VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

POSOUZENÍ KAPACITY KORYTA

ESTIMATING THE FLOW CAPACITY OF RIVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — VÁCLAV LORENC
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Václav Lorenc
Název	Posouzení kapacity koryta
Vedoucí bakalářské práce	Ing. David Duchan, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	11. 3. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 11. 3. 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ fakulta stavební DĚKANÁT -29-

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Literatura:
ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.
MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".

Podklady:
Digitální model terénu.
Zaměření toku - příčné a podélný profil.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci vybraného úseku toku bude provedena simulace povodňových průtoků. Na základě hydraulických výsledků bude provedeno zhodnocení situace na toku za povodňových stavů a bude proveden návrh protipovodňových ochran.

Požadované výstupy:
Průvodní zpráva
Mapové výstupy

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

3.

.....

Ing. David Duchan, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakty a klíčová slova

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá posouzením kapacity koryta stávajícího toku Jihlava v říčním kilometru 136,5 až 139,5 v obci Malý Beranov. Na vybrané lokalitě bylo modelováno proudění povrchové vody při povodňových průtocích Q_1, Q_5, Q_{20} a Q_{100}. Na základě informací o využití území, pochůzky a následnému výpočtu proudění byly určeny lokality pro návrh protipovodňové ochrany. V místech, kde docházelo k problémům, byla navržena prohrábka dna. Ve vybraných úsecích byl proveden návrh ochranné zemní hrázky a betonové zídky. Na základě návrhu protipovodňové ochrany byl model upraven a účinnost opatření byla ověřena výpočtem. Výsledky proudění, s ohledem na navrženou protipovodňovou ochranu, jsou zobrazeny v přehledných mapách.

Klíčová slova

Malý Beranov, řeka Jihlava, kapacita, povodně, HEC-RAS, ArcMap, Civil 3D, DMT, protipovodňová ochrana

Abstract

The bachelor thesis is dealing with the watercourse`s capacity assessment of the river Jihlava on the kilometers 136,5 to 139,5 in the village Maly Beranov. In the chosen locality was made a model of the surface water flow during the flood flow rate $Q_1$, $Q_5$, $Q_{20}$ and $Q_{100}$. Based on the gathered information about the area`s utilization, errand and following calculation of the flow, the areas for a potential flood protection were identified. In the problematic locations was suggested to dredge the bottom. In selected sections was made a draft of protective earth dam and concrete wall. According to the draft of flood protection, the model of surface water flow was adapted and the efficiency of flood protection was verified by calculations. All the results are published in clear maps.

Keywords

Maly Beranov, river Jihlava, capacity, flood, HEC-RAS, ArcMap, Civil 3D, DMT, flood protection

Bibliografická citace VŠKP

Václav Lorenc *Posouzení kapacity koryta.* Brno, 2016. 82 s., 34 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 26. 5. 2016



.....

podpis autora

Václav Lorenc

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2016

Lorenc

.....

podpis autora

Václav Lorenc

Poděkování:

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, ochotu a rady při vytvoření této práce.
Tato bakalářská práce byla zpracována na základě využití zapůjčených dat Zeměměřičským úřadem.

Obsah:

1. Úvod ..... - 11 -
2. Cíle ..... - 12 -
3. Teorie ..... - 13 -
3.1. Typy proudění ..... - 13 -
3.1.1. Ustálené rovnoměrné proudění ..... - 13 -
3.1.2. Složené profily ..... - 17 -
3.1.3. Ustálené nerovnoměrné proudění ..... - 18 -
3.2. Metoda po úsecích ..... - 20 -
4. Popis lokality ..... - 22 -
4.1. Povodí Dyje ..... - 22 -
4.1.1. Hydrologické poměry ..... - 23 -
4.1.2. Klimatické poměry ..... - 24 -
4.2. Popis řeky Jihlava ..... - 25 -
4.2.1. Geologické a geomorfologické poměry ..... - 26 -
4.3. Popis řešeného úseku ..... - 27 -
4.3.1. Hydrologická data ..... - 27 -
4.3.2. Popis objektů na řešeném úseku ..... - 28 -
4.4. Průběhy historických povodní ..... - 29 -
5. Vstupní data ..... - 32 -
5.1. Podklady pro DMT ..... - 32 -
5.2. Mapové podklady ..... - 32 -
6. Postup vypracování ..... - 34 -
6.1. Připojení podkladových dat ..... - 35 -
6.1.1. Připojení dat z DIBAVODU do Civil 3D ..... - 35 -
6.1.2. Připojení dat z DIBAVODU do ArcMap ..... - 37 -
6.2. Tvorba DMT ..... - 38 -
6.2.1. Příprava pro tvorbu DMT v programu CIVIL 3D ..... - 38 -
6.2.2. Tvorba vlastního DMT v programu ArcMap ..... - 39 -
6.2.3. Přiřazení výškových souřadnic vytvořeným liniím z DMR 5G ..... - 41 -
6.2.4. Tvorba povrchu DMT v programu CIVIL 3D ..... - 43 -
6.3. Tvorba digitálního modelu koryta ..... - 45 -
6.3.1. Zpracování vstupních dat v programu MS Excel ..... - 45 -
6.3.2. Tvorba digitálního modelu koryta ..... - 45 -
6.3.3. Export z CIVIL 3D do HEC-RAS ..... - 50 -

6.4. Příprava numerického modelu ... - 50 -
6.4.1. Vložení objektů ... - 50 -
6.4.2. Určení drsností koryta ... - 51 -
6.4.3. Úprava modelu koryta ... - 52 -
7. Hydrotechnické výpočty ... - 53 -
7.1. Posouzení kapacity koryta v současném stavu ... - 53 -
7.2. Stanovení rozlivů ... - 62 -
7.3. Návrh PPO ... - 63 -
7.3.1. Prohloubení koryta – SO1 ... - 64 -
7.3.2. Výstavba ochranné hrázky – SO2 ... - 65 -
7.3.3. Výstavba ochranné zídky – SO3 ... - 66 -
7.4. Posouzení kapacity koryta po provedení PPO ... - 67 -
7.5. Zhodnocení účinnosti PPO ... - 72 -
8. Závěr ... - 75 -
9. Zdroje ... - 76 -
9.1. Podklady ... - 76 -
9.2. Literatura ... - 76 -
Seznam tabulek: ... - 77 -
Seznam obrázků: ... - 78 -
Seznam použitých zkratek a symbolů: ... - 80 -
Seznam příloh: ... - 82 -

1. Úvod

Povodně jsou v České republice častým jevem, který se opakuje v pravidelných intervalech. Na základě sledování a měření již můžeme říci, že se jedná o přírodní katastrofy, které lze v budoucnu opět očekávat. Příčinou vzniku povodně je souhra faktorů meteorologických (např. srážky), geografických (např. terén a jeho vlastnosti) a v neposlední řadě také antropogenních. Předpokladem však zůstává, že s rostoucí intenzitou teplotních extrémů může docházet k častějšímu výskytu povodní. Následky záplav bývají tragické a ničivé, jak nás o tom mohla přesvědčit asi nejhorší povodeň z roku 1997 na povodí řek Moravy a Odry. Hodnoty rozsahu ploch zaplaveného území a doby trvání v kombinaci s vysokými kulminačními průtoky se černě zapsaly do statistik ČHMÚ. Za zmínku zcela jistě stojí také roky 2002, 2006 a 2010, kdy tající sníh a velmi intenzivní deště způsobily velké problémy na celém území ČR. Bohužel není v našich silách tento problém zcela vyřešit, ale vhodnými prostředky jsme schopni hmotné škody zmírnit a především zabránit ztrátám na životech občanů.

2. Cíle

Cílem této práce je zhodnocení stavu z hlediska protipovodňové ochrany řeky Jihlavy (v ř. km 136,5 – 139,5). Toto zhodnocení sestává z analýzy ohledně kapacity toku, zjištění stávajícího stavu a schopnosti ochrany při N-letých průtocích. Jako nástroj budou použity programy HEC-RAS, Civil 3D a ArcMap.

Cíle práce tedy jsou:

- Posouzení stávající kapacity koryta,
- Stanovení rozlivů Q_{20},Q_{100},
- Navržení PPO.

3. Teorie

Tato kapitola se věnuje popisu typů proudění povrchových vod v korytech a jejich metod řešení v 1D modelu.

3.1. Typy proudění

Proudění v korytech lze rozdělit do dvou následujících skupin:

- Ustálené proudění (stacionární) – při tomto typu proudění jsou hydraulické veličiny v čase neměnné, závisí pouze na jejich poloze. Tento typ proudění lze dále dělit na rovnoměrné a nerovnoměrné.

  - Rovnoměrné proudění – jedná se o speciální typ proudění ustáleného, podstatou je však konstantní průřez po celé délce počítaného úseku. Při tomto pohybu je neměnný i průtok Q, což zajišťuje konstantnost průřezové rychlosti v a dalších hydraulických charakteristik jako jsou průtočná plocha A, omočený obvod O, sklon dna i_o, hloubka h a drsnost koryta n.

  - Nerovnoměrné proudění – V tomto případě je konstantní pouze průtok. Veškeré ostatní hydraulické veličiny jsou po délce úseku proměnné. Nerovnoměrné proudění se vyskytuje v přirozených korytech.

- Neustálé proudění (nestacionární) – je takové proudění, kde hydraulické veličiny jsou závislé na čase i jejich poloze. Jelikož toto proudění není v práci využito, nebudeme se mu blíže věnovat.

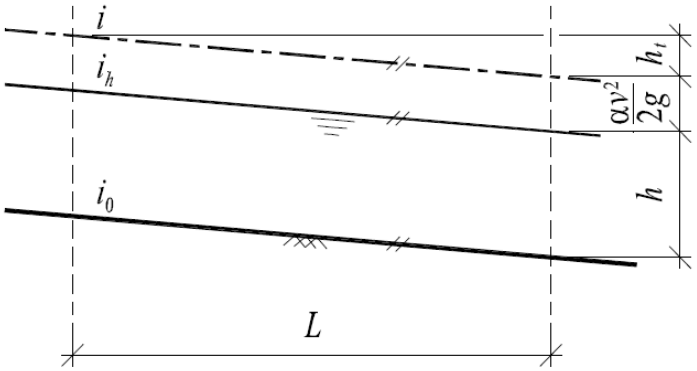
3.1.1. Ustálené rovnoměrné proudění

Tento typ proudění se vyskytuje pouze na tocích, které byly upraveny do konstantního příčného profilu (A, O). Takto upravená koryta nazýváme „prizmatická“. Jak již bylo zmíněno výše, hydraulické veličiny jsou konstantní (Obrázek 1).

Postup výpočtu při ustáleném rovnoměrném proudění:

Při tomto výpočtu se předpokládá:

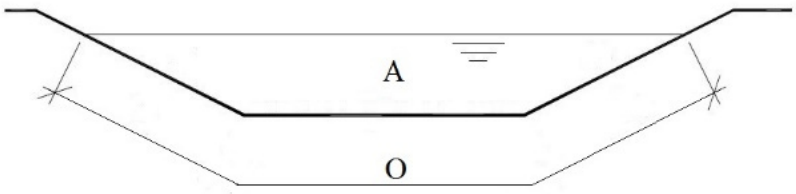
- Proměnnost tlaku ve vodě podle pravidel hydrostatiky.
- Sklony dna jsou tak malé, že lze nahradit délku proudu průmětem do vodorovné roviny. Jednotlivé průřezy poté nahradíme svislými řezy.



Obrázek 1 - Ustálené proudění

Pro výpočet průtoku Q je nezbytné v první řadě zjistit průtočnou plochu A [m^2] a omočený obvod O [m] v řešeném profilu (Obrázek 2). Z těchto dvou veličin jsme schopni dopočítat hydraulický poloměr R [m]:

$$R = \frac{A}{O}. \tag{1}$$



Obrázek 2 - Určení základních charakteristik profilu

Dále je nutné vypočítat rychlostní vztah C. Nejčastěji je používán vztah dle Pavlovského a Manninga.

Pavlovského rychlostní vztah

$$C = \frac{1}{n}R^{y},\ y = 2{,}5\sqrt{n}\ -\ 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1), \tag{2}$$

kde *n* je drsnostní součinitel vztažený k celému omočenému obvodu [-] a *R* hydraulický poloměr [m].

Manningův rychlostní vztah

Vznikl až po experimentech s exponentem *y*, který je použit v Pavlovského vzorci. Zjištěním po těchto experimentech byl fakt, že exponent v praxi kolísá minimálně, což dalo podnět ke vzniku zjednodušeného Manningova rychlostního vztahu, ve kterém se uvažuje střední hodnota *y* = 1,6.

$$C = \frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}, \tag{3}$$

kde *n* je drsnostní součinitel vztažený k celému omočenému obvodu [-] a *R* hydraulický poloměr [m].

Stanovení drsnostního součinitele n

Stanovení drsnostního součinitele dle Stricklera:

$$n = \frac{1}{a}d^{\frac{1}{6}}, \tag{4}$$

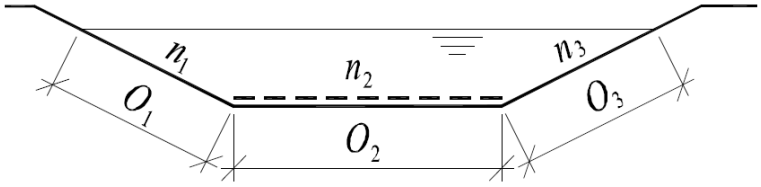
kde *a* je konstanta nabývající různých hodnot, pro Stricklera lze uvažovat 21,1 a *d* je charakteristické zrno [mm]. Tento vztah představuje nejčastěji používané určení drsnosti dna v korytech s volnou hladinou.

Dále lze drsnostní součinitel stanovit pomocí různých autorů výpočty, empiricky odvozenými vzorci či metodou dle COWANA. [B3] V neposlední řadě je možnost využít již existujících tabulek či obrázkových katalogů, které vznikly odbornými pracovníky na základě jejich zkušeností z praxe.

V převážné většině případů se setkáme v jednom příčném profilu s více typy povrchů (Obrázek 3), které je nutno zahrnout do výpočtu. Stanovení průměrné drsnosti v profilu lze spočítat dle vzorce:

$$n = \frac{n_1 O_1 + n_2 O_2 + n_3 O_3}{O_1 + O_2 + O_3}, \tag{5}$$

kde n_i je drsnostní součinitel [-] a O_i je dílčí část omočeného obvodu [m] pro i={1,2,3}.



Obrázek 3 - Profily o různých drsnostech

Výpočet průřezové rychlosti pro ustálené proudění stanovíme pomocí Chézyho rovnice:

$$v = C\sqrt{Ri}, \tag{6}$$

kde C je rychlostní součinitel [$m^{0,5}$/s], R hydraulický poloměr [m] a i sklon čáry energie [-].

Pro výpočet průtoku použijeme rovnici kontinuity:

$$Q = vA, \tag{7}$$

kde v je průřezová rychlost [m/s] a A průtočná plocha [m^2].

Dosazením rovnice (6) do rovnice (7) získáme upravený tvar:

$$Q = AC\sqrt{Ri}, \tag{8}$$

kde A je průtočná plocha [m^2], C rychlostní součinitel [$m^{0,5}$/s], R hydraulický poloměr [m] a i sklon čáry energie [-].

Tento způsob výpočtu je uplatňován pro jednoduchá koryta. V následující kapitole bude popsána problematika výpočtu složitějších složených příčných profilů.

3.1.2. Složené profily

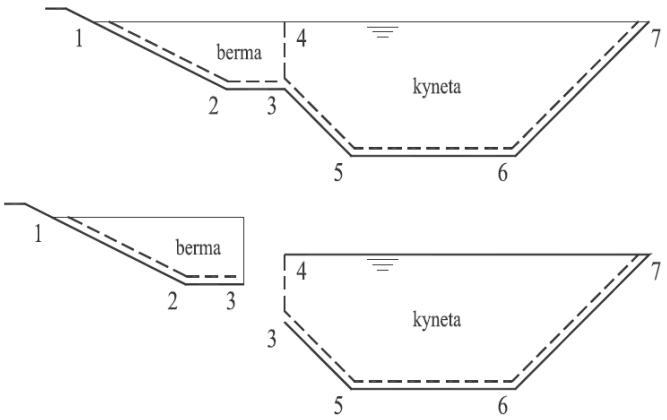
Složeným profilem se rozumí spojení hlavní části průtočného profilu (kynety) s jednostrannou či oboustrannou bermou (Obrázek 4). V těchto oblastech však voda protéká různou rychlostí, proto je důležité prostor kynety a bermy rozlišovat a zohlednit tedy tuto okolnost ve výpočtu. Průtoky v těchto částech počítáme odděleně a těmito výsledky se dostáváme blíže ke skutečnému řešení. Průtok složeným profilem lze vyjádřit vzorcem:

$$Q = Q_{kyneta} + Q_{berma}. \tag{9}$$

Jak již bylo zmíněno, na hranici kynety a bermy dochází k různým rychlostem proudění, což způsobuje vznik vodních vírů se svislou osou, které průtok brzdí. K započtení brzdících vírů dochází tak, že délku hraniční svislice 43 připočteme pouze jednou do omočeného obvodu kynety, tedy:

$$O_{kyneta} = 43567,\ O_{berma} = 123. \tag{10}$$

Zpravidla volíme drsnost na úseku 43 n = 0,01.



Obrázek 4 – Složený průtočný profil

3.1.3. Ustálené nerovnoměrné proudění

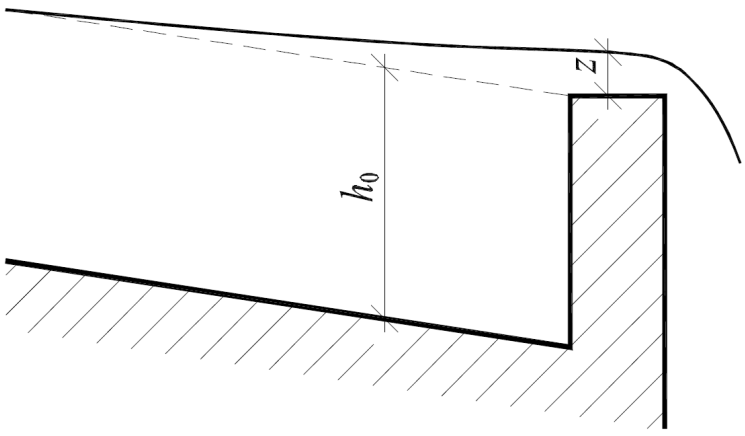
Ustálené rovnoměrné proudění v korytech s volnou hladinou se v přírodě téměř nevyskytuje. Pro vznik takového proudění je nutno zajistit shodný podélný sklon dna koryta i_o se sklonem hladiny i_h a sklonem čáry energie i.

V přirozených či upravených korytech, u kterých se po délce toku mění jejich průtočný průřez včetně sklonových poměrů, dochází k nerovnoměrnému proudění. Průtok je jedinou konstantní veličinou. Při tomto proudění je nutno při výpočtech uvažovat ztráty energie ve směru proudící vody. Ztráty energie lze rozdělit na:

- Ztráty třením: Vznikají při tření vody mezi dnem či stěnami průtočného profilu. Dále se ztráty třením vyskytují mezi jednotlivými proudovými vlákny, které mají odlišné rychlosti.
- Ztráty místní: Vznikají při lokálních změnách v korytech, jako je například přechod na jiný průtočný profil nebo překážka v toku (jez, mostový pilíř atd.).

