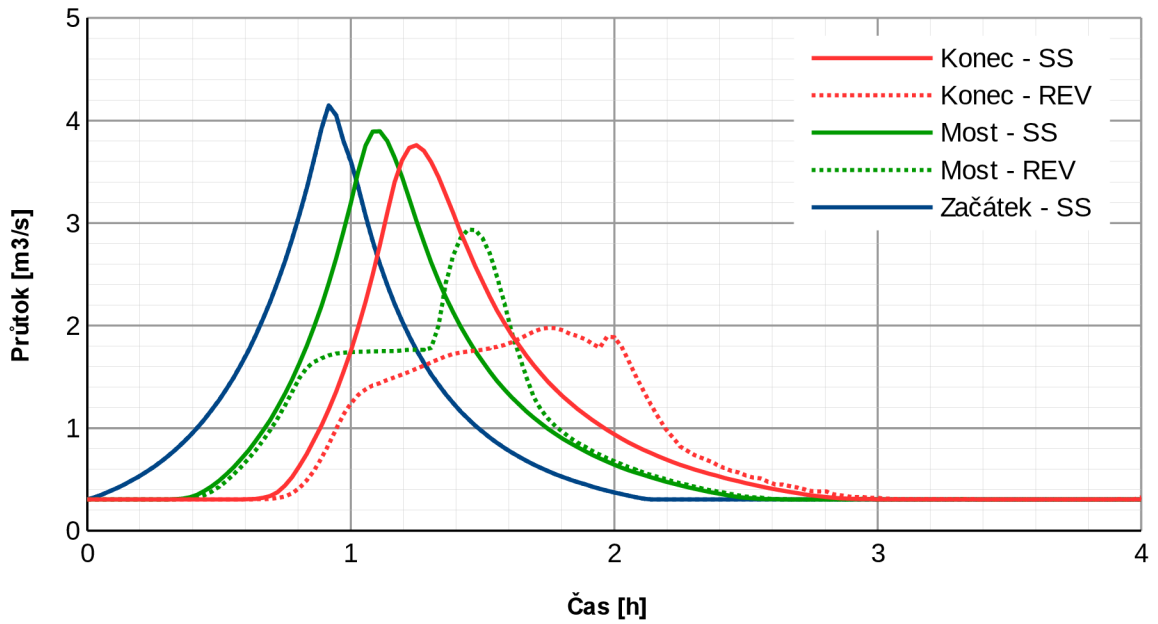
### 3.9.1 FORMÁT VÝSTUPŮ

Celkem byly vytvářeny tři druhy výstupů, a to průběh průtoků v pěti různých profilech (na odtoku a ve čtyřech profilech mezi přítokem a odtokem) ve formě textového souboru a průběh hloubek a rychlostí v ploše nivy ve formátu \*.shp. Ze záznamu průtoků byly vytvořeny grafy závislosti průtoků na čase, záznamy hloubek v ploše nivy poslouží k určení velikosti rozlivu a záznamy rychlostí v ploše nivy poslouží ke kontrole správnosti výpočtů.

### 3.9.2 VARIANTA A1

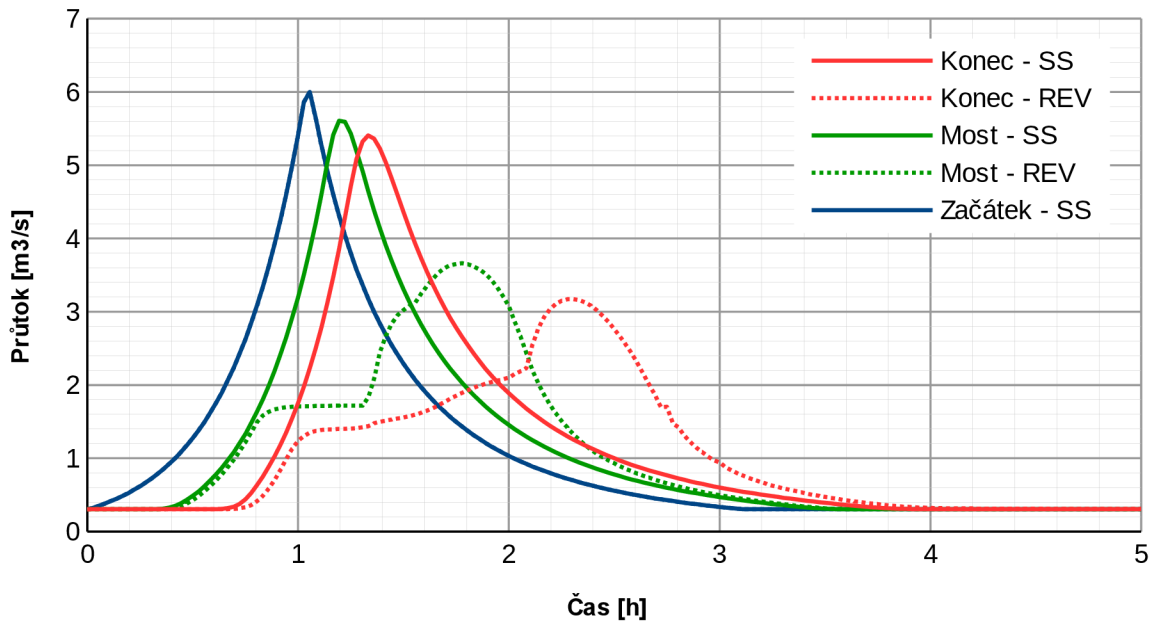
Tato varianta na rozdíl od ostatních obsahuje zobrazení pouze tří profilů, a to přítoku, profilu mostu uprostřed úseku a odtoku. Všechny tři sledované profily odpovídaly profilům v 1D modelu, neboť přítok byl propagován pouze jedním profilem a ve střední části a na odtoku je průtok soustředěn do profilu mostovek. Zkratka SS v tomto případě znamená „současný stav“, zkratka REV znamená „revitalizace“. U tohoto modelu se projevovала relativně velká nestabilita na dolní okrajové podmínce v rozmezí průtoků 4 - 6 m<sup>3</sup>/s.

Varianta A1 - Transformace povodňové vlny Q1



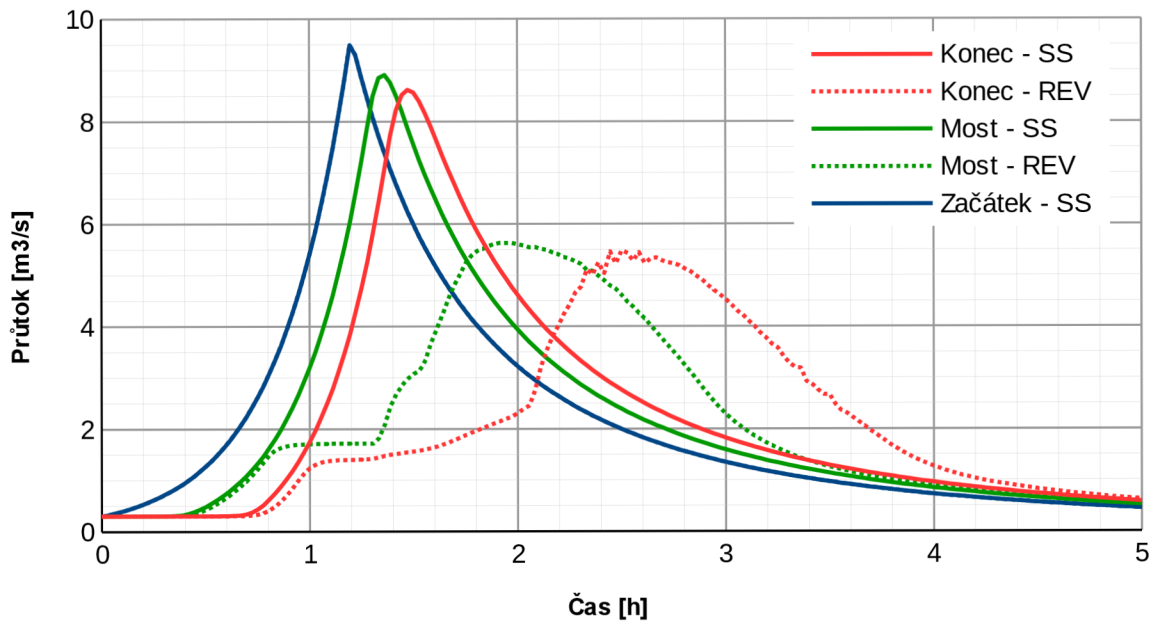
Obr. 3.17: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q<sub>1</sub>

Varianta A1 - Transformace povodňové vlny Q2



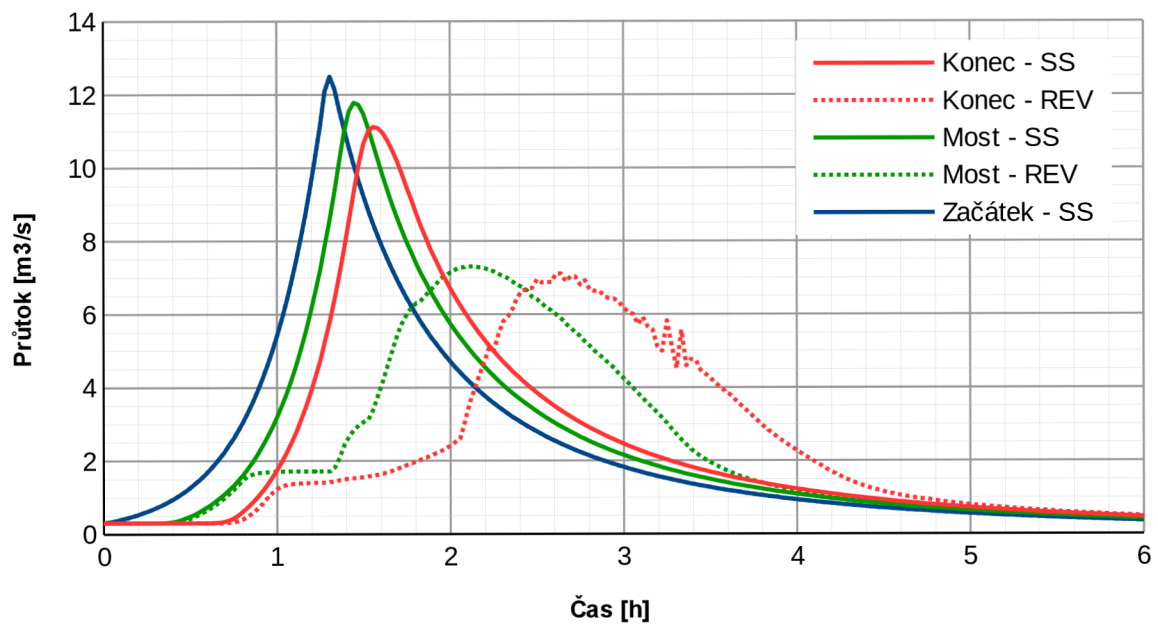
Obr. 3.18: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q<sub>2</sub>

Varianta A1 - Transformace povodňové vlny Q5



Obr. 3.19: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q<sub>5</sub>

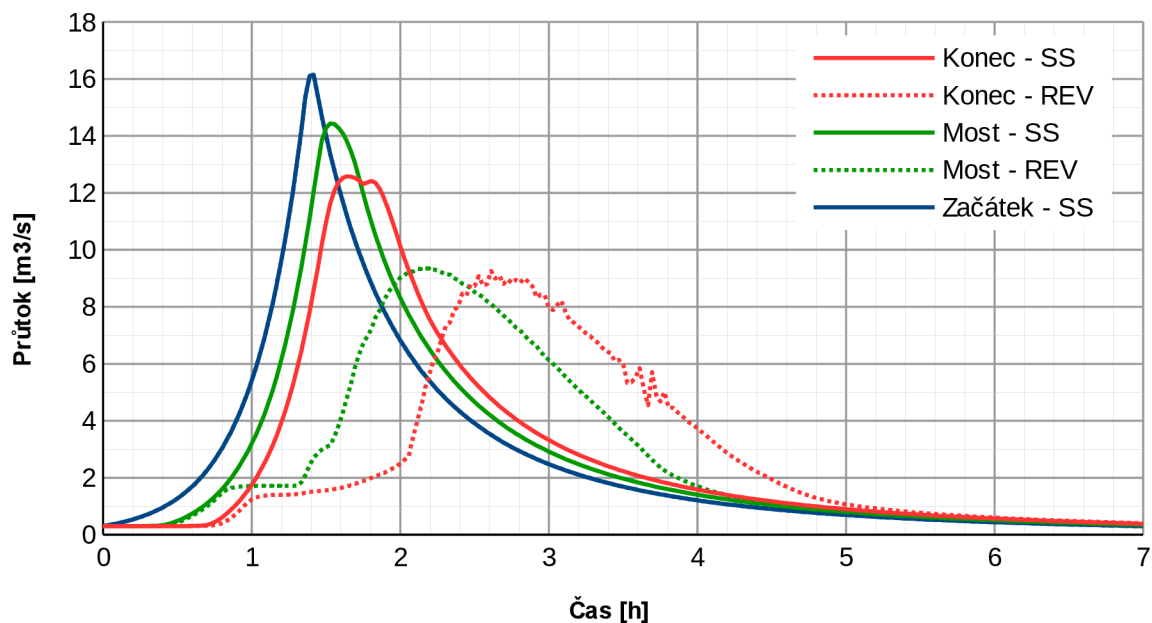
Varianta A1 - Transformace povodňové vlny Q10