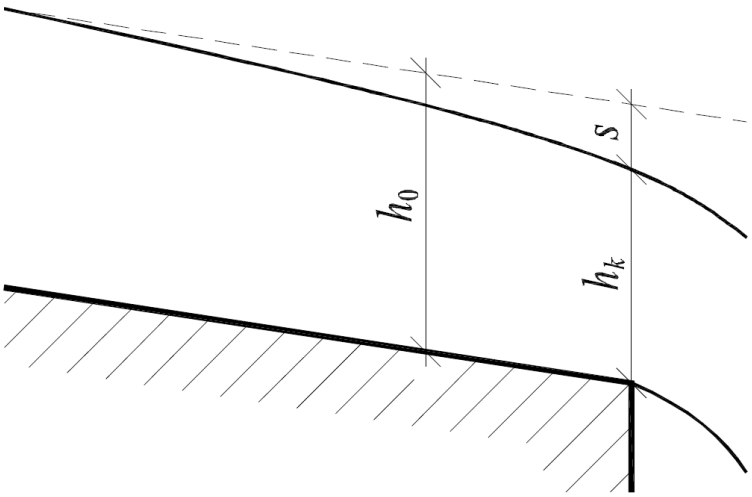
V přirozeném korytě dochází ke změně průběhu hladiny jakoukoliv nerovností (změna průtočné plochy, sklonu dna, překážka v toku). Ovlivňován je také směr proudění, který se odvíjí od typu a tvaru překážky. Průběh změny hladiny lze rozdělit na:

- Křivka vzdutí - Tento případ nastane, pokud dojde ke zvýšení dna. Například pokud do proudu umístíme již zmiňovaný jez či mostní pilíř. Hladina se zvýší o výšku z. V podélném profilu je sklon dna vždy větší než sklon hladiny. Proti proudu se křivka vzdutí asymptoticky blíží k původní nevzduté hladině o výšce h_0 (Obrázek 5).



Obrázek 5 - Křivka vzdutí

- Křivka snížení - Podmínkou pro vznik je možnost pohybu vody menší hloubkou než hloubkou h_0. Tento jev může vzniknout například stupněm ve dně nebo při rozšíření koryta. Hladina klesne o výšku s a vytvoří tak křivku snížení. Sklon dna je vždy menší než sklon hladiny. Opět dochází k asymptotickému přibližování k původní hladině h_0 (Obrázek 6), ale v tomto případě jako inverze ke vzdutí.



Obrázek 6 - Křivka snížení

Kritickou hloubku h_k lze nazvat mezníkem, jehož pomocí lze rozlišit, jedná-li se o říční nebo bystřinné proudění. Říční proudění se obecně vyskytuje při velkých hloubkách a malé rychlosti. Z tohoto tvrzení již lze odvodit, že klesne-li hloubka vody v toku pod mezní hranici h_k, musí docházet k říčnímu proudění. Naopak při malé hloubce a velké rychlosti dochází k proudění bystřinnému (Obrázek 6).

Důsledkem proměnnosti vodních toků v přírodě bývá průběh hladin složen z mnoha po sobě jdoucích křivek vzdutí a snížení. Každý tok je profilově jiný, a proto si žádá individuální pozornost, abychom v něm správně určili průběh a výšku hladiny.

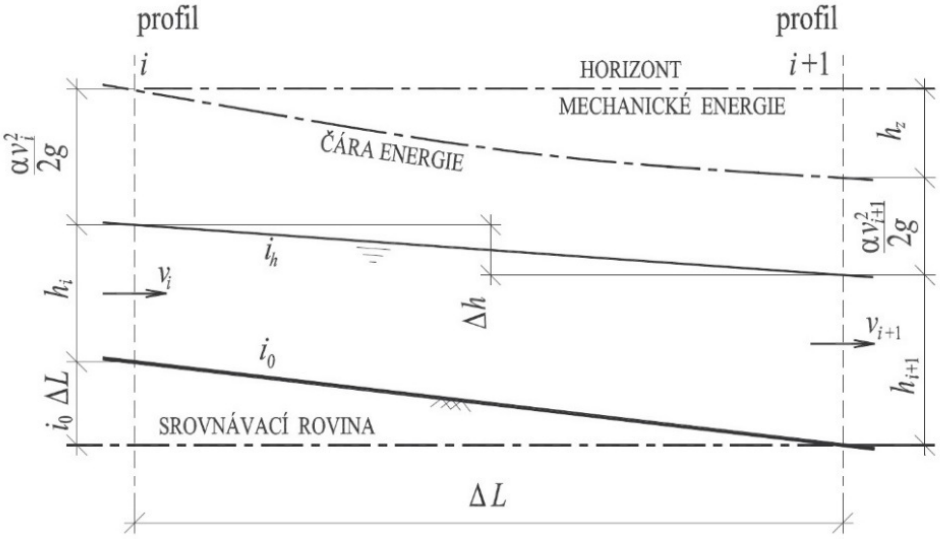
Způsoby řešení výpočtu ustáleného nerovnoměrného proudění:

- přímá integrace obecně diferenciální rovnice (pouze u prizmatických koryt),
- výpočet s využitím Bernoulliho rovnice (metoda po úsecích).

3.2. Metoda po úsecích

Prvním krokem při výpočtu je rozdělení koryta na úseky o délce ΔL. Předpokladem však zůstává, že průtočné profily a rychlosti v nich se spojitě mění. Pokud tedy v horním profilu máme hodnoty A_i, v_i, tak v dolním profilu budou hodnoty A_{i+1}, v_{i+1}. Průměrný podélný sklon koryta daného úseku bude označen jako i_0 a celková ztráta energie tohoto úseku jako h_z. Pokud proložíme vodorovnou srovnávací rovinu dolním profilem (ve směru proudění), plyne z Bernoulliho rovnice pro veškerá proudová vlákna obou profilů (viz Obrázek 7):

$$i_o \Delta L + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_z. \tag{11}$$



Obrázek 7 - Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění

Rozdíl horní a dolní hladiny je označen Δh a vypočítá se dle rovnice:

$$\Delta h = h_i + i_o \Delta L - h_{i+1}. \tag{12}$$

Druhou variantou vyjádření výšky rozdílu hladin mezi oběma profily je pomocí rychlostí a ztrát. V tomto případě za srovnávací rovinu považujeme horizont mechanické energie. Rovnice bude vypadat tedy následovně:

$$\Delta h = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_z, \tag{13}$$

kde α je Coriolisovo číslo [-] (předpokladem je jeho neměnnost na celém úseku) a g tíhové zrychlení [m/s^2].

Sečteme-li ztráty třením h_t a ztráty místní h_m, získáme celkovou ztrátu h_z na celém úseku, tedy:

$$h_z = h_t + h_m. \tag{14}$$

Ztráty třením h_t vyjádříme pomocí Chézyho rovnice pro úsek mezi profily *i* a *i+1*:

$$h_t = i_p \Delta L, \tag{15}$$

kde i_p je průměrný sklon čáry energie. Výpočet se provede dle upravené Chézyho rovnice:

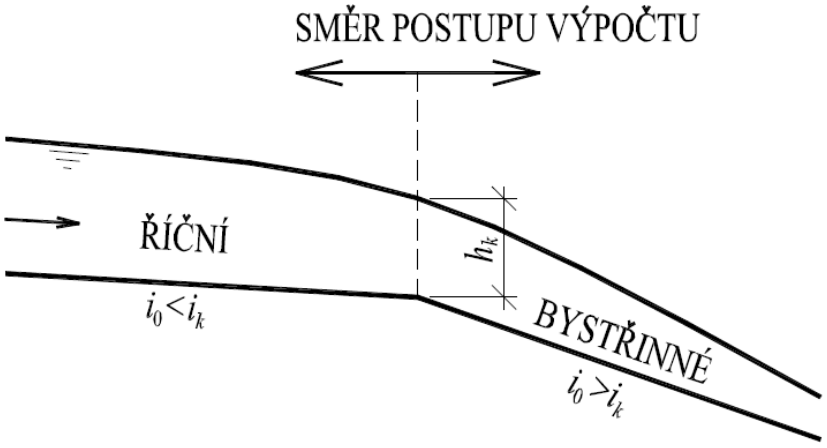
$$i_p = \frac{Q^2}{A^2 C^2 R}, \tag{16}$$

kde Q je průtok [m^3/s], A je průtočná plocha [m^2], C rychlostní součinitel [$m^{0,5}/s$] a R hydraulický poloměr [m].

Výpočet zahajujeme vždy v profilu, ve kterém známe hloubku vody (zadaná okrajová podmínka). Důležité je odlišit, zdali je v toku říční nebo bystřinné proudění, protože oba tyto případy mají různě specifikovaný postup řešení.

V případě říčního proudění postupujeme z dolního profilu proti směru proudu. Okrajová podmínka je tedy zadána v dolním profilu (Obrázek 8).

Při bystřinném proudění je tomu však naopak. Okrajová podmínka bude zadána jako známá hloubka vody v horním profilu. Výpočet postupuje směrem po proudu (Obrázek 8).



Obrázek 8 - Směr výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [B3]

4. Popis lokality

Řešený úsek se nachází na vodním toku Jihlava. Řeka Jihlava spadá do dílčího povodí Dyje. Následující kapitoly se zabývají bližší lokalizací řešeného úseku a specifikací poměrů hydrologických, klimatických a geologických.

4.1. Povodí Dyje

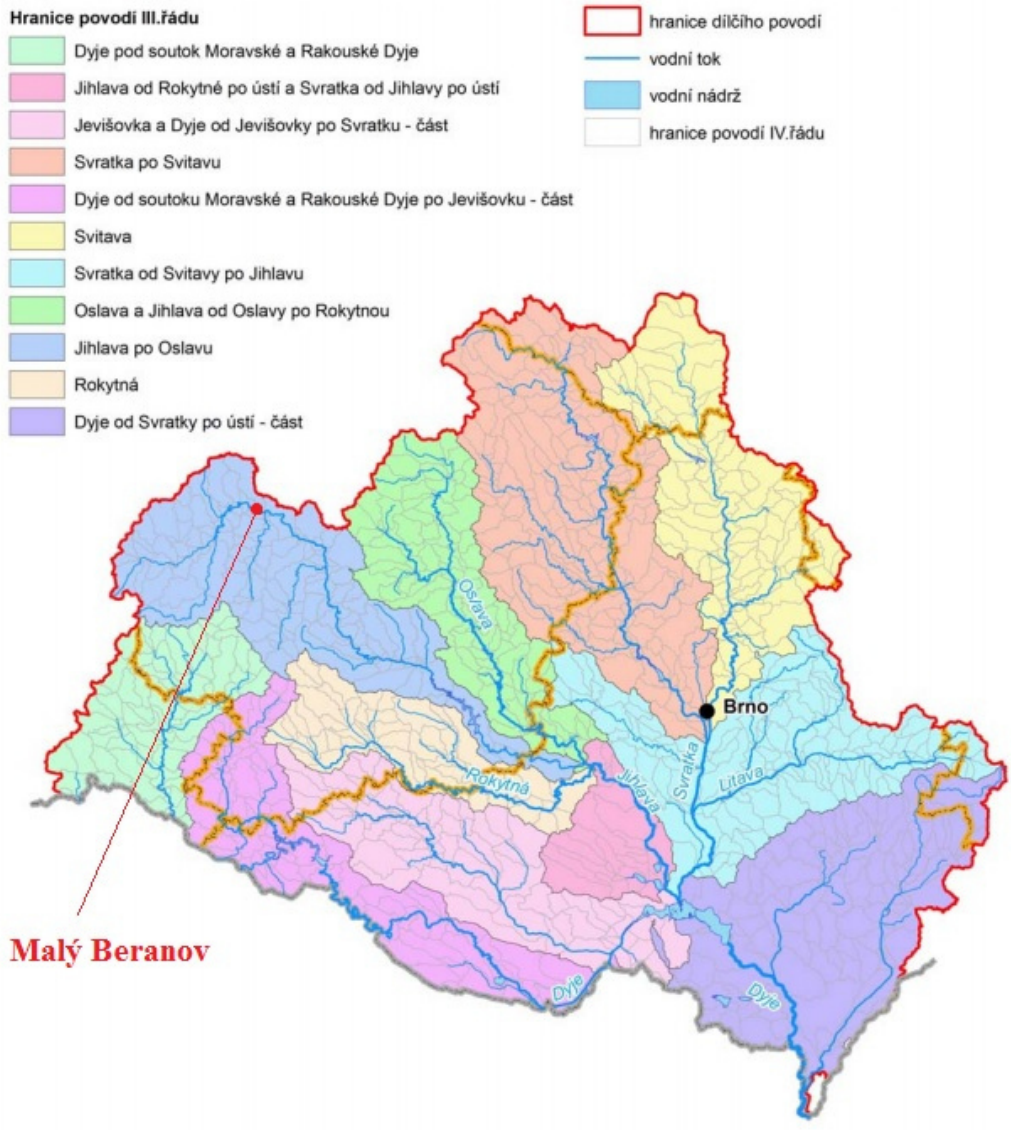
Česká republika je rozdělena na 10 dílčích povodí (Obrázek 9). Dílčí povodí Dyje se nachází na jihovýchodu ČR a patří k úmoří Černého moře. Povodí Dyje je velikostně druhé největší a jeho správcem je Povodí Moravy, s.p.



Obrázek 9 - Vymezení dílčích povodí v ČR

4.1.1. Hydrologické poměry

Nejvýznamnějším tokem povodí v říční síti je řeka Dyje. V oblasti pramenů má řeka Dyje dvě větve. Rakouská Dyje patří mezi tu vodnatější, druhou nazýváme Moravskou Dyjí. Přestože není dominantní, v České republice ji považujeme za hlavní. Jedna z největších vybudovaných přehradních nádrží na řece Dyji je Vranov. Dále po toku u Znojma narazíme na stejnojmennou vodní nádrž Znojmo. Pod touto nádrží nalezneme rovinatý Dyjsko-svratecký úval, ve kterém dochází k již zmiňovanému soutoku s řekami Svratkou a Jihlavou. Dnes můžeme na tomto místě vidět soustavu třech údolních nádrží u obce Nové Mlýny, které díky své rozloze reprezentují největší vodní plochu v moravském regionu. Následně Dyje protéká Břeclaví a za Lanžhotem se vlévá do Moravy. Zde už se nacházíme v přibližné nadmořské výšce cca 150 m n. m., odkud řeka Morava odtéká mimo území České republiky.



Obrázek 10 - Hydrologické poměry

4.1.2. Klimatické poměry

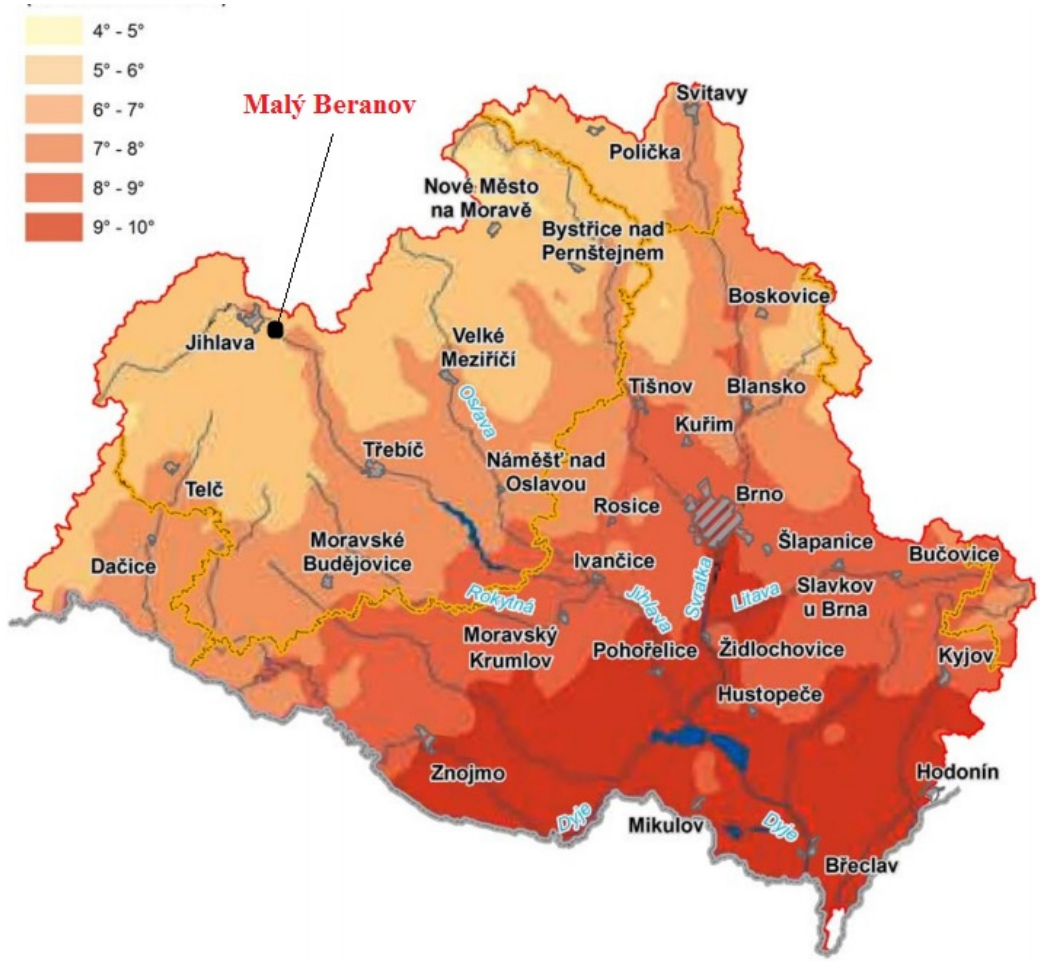
V převážné většině dílčího povodí Dyje se vyskytují teplé a mírně teplé klimatické oblasti. Severozápadní polovina povodí se vyskytuje v mírně teplé oblasti. Za nejchladnější oblast můžeme považovat oblast na rozvodnici s dílčím povodím Dolní Vltavy.

Průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek byl určen z období v letech 1961-1990. Výsledná udávaná hodnota pro povodí Dyje je 590 mm. Jako srážkově nejčetnější měsíc byl stanoven červen, ve kterém průměrná hodnota dosahuje 77 mm. Dále s úhrnem 70 mm následují měsíce květen a červenec. Měsíce únor a březen byly vyhodnoceny jako nejsušší. Dlouhodobý průměr srážek se udává 33 mm. Mírně vydatnější je měsíc říjen, ve kterém průměrně naprší 36 mm.



Obrázek 11 - Průměrný roční úhrn srážek [mm] z let 1961 – 2000

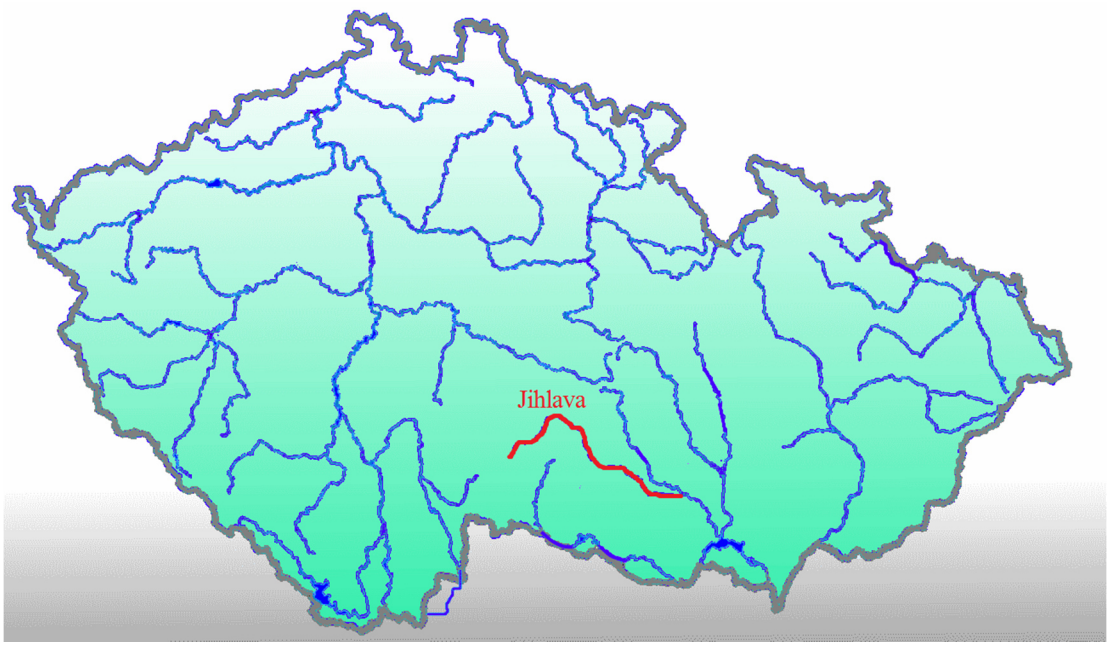
Dlouhodobá průměrná roční teplota v dílčím povodí Dyje je 7,8 °C. Nejteplejším měsícem v roce s průměrnou teplotou vzduchu je červenec s hodnotou 17,5 °C, naopak leden byl vyhodnocen jako nejchladnější, neboť průměrná dlouhodobá teplota dosahuje až pod bod mrazu, konkrétně na hodnotu – 2,8 °C.