Obr. 3.20: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q<sub>10</sub>

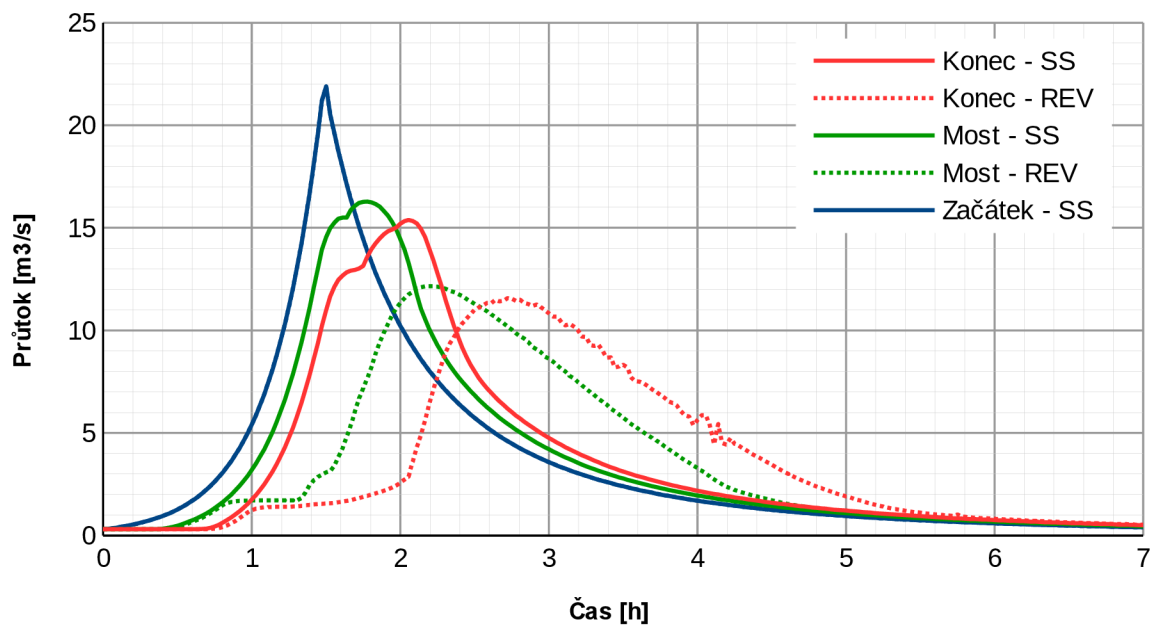


### Varianta A1 - Transformace povodňové vlny Q20



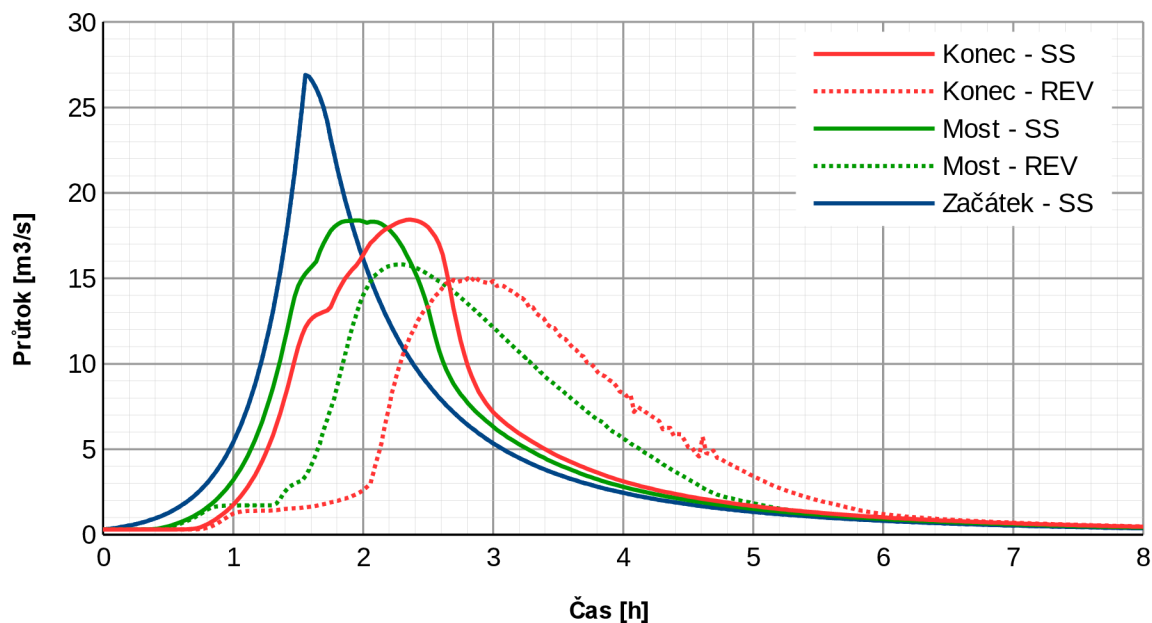
Obr. 3.21: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q<sub>20</sub>

### Varianta A1 - Transformace povodňové vlny Q50



Obr. 3.22: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q<sub>50</sub>

### Varianta A1 - Transformace povodňové vlny Q100

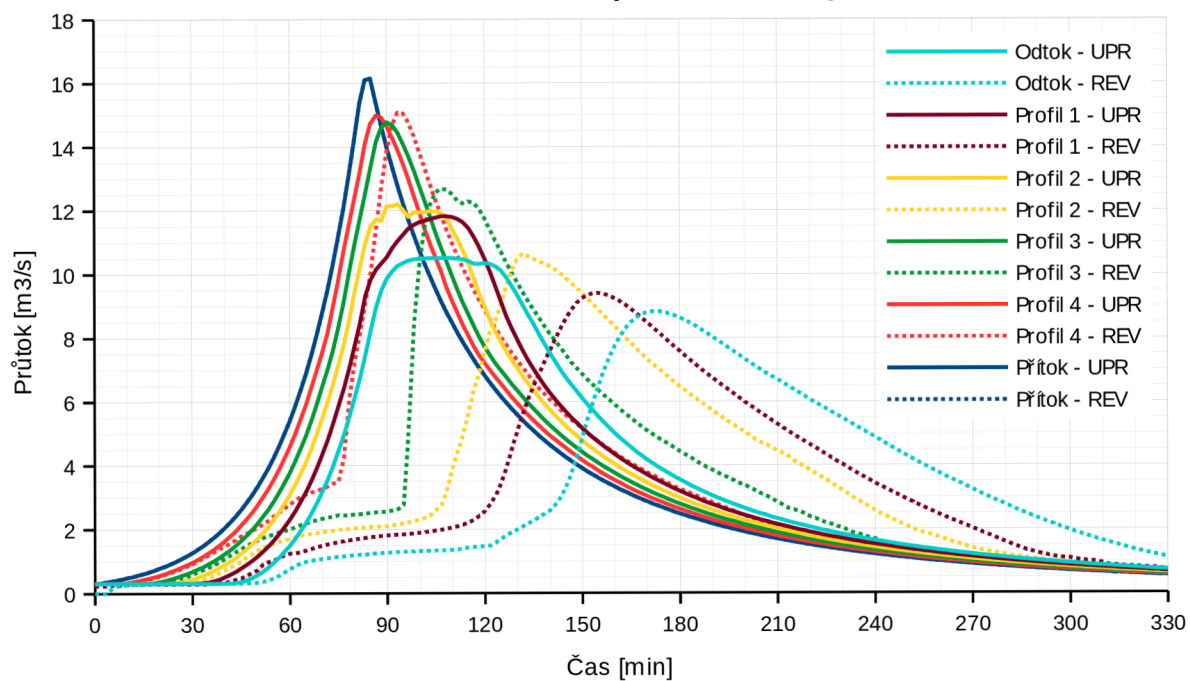


Obr. 3.23: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny  $Q_{100}$

#### 3.9.3 VARIANTY A2, A3, A4, B2, B3 A B4

Vzhledem k velkému množství dat a zpracovaných grafů byly všechny ostatní výstupy umístěny do přílohy 1 - *Grafy*, což také umožnilo zobrazit grafy v menším měřítku. Plnou čarou jsou v grafu zobrazeny výsledky v upravené variantě koryta (UPR) a tečkovanou čarou jsou zobrazeny výsledky v revitalizované variantě koryta (REV). Jednotlivé grafy vznikly součtem průtoku v 1D modelu koryta s průtoky dvou sledovaných úseček na pravé a levé straně toku ve 2D modelu. Níže na Obr. 3.24: *Příklad zobrazení výsledných grafů - Varianta A4, průtok  $Q_{20}$*  uvádím příklad zobrazení těchto grafů.

### Průběh transformace povodňové vlny Q20



Obr. 3.24: Příklad zobrazení výsledných grafů - varianta A4, průtok Q<sub>20</sub>

## 4 VÝSLEDKY

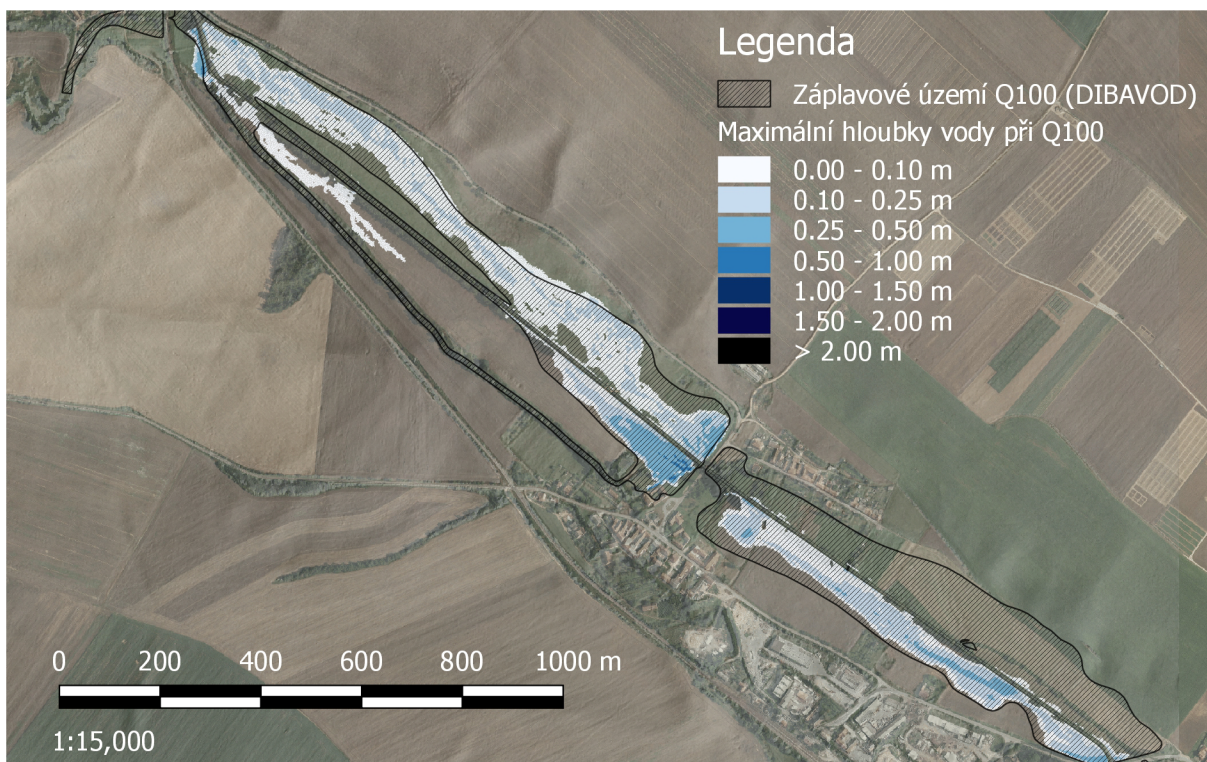
### 4.1 VARIANTA A1

Na této variantě byla otestována stabilita modelu. Bylo také zjištěno, že v posledním, závěrovém profilu docházelo k oscilacím při výpočtu. To bylo způsobeno přechodem mezi říčním a bystřinným prouděním a nesouladem v časovém kroku 1D a 2D modelu, který tuto chybu umocňoval. Díky tomuto zjištění byly následně opraveny podmínky pro výpočet následujících 6 variant.