Obrázek 12 - Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu [°C] z let 1961-2000 [B5]

4.2. Popis řeky Jihlava

Jihlava pramení v blízkosti malé obce Jihlávka v Českomoravské vysočině, konkrétně v oblasti Jihlavských vrchů. Na jejím toku se nacházejí města Jihlava a Třebíč. V Křižanovské vrchovině a Jevišovické pahorkatině na ni byly vzduty vodní nádrže Dalešice a Mohelno. Dále níže po toku přitékají její dva nejvýznamnější přítoky, tj. řeky Oslava a Rokytná. Skrze hřeben Bobravské vrchoviny pokračuje do Dyjsko-svrateckého úvalu, kde protéká Pohořelicemi a spolu se Svratkou ústí do věstonické novomlýnské nádrže. [B1]



Obrázek 13 – Mapa ČR – řeka Jihlava [B2]

Základní informace:

- Délka toku Jihlava – 184,5 km
- Plocha povodí – 3117 km^2
- Hydrologické pořadí – 4-16-01-001

Významné přítoky do řeky Jihlavy:

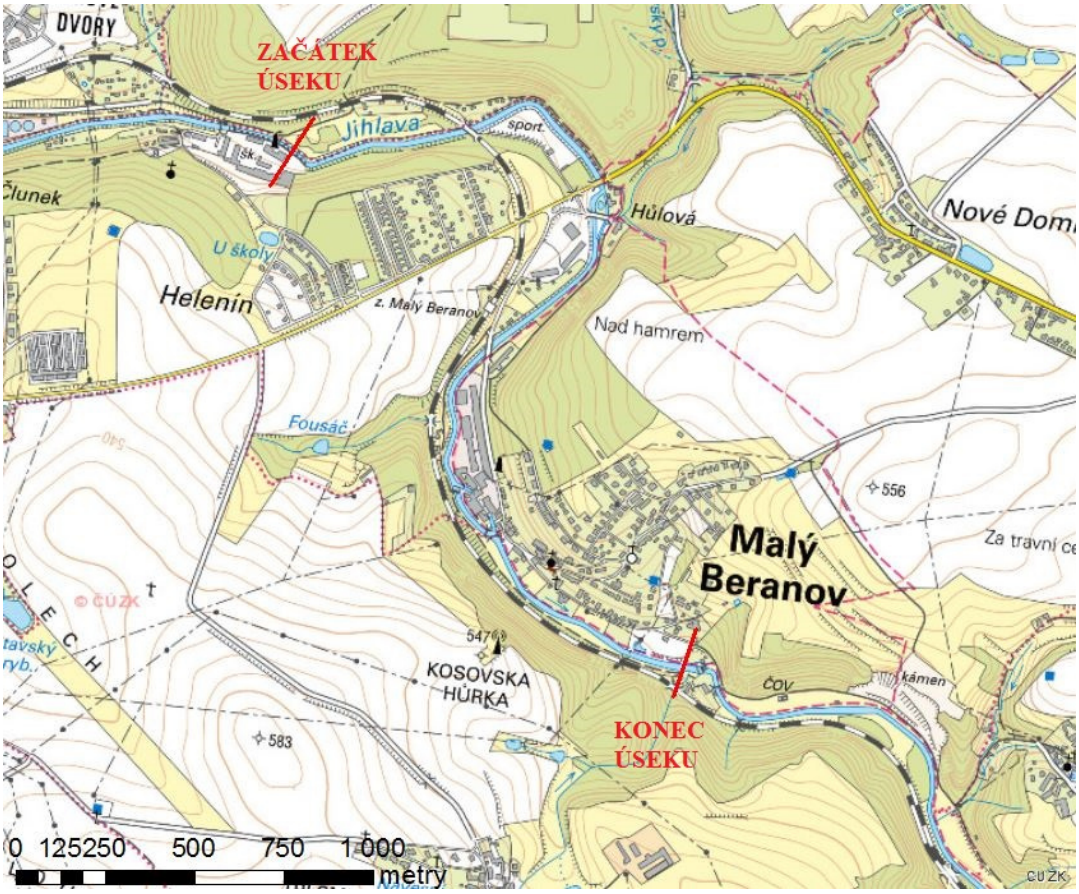
- Třešťský potok zprava – ř. km 160,0
- Jihlávka zprava – ř. km 142,6
- Brtnice zprava – ř. km 123,4
- Oslava zleva – ř. km 39,7
- Rokytná zprava – ř. km 38,1 [B1]

4.2.1. Geologické a geomorfologické poměry

Malý Beranov se nachází v regionu Českého masívu. Horniny vyskytující se vně a v okolí obce jsou převážně ruly s biotitem a sillimanitem (biotitické ruly), které jsou částečně migmatitizované. Souhrnně lze tuto oblast nazvat jako Prekambrium nebo Paleozoikum. [A2]

4.3. Popis řešeného úseku

Řešeným úsekem je část toku Jihlava v ř. km 139,5 – 136,6 (Obrázek 14, Příloha 1), s délkou 3,1 km. Horní část úseku začíná v oblasti vedle obce Helenín nad železničním mostem a pravotočivým meandrem pokračuje do obce Malý Beranov. Daný úsek je z převážné většiny v intravilánu obce Malý Beranov, téměř až k jezu Bradlo, který se nachází na dolním konci obce.



Obrázek 14 – Mapa řešeného úseku [A2]

4.3.1. Hydrologická data

Jako podklad byly použity hydrologická data z evidenčního listu hlásného profilu Dvorce číslo 385, provozovatelem je ČHMÚ Brno. [A1]

- Staničení hlásného profilu: 155,80 km
- Plocha povodí: 307,35 km^2
- Nula vodočtu: 501,15 m n. m.
- Číslo hydrologického pořadí: 4-16-01-027
- Platnost SPA pro úsek toku: Dvorce – Bransouze
- Průměrný roční stav: 42 cm
- Průměrný roční průtok: 1,96 m^3/s

Tabulka 1 - N-leté průtoky [A7]

N	1	5	20	50	100
Q [m^3/s]	29	58	86	107	125

4.3.2. Popis objektů na řešeném úseku

V této kapitole jsou popsány všechny objekty na řešeném úseku toku Jihlava. Konkrétně se jedná o:

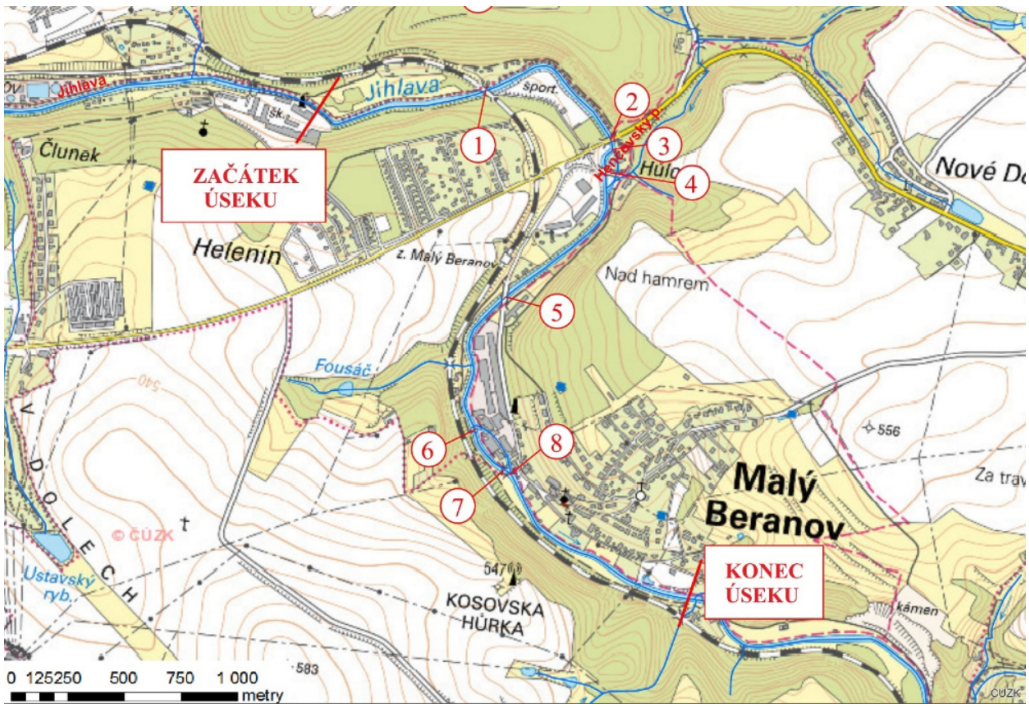
- 1 železniční most,
- 3 silniční mosty,
- 2 lávky,
- 2 jezy.

U objektů byla provedena kontrola, zdali nebude některý z nich nepříznivě ovlivňovat odtokové poměry při povodňových průtocích. Jako problematický úsek ohledně nízkého zdvihu nad hladinu a jeho následného možného ucpání se jeví část u ocelových lávek (objekty 7 a 8).

Podrobný výpis objektů včetně staničení je v tabulce 2. Tabulka označením odkazuje do mapy na jednotlivé objekty na řešeném úseku (Obrázek 15, Příloha 2).

Tabulka 2 - Objekty na řešeném úseku

Označení	Staničení (ř. km)	Objekt
1	139,015	železniční most
2	138,532	silniční most
3	138,513	jez Hůlová
4	138,428	silniční most vícepólový
5	137,925	silniční most
6	137,482	jez Jilana
7	137,325	ocelová lávka
8	137,303	ocelová lávka



Obrázek 15 - Mapa objektů na řešeném úseku

4.4. Průběhy historických povodní

Nejčastěji zaplavovaným úsekem je chatová oblast nacházející se nad obcí Malý Beranov. V minulosti povodňové průtoky byly převáděny bez větších problémů, avšak v 80. letech došlo k zásadním terénním úpravám na pravém břehu toku.



Obrázek 16 - Mapa zaplavované chatové oblasti [A3]

Na jihlavském náměstí byl zbourán soubor historických středověkých domů zvaných Krecl neboli Špalíček. Sutiny z těchto budov byly dovezeny na přilehlou louku a zahrnuty zeminou. Tímto úkonem došlo k navýšení břehu a vzniku záplavové oblasti osady. Podle informací od jednoho z majitelů chaty došlo k prvnímu zaplavení v roce 1985 (Obrázek 17).



Obrázek 17 - Zaplavení chatové oblasti v roce 1985

Důsledkem navýšení pravého břehu je rozliv do přilehlých chat a zahrad (Obrázek 18).



Obrázek 18 - Zaplavení chatové oblasti v roce 2006

Na níže uvedených fotografiích (Obrázek 19, Obrázek 20) je porovnání běžného stavu s povodňovým průtokem v roce 2010. Jedná se o intravilán obce Malý Beranov.



Obrázek 19 - Porovnání povodňového stavu (2010) - vlevo s běžným průtokem – vpravo (intravilán obce)



Obrázek 20 - Porovnání povodňového stavu (2010) - vlevo s běžným průtokem – vpravo (intravilán obce)

Fotografie povodňových průtoků poskytl pro zpracování práce pan Radek Zdarsa, který je jedním z obyvatel Malého Beranova.

5. Vstupní data

V této kapitole jsou popsána a rozdělena veškerá vstupní data, která byla použita pro tvorbu 1D modelu koryta v programu HEC-RAS.

5.1. Podklady pro DMT

Výkresová dokumentace

Jako podkladových dat pro tvorbu DMT bylo použito zaměření řešeného úseku, které poskytlo na základě žádosti Povodí Moravy. Jednalo se o situaci, podélný profil a zaměřené příčné profily s vyznačením výšek hladin při Q_1, Q_5, Q_{20} a Q_{100}.

Digitální model reliéfu ČR 5. generace (DMR 5G)

Tento model zobrazuje zemský povrch v digitálním tvaru v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN). Jednotlivé body mají souřadnice *X*, *Y* a *H*. Souřadnice *H* reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém uspořádání Balt po vyrovnání (Bpv). Střední chyba zaměření se pohybuje okolo 0,18 m ve volném terénu a 0,3 m v terénu zalesněném. Pro tvorbu modelu bylo použito dat z laserového skenování výškopisu na území České republiky, které probíhalo v letech 2009 až 2013.

Aby bylo možné data získat a použít je v této práci, bylo nutné si zažádat o jejich zapůjčení. Data pro zpracování práce zapůjčil Zeměměřičský úřad za poplatek 500 Kč. [A6]

5.2. Mapové podklady

WMS – Web Map Service

Tato webová mapová služba pracuje na principu klient – server, kdy umožňuje sdílení geografických informací prostřednictvím internetu. Převážně se jedná o rastrové mapy. V kombinaci s vhodným softwarem (např. ArcMap) lze vytvářet obrazová data v různých formátech uložení. Velkým kladem je možnost jejich georeference, což znamená, že vytvořený obrázek má jednoznačně určeny souřadnice v námi zadaném souřadném systému. [B6]

ZABAGED – Základní báze geografických dat České republiky

Základní báze geografických dat České republiky je geografický digitální model celého území. Je součástí informačního systému veřejné správy a informačního zeměměřičského systému. ZABAGED je ve správě Zeměměřičského úřadu v centralizovaném informačním systému.

Aktuálně je tvořena 116 typy geografických objektů. Všechny tyto objekty jsou zařazeny jak polohopisně, tak výškopisně. Polohopisnou část můžeme chápat jako dvourozměrně vedené (2D) prostorové informace včetně popisných informací ohledně sídel, komunikací, vodstvu, území, vegetaci, povrchu či například reliéfu terénu. Dostupný je také soubor 3D vrstevnic. Obsah informací se stále rozšiřuje na základě požadavků a potřeb uživatelů. [A4]

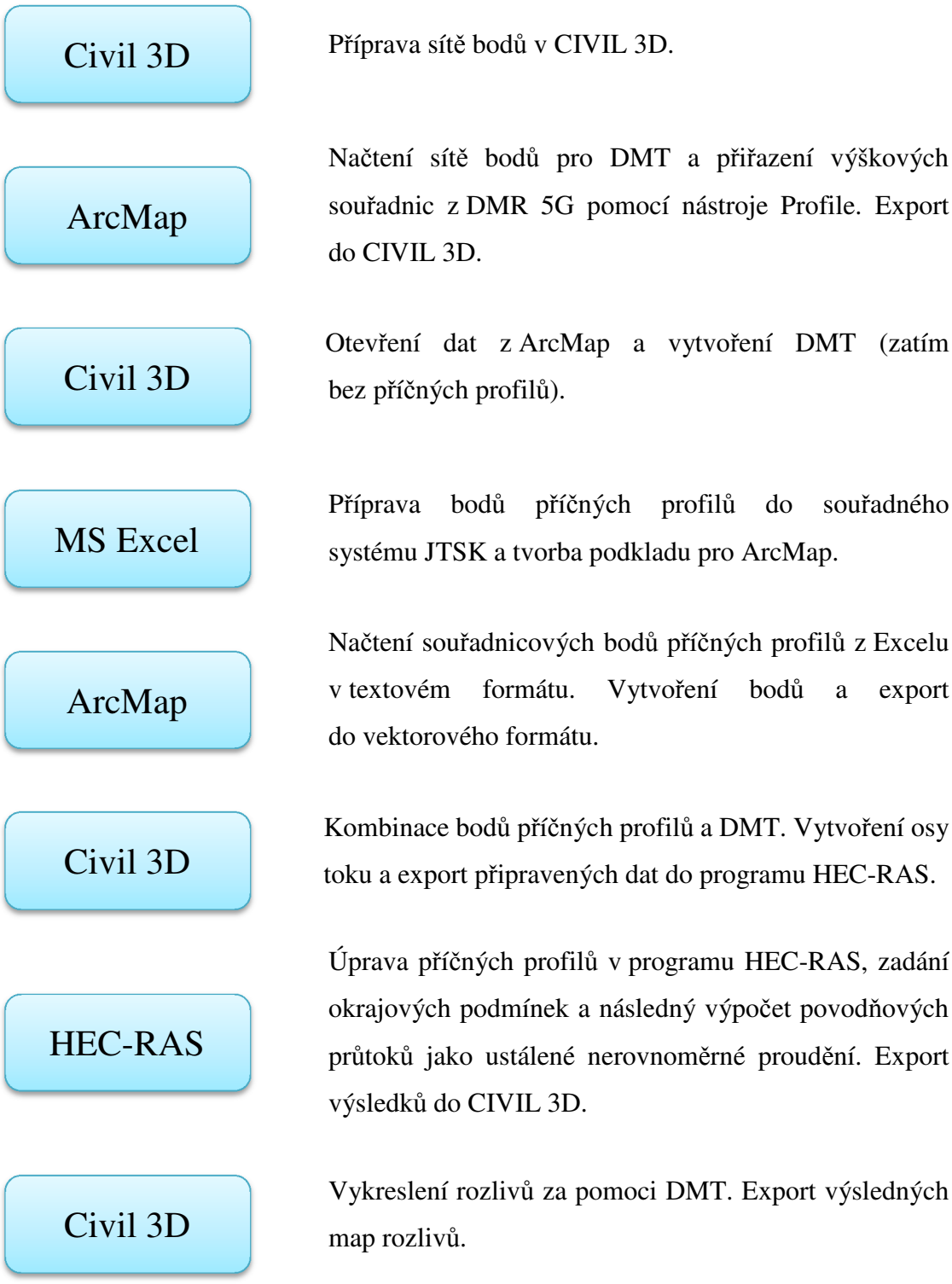
DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat

Jedná se o nadstavbu ZABAGED týkající se vodohospodářské referenční geografické databáze. Je určena cíleně pro tvorbu tematických kartografických výstupů. Jak již z názvu vyplývá, jedná se o vodohospodářskou tématiku spolu s ochranou vod. Konkrétně se jedná o Základní mapu ČR v měřítkách 1:10 000 a 1:50 000. Dále mapy záplavových území v měřítku 1:10 000.

Projekt DIBAVOD je stále aktualizován a doplňován. Jeho správou je Oddělení geografických informačních systémů a kartografie VÚV T.G.M.,v.v.i.. Některé z datových vrstev si mohou uživatelé zdarma stáhnout ve formátu ESRI shapefile, který je komprimován do archivu (zip.). [A5]

6. Postup vypracování

V této kapitole je krok za krokem popsán postup prací v jednotlivých softwarech. Na následujícím obrázku (Obrázek 21) je zobrazeno schéma posloupnosti použití programů. Přehled je doplněn o popisky jednotlivých úkonů.



Obrázek 21 - Schéma postupu prací v softwarech

Celý postup prací lze rozdělit do několika kroků:

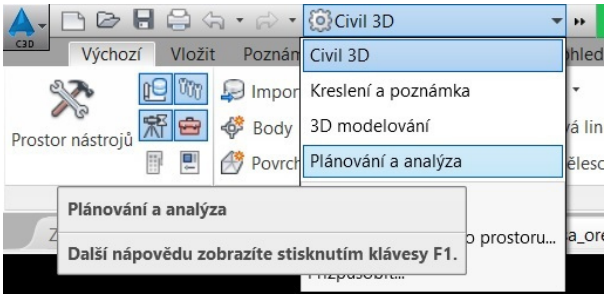
- Připojení podkladových dat,
- Tvorba DMT,
- Tvorba digitálního modelu koryta,
- Příprava numerického modelu.