Ve všech případech byla hodnota kulminace menší a doba kulminace větší v případě revitalizovaného koryta. To ale mohlo být způsobeno zmenšením kapacity prostředního mostu. Ačkoliv profil mostu jako takový zůstal nezměněn, revitalizované koryto je umístěno výše, než v případě upraveného koryta, a tím pádem následující profil způsobuje vzduť v mostním profilu a tím také zmenšuje jeho průtočnou kapacitu. Byla také porovnána celková plocha rozlivu  $Q_{100}$  se stanoveným záplavovým územím z databáze DIBAVOD<sup>6</sup>. Jak se ukázalo, rozliv v horní části odpovídá stanoveným rozlivům, v dolní části je mnohem menší. To je buď dáno přílišnou kapacitou dolního mostního profilu, nebo vzduť dále po proudu (pravděpodobně Rokytkou), které jsem neměl možnost do modelu implementovat.

---

6 *Objekty DIBAVOD*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>



Obr. 4.1: Porovnání simulovaných rozlivů  $Q_{100}$  a rozlivů  $Q_{100}$  z databáze DIBAVOD.<sup>6</sup>

## 4.2 HYPOTÉZY

### 4.2.1 H1: PO REVITALIZACI SE ODDÁLÍ DOBA KULMINACE

Veškeré doby kulminací (celkem 84 hodnot) byly shrnuty do tabulky, uvedené v příloze 2.A - *Souhrnná tabulka dob kulminací*. Pro větší přehlednost a snadnější interpretaci dat jsem výsledky shrnul do následující tabulky, kde jsou jednotlivé buňky podbarveny. Sytě zelená (20 % a více) znamená podpoření hypotézy, sytě červená (20 % a více) znamená popření hypotézy, bílá (0 %) slouží jako vizuální přechod mezi dvěma předešlými barvami. Hodnoty v tabulce vyjadřují procentuální rozdíly mezi dobami kulminací u revitalizovaného a upraveného koryta.

<sup>6</sup> *Objekty DIBAVOD*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>

**Tab. 4.1: Porovnání relativních rozdílů dob kulminací**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
Q <sub>1</sub>	55%	58%	71%	46%	54%	57%
Q <sub>2</sub>	66%	80%	100%	36%	44%	64%
Q <sub>5</sub>	53%	69%	88%	31%	38%	51%
Q <sub>10</sub>	49%	58%	85%	14%	19%	41%
Q <sub>20</sub>	17%	28%	59%	4%	6%	13%
Q <sub>50</sub>	5%	10%	24%	-6%	-3%	8%
Q <sub>100</sub>	-7%	-4%	12%	-4%	-4%	-3%

Z této tabulky vyplývá, že doba kulminace se výrazně prodlužuje u průtoků menších než Q<sub>10</sub>. Se stoupající N-letostí povodně klesá také rozdíl doby kulminace a u nejvyšších průtoků (s výjimkou varianty A4) dojde ke kulminaci dříve u upraveného koryta. Tato hypotéza může být potvrzena pouze pro nízké průtoky.

Zajímavý je průběh změn u varianty B2, který sleduje průběh všech ostatních, ale tento trend se láme při průtoku Q<sub>50</sub>. Bylo by užitečné zjistit, zda při vyšších N-letostech nastane změna trendu nebo srovnání dob kulminací u upraveného i revitalizovaného koryta a zda se to samé stane i v ostatních variantách. Z použitých dat ovšem není možné stanovit další chování změny dob kulminací.

#### 4.2.2 H2: Po REVITALIZACI SE ZMENŠÍ HODNOTA KULMINAČNÍHO PRŮTOKU

Veškeré doby kulminací (celkem 84 hodnot) byly shrnuty do tabulky, uvedené v příloze 2.B - *Souhrnná tabulka dob kulminací*. Pro větší přehlednost a snadnější interpretaci dat jsem výsledky shrnul do následující tabulky, kde jsou jednotlivé buňky podbarveny. Sytě zelená (20 % a více) znamená podpoření hypotézy, sytě červená (20 % a více) znamená popření hypotézy, bílá (0 %) slouží jako vizuální přechod mezi dvěma předešlými barvami. Hodnoty v tabulce vyjadřují procentuální změnu kulminačního průtoku mezi revitalizovaným a upraveným korytem vzhledem ke kulminaci původní.

**Tab. 4.2: Porovnání relativních rozdílů kulminačních průtoků**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
Q <sub>1</sub>	-43%	-45%	-52%	-33%	-33%	-43%
Q <sub>2</sub>	-32%	-37%	-49%	-20%	-23%	-31%
Q <sub>5</sub>	-29%	-31%	-37%	-20%	-22%	-27%
Q <sub>10</sub>	-19%	-22%	-29%	-5%	-6%	-12%
Q <sub>20</sub>	-5%	-7%	-11%	+2%	+0%	-5%
Q <sub>50</sub>	+4%	+1%	-5%	+9%	+8%	+5%
Q <sub>100</sub>	+8%	+6%	+4%	+4%	+5%	+10%

Z tabulky vyplývá, že do úrovně průtoků Q<sub>10</sub> jsou výrazně menší (a to až o 50 %) kulminační průtoky v revitalizovaném korytě, od této hodnoty jsou stejné nebo větší. Stejně jako u předchozí hypotézy dochází u některých průtoků ke změně tohoto trendu a to u variant B2 a B3 při průtoku Q<sub>50</sub>. Hypotéza může být potvrzena pouze pro nízké průtoky. Bylo by užitečné zjistit, zda se při vyšších N-letostech povodňi hodnoty kulminací revitalizovaného a upraveného koryta srovnají, nebo zda nastane jiná změna.

#### 4.2.3 H3: PO REVITALIZACI DOJDE K ZAPLAVENÍ VĚTŠÍ PLOCHY POZEMKŮ KOLEM VODNÍHO TOKU

Veškeré plochy rozlivu (celkem 84 hodnot) byly shrnuty do tabulky, uvedené v příloze 2.C - *Souborná tabulka zaplavených ploch*. Pro větší přehlednost a snadnější interpretaci dat jsem výsledky shrnul do následující tabulky, kde jsou jednotlivé buňky podbarveny. Sytě zelená (20 % a více) znamená podpoření hypotézy, sytě červená (20 % a více) znamená popření hypotézy, bílá (0 %) slouží jako vizuální přechod mezi dvěma předešlými barvami. Hodnoty v tabulce vyjadřují procentuální rozdíl plochy rozlivu v upravené a revitalizované variantě koryta.

**Tab. 4.3: Porovnání relativních rozdílů zaplavených ploch**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
Q <sub>1</sub>	<b>U upravené varianty koryta nedojde k rozdílu od revitalizované varianty koryta k vylití vody mimo břehy</b>					
Q <sub>2</sub>	<b>U upravené varianty koryta nedojde k rozdílu od revitalizované varianty koryta k vylití vody mimo břehy</b>					
Q <sub>5</sub>	+44 639%	+45 704%	+48 246%	+25 552%	+25 743%	+28 066%
Q <sub>10</sub>	+610%	+626%	+689%	+513%	+506%	+549%
Q <sub>20</sub>	+241%	+260%	+298%	+171%	+185%	+220%
Q <sub>50</sub>	+72%	+75%	+84%	+71%	+75%	+84%
Q <sub>100</sub>	+31%	+38%	+45%	+41%	+45%	+51%

Změna rozlivů je tím větší, čím větší drsnost má niva toku, a rozdíl v ploše rozlivů je tím menší, čím větší je povodeň. U průtoků Q<sub>1</sub> a Q<sub>2</sub> u upravené varianty nedošlo k rozlivům vůbec

a při  $Q_5$  pouze na několika stovkách  $m^2$ , což způsobily tisíci procentní rozdíly. Hypotéza byla jednoznačně potvrzena.

#### 4.2.4 H4: PO REVITALIZACI DOJDE K PRODLOUŽENÍ DOBY NÁSTUPU POVODNĚ

Rozdíly v šikmosti křivky nástupu povodňové vlny byly subjektivně posouzeny a vyhodnoceny zvláště pro každou dvojici upraveného a neupraveného koryta. Následně byly shrnuty do následující tabulky, kde je přehledně znázorněno, která z obou variant měla mírnější, a tedy pomalejší nástup. Zelená zkratka „REV“ znamená revitalizovanou variantu (a tedy potvrzení hypotézy), červená zkratka „UPR“ znamená upravenou variantu (a tedy popření hypotézy), černá pomlčka „-“ znamená, že si grafy byly podobné.

Tab. 4.4: Porovnání strmosti křivky nástupu povodně

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
$Q_1$	REV	REV	REV	REV	REV	REV
$Q_2$	REV	REV	REV	REV	REV	REV
$Q_5$	-	REV	REV	-	-	REV
$Q_{10}$	-	-	REV	-	-	-
$Q_{20}$	UPR	-	-	UPR	-	-
$Q_{50}$	UPR	UPR	UPR	UPR	UPR	UPR
$Q_{100}$	UPR	UPR	UPR	UPR	UPR	UPR

Zatímco křivka upraveného koryta měla ve všech případech téměř stejný tvar (nelišila se od sklonu vstupního hydrogramu), křivka nástupu povodně v případě revitalizovaného koryta se postupně měnila z velmi mírné až na velmi strmou, dokonce strmější, než v případě vstupního hydrogramu. Tato hypotéza platí pouze pro nízké průtoky, pro vysoké platí opak, tedy že u revitalizovaného koryta dojde k rychlejšímu nástupu povodně. Je také vidět, že čím větší drsnost nivy u revitalizovaného koryta, tím méně se strmost se stoupajícím průtokem zvyšuje.

#### 4.2.5 H5: PO REVITALIZACI DOJDE K PRODLOUŽENÍ DOBY TRVÁNÍ POVODNĚ

Veškeré doby průsečíků 10, 30 a 50 % průtoků původních hydrogramů s hydrogramy transformovanými (celkem 504 hodnot) byly shrnuty do tabulek, uvedených v přílohách 2.D.1 - *Souhrnná tabulka časů překročení 10 % hranice průtoků*, 2.D.2 - *Souhrnná tabulka překročení 30 % hranice průtoků* a 2.D.3 - *Souhrnná tabulka překročení 50 % hranice průtoků*. Pro větší přehlednost a snadnější



interpretaci dat jsem výsledky shrnul do následujících tabulek, kde jsou jednotlivé buňky podbarveny. Sytě zelená (20 % a více) znamená podpoření hypotézy, sytě červená (20 % a více) znamená popření hypotézy, bílá (0 %) slouží jako vizuální přechod mezi dvěma předešlými barvami. Hodnoty v tabulkách vyjadřují procentuální změnu doby trvání mezi revitalizovaným a upraveným korytem.