6.1. Připojení podkladových dat

Tato kapitola je zaměřena na připojení podkladových dat do programů Civil 3D a ArcMap. Jelikož práce probíhají souběžně v obou programech, je vhodné si jako podklad připojit data ze serveru DIBAVOD. Přestože tento první krok není stěžejním, aby byl DMT vytvořen, je velmi důležitým v ohledu orientace v prostoru a přehlednosti při práci.

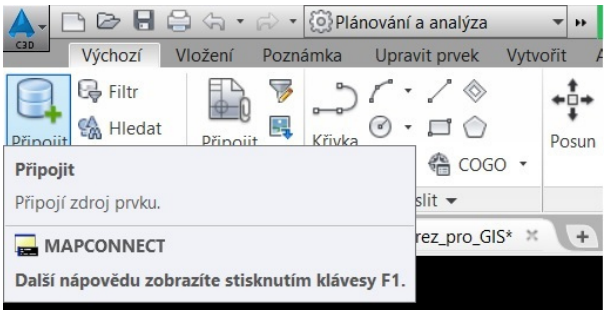
6.1.1. Připojení dat z DIBAVODU do Civil 3D

- Nejprve je nutné přepnout CIVIL 3D do režimu ***plánování a analýza*** (Obrázek 22).



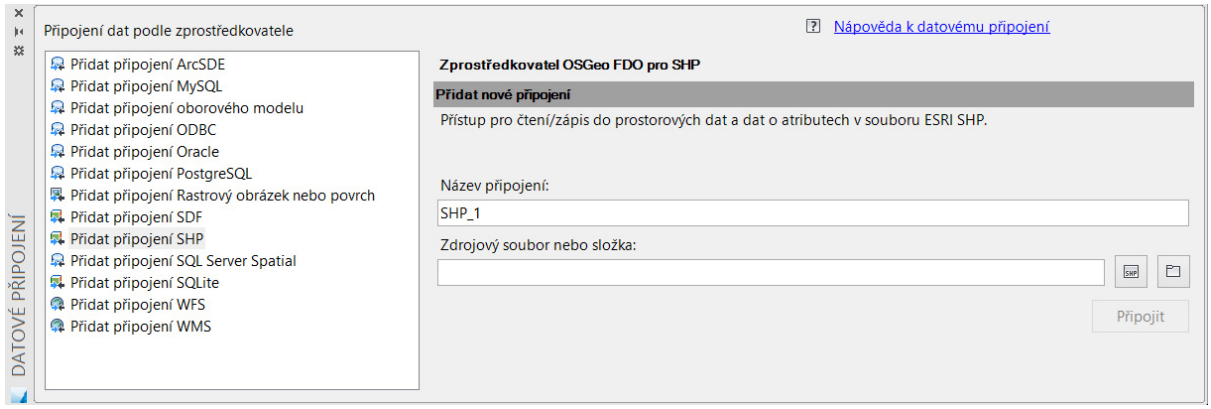
Obrázek 22 - Připojení SHP - krok č. 1

- V záložce ***výchozí*** klikneme na ***připojit*** (Obrázek 23).



Obrázek 23 - Připojení SHP krok č. 2

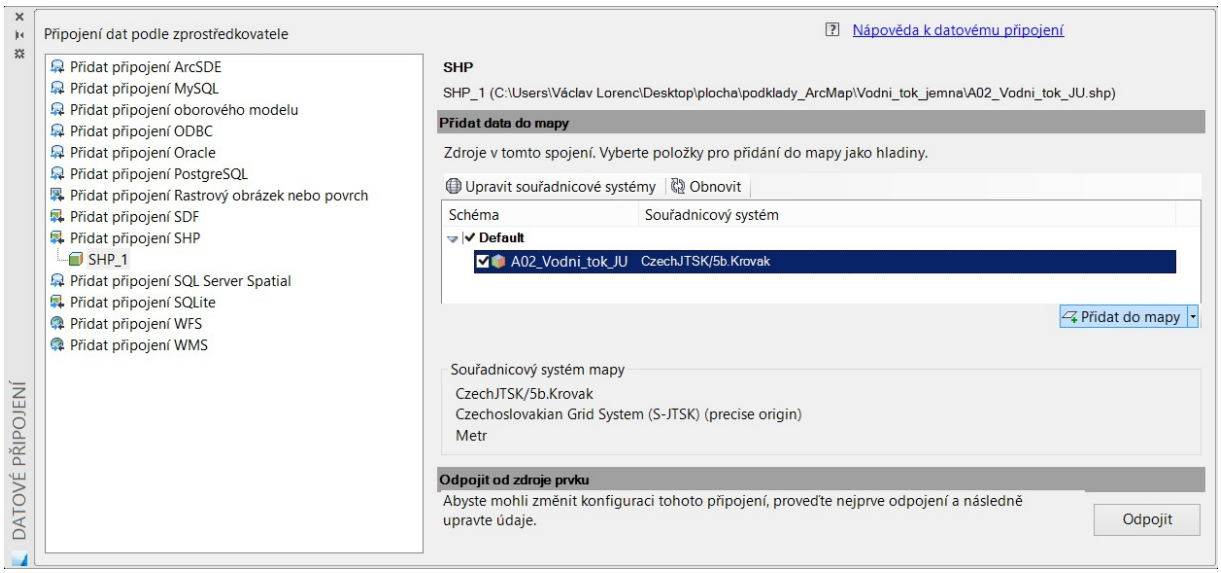
- Zobrazí se tabulka, která je centrem veškerých možných datových připojení podle zprostředkovatele (Obrázek 24). Jelikož připojujeme DIBAVOD, vybereme záložku ***přidat připojení SHP*** (podle formátu shapefile).



Obrázek 24 - Připojení SHP krok č. 3

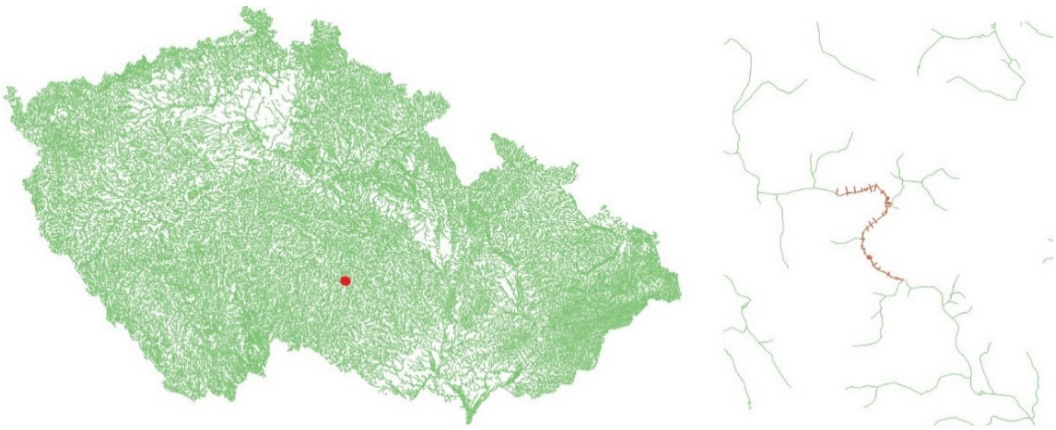
- Na stránkách ***www.dibavod.cz*** v záložce ***download*** rozklikneme ***objekty DIBAVOD***. Zobrazí se kompletní struktura všech objektů, které je možno použít. Objekty lze jednoduše stáhnout ve formátu ESRI shapefile.

- Posledním krokem je otevření objektů v okně datového připojení. Načtením zdrojového souboru a kliknutím na tlačítko ***připojit*** dokončíme připojení. Připojený soubor pouze zbývá vložit do mapy kliknutím na ***přidat do mapy***. V našem případě se jedná o připojení jemných úseků vodních toků (Obrázek 25).



Obrázek 25 - Připojení SHP krok č. 4

- Pokud nedojde k zobrazení podokna úlohy, je možné si jej otevřít přes příkazový řádek. Zadáním příkazu ***„MAPWSPACE“*** a následným potvrzením ***„Ano“*** se zobrazí vlevo panel, kde už SHP vrstvu pouze aktivujeme. Na níže uvedeném obrázku (Obrázek 26) jsou zobrazeny jemné úseky toků (vlevo) a detail námi řešeného úseku na řece Jihlavě (vpravo).

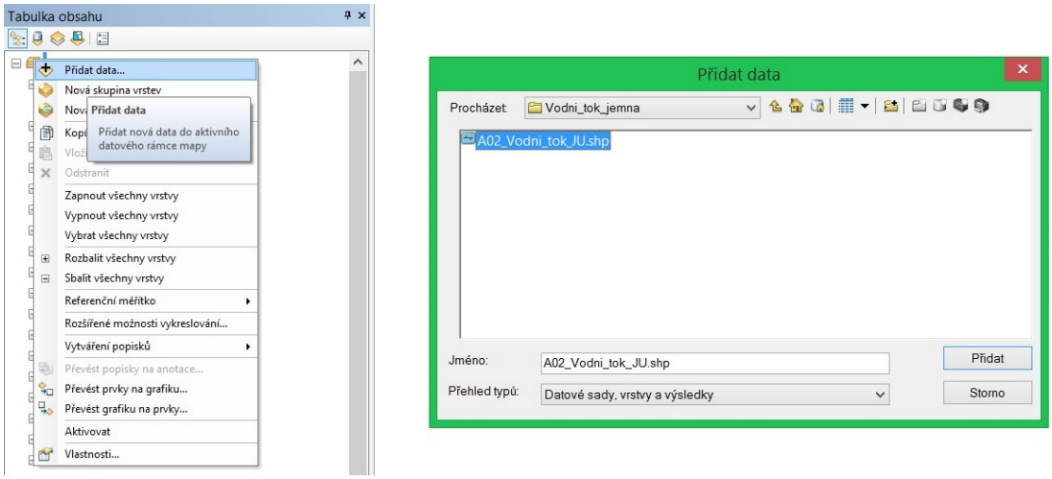


Obrázek 26 - Příklad SHP v programu CIVIL 3D - Jemné úseky toků

6.1.2. Připojení dat z DIBAVODU do ArcMap

V programu ArcMap je přidání podkladových objektů v tomto formátu o mnoho jednodušší než v programu CIVIL 3D. Jedná se o program, který je pro uživatele pohodlnější.

- Prvním krokem je kliknutí pravým tlačítkem na vrstvy v tabulce obsahu. Zvolením řádku ***přidat data*** se zobrazí tabulka, která slouží pro výběr stažených souborů SHP, jako tomu bylo v programu CIVIL 3D (Obrázek 27).



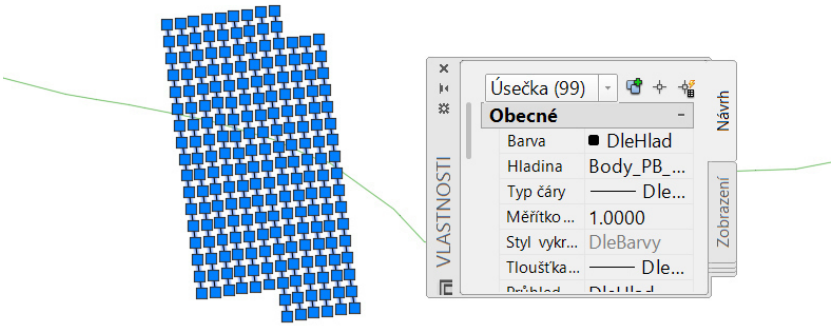
Obrázek 27 - Postup připojení SHP v programu ArcMap

- Nově nahraná vrstva se zobrazí v levém panelu a dojde hned k jejímu zobrazení do výkresového okna.

6.2. Tvorba DMT

6.2.1. Příprava pro tvorbu DMT v programu CIVIL 3D

- Nejprve je nutné si připravit množinu čar, která překrývá právě prostor, ve kterém chceme vytvořit DMT. Cílem je pokrýt čarami území celého zájmového úseku, poté výkres uložit a otevřít v programu ArcMap. Následný postup bohužel nedovoluje pracovat s tak velkým množstvím čar, proto je nutné celý úsek rozdělit na mnoho menších, pro které striktně platí, že počet úseček v jednom úseku smí být maximálně 99 (Obrázek 28).



Obrázek 28 - Tvorba prvního úseku v programu CIVIL 3D

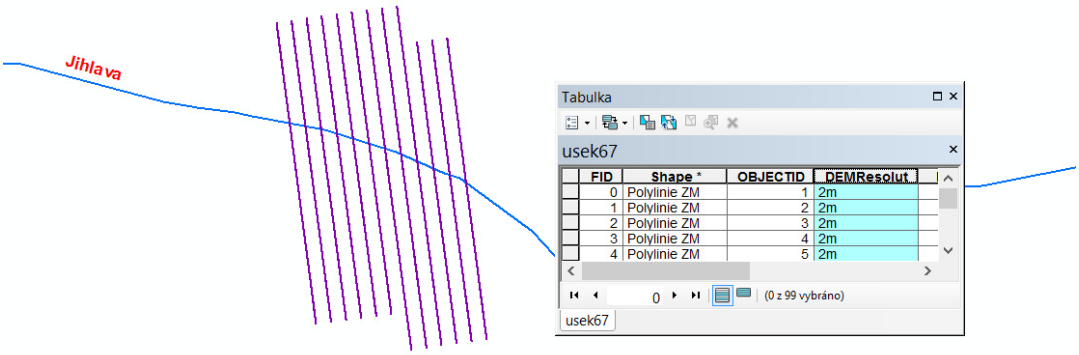
- Tento dílčí úsek uložíme. Důležité je, aby v souboru nebyly žádné další objekty, pouze zmiňované maximum čar.
- Takto postupujeme, dokud nemáme pokrytý celý potřebný úsek. V našem případě se jedná o 34 dílčích souborů .dwg, které reprezentují celé 3 kilometry řešeného úseku. Šířka modelu je zvolena na základě rozmanitosti terénu (Obrázek 29).



Obrázek 29 - Rozdělení dílčích úseků v programu CIVIL 3D

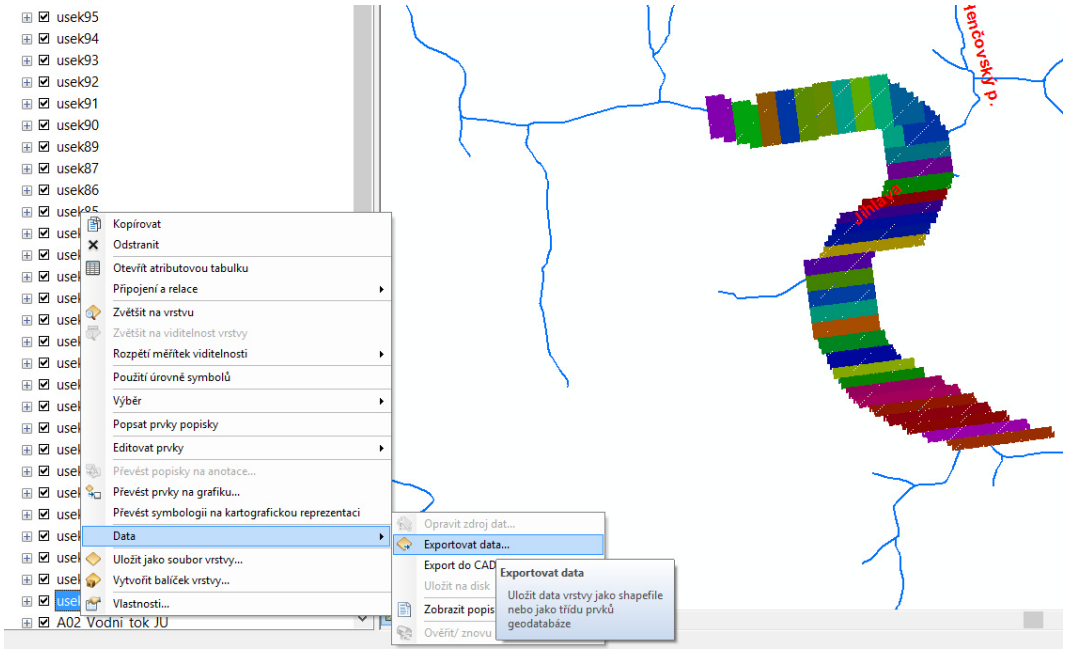
6.2.2. Tvorba vlastního DMT v programu ArcMap

- Nyní je potřebné nahrát veškeré jednotlivé dílčí úseky do programu ArcMap (Obrázek 30). Opět jako v případě otevírání SHP klikneme pravým tlačítkem myši na základní vrstvu a vybereme ***přidat data***.



Obrázek 30 - Nahrání prvního úseku do programu ArcMap

- Postupně nahrajeme všechny dílčí úseky. V hlavním okně zároveň kontrolujeme jejich umístění a při případné chybě či překrytí daný úsek opravíme. Jedná se o mnoho úkonů, kdy lidským faktorem může vzniknout mnoho chyb a nepřesností.
- Aby bylo možné dále pracovat s dílčími soubory, je potřeba je exportovat do formátu .shp. Opět postupujeme jednotlivě. Kliknutím pravým tlačítkem myši na dílčí úsek vybereme řádek ***data***, poté příkaz ***exportovat data*** (Obrázek 31).

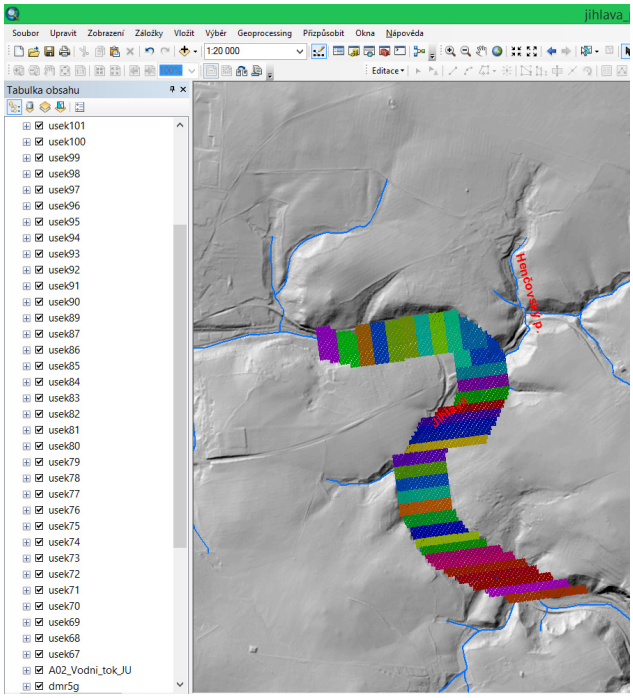


Obrázek 31 - Export dat do formátu .shp v programu ArcMap

- Nově vytvořené soubory zachováme, původní můžeme vymazat.

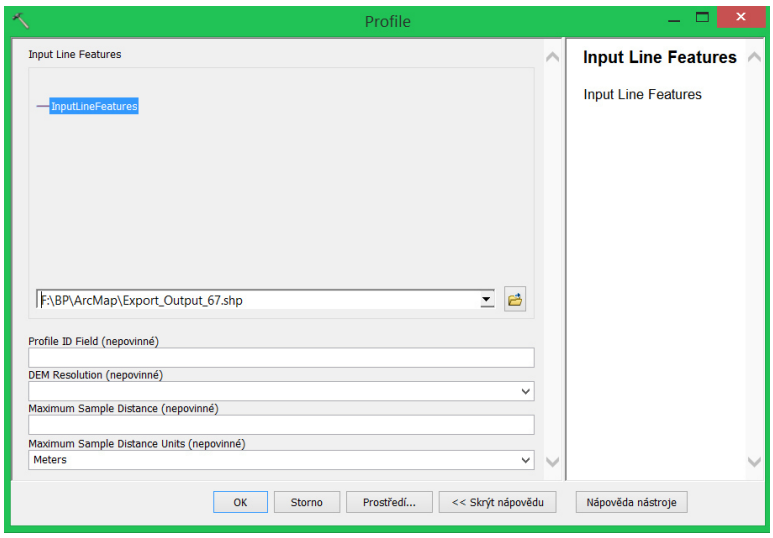
6.2.3. Přiřazení výškových souřadnic vytvořeným liniím z DMR 5G

- Otevřením modelu v programu ArcMap se dostáváme do fáze vlastní tvorby DMT. Příprava by měla vypadat následovně (Obrázek 32).