**Tab. 4.5: Porovnání dob trvání 10 % průtoku původního hydrogramu**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
Q <sub>1</sub>	+9%	+17%	+39%	+2%	+2%	+9%
Q <sub>2</sub>	+13%	+19%	+28%	+1%	+2%	+5%
Q <sub>5</sub>	+5%	+5%	+12%	+3%	+3%	+5%
Q <sub>10</sub>	-4%	-3%	+16%	-3%	-3%	+3%
Q <sub>20</sub>	-2%	-3%	+2%	+1%	-0%	+1%
Q <sub>50</sub>	+0%	+1%	+2%	-2%	-2%	+0%
Q <sub>100</sub>	+4%	+3%	+4%	-2%	-1%	+0%

Dochází zde k prodloužení doby trvání průtoků, a to v závislosti na drsnosti nivy (čím větší drsnost, tím větší doba trvání). Výraznější změny dob trvání nastaly pouze u průtoků Q<sub>1</sub> - Q<sub>5</sub> u variant A, tedy u povodňových vln s menším objemem.

**Tab. 4.6: Porovnání dob trvání 30 % průtoku původního hydrogramu**

Q <sub>1</sub>	-11%	-2%	+2%	-6%	+0%	+16%
Q <sub>2</sub>	-3%	-3%	-5%	-2%	+1%	+7%
Q <sub>5</sub>	+5%	+0%	+9%	-1%	-2%	+0%
Q <sub>10</sub>	+5%	+7%	+9%	-1%	+0%	+1%
Q <sub>20</sub>	+5%	+5%	+7%	-1%	+2%	+2%
Q <sub>50</sub>	-5%	-1%	-1%	-1%	-9%	-5%
Q <sub>100</sub>	-13%	-14%	-14%	-6%	-6%	-10%

V případě tohoto srovnání není viditelná žádná závislost, pouze hodnoty u průtoků Q<sub>100</sub> jsou všechny záporné a tedy vypovídají, že ve své vyšší části je hydrogram mírně štíhlejší.

**Tab. 4.7: Porovnání dob trvání 50 % průtoku původního hydrogramu**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
Q <sub>1</sub>	X	X	X	-27%	-27%	-54%
Q <sub>2</sub>	-44%	-74%	X	-12%	-16%	-25%
Q <sub>5</sub>	-9%	-11%	-41%	+1%	+1%	+0%
Q <sub>10</sub>	-11%	-17%	-49%	-6%	-3%	-3%
Q <sub>20</sub>	-19%	-67%	-45%	-8%	-10%	-11%
Q <sub>50</sub>	-12%	-5%	-31%	-6%	-11%	-6%
Q <sub>100</sub>	-10%	-8%	-4%	-10%	-9%	-8%

U průtoku Q<sub>1</sub> a ve variantě A4 i u průtoku Q<sub>2</sub> došlo k tak velké transformaci povodně, že nedosáhla ani 50 % původního kulminačního průtoku a proto nemohla být hodnocena. Ani zde nebyl nalezen jednoznačný vzor, ovšem až na tři výjimky (varianty B a průtok Q<sub>5</sub>) jsou všechny hodnoty dob trvání této části hydrogramu menší, a to až o 60 %.

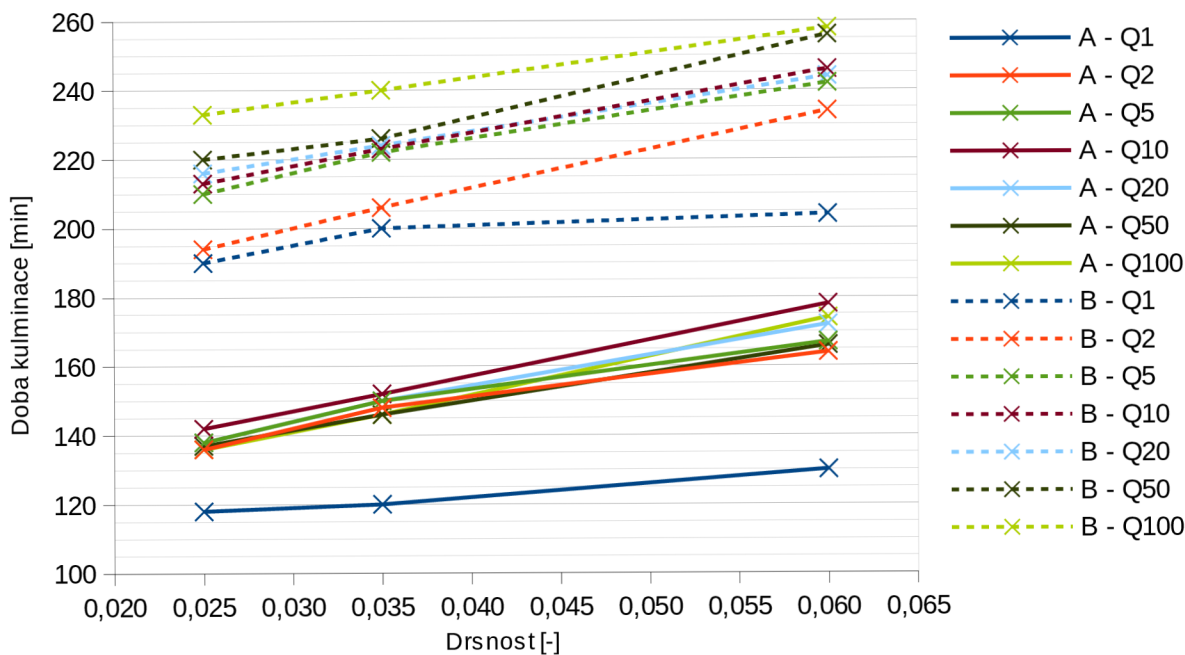
Tato hypotéza nemohla být pro nekoherentnost dat potvrzena ani vyvrácena u 10 a 30 % původních průtoků (i když při malých průtocích dochází ve spodní části hydrogramu k mírnému prodloužení doby povodně). Naopak se zdá, že je vyvrácena pro případ překročení 50 % kulminace původních průtoků. Znamená to, že hydrogram povodně v revitalizované variantě je štihlejší, a tedy že vyšší průtoky trvají kratší dobu.

I když tato vlastnost nebyla primárně zjišťována, nelze si nevšimnout, že začátek všech 84 průtoků nastane v revitalizované variantě později a 84 průtoků také později skončí. Ačkoliv ke kulminaci může dojít dříve (viz hypotéza 2), v revitalizovaném korytě je celý hydrogram posunut na časové ose směrem doprava.

#### **4.2.6 H6: VYŠŠÍ DRSNOST ÚDOLNÍ NIVY VEDE K VĚTŠÍ TRANSFORMACI POVODNĚ**

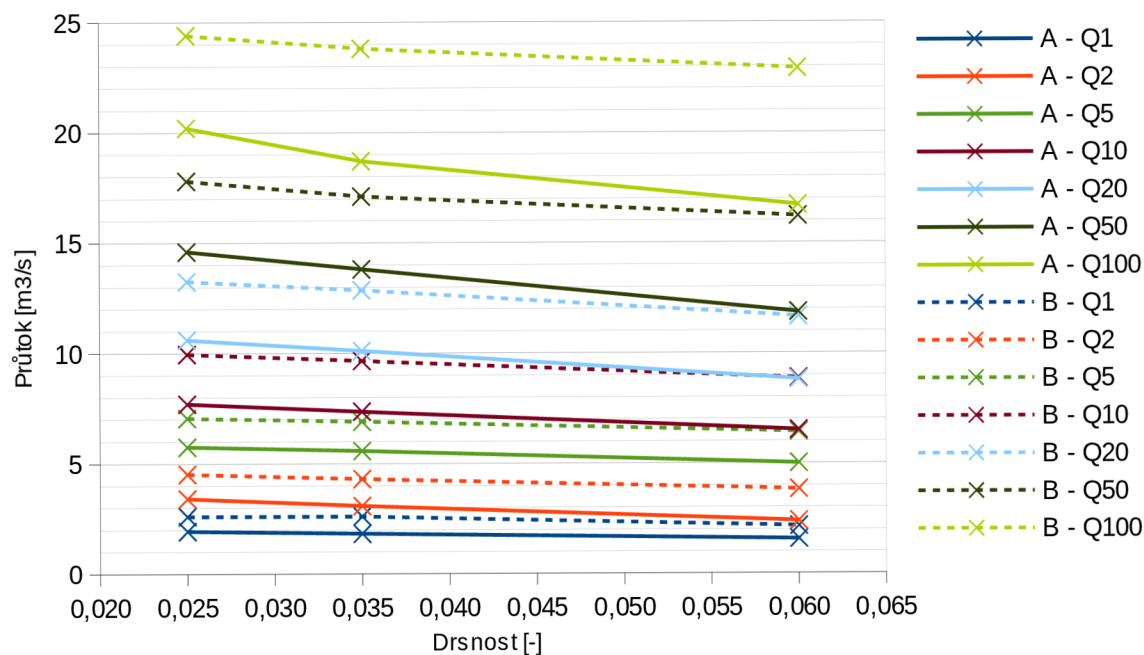
Veškeré doby kulminací a hodnot kulminačních průtoků (celkem 84 hodnot) byly shrnuty do tabulek uvedených v přílohách 2.A - *Souhrnná tabulka dob kulminací* a 2.B - *Souhrnná tabulka kulminačních průtoků*. Poté byly vypracovány grafy, znázorňující vývoj pozorovaných veličin v závislosti na zvolené drsnosti údolní nivy. Plnou čarou jsou znázorněny normální průtoky, přerušovanou průtoky 2x Q<sub>1</sub>.

### Porovnání doby kulminací při zvyšování drsností u revitalizovaného koryta



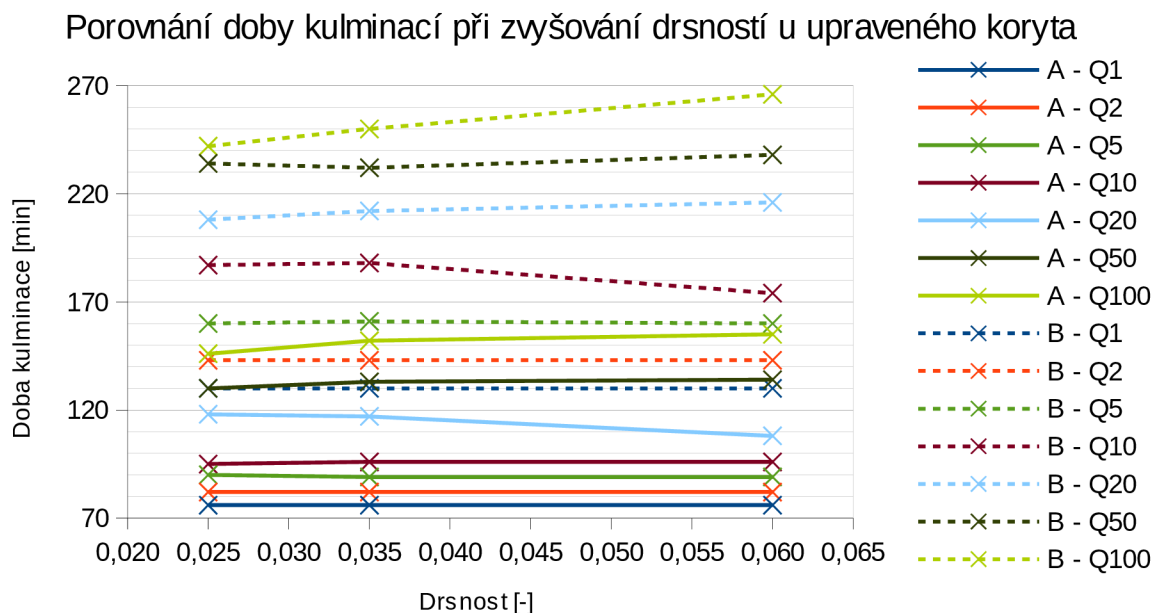
Obr. 4.2: Graf porovnání doby kulminací při různých drsnostech u revitalizovaného koryta