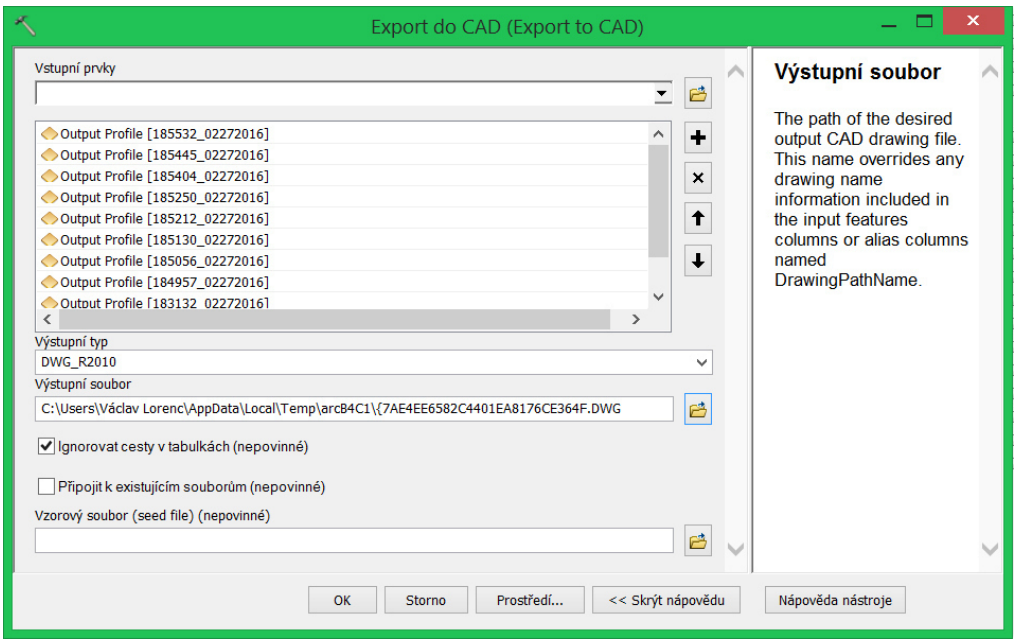
Obrázek 32 - Dílčí úseky s DM reliéfu v programu ArcMap

- Otevřením záložky ***ArtToolbox*** zvolíme ***dmr5g*** a následně vybereme nástroj ***profile*** (Obrázek 33). Tento nástroj umožňuje přiřadit nadmořské výškové souřadnice námi vytvořeným bodům liniových čar. Právě tato funkce byla limitující v počtu zpracovávaných čar.



Obrázek 33 - Input do nástroje Profile v programu ArcMap

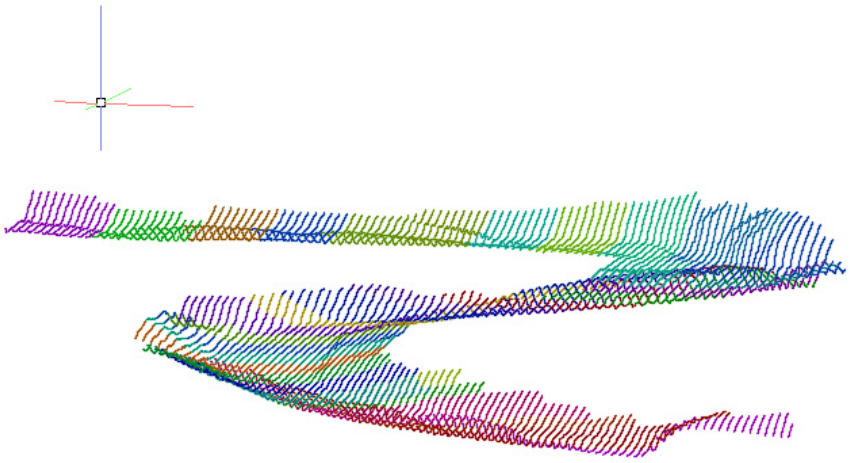
- Nyní vybereme první dílčí úsek .shp, zvolíme jednotky v metrech a klikneme na tlačítko ***OK***.
- Následně čekáme na upozornění, že operace byla dokončena. Toto upozornění se po ukončení operace zobrazí v pravém dolním rohu obrazovky. Vytvořen bude nový soubor, který již obsahuje výškové souřadnice na základě hustoty rozdělení čar. Tento soubor se opět zobrazí v levém hlavním panelu tabulky obsahu s číslem v hranaté závorce. Nutno zmínit fakt, že se jedná pouze o dočasně vzniklý soubor, který při následném otevření projektu nebude funkční a programem dohledatelný. Pokud jej tedy chceme zachovat, je potřeba provést export do nového shapefile (Kap. 6.2.2).
- Důležité je upozornit na hustotu výškových bodů. V jednom dílčím úseku bylo 99 prvků. Jeden prvek byl zvolen o délce 25 m. Nástroj ***profile*** každý tento dílčí prvek rozdělí na 50 bodů a každému z nich přiřadí souřadnici *Z* na základě výšky terénu 5G modelu. Jednou touto operací tedy získáváme 4950 výškových bodů. Aby došlo k úplnému doplnění rozměrů sítě čar, ekvidistantní vzdálenosti byly zvoleny po jednom metru.
- Tuto operaci tedy provedeme pro všechny dílčí úseky. Původní soubory lze opět vymazat. Tímto získáváme větší přehlednost při práci.
- Posledním krokem je export všech těchto dat do formátu .dwg, který již bude možné otevřít v programu CIVIL 3D. Pravým tlačítkem klikneme na jeden z nově vzniklých úseků, vybereme řádek ***data*** a zvolíme ***Export do CAD*** (Obrázek 34). Jednoduchým natažením souborů do okna načteme všechny zbylé úseky, zvolíme název budoucího souboru a určíme jeho cílovou složku pro uložení. Klikneme na tlačítko ***OK***. Jelikož se jedná o export velkého množství objektů, může tato operace probíhat i několik minut.



Obrázek 34 - Export do CAD v programu ArcMap

6.2.4. Tvorba povrchu DMT v programu CIVIL 3D

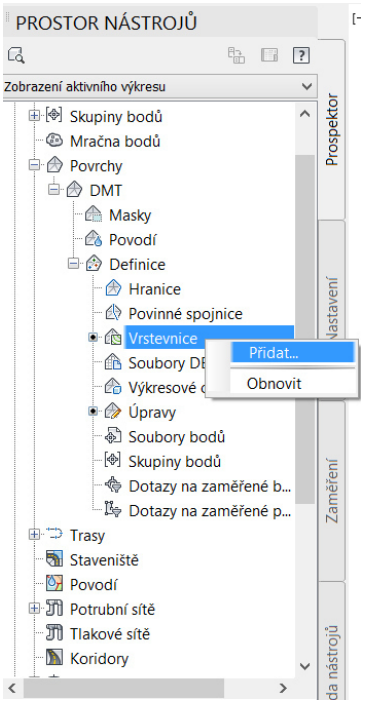
- Nově vzniklý soubor z exportu lze již otevřít v programu CIVIL 3D (Obrázek 35).



Obrázek 35 - Vytvořený DMT v programu CIVIL 3D

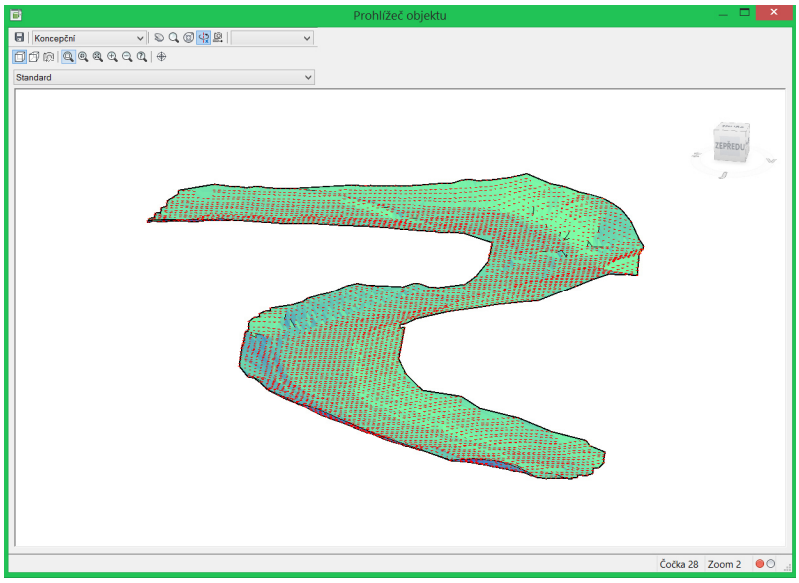
- Tvorbu vlastního povrchu provedeme v kartě ***výchozí*** kliknutím na ikonu ***povrchy***. Vybereme první možnost ***vytvořit povrch***. Zobrazí se tabulka, ve které zvolíme typ povrchu (***TIN***), povrch pojmenujeme a potvrdíme kliknutím na tlačítko ***OK***.

- V levém panelu ***prostor nástrojů*** se pod záložkou ***povrchy*** vytvořil nový TIN povrch, kterému je potřeba přidat definici. V našem případě se jedná o vrstevnice (Obrázek 36).



Obrázek 36 - Přidání definice nově vzniklému povrchu TIN v programu CIVIL 3D

- Pro změnu zobrazení povrchu a jeho prohlížení je vhodný ***prohlížeč objektů*** (Obrázek 37), který lze jednoduše otevřít, pokud klikneme pravým tlačítkem myši na povrch modelu terénu. Nalezneme ho v nabídce.



Obrázek 37 - Koncepční model DMT v prohlížeči objektů

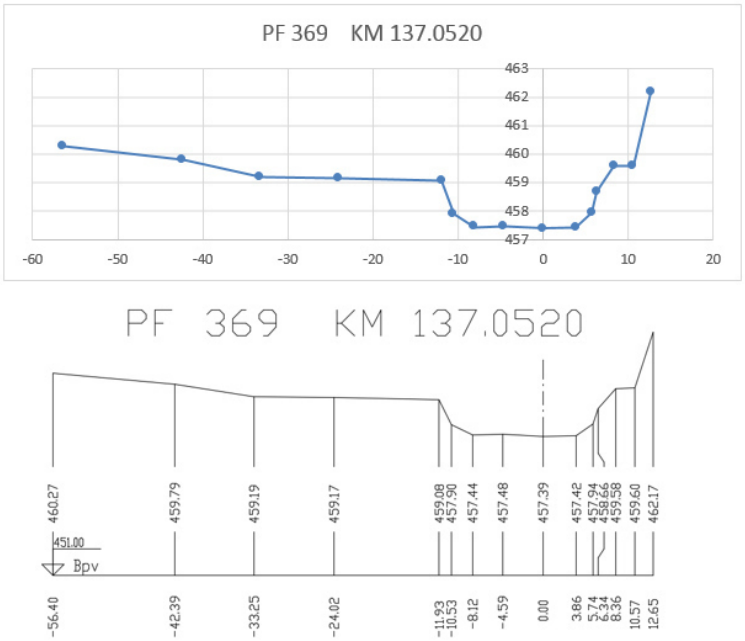
6.3. Tvorba digitálního modelu koryta

Podíváme-li se na nově vzniklý DMT pozorněji (Obrázek 37), můžeme si povšimnout nepřítomnosti koryta. Proto bylo nutné podat žádost o konkrétní zaměření příčných profilů v řešeném úseku na Povodí Moravy. Tato data byla použita pro tvorbu modelu koryta v programu CIVIL 3D. Následující kapitola se bude zabývat právě touto problematikou.

6.3.1. Zpracování vstupních dat v programu MS Excel

Data od Povodí Moravy byla ve výkresovém formátu dwg. Proto bylo nezbytné profily přepsat do textové formy, aby s daty bylo možné dále pracovat (Obrázek 38).

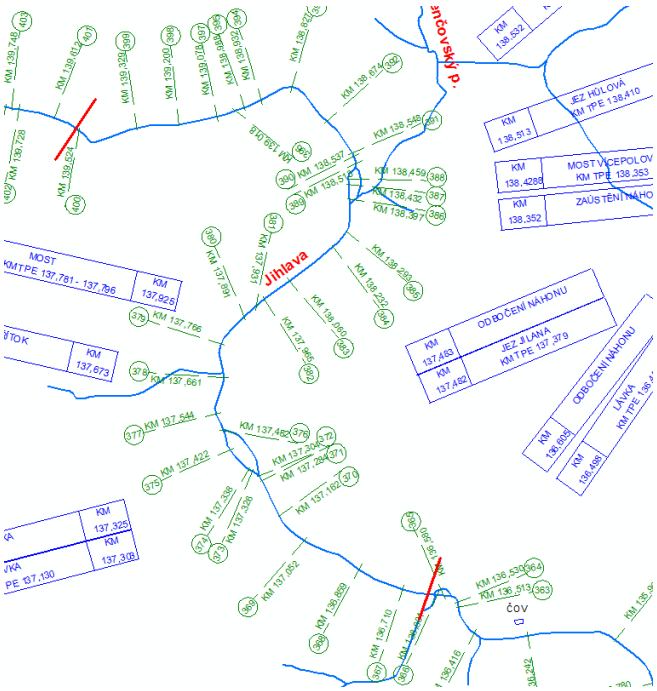
PF 369	KM 137.0520
Nadmořská výška (y)	Staničení (x)
460.27	-56.4
459.79	-42.39
459.19	-33.25
459.17	-24.02
459.08	-11.93
457.9	-10.53
457.44	-8.12
457.48	-4.59
457.39	0
457.42	3.86
457.94	5.74
458.66	6.34
459.58	8.36
459.6	10.57
462.17	12.65



Obrázek 38 - Zpracování dat v programu MS Excel

6.3.2. Tvorba digitálního modelu koryta

- Program ArcMap je schopný pracovat s formáty .dwg. Součástí obdržených dat z Povodí Moravy byla také podrobná situace (Příloha 2), kterou lze otevřít v ArcMap včetně staničení a popisu veškerých příčných profilů (Obrázek 39).


Jihlava
MOST
KM TPE 137,781 - 137,796
KM 137,926
KM 137,673
KM 137,766
KM 137,661
KM 137,544
KM 137,482
KM 137,422
KM 137,338
KM 137,326
KM 137,325
KM 137,308
KM 137,052
KM 136,859
KM 136,710
KM 136,530
KM 136,513
KM 136,416
KM 138,459
KM 138,432
KM 138,397
KM 138,548
KM 138,537
KM 138,674
KM 139,748
KM 139,624
KM 139,326
KM 139,200
KM 139,078
KM 138,928
KM 138,826
KM 138,728
KM 139,824
KM 138,532
JEZ HÚLOVÁ
KM TPE 136,410
KM 136,313
MOST V CEPOLOV
KM TPE 138,353
KM 138,4288
ZAÚSTĚNÍ NÁHO
KM 138,352
ODBOČENÍ NÁHONU
JEZ JLAVA
KM TPE 137,379
KM 137,483
KM 137,482
ODBOČENÍ NÁHONU
LAVKA
KM TPE 136,
KM 136,488
KM 136,
KM 137,483
KM 137,482
KM 137,673
KM 137,926
KM 137,325
KM 137,308
KM TPE 137,130
KM 137,338
KM 137,326
KM 137,162
KM 137,052
KM 136,859
KM 136,710
KM 136,530
KM 136,513
KM 136,416
KM 138,459
KM 138,432
KM 138,397
KM 138,548
KM 138,537
KM 138,674
KM 139,748
KM 139,624
KM 139,326
KM 139,200
KM 139,078
KM 138,928
KM 138,826
KM 138,728
KM 139,824
KM 138,532
KM 136,313
KM 138,4288
KM 138,352
KM 137,483
KM 137,482

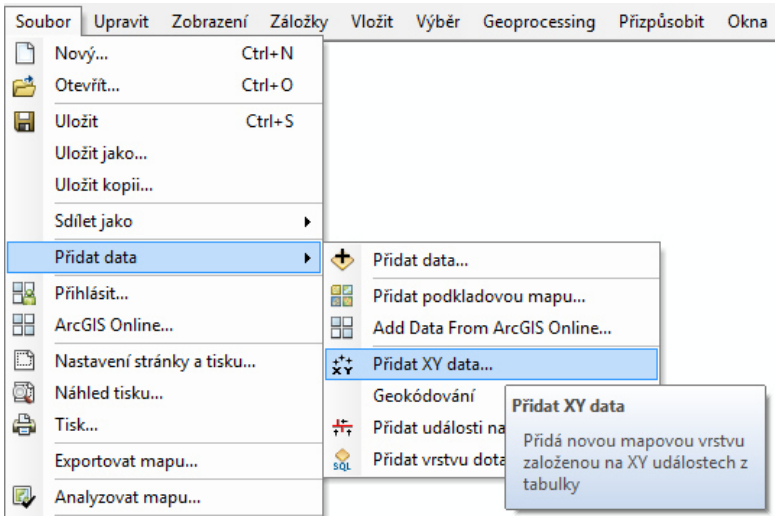
- Přidáním sloupců *X* a *Y* do atributové tabulky lze potřebné souřadnice vygenerovat. Vhodným naprogramováním v MS Excel za užití goniometrických funkcí lze dopočítat souřadnice všech bodů na daném příčném profilu (Obrázek 41).

PF	Staničení	Krajní bod		Bod v ose toku		Úhel
		X	Y	X	Y	
401	139.612	-666688.72	-1129228.56	-666713.52	-1129294.94	249.51
400	139.524	-666672.16	-1129520.56	-666636.97	-1129337.43	259.12
399	139.329	-666478.22	-1129193.71	-666457.76	-1129327.06	-81.28
398	139.200	-666343.74	-1129170.26	-666327.98	-1129317.18	-83.88
397	139.078	-666221.22	-1129233.54	-666209.47	-1129291.41	-78.52
396	139.018	-666107.76	-1129310.42	-666152.21	-1129272.95	-40.13
395	138.988	-666136.77	-1129226.10	-666123.88	-1129262.91	-70.70
369	137.052	-666010.58	-1130694.63	-665937.76	-1130610.81	229.02
368	136.859	-665785.13	-1130730.49	-665768.20	-1130698.74	241.93
367	136.710	-665649.13	-1130813.57	-665632.20	-1130760.65	252.26
366	136.601	-665544.95	-1130821.66	-665525.64	-1130778.80	245.74
365	136.580	-665514.53	-1130760.54	-665505.53	-1130780.92	-66.18
364	136.530	-665433.03	-1130787.00	-665461.87	-1130798.91	202.43
363	136.513	-665405.39	-1130807.15	-665459.37	-1130815.61	188.91

PF	X	Y	Z	staničení
369	-665900.78	-1130568.23	460.27	-56.4
369	-665909.96	-1130578.81	459.79	-42.39
369	-665915.96	-1130585.71	459.19	-33.25
369	-665922.01	-1130592.67	459.17	-24.02
369	-665929.94	-1130601.8	459.08	-11.93
369	-665930.86	-1130602.86	457.9	-10.53
369	-665932.44	-1130604.68	457.44	-8.12
369	-665934.75	-1130607.34	457.48	-4.59
369	-665937.76	-1130610.81	457.39	0
369	-665940.29	-1130613.72	457.42	3.86
369	-665941.53	-1130615.14	457.94	5.74
369	-665941.92	-1130615.59	458.66	6.34
369	-665943.25	-1130617.12	459.58	8.36
369	-665944.69	-1130618.79	459.6	10.57
369	-665946.06	-1130620.36	462.17	12.65

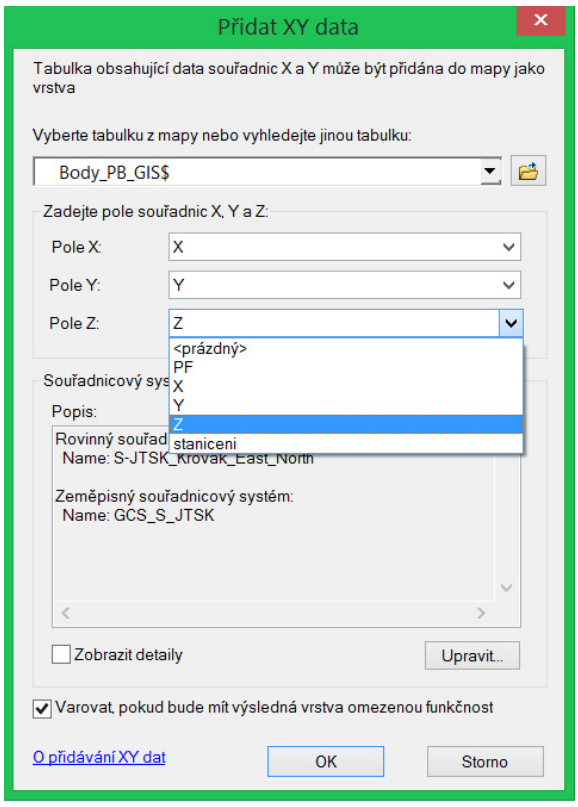
Obrázek 41 – Příklad výpočtu souřadnic pro konkrétní profil PF 369

- Pokud si připravíme data pro všechny profily, lze je jedním krokem všechny otevřít v programu ArcMap. Klikneme na záložku ***soubor*** a vybereme ***přidat data***. Zobrazením dalšího okna zvolíme příkaz ***přidat XY data*** (Obrázek 42).