### Porovnání kulminačních průtoků při zvyšování drsností u revitalizovaného koryta

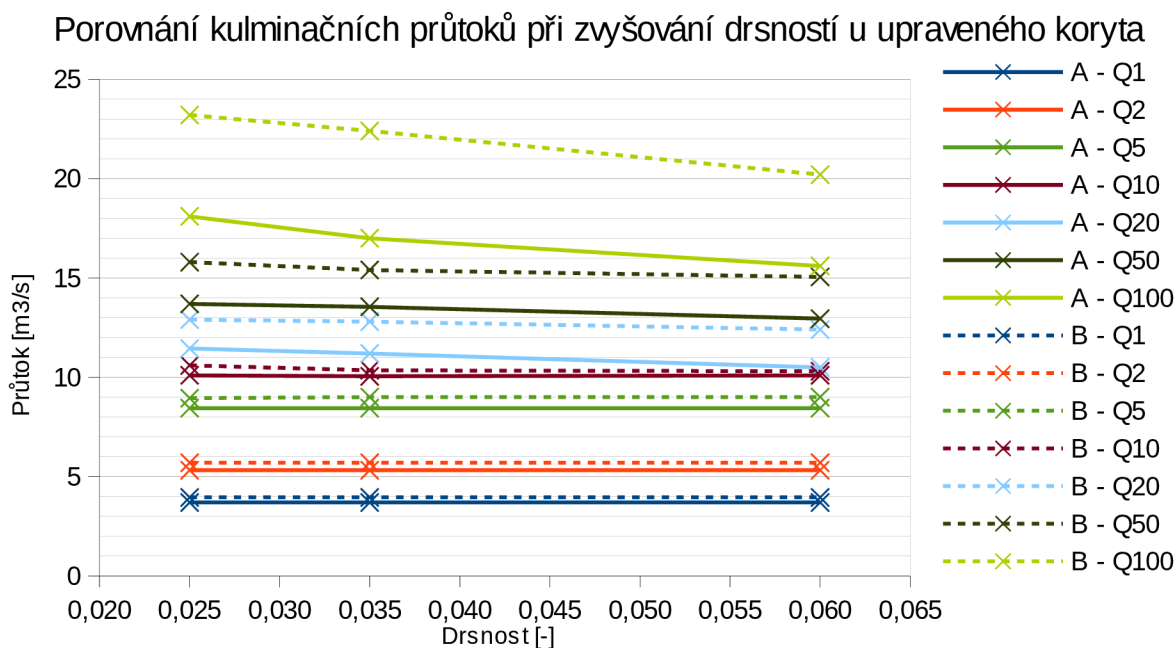


Obr. 4.3: Graf porovnání kulminačních průtoků při různých drsnostech u revitalizovaného koryta

Z uvedených grafů vyplývá, že drsnost nivy má zásadní význam pro transformaci povodně. Všechny doby kulminace nastávají se zvyšující se drsností později a stejně tak jsou všechny kulminační průtoky se zvyšující se drsností menší. Tato hypotéza je potvrzena. Jako doplněk k této hypotéze ještě přidávám grafy pro upravené koryto:



**Obr. 4.4: Graf porovnání doby kulminací při různých drsnostech u upraveného koryta**



**Obr. 4.5: Graf porovnání kulminačních průtoků při různých drsnostech u revitalizovaného koryta**

V případě upraveného koryta se u nižších průtoků změna času ani průtoků kulminací neprojevuje, protože nedojde k rozlivu v nivě, respektive dojde k minimálnímu rozlivu a transformaci nivou. Znatelný posun hodnot je až u  $Q_{100}$ , změna drsnosti nivy má proto na rozdíl od revitalizovaného koryta pouze zanedbatelný vliv.

#### 4.2.7 H7: U REVITALIZOVANÉHO KORYTA DOJDE K MAXIMÁLNÍ TRANSFORMACI PŘI NEJNIŽŠÍCH PRŮTOCÍCH, PŘI NEJVYŠŠÍCH BUDE VLIV REVITALIZACE MINIMÁLNÍ

Veškeré doby kulminací a hodnot kulminačních průtoků (celkem 84 hodnot) byly shrnuty do tabulek, uvedených v přílohách 2.A - *Souborná tabulka dob kulminací* a 2.B - *Souborná tabulka kulminačních průtoků*. Z těchto hodnot byly vypracovány následující tabulky, porovnávající relativní změny v průtoku po transformaci povodňové vlny revitalizovaným korytem. Sytě zelená (20 % a více) znamená příznivé hodnoty, sytě červená (20 % a více) znamená nepříznivé, bílá (0 %) slouží jako vizuální přechod mezi dvěma předešlými barvami. (pozn.: pro porovnání byly doby kulminace transformované povodňové vlny zmenšeny o 42 minut, tedy o dobu, než se začátek povodňové vlny dostane do závěrového profilu)

**Tab. 4.8: Porovnání relativní změny dob kulminací u revitalizovaného koryta**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
$Q_1$	38%	42%	60%	35%	44%	47%
$Q_2$	49%	68%	94%	21%	30%	52%
$Q_5$	33%	50%	74%	17%	25%	39%
$Q_{10}$	28%	41%	74%	10%	16%	31%
$Q_{20}$	14%	29%	55%	4%	8%	20%
$Q_{50}$	6%	16%	38%	-1%	2%	19%
$Q_{100}$	1%	12%	42%	3%	6%	16%

**Tab. 4.9: Porovnání relativní změny kulminačních průtoků u revitalizovaného koryta**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
$Q_1$	-53%	-56%	-62%	-37%	-37%	-48%
$Q_2$	-43%	-49%	-60%	-25%	-28%	-36%
$Q_5$	-39%	-41%	-47%	-25%	-27%	-32%
$Q_{10}$	-38%	-41%	-48%	-20%	-23%	-29%
$Q_{20}$	-34%	-37%	-45%	-18%	-20%	-28%
$Q_{50}$	-33%	-37%	-46%	-19%	-22%	-26%
$Q_{100}$	-25%	-30%	-38%	-9%	-12%	-15%

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že maximální rozdíly v kulminaci i v době kulminace nastávají při nejnižších průtocích a při nejvyšších jsou menší. Jako minimální rozdíly se dají

označit pouze změny v době kulminace u variant A2 při  $Q_{100}$  a B2 a B3 při  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$ , ostatní rozdíly jsou sice malé, ale stále dostatečně významné. Tato hypotéza se dá v upravené variantě, tedy že při vyšších průtocích jsou transformace menší, potvrdit.

V rámci zpracování dat k této hypotéze byly stejným způsobem jako výše porovnávány i transformace v upraveném korytě. (pozn.: pro porovnání byly doby kulminace transformované povodňové vlny zmenšeny o 37 minut, tedy o dobu, než se začátek povodňové vlny dostane do závěrového profilu)

**Tab. 4.10: Porovnání relativní změny dob kulminací u upraveného koryta**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
$Q_1$	-29%	-29%	-29%	-15%	-15%	-15%
$Q_2$	-29%	-29%	-29%	-16%	-16%	-16%
$Q_5$	-26%	-28%	-28%	-15%	-14%	-15%
$Q_{10}$	-26%	-24%	-24%	-4%	-3%	-12%
$Q_{20}$	-4%	-5%	-15%	2%	4%	7%
$Q_{50}$	3%	7%	8%	9%	8%	12%
$Q_{100}$	17%	24%	27%	10%	15%	23%

**Tab. 4.11: Porovnání relativní změny kulminačních průtoků u revitalizovaného koryta**

	A2	A3	A4	B2	B3	B4
$Q_1$	-11%	-11%	-11%	-5%	-5%	-5%
$Q_2$	-11%	-11%	-11%	-5%	-5%	-5%
$Q_5$	-10%	-10%	-10%	-5%	-4%	-4%
$Q_{10}$	-19%	-20%	-19%	-15%	-17%	-18%
$Q_{20}$	-29%	-30%	-35%	-20%	-20%	-23%
$Q_{50}$	-37%	-38%	-41%	-28%	-30%	-31%
$Q_{100}$	-33%	-37%	-42%	-14%	-17%	-25%

Jak už bylo zmíněno výše, z porovnání transformace povodňové vlny revitalizovaným a upraveným typem koryta vyplynulo, že v revitalizovaném korytě probíhá za nižších průtoků mnohem větší transformace než u koryta upraveného. Pokud srovnáme výsledky transformace v upraveném korytě s původními hydrogramy, probíhají změny kulminačních průtoků dle očekávání. Co se ale dob kulminací týče, objevil se zde zajímavý efekt.

Pokud se transformace neúčastní niva toku nebo se účastní jen málo, zrychluje se nástup povodně. Například v konkrétním případě průtoků  $Q_1$  a variantě A2 je doba mezi počátkem a kulminací 55 min, zatímco po transformaci je doba mezi začátkem zvýšení průtoků, tedy

počátkem povodně, a jeho kulminací 39 min. Naopak při  $Q_{100}$  je prodloužení doby kulminace výrazné, dokonce větší, než v případě revitalizovaného koryta.

#### **4.2.8 H8: VĚTŠÍ OBJEM A POMALEJŠÍ NÁSTUP POVODNĚ ZPŮSOBÍ MENŠÍ TRANSFORMACI POVODNĚ**

Ze všech výše uvedených tabulek a grafů bez výjimek vyplývá, že zvětšení doby trvání a objemu povodně vede ke zmenšení míry transformace. Tato hypotéza tedy byla potvrzena. U upraveného koryta není snadné určit jednoznačný závěr, neboť u většiny parametrů dojde stejně jako u revitalizované varianty ke zhoršení, ale existuje zde několik výjimek. Za prvé se jedná o průtok  $Q_{10}$ , kdy vzhledem k delší době trvání a většímu objemu povodně dojde k větší transformaci nivou právě ve variantě B a za druhé se jedná o rozdíl mezi dobou nástupu povodně a její kulminací, který je relativně lepší také ve variantě B. To je způsobeno pravděpodobně větší šířkou povodňové vlny, která už nemá takové tendence ke změnám.

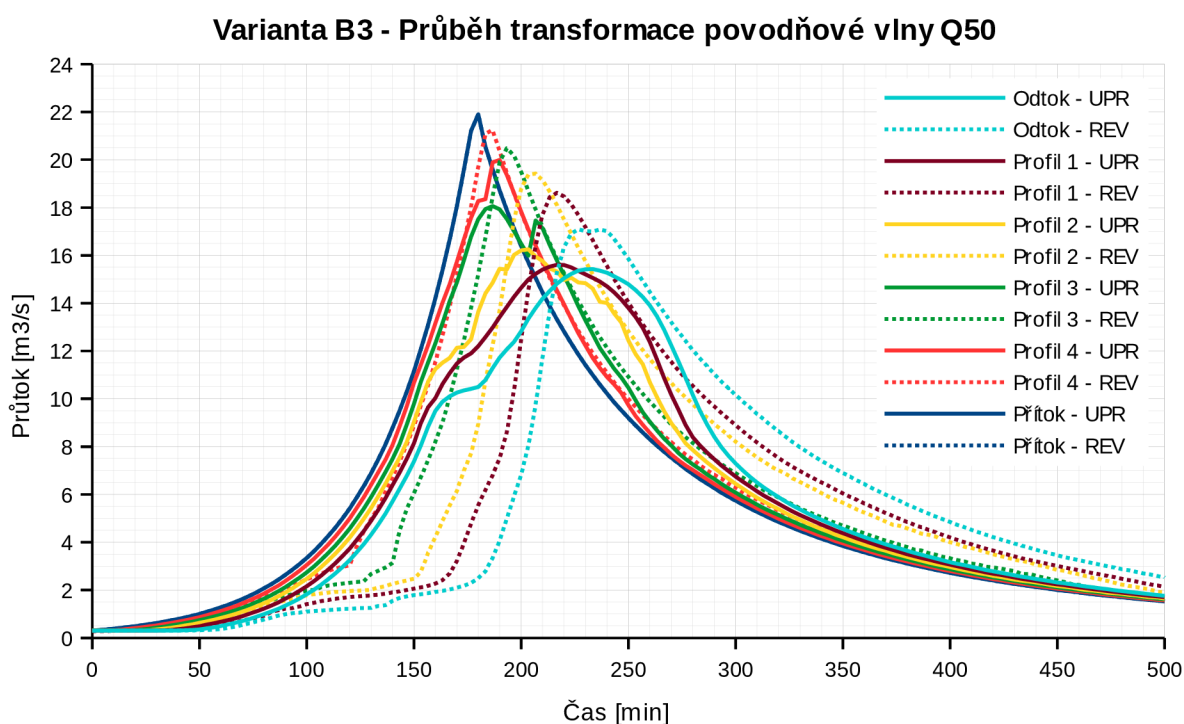
### **4.3 DISKUZE**

Podle očekávání nastala v revitalizovaném korytě větší transformace a zmenšila se hodnota kulminačního průtoku a zároveň se zvětšila doba, než ke kulminaci dojde. To ale platí pouze pro průtoky  $Q_{20}$  a menší, podle provedených výpočtů je pro transformaci  $Q_{100}$  lepší upravené koryto. Po srovnání obou hydrogramů a provedené analýzy dynamického šíření povodňové vlny plochou nivou bylo dospěno k závěru, že se obě varianty, co se dynamiky transformace týče, velmi liší.

V případě revitalizovaného koryta a velkých průtoků se povodňová vlna valí údolím bez ohledu na vlastní koryto toku. Všechny hydrogramy transformované povodně vypadají velmi podobně: prvně dojde k mírnému zvýšení průtoku, které je způsobené tokem vody v samotném revitalizovaném korytě, a až poté (někdy až po 60 min) přichází hlavní povodňová vlna. Ta je bržděna pouze sama sebou, tedy vzduším, které způsobuje čelo vlny.

V případě upraveného koryta je naopak zásadní kapacita upraveného koryta. (pozn.: povodňová vlna  $Q_{100}$  má kulminační průtok odpovídající asi dvaapůlnásobku kapacity koryta) To totiž převádí vodu mnohem rychleji než niva. Maximální rychlosti v nivě se pohybují kolem 1,2 m/s, tedy o trošku méně než v revitalizovaném korytě, v upraveném korytě dosahují rychlosti až 2,5 m/s. To způsobuje, že než do určitého profilu dorazí kulminace, voda z čela povodně již odtekla a nezasahuje tedy do maximálních průtoků.

V této věci bych rád upozornil na fakt, že proces transformace povodně v údolní nivě (jak u revitalizovaného, tak u upraveného koryta) je záležitost velice dynamická a záleží na mnoha faktorech, především pak na tvaru a sklonech terénu. Jak je vidět například v hydrogramech  $Q_{50}$  varianty B3 (viz následující graf), povodeň má v případě profilu 3 upraveného koryta dvě kulminace, stejně tak jako závěrový profil revitalizovaného koryta. To je způsobeno rozdílným časovým souběhem a kombinací jednotlivých proudů v nivě a v korytě toku.

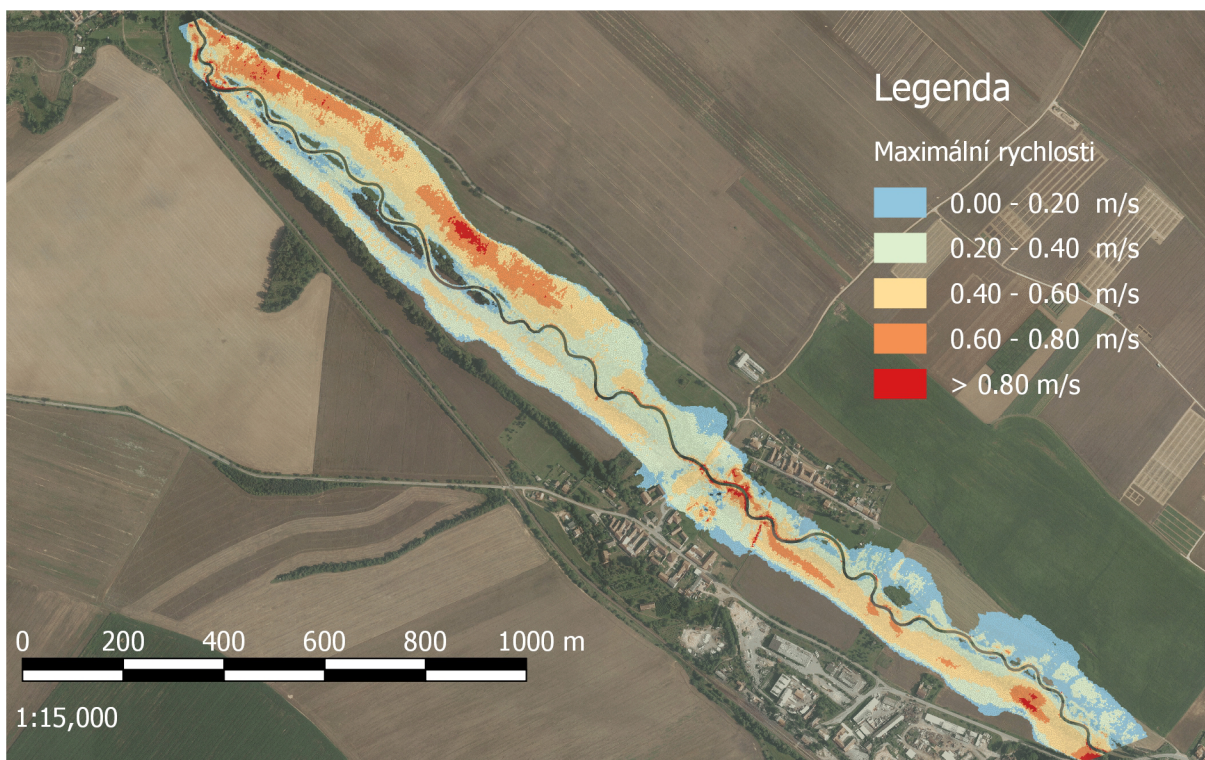


**Obr. 4.6: Graf průběhu transformace povodňové vlny  $Q_{50}$ , varianta B3**

V případě upraveného koryta zde prvně kulminuje v čase  $t = 187$  min hlavní povodňová vlna, tedy ta, která prochází v této části prostředkem údolí (hlavně korytem) a na jejím sestupu dorazí průtokově menší vlna z nivы s kulminací v čase  $t = 208$  min, která se šířila pomaleji. Mírně se to projeví ještě u profilu 2 a dále už po této epizodě nejsou žádné stopy, tedy kromě širší špičky hydrogramu. V případě revitalizovaného koryta dochází k něčemu podobnému, pouze zde hraje hlavní roli nikoliv levá strana nivы, jako v případě popsaném výše, ale pravá strana nivы.

Názornou ukázkou hlavních proudů vznikajících v nivě poskytuje následující mapa. Jedná se o rozložení maximálních rychlostí v nivě při hydrogramu  $2x Q_t Q_{100}$ , revitalizované varianty B4. Výsledné rozložení rychlostí nenastane v jednom okamžiku, ale jde o výskyt bodových maximálních rychlostí během celé povodňové epizody.





**Obr. 4.7: Zobrazení maximálních rychlostí v nivě při hydrogramu  $2x Q_1$ ,  $Q_{100}$  varianty B4**

Jak je z výše uvedeného obrázku patrné, v horní části protéká hlavní proud levou stranou nivy, zatímco pravou a prostřední částí protékají menší průtoky. Ve střední části, kde je niva vlivem navážky a v terénu nevýrazných příčných hrázek zúžena na cca 50 m, se všechny proudy spojí a dále se opět rozdělí na dva proudy, kdy dominantní protéká levou stranou nivy a vedlejší pak korytem a pravou částí nivy. Každý z těchto proudů se pohybuje jinou rychlostí a při různých hydrogramech se různě kombinují, proto v některých případech nenastanou velké rozdíly např. mezi  $Q_{20}$  a  $Q_{50}$ , jindy budou rozdíly velké.

Z tohoto obrázku je také patrné, že téměř celá plocha nivy se účastní aktivního průtoku, výjimkou jsou plochy u konce úseku. V cca 70 % nivy se vyskytují během povodňové epizody rychlosti větší než 0,4 m/s a vektory rychlostí vždy směřují směrem po proudě. (pozn.: toto platí pro případy, kdy nastane rychlost větší jak 0,4 m/s, při nástupu povodně směřují vektory rychlostí směrem od toku kolmo na něj) Nenastává tedy typické využití nivy při transformaci povodně, jako známe z větších toků, které mají nivu velmi širokou, a voda v ní má po čas povodně velmi malé rychlosti.

To je způsobeno vysokým podélným sklonem nivy, který v průměru dosahuje 0,5 %. To se dá také označit za slabinu této práce, protože veškeré výpočty probíhaly pouze v jednom typu

terénu, a nebylo tak ověřeno, zda se při jiném sklonu nebo šířce nivy, respektive při jiné konfiguraci celého terénu, nebudou výsledky významným způsobem lišit.

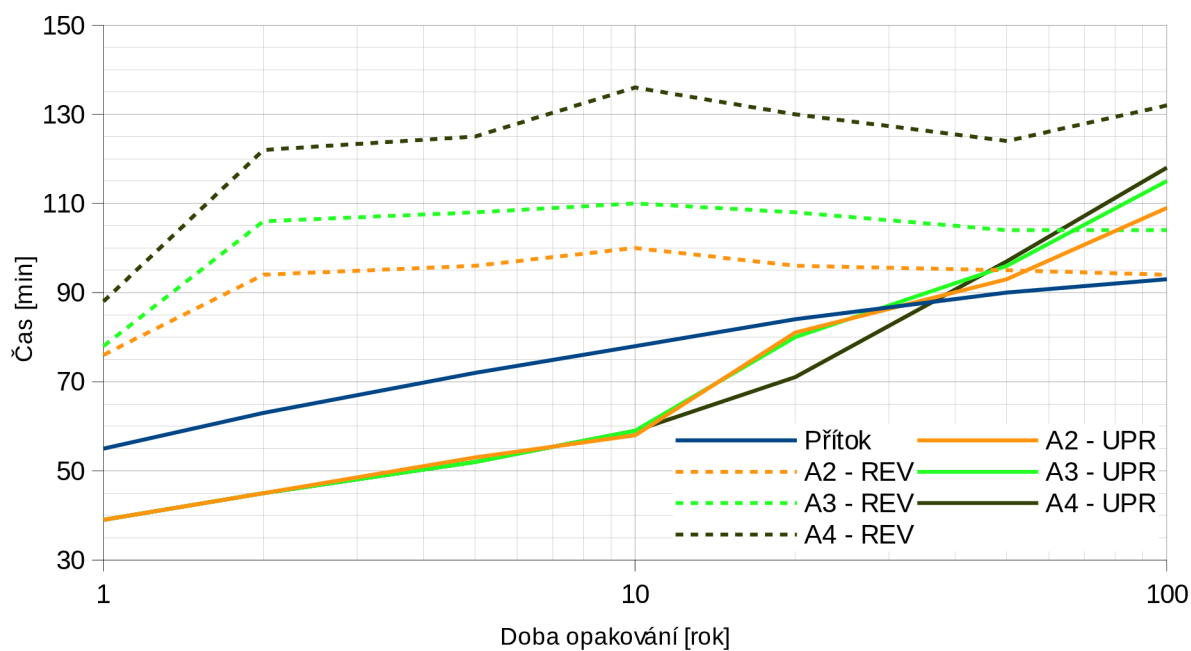
Další slabina této práce spočívá v použitých hydrogramech, tedy spíše v jednom typu použitého hydrogramu. Jak se ukázalo ve všech výpočtech s upraveným korytem, tedy se současným stavem, dochází k výrazné transformaci průtoků, kdy má hydrogram tendence se zplošťovat, tedy zvětšovat dobu trvání a snižovat kulminační průtok. Vzhledem k tomu, že pouhých 2,3 km toku mění tak výrazným způsobem hydrogram, měl by ho stejným způsobem měnit zbytek povodí.

Tato transformace navíc probíhá v terénu, kde byly odstraněny násypy a hráze, které způsobují další retardaci odtoku. Vzhledem k tomu, že se v celém povodí nachází desítky až stovky takových objektů, je očekáván jiný tvar hydrogramu. Poslední věcí je v případě hydrogramů otázka soutoku jednotlivých přítoků v povodí. V blízkosti přítoku do zájmového území se nachází soutok tří dílčích povodí o plochách přibližně 7, 24 a 56 km<sup>2</sup>, což by mělo způsobovat méně pravidelný tvar hydrogramu. Pokud by bylo zapotřebí určit přesné chování této části nivy, musel by být vypracován podrobný srážkoodtokový model včetně transformace povodňových průtoků po délce toku.