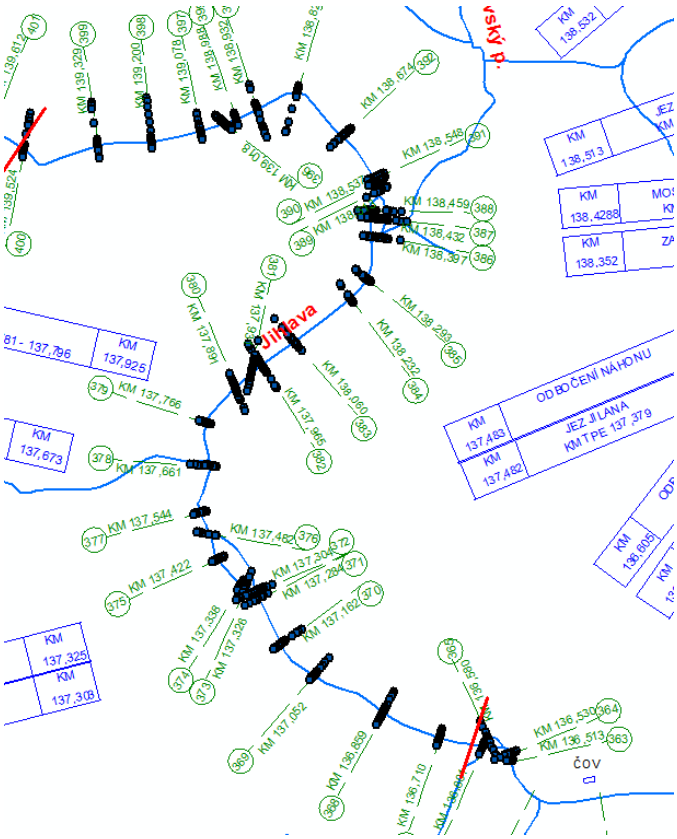
Obrázek 42 – Přidání spočtených souřadnic příčných profilů do programu ArcMap – krok 1

- Zobrazí se tabulka, do které je nutno vložit soubor, ve kterém jsou uloženy veškeré souřadnice *X*, *Y* a *Z* (Obrázek 43). Podmínkou při tvorbě tabulky je jejich seřazení ve sloupcích (Obrázek 41 – tabulka vpravo).



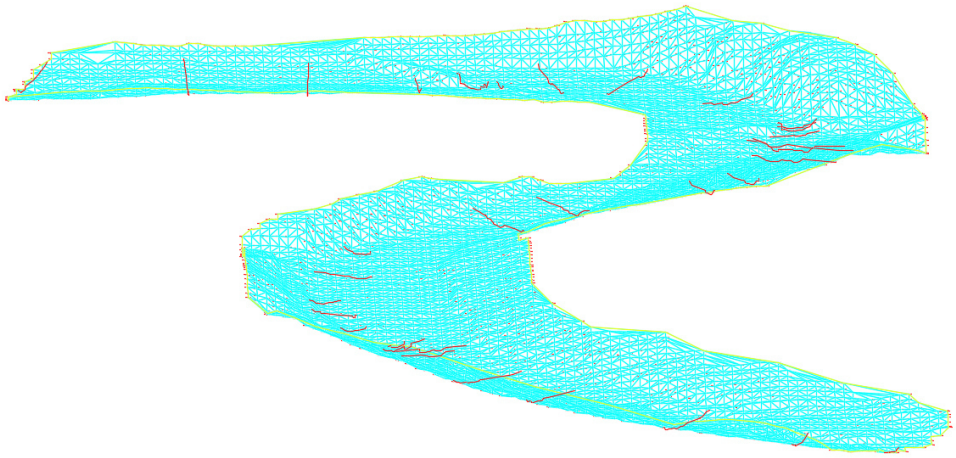
Obrázek 43 – Přidání spočtených souřadnic příčných profilů do programu ArcMap – krok 2

- Stisknutím tlačítka ***OK*** dojde k nahrání a zobrazení bodů do situace (Obrázek 44).



Obrázek 44 – Zobrazení příčných profilů v situaci v programu ArcMap

- Posledním krokem je export do CIVIL 3D (Obrázek 34).

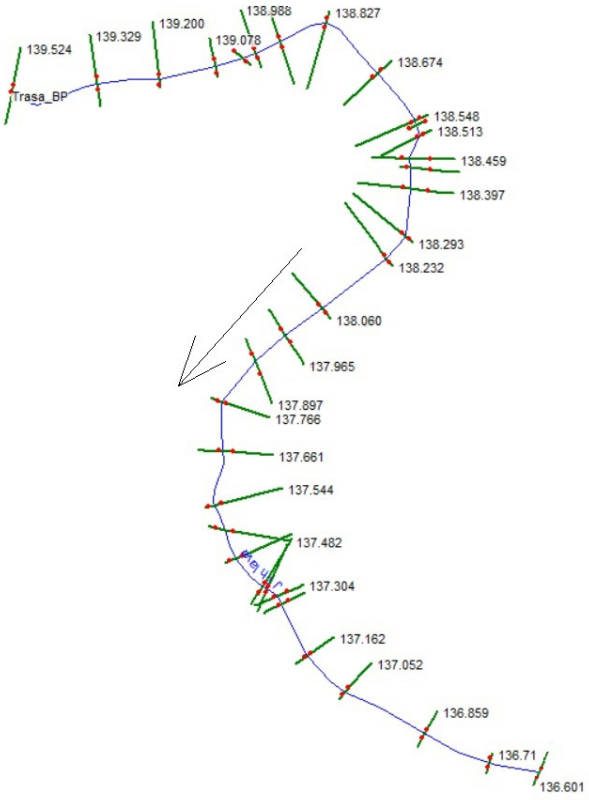


Obrázek 45 – Kombinace DMT s vloženými příčnými profily v programu CIVIL 3D

6.3.3. Export z CIVIL 3D do HEC-RAS

Program HEC-RAS pro výpočet průběhu hladin potřebuje znát geometrii koryta. Podkladem pro import dat byl připravený DMT. Postup jeho tvorby byl již zmíněn výše. Tento model je již dostatečným souborem geometrických dat pro výpočet 1D modelu.

Při exportu je nutno zvolit vytvořený povrch, trasu toku a příčné profily. Nově vzniklý soubor lze již otevřít přímo v programu HEC-RAS (Obrázek 46).



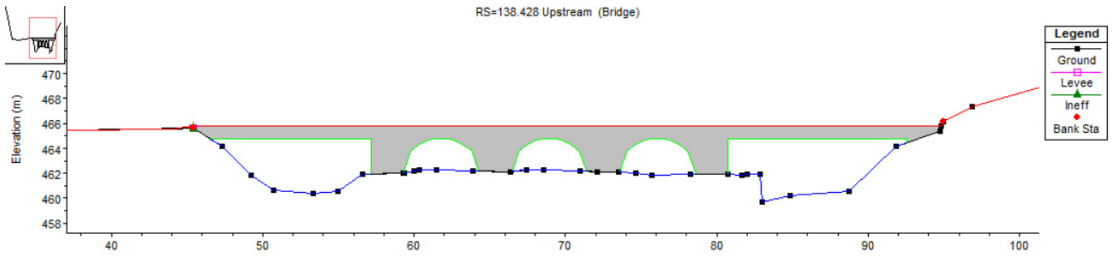
Obrázek 46 – Import do programu HEC-RAS

6.4. Příprava numerického modelu

Numerické modelování proudění povrchové vody bylo realizováno pomocí softwaru HEC-RAS. Před vlastním spuštěním výpočtu bylo však nutné do modelu vložit objekty, zadat drsnosti koryta a provést interpolaci mezi vzdálenými příčnými profily.

6.4.1. Vložení objektů

Geometrie toku má na výpočet nejzásadnější vliv, ale není jediným souborem vstupních dat. Pro správnost výsledků a pokud možno co nejpřesnějšího nasimulování skutečného stavu řešeného úseku bylo důležité v prvním kroku vložit objekty (jezy, mosty a lávky). Na následujícím obrázku (Obrázek 47) je zobrazen příklad vložení silničního vícepólového mostu na ř. km 138,428.



Obrázek 47 – Příklad vložení mostu v programu HEC-RAS (silniční vícepólový most)

6.4.2. Určení drsností koryta

Dalším faktorem, který podstatně ovlivňuje výpočet, je drsnost koryta. Podkladem pro určení drsností byla fotodokumentace, která byla pořízena na obchůzce po celé délce řešeného úseku. V kombinaci s katalogem drsností [B4] došlo k vyhodnocení a zvolení drsnostních součinitelů tak, aby byl vystižen charakter povrchu toku a jeho okolí.

V rámci kalibrace modelu bylo v místech, kde dochází k usazování sedimentu a tedy ke zmenšení plochy průtočného profilu (např. před jezem) použito hodnot drsnosti součinitele až 1,3. Touto hodnotou byl také zohledněn vliv přítoku plavenin při povodňových průtocích, kdy dojde k ucpání objektu a tedy ke vzdutí vodní hladiny. V našem případě se jednalo o vzdutí lávkou na ř. km 137,303.

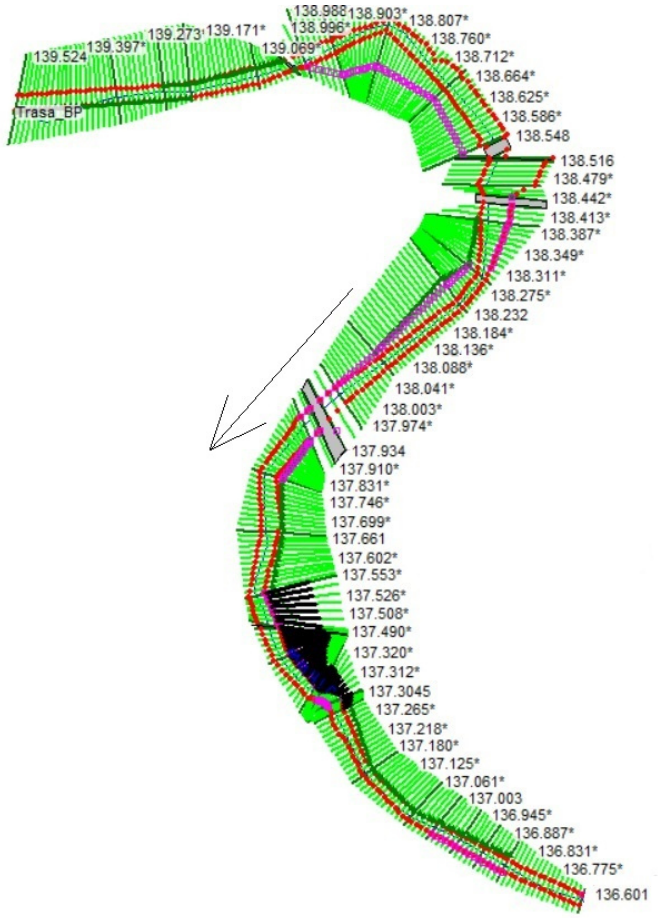
Tabulka 3 – Použité součinitele drsnosti po kalibraci

Typ povrchu koryta	Hodnota *n*
Dno	0,035 – 0,045
Svahy udržované	0,045
Svahy s křovinami	0,06 – 0,08

6.4.3. Úprava modelu koryta

Pro zpřesnění výsledků byla provedena lineární interpolace mezi zaměřenými profily. Vzdálenosti horních a dolních profilů se pohybovaly v rozmezí 25 – 190 m. Interpolací se vzdálenosti zmenšily na maximálních 10 m, v místech potřeby až na 3 m (Obrázek 48).

Před vlastní interpolací byly do příčných profilů zadány břehové hrany, neefektivní plochy, hrázky a budovy. Pokud by však byla provedena interpolace před vlastním zadáním těchto charakteristických okolností, byl by problém je poté do výpočtů dodatečně zahrnout, neboť by se tento krok musel opakovat v každém interpolovaném profilu, což by bylo časově velmi náročné.



Obrázek 48 – Připravený 1D model v programu HEC-RAS

7. Hydrotechnické výpočty

Hydrotechnické výpočty sloužily pro zjištění kapacity toky a průběhu výšky hladiny po celé délce řešeného úseku, tj. pro stanovení rozlivů. Výpočet byl proveden pro povodňové průtoky Q_1, Q_5, Q_{20} a Q_{100}.

Samotný výpočet byl uskutečněn v programu HEC-RAS 4.1 v režimu ustáleného nerovnoměrného proudění metodou po úsecích. Bližší informace k modelu jsou uvedeny v předchozí kapitole (Kap. 6.4).

Pro samotný výpočet bylo nezbytné zadat okrajové podmínky. Protože bylo předpokládáno říční proudění, tedy výpočet od nejnižšího profilu, jako okrajová podmínka byla zvolena známá hladina na konci řešeného úseku na jezu Bradlo, který se nachází na ř. km 136,580.

Kalibrace modelu byla provedena na základě dat od Povodí Moravy. Jelikož tato data byla stanovena rovněž na základě výpočtového modelu, může být přesnost výsledků ovlivněna. V rámci kalibrace došlo k upravení součinitelů drsností (Tabulka 3) a neefektivních ploch, aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků.

7.1. Posouzení kapacity koryta v současném stavu

Výpočty kapacit koryta byly provedeny v aplikaci HEC-RAS. Výsledky jsou shrnuty a zpracovány v následujících tabulkách (Tabulka 4 – Tabulka 7).

Výpočet kapacity koryta:

Průtok: $Q_1 = 29\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 458{,}91$ m n. m.

Tabulka 4 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_1

		Dle Povodí Moravy		Po kalibraci					
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rozdíl hladin [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]
400	139,524	463,08	2,18	463,61	2,71	-0,53	0,65	463,91	465,85
399	139,329	462,97	2,25	463,54	2,82	-0,57	0,60	463,03	466,17
398	139,200	462,88	2,20	463,50	2,82	-0,62	0,61	463,28	466,16
397	139,078	462,81	1,94	463,47	2,60	-0,66	0,53	463,11	465,91
396	139,018	462,77	1,98	463,45	2,66	-0,68	0,55	463,30	465,29
395	138,988	462,75	2,20	463,44	2,89	-0,69	0,55	462,97	465,49
394	138,932	462,71	2,06	463,42	2,77	-0,71	0,58	463,22	463,42
393	138,827	462,55	2,56	463,39	3,40	-0,84	0,64	465,37	463,14
392	138,674	462,30	1,76	463,35	2,81	-1,05	0,52	467,11	462,89
391	138,548	462,13	1,56	463,32	2,75	-1,19	0,51	470,40	463,95
390	138,537	462,12	1,54	463,31	2,73	-1,19	0,52	468,03	468,89
389	138,513	462,04	1,54	463,32	2,82	-1,28	0,17	468,00	465,19
388	138,459	462,04	2,17	462,21	2,34	-0,17	0,24	466,50	465,19
387	138,432	461,99	1,92	462,11	2,04	-0,12	1,22	465,59	466,13
386	138,397	461,97	1,90	462,03	1,96	-0,06	0,73	464,31	465,20
385	138,293	461,86	2,24	461,93	2,31	-0,07	0,98	465,48	462,16
384	138,232	461,73	1,70	461,80	1,77	-0,07	1,30	466,64	461,59
383	138,060	461,52	1,87	461,60	1,95	-0,08	0,81	465,27	461,02
382	137,965	461,44	1,89	461,53	1,98	-0,09	0,73	464,07	462,95
380	137,897	461,40	2,03	461,47	2,10	-0,07	0,72	463,94	463,22
379	137,766	461,28	2,17	461,35	2,24	-0,07	0,90	462,80	461,28
378	137,661	461,18	1,88	461,25	1,95	-0,07	0,87	462,01	461,57
377	137,544	461,09	2,48	461,14	2,53	-0,05	0,83	462,02	462,59
376	137,482	461,09	2,34	461,15	2,40	-0,06	0,31	461,55	462,25
375	137,422	459,79	1,54	459,90	1,65	-0,11	1,35	460,67	462,16
374	137,338	459,52	1,95	459,77	2,20	-0,25	0,84	460,68	461,11
373	137,326	459,50	1,92	459,70	2,12	-0,20	1,08	461,50	461,50
372	137,304	459,49	2,04	459,54	2,38	-0,05	0,72	461,47	461,47
371	137,284	459,49	2,70	459,48	2,69	0,01	0,72	461,02	458,92
370	137,162	459,36	1,80	459,34	1,78	0,02	1,06	459,21	458,88
369	137,052	459,22	1,83	459,23	1,84	-0,01	0,95	459,08	459,58
368	136,859	459,08	2,23	459,10	2,25	-0,02	0,69	458,95	458,11
367	136,710	459,01	2,22	459,03	2,24	-0,02	0,71	458,75	458,39
366	136,601	458,91	2,54	458,91	2,54	0	1,02	458,52	458,46

Průtok: $Q_5 = 58\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 459{,}44$ m n. m.

Tabulka 5 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_5

		Dle Povodí Moravy		Po kalibraci					
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rozdíl hladin [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]
400	139,524	463,95	3,05	464,17	3,27	-0,22	0,99	463,91	465,85
399	139,329	463,83	3,11	464,04	3,32	-0,21	0,94	463,03	466,17
398	139,200	463,76	3,08	463,97	3,29	-0,21	0,90	463,28	466,16
397	139,078	463,68	2,81	463,91	3,04	-0,23	0,83	463,11	465,91
396	139,018	463,63	2,84	463,87	3,08	-0,24	0,91	463,30	465,29
395	138,988	463,60	3,05	463,86	3,31	-0,26	0,82	462,97	465,49
394	138,932	463,58	2,93	463,83	3,18	-0,25	0,87	463,22	463,42
393	138,827	463,34	3,35	463,74	3,75	-0,40	1,08	465,37	463,14
392	138,674	463,03	2,49	463,64	3,10	-0,61	0,88	467,11	462,89
391	138,548	462,86	2,29	463,54	2,97	-0,68	0,90	470,40	463,95
390	138,537	462,83	2,25	463,53	2,95	-0,70	0,92	468,03	468,89
389	138,513	462,80	2,30	463,53	3,03	-0,73	0,31	468,00	465,19
388	138,459	462,78	2,91	462,87	3,00	-0,09	0,35	466,50	465,19
387	138,432	462,74	2,67	462,79	2,72	-0,05	1,14	465,59	466,13
386	138,397	462,71	2,64	462,71	2,64	0	0,87	464,31	465,20
385	138,293	462,57	2,95	462,56	2,94	0,01	1,36	465,48	462,16
384	138,232	462,48	2,45	462,45	2,42	0,03	1,46	466,64	461,59
383	138,060	462,22	2,57	462,24	2,59	-0,02	1,11	465,27	461,02
382	137,965	462,14	2,59	462,15	2,60	-0,01	1,01	464,07	462,95
380	137,897	462,07	2,70	462,07	2,70	0	0,98	463,94	463,22
379	137,766	461,87	2,76	461,88	2,77	-0,01	1,30	462,80	461,28
378	137,661	461,73	2,43	461,71	2,41	0,02	1,27	462,01	461,57
377	137,544	461,53	2,92	461,45	2,84	0,08	1,39	462,02	462,59
376	137,482	461,53	2,78	461,47	2,72	0,06	0,55	461,55	462,25
375	137,422	460,41	2,16	460,64	2,39	-0,23	1,47	460,67	462,16
374	137,338	460,22	2,65	460,54	2,97	-0,32	1,11	460,68	461,11
373	137,326	460,17	2,59	460,41	2,83	-0,24	1,56	461,50	461,50
372	137,304	460,17	2,72	460,23	3,07	-0,06	0,98	461,47	461,47
371	137,284	460,17	3,38	460,13	3,34	0,04	1,05	461,02	458,92
370	137,162	460,06	2,50	459,98	2,42	0,08	1,24	459,21	458,88
369	137,052	459,90	2,51	459,86	2,47	0,04	1,18	459,08	459,58
368	136,859	459,73	2,88	459,72	2,87	0,01	0,91	458,95	458,11
367	136,710	459,60	2,81	459,60	2,81	0	1,05	458,75	458,39
366	136,601	459,44	3,07	459,44	3,07	0	1,41	458,52	458,46

Průtok: $Q_{20} = 86\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 459{,}84$ m n. m.

Tabulka 6 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{20}

		Dle Povodí Moravy		Po kalibraci					
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rozdíl hladin [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]
400	139,524	464,55	3,65	464,61	3,71	-0,06	1,19	463,91	465,85
399	139,329	464,41	3,69	464,44	3,72	-0,03	1,18	463,03	466,17
398	139,200	464,34	3,66	464,36	3,68	-0,02	1,05	463,28	466,16
397	139,078	464,26	3,39	464,29	3,42	-0,03	1,01	463,11	465,91
396	139,018	464,19	3,40	464,22	3,43	-0,03	1,16	463,30	465,29
395	138,988	464,17	3,62	464,22	3,67	-0,05	0,97	462,97	465,49
394	138,932	464,15	3,50	464,18	3,53	-0,03	1,04	463,22	463,42
393	138,827	463,91	3,92	464,05	4,06	-0,14	1,37	465,37	463,14
392	138,674	463,57	3,03	463,90	3,36	-0,33	1,13	467,11	462,89
391	138,548	463,39	2,82	463,73	3,16	-0,34	1,20	470,40	463,95
390	138,537	463,37	2,79	463,72	3,14	-0,35	1,25	468,03	468,89
389	138,513	463,36	2,86	463,73	3,23	-0,37	0,43	468,00	465,19
388	138,459	463,34	3,47	463,35	3,48	-0,01	0,42	466,50	465,19
387	138,432	463,29	3,22	463,27	3,20	0,02	1,21	465,59	466,13
386	138,397	463,26	3,19	463,19	3,12	0,07	0,98	464,31	465,20
385	138,293	463,12	3,50	463,02	3,40	0,10	1,58	465,48	462,16
384	138,232	463,04	3,01	462,93	2,90	0,11	1,54	466,64	461,59
383	138,060	462,76	3,11	462,71	3,06	0,05	1,32	465,27	461,02
382	137,965	462,66	3,11	462,61	3,06	0,05	1,21	464,07	462,95
380	137,897	462,58	3,21	462,51	3,14	0,07	1,17	463,94	463,22
379	137,766	462,32	3,21	462,26	3,15	0,06	1,57	462,80	461,28
378	137,661	462,17	2,87	462,05	2,75	0,12	1,52	462,01	461,57
377	137,544	461,88	3,27	461,62	3,01	0,26	1,88	462,02	462,59
376	137,482	461,88	3,13	461,65	2,90	0,23	0,74	461,55	462,25
375	137,422	460,91	2,66	461,18	2,93	-0,27	1,60	460,67	462,16
374	137,338	460,75	3,18	461,08	3,51	-0,33	1,31	460,68	461,11
373	137,326	460,66	3,08	460,90	3,32	-0,24	1,94	461,50	461,50
372	137,304	460,65	3,20	460,69	3,53	-0,04	1,18	461,47	461,47
371	137,284	460,65	3,86	460,58	3,79	0,07	1,25	461,02	458,92
370	137,162	460,55	2,99	460,42	2,86	0,13	1,32	459,21	458,88
369	137,052	460,40	3,01	460,31	2,92	0,09	1,32	459,08	459,58
368	136,859	460,22	3,37	460,17	3,32	0,05	1,03	458,95	458,11
367	136,710	460,04	3,25	460,00	3,21	0,04	1,31	458,75	458,39
366	136,601	459,84	3,47	459,84	3,47	0	1,60	458,52	458,46

Průtok: $Q_{100} = 125\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 460{,}31$ m n. m.

Tabulka 7 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{100}

		Dle Povodí Moravy		Po kalibraci					
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rozdíl hladin [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]
400	139,524	465,20	4,30	465,15	4,25	0,05	1,35	463,91	465,85
399	139,329	465,02	4,30	464,95	4,23	0,07	1,40	463,03	466,17
398	139,200	464,96	4,28	464,87	4,19	0,09	1,16	463,28	466,16
397	139,078	464,87	4,00	464,79	3,92	0,08	1,17	463,11	465,91
396	139,018	464,77	3,98	464,68	3,89	0,09	1,43	463,30	465,29
395	138,988	464,76	4,21	464,70	4,15	0,06	1,08	462,97	465,49
394	138,932	464,75	4,10	464,66	4,01	0,09	1,15	463,22	463,42
393	138,827	464,55	4,56	464,52	4,53	0,03	1,56	465,37	463,14
392	138,674	464,21	3,67	464,33	3,79	-0,12	1,32	467,11	462,89
391	138,548	464,04	3,47	464,14	3,57	-0,10	1,38	470,40	463,95
390	138,537	464,02	3,44	464,11	3,53	-0,09	1,53	468,03	468,89
389	138,513	464,02	3,52	464,12	3,62	-0,10	0,56	468,00	465,19
388	138,459	464,00	4,13	463,94	4,07	0,06	0,49	466,50	465,19
387	138,432	463,94	3,87	463,84	3,77	0,10	1,30	465,59	466,13
386	138,397	463,91	3,84	463,77	3,70	0,14	1,10	464,31	465,20
385	138,293	463,76	4,14	463,58	3,96	0,18	1,77	465,48	462,16
384	138,232	463,69	3,66	463,51	3,48	0,18	1,63	466,64	461,59
383	138,060	463,40	3,75	463,26	3,61	0,14	1,60	465,27	461,02
382	137,965	463,29	3,74	463,16	3,61	0,13	1,41	464,07	462,95
380	137,897	463,18	3,81	463,04	3,67	0,14	1,34	463,94	463,22
379	137,766	462,86	3,75	462,76	3,65	0,10	1,82	462,80	461,28
378	137,661	462,71	3,41	462,55	3,25	0,16	1,70	462,01	461,57
377	137,544	462,31	3,70	462,08	3,47	0,23	2,18	462,02	462,59
376	137,482	462,31	3,56	462,14	3,39	0,17	0,91	461,55	462,25
375	137,422	461,64	3,39	461,81	3,56	-0,17	1,72	460,67	462,16
374	137,338	461,59	4,02	461,72	4,15	-0,13	1,45	460,68	461,11
373	137,326	461,59	4,01	461,43	3,85	0,16	2,38	461,50	461,50
372	137,304	461,21	3,76	461,18	4,02	0,03	1,43	461,47	461,47
371	137,284	461,20	4,41	461,06	4,27	0,14	1,47	461,02	458,92
370	137,162	461,11	3,55	460,91	3,35	0,20	1,44	459,21	458,88
369	137,052	460,96	3,57	460,8	3,41	0,16	1,42	459,08	459,58
368	136,859	460,78	3,93	460,66	3,81	0,12	1,15	458,95	458,11
367	136,710	460,54	3,75	460,45	3,66	0,09	1,60	458,75	458,39
366	136,601	460,31	3,94	460,31	3,94	0	1,73	458,52	458,46

Podíváme-li se na výsledné tabulky pro průtoky Q_1, Q_5 a Q_{20}, všimneme si rozdílu hladin od příčného profilu 389 až k profilu 400. Odchylka je viditelná u nižších průtoků a se zvyšujícím se průtokem se odchylka zmenšuje.

Na následující fotografii (Obrázek 49) je vidět jez Hůlová s mlýnem (ř. km 138,513), ke kterému vede náhon. Tento náhon byl v modelu zanedbán na základě malé průtočnosti při povodních. Po zkontaktování majitele nemovitosti bylo zjištěno, že náhon zásobuje jednu turbínu Francis s průměrem oběžného kola 1,3 m. Maximální hltnost je uváděna hodnotou 2,5 m^3/s. Při povodňových stavech, kdy výška hladiny dosahuje přibližně 0,4 m nad hranu přelivné konstrukce (lze přirovnat k průtoku Q_1), dochází k jejímu odstavení a náhon se stává průtočným pouze jalovou propustí, která má rozměry 2 x 1,5 metru. Důvodem, proč je turbína odstavena z provozu, je obava o poškození stroje či vyplavení budovy.



Obrázek 49 – Jez Hůlová ve staničení 138,513

Přestože je jalová propust přítomna, není s ní ve výpočtu uvažováno, neboť dle informací majitele dochází za povodňových průtoků k ucpání přítoku na náhon plavenými nečistotami a propust se tak stává téměř neprůtočnou. Nahromaděné pláví vytvoří na česlích bariéru, která vodu usměrní přímo na jez.

Jez vzdouvá vodu na úroveň přelivné hrany, která se nachází ve výšce 462,94 m n. m. Na základě několika pochůzek bylo ověřeno, že voda přepadá přes jez i za nižších průtoků. Tato fotografie (Obrázek 49) byla pořízena za přibližně průměrného ročního průtoku, který činí hodnotu 1,96 m^3/s. [A1] Vezmeme-li v úvahu tento fakt, není tedy reálné, aby výška hladiny například pro Q_1 při průtoku 29 m^3/s, pro který byl výpočet uskutečněn, nedosahovala úrovně jezové hrany.

Při průtoku Q_{100} je již tato odchylka zanedbatelně malá a k rozdílu hladin tedy dochází minimálně. Tato odchylka může být způsobena odlišnými uvažovanými podmínkami ve výpočtových modelech.

Následující odstavce a tabulky blíže přibližují situaci rozlivů za zkoumaných N-letých průtoků.

Na řešeném úseku dochází k vybřežení z koryta v následujících úsecích:

- V profilech 400 – 394 ve staničení 139,524 – 138,932 dochází k levostrannému rozlivu při každém řešeném průtoku (Q_1, Q_5, Q_{20}, Q_{100}). Tento úsek rozděluje železniční most na dvě části. V prvním úseku je rozliv neškodný, v části za mostem však dochází k zaplavení chatové oblasti a přilehlých zahrad již za průtoku Q_1.

- V profilech 394 – 391 ve staničení 138,932 – 138,548 levostranný rozliv pokračuje na lesní cestu, která vede právě k chatám. Protože se jedná pouze o chaty určené k rekreaci, cesta k nim je uvažována jako prostor bermy a při větších průtocích je tedy brána jako součást koryta. Pravostranné rozlití řeky zaplavuje rovinnou část plochy, která je určená pro výcvik psů. Dále rozliv přejde do lesní části. K vybřežení dochází od průtoku Q_1.

- V profilech 385 – 382 ve staničení 138,293 – 137,965 pravostranný rozliv zaplavuje část přilehlých zahrad včetně několika budov. Koryto začíná být nedostatečně kapacitní už od průtoku Q_1. Jelikož dochází k zaplavení v malé výšce vody, není v této části rozliv nijak řešen.

- V profilech 379 – 374 ve staničení 137,766 – 137,338 se na levém břehu nacházejí budovy skladů a staré továrny. Od průtoku Q_{20} dochází k jejich zatopení. U profilu 374 se nachází mateřská školka se zahradou. Tento úsek lze určit za nejvíce kritický.

- V koncovém úseku mezi profily 371 – 366 ve staničení 137,284 – 136,601 je okolí koryta neobydleno. Při oboustranném přelití břehových hran od průtoku Q_1 dojde k zaplavení pouze zahrad na levém břehu. Pravý břeh tvoří svah, který vodu bez problému zadrží.

V následující tabulce (Tabulka 8) je shrnuto zobrazení celého řešeného úseku s grafickým zobrazením profilů, ve kterých je koryto nedostatečně kapacitní (červeně).

Za důležité zmínit okolnost, že v mnoha případech nebylo zcela jasné určit, který z bodů příčného profilu je břehovou hranicí. Hranice, při které již dochází k přelití břehu a následnému rozlivu, je tedy ke zvolení velmi individuální.

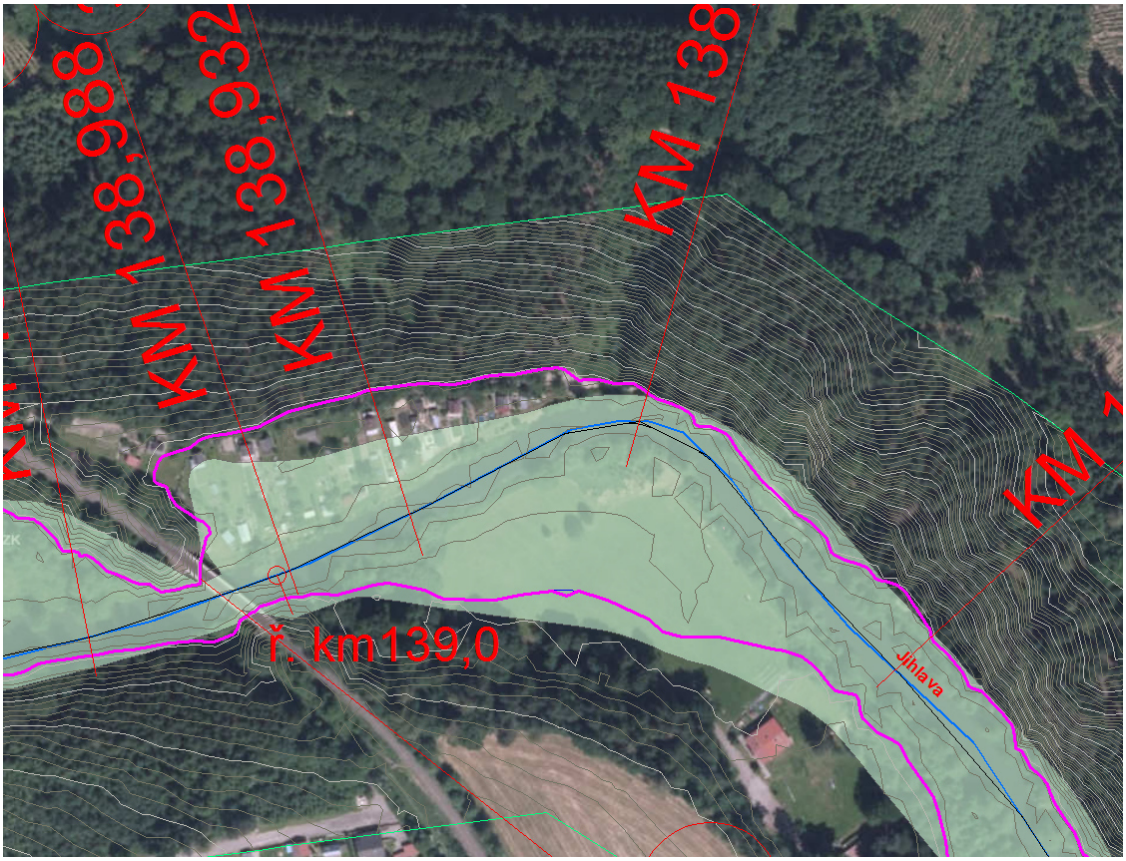
Tabulka 8 – Porovnání vybřežení v profilech za N-letých průtoků

		Q_1		Q_5		Q_{20}		Q_{100}	
Příčný profil PF	Staničení	Rozliv na LB	Rozliv na PB	Rozliv na LB	Rozliv na PB	Rozliv na LB	Rozliv na PB	Rozliv na LB	Rozliv na PB
400	139,524	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
399	139,329	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
398	139,200	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
397	139,078	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
396	139,018	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
395	138,988	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
394	138,932	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
393	138,827	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
392	138,674	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
391	138,548	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ANO
390	138,537	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
389	138,513	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
388	138,459	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
387	138,432	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
386	138,397	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
385	138,293	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
384	138,232	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
383	138,060	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
382	137,965	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ANO
380	137,897	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
379	137,766	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
378	137,661	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
377	137,544	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ANO	NE
376	137,482	NE	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE
375	137,422	NE	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE
374	137,338	NE	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	ANO
373	137,326	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
372	137,304	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
371	137,284	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
370	137,162	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
369	137,052	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
368	136,859	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
367	136,710	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
366	136,601	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

7.2. Stanovení rozlivů

Rozlivy byly stanoveny na základě výpočtu průběhu hladin dle programu HEC-RAS a vytvořeného DMT, do kterého byly rozlivy ručně zakresleny. Pro vykreslení bylo nezbytné v DMT zapnout zobrazení vrstevnic dle potřeby. Rozlivy byly vykresleny pro průtoky Q_{20}, Q_{100} (Přílohy 3 a 4).

Následovalo porovnání vypočtených rozlivů s daty ze serveru DIBAVOD (Obrázek 50).



Obrázek 50 – Porovnání vypočteného rozlivu (fialově) s daty ze serveru DIBAVOD (šraf zeleně) pro Q_{100} v chatové oblasti

Rozlivy se v některých místech lišily. Důvodem může být fakt, že DMT, který byl použit pro vykreslení hladin je přesnější a lépe vystihuje morfologii terénu.

7.3. Návrh PPO

Pro návrh protipovodňového opatření je nutno dobře zvážit poměr možných škod způsobených záplavou a množství finančních prostředků, které by bylo potřebné vynaložit na jejich ochranu.

Na řešeném úseku bude provedena ochrana chatové oblasti na průtok Q_5 ve staničení 139,018 – 138,833. Dále bude provedena ochrana skladů, budov a mateřské školky nacházejících se ve staničení 137,925 – 137,294. Tyto budovy budou ochráněny na průtok Q_{100} (Příloha 5).

V rámci PPO bylo provedeno následující:

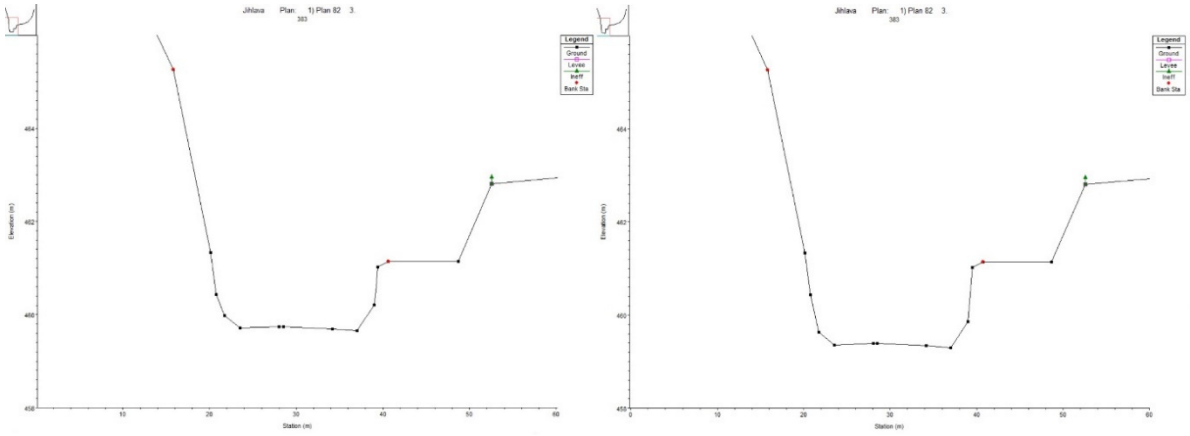
- Prohloubení koryta,
- Výstavba ochranné zemní hrázky,
- Výstavba ochranné betonové zídky.