Tyto dvě slabiny způsobují, že závěry této práce nemohou být zobecňovány na všechny ostatní toky. V závislosti na hydrogramu povodně a geometrickém tvaru údolní nivy by měl být v této úrovni poznání každý další výpočet posuzován jednotlivě. Bylo by žádoucí vyhodnotit velké množství takovýchto projektů a zjistit, zda se dá dojít k jednoznačným závěrům, tedy zda a jak moc se vzhledem k otázce protipovodňové ochrany vyplatí investovat do revitalizace či renaturalizace v minulosti upravených koryt.

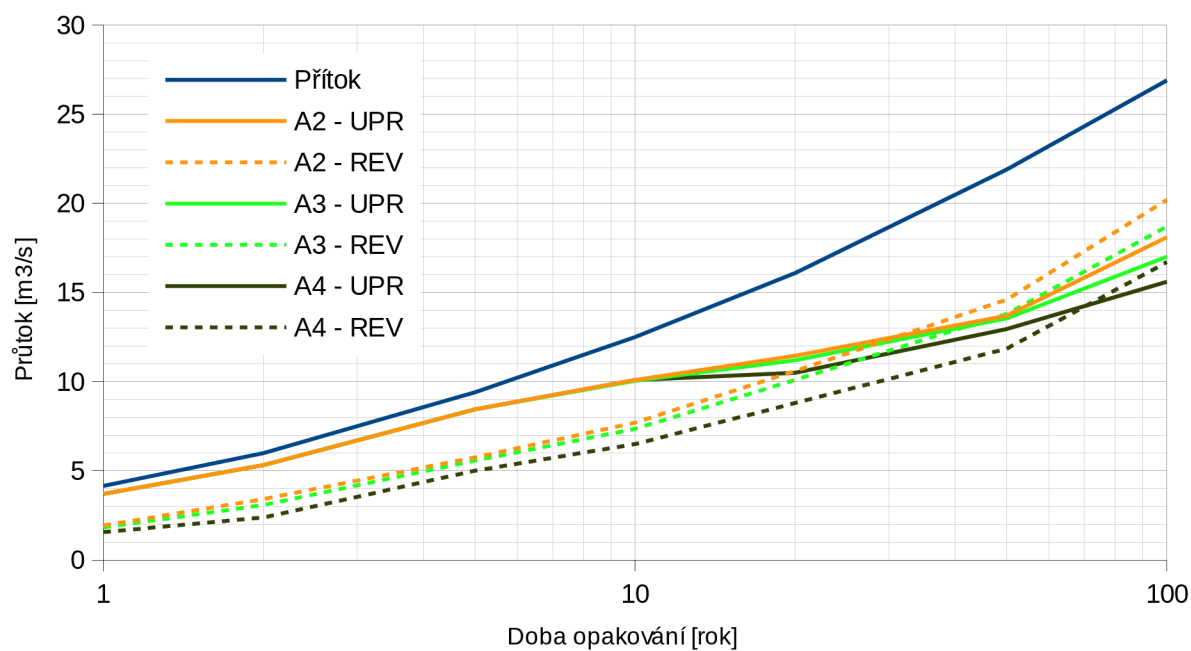
Pro zhodnocení užitečnosti revitalizace v této konkrétní lokalitě vzhledem k použitým hydrogramům jsou níže uvedeny dvě dvojice grafů, pro každý typ hydrogramů (normální a  $2x Q_t$ ). Jedná se o graf porovnávající doby kulminace v závislosti na N-letosti povodně a o graf porovnávající hodnoty kulminačních průtoků v závislosti na N-letosti povodně. Pro lepší zobrazení jednotlivých hodnot jsem zvolil logaritmické měřítko N-letostí. Revitalizovaná varianta je znázorněna čárkovaně, upravená varianta plnou čarou.

### Porovnání transformací kulminačních dob povodňových vln



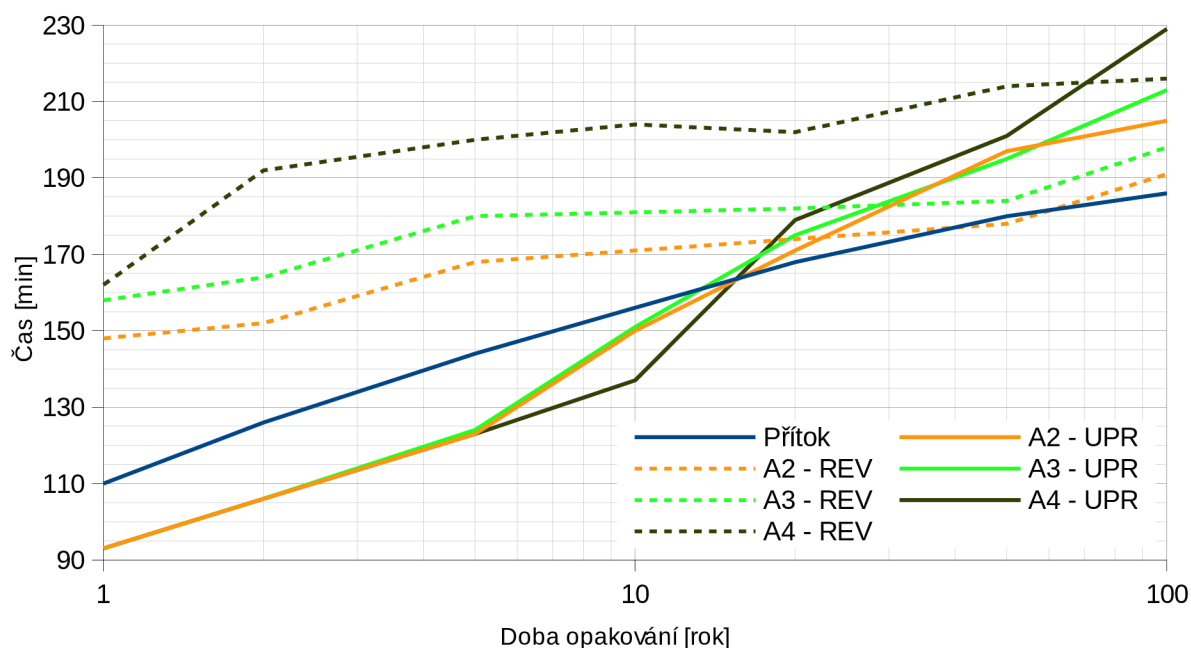
Obr. 4.8: Graf porovnání kulminačních dob povodňových vln, varianty A

### Porovnání transformací kulminačních průtoků povodňových vln



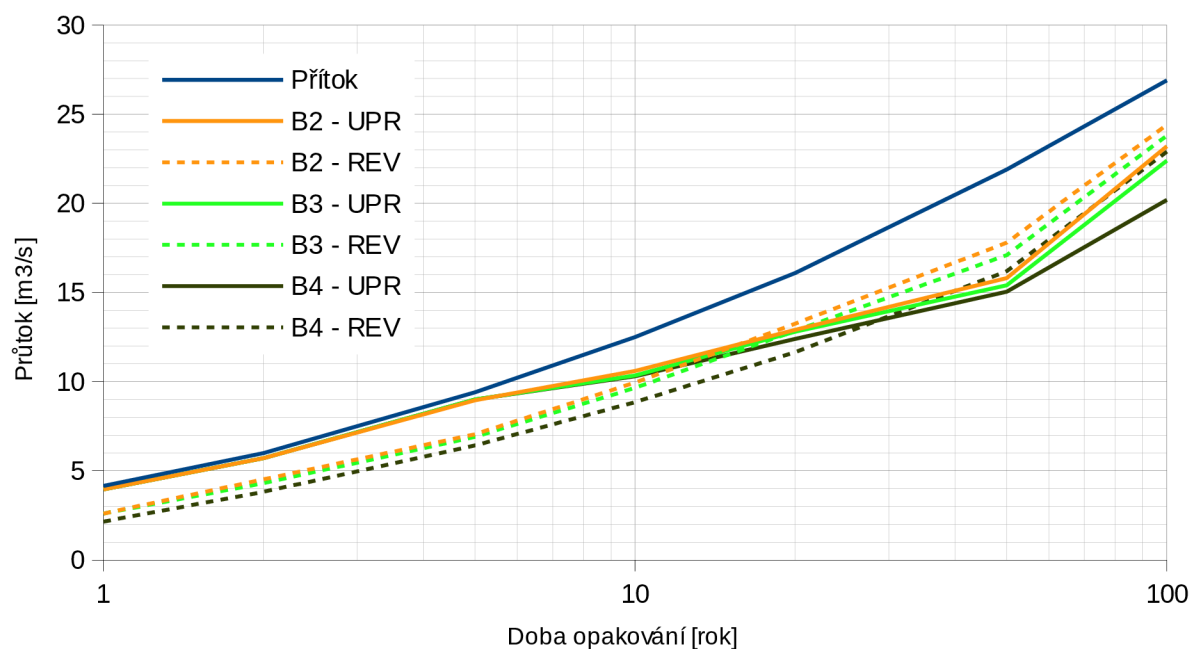
Obr. 4.9: Graf porovnání kulminačních průtoků povodňových vln, varianty A

### Porovnání transformací kulminačních dob povodňových vln $2x Q_t$



**Obr. 4.10: Graf porovnání kulminačních dob povodňových vln, varianty B**

### Porovnání transformací kulminačních průtoků povodňových vln ( $2x Q_t$ )



**Obr. 4.11: Graf porovnání kulminačních průtoků povodňových vln, varianty B**

Z výše uvedených grafů vyplývá, že v případě upraveného koryta se příznivěji transformují průtoky  $Q_{50} - Q_{100}$ , v případě revitalizovaného koryta průtoky  $Q_1 - Q_{50}$ . Co je ale důležité,

transformace průtoků v upraveném korytě přibližně do  $Q_{20}$  vzhledem k původním hydrogramům situaci zhoršují, co se doby kulminace týče. Velmi užitečné by bylo zjistit, jak se chová celé povodí jako takové, protože kombinací průtoků v upravených korytech můžeme získat diametrálně odlišné hydrogramy než v případě revitalizovaného povodí.

#### 4.4 ZHODNOCENÍ NEJISTOT

Ve výpočtech není uvažováno se ztrátami vsakem a výparem. Hlavní část povodňové vlny trvá pouze jednotky hodin a výpar i vsak bude vzhledem k objemům povodní minimální, odhadem maximálně v desetinách procent. Dále byl zanedbán přítok z mezipovodí, ten byl ale kompenzován hydrogramem povodně, protože ten byl odvozován pro závěrový profil, tedy i s mezipovodím výpočtové oblasti.

Na několika hydrogramech byl kontrolován objem přitekly a oteklé vody a odchylka se pohybovala mezi 0,2-1,0 %. Vzhledem k tomu, že dle mapy hloubek z posledního výpočtového kroku existovala místa, kde se zdržovala voda i po povodni, přisuzuji tuto odchylku pasivní retenci povodí. Velikost této odchylky by odpovídala závěrům studie Hydrologické procesy v nivách a jejich význam pro retenci vody, kde bylo pro povodí Lužnice zjištěna pasivní retence v nivě Lužnice 0,42 % pro PV20 a 0,26 % pro PV100.<sup>1</sup>

---

1 PITHART, David, Tomáš DOSTÁL, Jakub LANGHAMMER, Bohumír JANSKÝ a kol. *Význam retence vody v říčních nivách*. 1. vydání. Praha, 2012. ISBN 978-80-260-3697-5.

## 5 ZÁVĚR

V této práci byla porovnána rozdílnost transformací povodňových událostí v existujícím, technicky upraveném korytě a v navrhovaném, revitalizovaném korytě, které díky své malé průtočné kapacitě na úrovni  $Q_{30d}$  způsobuje větší zapojení nivy toku do transformací obecně. Celkem bylo pomocí kombinovaného 1D/2D výpočtového modelu simulováno 84 různých kombinací hydrogramů, morfologie terénu a hospodářského využití nivy. Dílčí výsledky těchto simulací byly shromážděny a posuzovány pomocí předem stanovených hypotéz.

Bylo zjištěno, že chování upraveného a revitalizovaného koryta se při různých průtocích liší. Při PV1 - PV10 je transformace kulminačních průtoků v revitalizovaném korytě o 20-50 %, v případě doby kulminací o 20-100 % příznivější než v korytě upraveném. U něj nastává situace, že dojde k urychlení kulminace, která se dostaví o 15-30 % dříve. Opačná situace je u  $Q_{100}$ , kdy jsou kulminační průtoky o 4-10 % a doby kulminací o 3-7 % příznivější u upraveného koryta.

Dále bylo zjištěno, že v případě revitalizace dojde k mnohem většímu a častějšímu zaplavení pozemků kolem toku, a to od 40 % při  $Q_{100}$  po 800 % při  $Q_{10}$ . Při nižších průtocích nedojde u upraveného koryta k vybřežení. Z další analýzy také vyplývá, že zatímco nástup hlavní povodňové vlny je do průtoků  $Q_{10}$  u revitalizovaného koryta velmi mírný a velmi příkrý u koryta upraveného, při  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$  je tato situace opačná a také, že ve spodní části hydrogramu se délka trvání v obou případech neliší, ale že horní část je v případě revitalizovaného koryta vždy užší, tedy má kratší dobu trvání.

Bylo potvrzeno, že k maximální transformaci u revitalizovaného koryta dojde při nejnižších průtocích a že transformace větších povodňových průtoků je sice malá, ale ne zanedbatelná. Posledním zjištěním bylo, že pomalejší nástup a větší objem způsobuje menší transformaci povodňové vlny. I když tento fakt nebyl zkoumán, bylo zjištěno, že hlavní proudy se i v této relativně úzké nivě nemusí propagovat středem údolí, tedy místem, kde je koryto.

Všechna tato zjištění platí pro v této práci použitou topologii terénu a pro v této práci použitý typ hydrogramů povodňových vln. V případě zobecnění získaných dat by bylo potřeba provést výzkum na větším počtu případových studií, nejlépe ve spojení se srážkoodtokovým modelem, který by lépe reflektoval místní podmínky a hlavně s transformací průtoků na celém povodí, protože upravené nebo revitalizované koryta v povodí se jako komplex budou velmi

pravděpodobně chovat odlišně a můžou výrazným způsobem ovlivnit vstupní hydrogramy pro nižší části povodí.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 6.1 LITERATURA

- JUST, Tomáš. *Vodobospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Praha: Český svaz ochránců přírody, 2005, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.
- PITHART, David, Tomáš DOSTÁL, Jakub LANGHAMMER, Bohumír JANSKÝ a kol. *Význam retence vody v říčních nivách*. 1. vydání. Praha, 2012. ISBN 978-80-260-3697-5.
- ŠINDLAR, Miloslav. *Geomorfologické procesy vývoje vodních toků*. Vyd. 2. Hradec Králové: Sindlar Group, 2012, 148 s. ISBN 978-80-254-2445-2.

### 6.2 INTERNETOVÉ ZDROJE

- ČÚZK: *Geoportál*. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/%28S%281arwmntb3d2nszejpqnrdw%29%29/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302>
- *Discover QGIS*. [online]. [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://qgis.org/en/site/about/index.html>
- *ETH - D-BAUG - VAW - Basement - References*. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.basement.ethz.ch/ref/index>
- *Geologická mapa 1 : 25 000*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: [http://mapy.geology.cz/geocr\\_25/](http://mapy.geology.cz/geocr_25/)
- *Geologická mapa 1 : 50 000*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace>
- HANEL, Martin, Ladislav KAŠPÁREK, Magdalena MRKVIČKOVÁ et. al. *Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*.



VÚV TGM, Praha 2011. [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z:  
[http://www.vuv.cz/fileadmin/user\\_upload/pdf/publikace/Hanel\\_Odhad-02.pdf](http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/publikace/Hanel_Odhad-02.pdf)

- *HEC-RAS*. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z:  
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- *Horopisné členění České republiky*. [online]. [cit. 2014-12-16]. Dostupné z:  
[http://www.trasovnik.cz/k\\_ainfcr/horopis/horopis.asp](http://www.trasovnik.cz/k_ainfcr/horopis/horopis.asp)
- *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- *Objekty DIBAVOD*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z:  
<http://www.dibavod.cz>
- *Problížečící služba WMS - ZM 200*. [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z:  
[http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM200\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM200_PUB/WMSservice.aspx)
- *Problížečící služby: II. vojenské mapování*. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z:  
<http://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/>
- *Průměrná roční teplota vzduchu za období 1961-1990*. [online]. [cit. 2014-12-18].  
Dostupné z:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/sra6190.gif>
- *QGIS*. [online]. [cit. 2014-12-22]. Dostupné z:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/QGIS>
- *Revitalizace vodních toků*. [online]. [cit. 2014-12-12]. Dostupné z:  
<http://www.dotace.nature.cz/voda-opatreni/revitalizace-vodnich-toku.html>
- *Rhone - Thur*. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.rhone-thur.eawag.ch>
- SMELÍK, Lukáš. *Katalog drsností*. [online]. [cit. 2014-11-20]. Dostupné z:  
<http://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/>

- *Zatřídění hydrologických údajů*. [online]. [cit 2015-01-03]. Dostupné z:  
[http://voda.chmi.cz/hr04/images/o\\_4\\_1.jpg](http://voda.chmi.cz/hr04/images/o_4_1.jpg)

### 6.3 OSTATNÍ ZDROJE

- ČHMÚ. *Hydrologické údaje povrchových vod, značka P14007199/561*. 2014-12-01.
- *Plán oblasti povodí Dyje*. Povodí Moravy, s.p., 2009. Průvodní list útvaru povrchových vod Plánu oblasti povodí Dyje 2010 - 2015.
- US Army Corps of Engineers. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual*. Verze 4.1. Leden 2010.
- VETSCH D. et al. *System Manuals of BASEMENT, Version 2.4*. Laboratory of Hydraulics, Glaciology and Hydrology (VAW). ETH Zurich.
- Zákon 254/2001 Sb. *Zákon o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon)*. Červen 2001, §64, odstavec (1)

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$2 \times Q_t$	- Hydrogram povodně s dvojnásobnou dobou trvání
ČOV	- Čistírna odpadních vod
DMT	- Digitální model terénu
PVN	- Povodňová vlna s periodicitou opakování N let
$Q_N$	- Průtok s periodicitou opakování N let
$Q_{md}$	- Průtok s pravděpodobností překročení m dní v roce
s.p.	- Státní podnik

## 8 SEZNAM MAP, GRAFŮ A FOTOGRAFIÍ

Obr. 2.1: Geografická poloha zájmové oblasti.....	9
Obr. 2.2: Výškopis a dílčí povodí IV. řádu zájmové oblasti.....	10
Obr. 2.3: Geologická mapa zájmové oblasti.....	11
Obr. 3.1: Ukázka práce v programovém prostředí QGIS.....	18
Obr. 3.2: Ukázka práce v programu BASEMENT.....	20
Obr. 3.3: Ukázka vizualizace výpočtu v programu BASEMENT.....	21
Obr. 3.4: Graf průběhu teoretických povodňových vln Q5 a Q100.13.....	23
Obr. 3.5: Graf průběhu teoretických povodňových vln Q1 až Q100.....	24
Obr. 3.6: Graf porovnání průběhů povodňových vln $Q_t$ a $2x Q_t$ .....	26
Obr. 3.7: DMT ve variantě s upraveným korytem.....	28
Obr. 3.8: Zařazení toku dle trendu středního výskytu geomorfologických procesů v dynamické rovnováze.....	29
Obr. 3.9: Mapa zájmového území, II. vojenské mapování.....	30
Obr. 3.10: DMT ve variantě s revitalizovaným korytem.....	31
Obr. 3.11: Fotografie koryta, střední část úseku.....	32
Obr. 3.12: Mapa drsností v revitalizované variantě A1.....	38
Obr. 3.13: Mapa drsností v upravené variantě A1.....	39
Obr. 3.14: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A2 a B2.....	40
Obr. 3.15: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A3 a B3.....	40
Obr. 3.16: Mapa drsností v upravené i revitalizované variantě A4 a B4.....	41
Obr. 3.17: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q1.....	42
Obr. 3.18: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q2.....	42
Obr. 3.19: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q5.....	43
Obr. 3.20: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q10.....	43
Obr. 3.21: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q20.....	44
Obr. 3.22: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q50.....	44
Obr. 3.23: Varianta A1 - Graf transformace povodňové vlny Q100.....	45
Obr. 3.24: Příklad zobrazení výsledných grafů - varianta A4, průtok Q20.....	46
Obr. 4.1: Porovnání simulovaných rozlivů Q100 a rozlivů Q100 z databáze DIBAVOD.....	48
Obr. 4.2: Graf porovnání doby kulminací při různých drsnostech u revitalizovaného koryta.....	54
Obr. 4.3: Graf porovnání kulminačních průtoků při různých drsnostech u revitalizovaného koryta.....	54
Obr. 4.4: Graf porovnání doby kulminací při různých drsnostech u upraveného koryta.....	55
Obr. 4.5: Graf porovnání kulminačních průtoků při různých drsnostech u revitalizovaného koryta.....	55
Obr. 4.6: Graf průběhu transformace povodňové vlny Q50, varianta B3.....	59
Obr. 4.7: Zobrazení maximálních rychlostí v nivě hydrogramu $2x Q_t$ Q100 varianty B4.....	60
Obr. 4.8: Graf porovnání kulminačních dob povodňových vln, varianty A.....	62
Obr. 4.9: Graf porovnání kulminačních průtoků povodňových vln, varianty A.....	62
Obr. 4.10: Graf porovnání kulminačních dob povodňových vln, varianty B.....	63
Obr. 4.11: Graf porovnání kulminačních průtoků povodňových vln, varianty B.....	63

## 9 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: N-leté průtoky toku Rokytka pro závěrový profil zájmového území.....	12
Tab. 3.1: Tabulka parametrů PC, použitého k výpočtům.....	22
Tab. 3.2: Koeficienty mocninných rovnic sestupné části hydrogramů.....	25
Tab. 3.3: Součinitele drsnosti užívané ve 2D modelu.....	33
Tab. 3.4: Přehledná tabulka definic variant A2 - B4.....	39
Tab. 4.1: Porovnání relativních rozdílů dob kulminací.....	49
Tab. 4.2: Porovnání relativních rozdílů kulminačních průtoků.....	50
Tab. 4.3: Porovnání relativních rozdílů zaplavených ploch.....	50
Tab. 4.4: Porovnání strmosti křivky nástupu povodně.....	51
Tab. 4.5: Porovnání dob trvání 10 % průtoku původního hydrogramu.....	52
Tab. 4.6: Porovnání dob trvání 30 % průtoku původního hydrogramu.....	52
Tab. 4.7: Porovnání dob trvání 50 % průtoku původního hydrogramu.....	53
Tab. 4.8: Porovnání relativní změny dob kulminací u revitalizovaného koryta.....	56
Tab. 4.9: Porovnání relativní změny kulminačních průtoků u revitalizovaného koryta.....	56
Tab. 4.10: Porovnání relativní změny dob kulminací u upraveného koryta.....	57
Tab. 4.11: Porovnání relativní změny kulminačních průtoků u revitalizovaného koryta.....	57



## **PŘÍLOHA 2 - TABULKY**

Příloha 2.A.....	Souhrnná tabulka dob kulminací
Příloha 2.B.....	Souhrnná tabulka kulminačních průtoků
Příloha 2.C.....	Souhrnná tabulka zaplavených ploch
Příloha 2.D.1.....	Souhrnná tabulka časů překročení 10 % hranice průtoku
Příloha 2.D.2.....	Souhrnná tabulka časů překročení 30 % hranice průtoku
Příloha 2.D.3.....	Souhrnná tabulka časů překročení 50 % hranice průtoku

## **PŘÍLOHA 3 - MAPY**

Příloha 3.A.....	Mapa zájmového území 1:6 500 (Ortofotomapa, ZM)
Příloha 3.B.....	Mapa reliéfu a nadmořských výšek původního DMT (1 : 6 500)
Příloha 3.C.1.....	Mapa reliéfu a nadmořských výšek upraveného DMT - varianta .....s upraveným korytem (1 : 6 500)
Příloha 3.C.2.....	Mapa reliéfu a nadmořských výšek upraveného DMT - varianta .....s revitalizovaným korytem (1 : 6 500)

## **PŘÍLOHA 4 - FOTODOKUMENTACE**

## **PŘÍLOHA 5 - VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE**

Příloha 5.A.....	Podélný a příčný profil upraveného koryta
Příloha 5.B.....	Podélný a příčný profil revitalizovaného koryta