7.3.1. Prohloubení koryta – SO1

Prohrábka byla provedena v hloubce cca 0,35 m od železničního mostu, který se nachází ve staničení 139,013, dále kolem chatové oblasti až po silniční most ve staničení 138,548. Toto opatření bylo využito i ve staničení 138,397 – 137,965. V tomto úseku se voda rozlévá do přilehlých zahrad. Třetím úsekem ve staničení 137,891 – 137,284, kde proběhlo pročištění koryta od sedimentů, je oblast u průmyslových budov a skladů.

Tento způsob se však jako protipovodňové opatření na zvětšení kapacity koryta nijak výrazně nepodepsal, protože došlo k pouze nepatrnému zlepšení.

Na následujícím obrázku (Obrázek 51) je zobrazen příklad prohloubení dna v příčném profilu 383. Levá polovina obrázku zastupuje skutečný stav, vpravo je dno sníženo o 35 cm.



Obrázek 51 – Příklad prohrábky v příčném profilu 383 ve staničení 138,060 (vpravo profil s prohrábkou)

7.3.2. Výstavba ochranné hrázky – SO2

Výška ochranné zemní hrázky na levém břehu okolo chatové oblasti byla navržena do výšky 464,04 - 464,09 m n. m. V návrhu je uvažováno s rezervou 0,3 m nad hladinu Q_5. Zábrana bude dlouhá 206 m. Zídka bude zavázána do železničního mostu, který se nachází ve staničení 139,018, a pokračovat bude kolem toku až za oblast chat do staničení 138,833, kde zaústí do svahu. Zde však dojde k překročení příjezdové cesty, proto bude nutné zřídit mobilní kus, který bude dle potřeby zasunut do připravených sloupků.

Při případném ohrožení bude před vlastním umístěním mobilního kusu provedena obhlídka oblasti s případným vyzváním k evakuaci. Pokud by přesto došlo k zaplavení, a tedy ke znemožnění odchodu neevakuované osoby, je možno prostor opustit lesní cestou.

Jelikož výška hrázky se bude pohybovat od 0,79 až do 1,11 m nad terén, bylo by proto nutné po konzultaci s majiteli přilehlých pozemků vytvořit přístup k vodě pomocí mobilních kusů.

Ideový návrh PPO je zpracován v příloze č. 8.



Obrázek 52 – Oblast výstavby zemní hrázky (pohled proti proudu toku)

7.3.3. Výstavba ochranné zídky – SO3

Posledním navrženým stavebním objektem bude ochranná betonová zídka. Tato zídka bude postavena na levém břehu od staničení 137,925, kde se nachází silniční most, až do staničení 137,294, kde bude zavázána do terénu. Dojde tak k ochraně průmyslových budov a tamní mateřské školky. Výška zídky se bude pohybovat od 0,18 m do 1,42 m. V návrhu je uvažováno s rezervou 0,3 m nad hladinu Q_{100}.

Zídka bude postavena jako přístavba ke stávajícím objektům. Jelikož je návrh pouze ideový, nebude blíže specifikován rozsah výstavby. Tento návrh bude nutné zpřesnit na základě dalších analýz. Nejednalo by se totiž o komplexní výstavbu zídky, spíše pouze o množinu dílčích vyzdívek a opatření, která by ve výsledku tvořila kontinuální a dostatečně těsnou bariéru. Na následujícím obrázku (Obrázek 53) lze vidět jeden z několika prostorů, kudy dochází k vniknutí vody do prostoru areálu.



Obrázek 53 – Jedno z mnoha míst, kde dochází k zaplavení areálu

V rámci této PPO bude nevyhnutelnou součástí rekonstrukce stávající jezové konstrukce, aby bylo možné dle potřeby uzavřít náhon mobilním kusem a zabránit tak vniknutí vody do prostoru tamních budov.

Dále bude nutné zbourat a vybudovat novou lávku na vyústění náhonu (Obrázek 54). Lávka bude vybavena drážkami pro mobilní kusy PPO. Zábradlí bude vybetonováno a bude tvořit komplexní bariéru s hrazením. V této oblasti tedy dojde k přerušení betonové zídky na dvě části, aby nedošlo k zaplavení chráněného úseku dolní vodou.

Ideový návrh PPO je zpracován v příloze č. 9.



Obrázek 54 - Zpětný pohled na lávku přes náhon u mateřské školky

7.4. Posouzení kapacity koryta po provedení PPO

Ověření kapacity koryta s navrženou PPO bylo provedeno v aplikaci HEC-RAS. Výsledky jsou shrnuty a zpracovány v následujících tabulkách (Tabulka 9 – Tabulka 12) s vyznačením výšek PPO a nových nadmořských výšek levých břehů po provedení PPO. Zeleně jsou vyznačeny buňky, kde je navrženo PPO s vyhovující výškou, červeně jsou označeny buňky, kde již není dostatečně vysoké a dochází k přelití.

V návrhu je uvažováno s rezervou 30 cm nad úroveň výšky hladiny, na kterou byla ochrana zvolena (Kap 7.3).

Průtok: $Q_1 = 29\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 458{,}91$ m n. m.

Tabulka 9 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_1 po provedení PPO

		Po kalibraci						
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]	Výška PPO [m]	LB po PPO [m n.m.]
400	139,524	463,57	2,67	0,66	463,91	465,85	-	463,91
399	139,329	463,50	2,78	0,61	463,03	466,17	-	463,03
398	139,200	463,46	2,78	0,63	463,28	466,16	-	463,28
397	139,078	463,43	2,56	0,55	463,11	465,91	-	463,11
396	139,018	463,41	2,62	0,57	463,30	465,29	0,79	464,09
395	138,988	463,40	2,85	0,52	462,97	465,49	1,11	464,08
394	138,932	463,39	2,74	0,54	463,22	463,42	0,82	464,04
393	138,827	463,36	3,37	0,58	465,37	463,14	-	465,37
392	138,674	463,34	2,80	0,46	467,11	462,89	-	467,11
391	138,548	463,32	2,75	0,45	470,40	463,95	-	470,40
390	138,537	463,31	2,73	0,52	468,03	468,89	-	468,03
389	138,513	463,32	2,82	0,17	468,00	465,19	-	468,00
388	138,459	462,09	2,22	0,26	466,50	465,19	-	466,50
387	138,432	461,93	1,86	1,51	465,59	466,13	-	465,59
386	138,397	461,84	1,77	0,84	464,31	465,20	-	464,31
385	138,293	461,74	2,12	0,92	465,48	462,16	-	465,48
384	138,232	461,65	1,62	1,14	466,64	461,59	-	466,64
383	138,060	461,52	1,87	0,72	465,27	461,14	-	465,27
382	137,965	461,45	1,90	0,77	464,07	462,95	-	464,07
380	137,897	461,39	2,02	0,76	463,94	463,22	-	463,94
379	137,766	461,29	2,18	0,80	462,80	461,28	0,21	463,01
378	137,661	461,23	1,93	0,74	462,01	461,57	0,84	462,85
377	137,544	461,14	2,53	0,84	462,02	462,59	0,45	462,47
376	137,482	461,15	2,40	0,31	461,55	462,25	0,99	462,54
375	137,422	459,89	1,64	1,36	468,00	462,16	1,42	462,09
374	137,338	459,75	2,18	0,85	468,00	461,11	1,30	461,98
373	137,326	459,67	2,09	1,10	461,50	461,50	0,18	461,68
372	137,304	459,53	2,37	0,72	461,47	461,47	-	461,47
371	137,284	459,48	2,69	0,72	461,02	458,92	-	461,02
370	137,162	459,34	1,78	1,06	459,21	458,88	-	459,21
369	137,052	459,23	1,84	0,95	459,08	459,58	-	459,08
368	136,859	459,10	2,25	0,69	458,95	458,11	-	458,95
367	136,710	459,03	2,24	0,71	458,75	458,39	-	458,75
366	136,601	458,91	2,54	1,02	458,52	458,46	-	458,52

Průtok: $Q_5 = 58\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 459{,}44$ m n. m.

Tabulka 10 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_5 po provedení PPO

		Po kalibraci						
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]	Výška PPO [m]	LB po PPO [m n.m.]
400	139,524	464,12	3,22	1,01	463,91	465,85	-	463,91
399	139,329	463,99	3,27	0,97	463,03	466,17	-	463,03
398	139,200	463,90	3,22	0,94	463,28	466,16	-	463,28
397	139,078	463,84	2,97	0,86	463,11	465,91	-	463,11
396	139,018	463,79	3,00	0,94	463,30	465,29	0,79	464,09
395	138,988	463,78	3,23	0,90	462,97	465,49	1,11	464,08
394	138,932	463,74	3,09	0,93	463,22	463,42	0,82	464,04
393	138,827	463,68	3,69	1,01	465,37	463,14	-	465,37
392	138,674	463,62	3,08	0,81	467,11	462,89	-	467,11
391	138,548	463,54	2,97	0,81	470,40	463,95	-	470,40
390	138,537	463,53	2,95	0,92	468,03	468,89	-	468,03
389	138,513	463,53	3,03	0,31	468,00	465,19	-	468,00
388	138,459	462,77	2,90	0,37	466,50	465,19	-	466,50
387	138,432	462,67	2,60	1,27	465,59	466,13	-	465,59
386	138,397	462,55	2,48	0,97	464,31	465,20	-	464,31
385	138,293	462,41	2,79	1,32	465,48	462,16	-	465,48
384	138,232	462,31	2,28	1,42	466,64	461,59	-	466,64
383	138,060	462,15	2,50	1,02	465,27	461,14	-	465,27
382	137,965	462,06	2,51	1,06	464,07	462,95	-	464,07
380	137,897	461,96	2,59	1,05	463,94	463,22	-	463,94
379	137,766	461,79	2,68	1,21	462,80	461,28	0,21	463,01
378	137,661	461,67	2,37	1,13	462,01	461,57	0,84	462,85
377	137,544	461,44	2,83	1,40	462,02	462,59	0,45	462,47
376	137,482	461,47	2,72	0,55	461,55	462,25	0,99	462,54
375	137,422	460,62	2,37	1,48	468,00	462,16	1,42	462,09
374	137,338	460,52	2,95	1,12	468,00	461,11	1,30	461,98
373	137,326	460,38	2,80	1,58	461,50	461,50	0,18	461,68
372	137,304	460,21	3,05	0,98	461,47	461,47	-	461,47
371	137,284	460,13	3,34	1,05	461,02	458,92	-	461,02
370	137,162	459,98	2,42	1,24	459,21	458,88	-	459,21
369	137,052	459,86	2,47	1,18	459,08	459,58	-	459,08
368	136,859	459,72	2,87	0,91	458,95	458,11	-	458,95
367	136,710	459,60	2,81	1,05	458,75	458,39	-	458,75
366	136,601	459,44	3,07	1,41	458,52	458,46	-	458,52

Průtok: $Q_{20} = 86\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 459{,}84$ m n. m.

Tabulka 11 - Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{20} po provedení PPO

		Po kalibraci						
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]	Výška PPO [m]	LB po PPO [m n.m.]
400	139,524	464,57	3,67	1,22	463,91	465,85	-	463,91
399	139,329	464,39	3,67	1,21	463,03	466,17	-	463,03
398	139,200	464,29	3,61	1,09	463,28	466,16	-	463,28
397	139,078	464,21	3,34	1,05	463,11	465,91	-	463,11
396	139,018	464,13	3,34	1,20	463,30	465,29	0,79	464,09
395	138,988	464,11	3,56	1,20	462,97	465,49	1,11	464,08
394	138,932	464,06	3,41	1,22	463,22	463,42	0,82	464,04
393	138,827	463,96	3,97	1,32	465,37	463,14	-	465,37
392	138,674	463,87	3,33	1,05	467,11	462,89	-	467,11
391	138,548	463,74	3,17	1,09	470,40	463,95	-	470,40
390	138,537	463,71	3,13	1,25	468,03	468,89	-	468,03
389	138,513	463,72	3,22	0,43	468,00	465,19	-	468,00
388	138,459	463,25	3,38	0,44	466,50	465,19	-	466,50
387	138,432	463,15	3,08	1,30	465,59	466,13	-	465,59
386	138,397	463,05	2,98	1,06	464,31	465,20	-	464,31
385	138,293	462,89	3,27	1,53	465,48	462,16	-	465,48
384	138,232	462,81	2,78	1,52	466,64	461,59	-	466,64
383	138,060	462,63	2,98	1,23	465,27	461,14	-	465,27
382	137,965	462,53	2,98	1,26	464,07	462,95	-	464,07
380	137,897	462,41	3,04	1,22	463,94	463,22	-	463,94
379	137,766	462,19	3,08	1,48	462,80	461,28	0,21	463,01
378	137,661	462,04	2,74	1,37	462,01	461,57	0,84	462,85
377	137,544	461,72	3,11	1,79	462,02	462,59	0,45	462,47
376	137,482	461,76	3,01	0,73	461,55	462,25	0,99	462,54
375	137,422	461,17	2,92	1,62	468,00	462,16	1,42	462,09
374	137,338	461,07	3,50	1,33	468,00	461,11	1,30	461,98
373	137,326	460,86	3,28	1,96	461,50	461,50	0,18	461,68
372	137,304	460,67	3,51	1,19	461,47	461,47	-	461,47
371	137,284	460,58	3,79	1,25	461,02	458,92	-	461,02
370	137,162	460,42	2,86	1,32	459,21	458,88	-	459,21
369	137,052	460,31	2,92	1,32	459,08	459,58	-	459,08
368	136,859	460,17	3,32	1,03	458,95	458,11	-	458,95
367	136,710	460,00	3,21	1,31	458,75	458,39	-	458,75
366	136,601	459,84	3,47	1,60	458,52	458,46	-	458,52

Průtok: $Q_{100} = 125\ m^3/s$

Dolní okrajová podmínka: známá hladina na jezu při daném průtoku $h = 460{,}31$ m n. m.

Tabulka 12 - Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{100} po provedení PPO

		Po kalibraci						
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Hloubka vody [m]	Rychlost [m/s]	LB [m n.m.]	PB [m n.m.]	Výška PPO [m]	LB po PPO [m n.m.]
400	139,524	465,10	4,20	1,38	463,91	465,85	-	463,91
399	139,329	464,89	4,17	1,43	463,03	466,17	-	463,03
398	139,200	464,80	4,12	1,20	463,28	466,16	-	463,28
397	139,078	464,71	3,84	1,21	463,11	465,91	-	463,11
396	139,018	464,60	3,81	1,47	463,30	465,29	0,79	464,09
395	138,988	464,56	4,01	1,52	462,97	465,49	1,11	464,08
394	138,932	464,49	3,84	1,52	463,22	463,42	0,82	464,04
393	138,827	464,37	4,38	1,52	465,37	463,14	-	465,37
392	138,674	464,25	3,71	1,27	467,11	462,89	-	467,11
391	138,548	464,08	3,51	1,32	470,40	463,95	-	470,40
390	138,537	464,04	3,46	1,58	468,03	468,89	-	468,03
389	138,513	464,05	3,55	0,57	468,00	465,19	-	468,00
388	138,459	463,84	3,97	0,51	466,50	465,19	-	466,50
387	138,432	463,73	3,66	1,37	465,59	466,13	-	465,59
386	138,397	463,64	3,57	1,16	464,31	465,20	-	464,31
385	138,293	463,46	3,84	1,74	465,48	462,16	-	465,48
384	138,232	463,40	3,37	1,61	466,64	461,59	-	466,64
383	138,060	463,19	3,54	1,50	465,27	461,14	-	465,27
382	137,965	463,08	3,53	1,45	464,07	462,95	-	464,07
380	137,897	462,96	3,59	1,39	463,94	463,22	-	463,94
379	137,766	462,71	3,60	1,72	462,80	461,28	0,21	463,01
378	137,661	462,55	3,25	1,54	462,01	461,57	0,84	462,85
377	137,544	462,17	3,56	2,08	462,02	462,59	0,45	462,47
376	137,482	462,24	3,49	0,92	461,55	462,25	0,99	462,54
375	137,422	461,79	3,54	1,80	460,67	462,16	1,42	462,09
374	137,338	461,68	4,11	1,57	460,68	461,11	1,30	461,98
373	137,326	461,38	3,80	2,42	461,50	461,50	0,18	461,68
372	137,304	461,15	3,99	1,44	461,47	461,47	-	461,47
371	137,284	461,06	4,27	1,47	461,02	458,92	-	461,02
370	137,162	460,91	3,35	1,44	459,21	458,88	-	459,21
369	137,052	460,80	3,41	1,42	459,08	459,58	-	459,08
368	136,859	460,66	3,81	1,15	458,95	458,11	-	458,95
367	136,710	460,45	3,66	1,60	458,75	458,39	-	458,75
366	136,601	460,31	3,94	1,73	458,52	458,46	-	458,52

7.5. Zhodnocení účinnosti PPO

V níže uvedené tabulce (Tabulka 13) jsou graficky vyznačeny změny (žlutě), ke kterým došlo ke zkapacitnění vlivem výstavby PPO. Jedná se o úpravu původní tabulku, která zobrazovala profily, ve kterých došlo k přelití břehových linií za stávajícího stavu (Tabulka 8).

V chatové oblasti ve staničení 139,018 až 138,833 zemní hrázka zamezí levostrannému rozlivu, a tedy i zatopení.

Výstavbou ochranné betonové zídky ve staničení 137,925 až 137,294 se zabrání rozlivu do areálu průmyslových budov, odkud se poté voda dostávala až k budově školky.

Jelikož výstavbou PPO dochází k soustředění rozlité masy vody do užšího prostoru toku, lze předpokládat, že dojde k navýšení hladiny vody a vzniku nežádoucích rozlivů v místech, kde doposud nebyly žádné problémy. Na základě těchto předpokladů byl proveden hydraulický výpočet s cílem ověřit ovlivnění hladiny díky výstavbě PPO.V poslední uvedené tabulce (Tabulka 14) je znázorněno srovnání výšek hladin před a po provedení PPO při Q_{20} a Q_{100}. Kladná hodnota znázorňuje navýšení hladiny, záporná její pokles.

Z tabulky je patrné, že nedošlo k navýšení hladiny, spíše naopak. Největší vliv vzdutí byl zaznamenán v profilu 376, kdy při Q_{20} byla hladina navýšena o 11 cm a při Q_{100} došlo ke vzdutí o pouhých 10 cm (oranžově vyznačeno). Těmto pozitivním výsledkům napomohla hlavně prohrábka, která způsobila vykompenzování změny výšky hladiny. Pokud by prohrábka nebyla provedena, došlo by ke vzdutí hladiny a to by mohlo způsobovat záplavy v místech, kde doposud žádný problém nebyl.

V přílohách 6 a 7 jsou vykresleny rozlivy pro průtoky Q_{20} a Q_{100} po provedení PPO.

Tabulka 13 – Porovnání vybřežení v profilech za N-letých průtoků po provedení PPO

		Q_1		Q_5		Q_{20}		Q_{100}	
Příčný profil PF	Staničení	Rozliv na LB	Rozliv na PB	Rozliv na LB	Rozliv na PB	Rozliv na LB	Rozliv na PB	Rozliv na LB	Rozliv na PB
400	139,524	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
399	139,329	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
398	139,200	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
397	139,078	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
396	139,018	NE	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE
395	138,988	NE	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE
394	138,932	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
393	138,827	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
392	138,674	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
391	138,548	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ANO
390	138,537	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
389	138,513	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
388	138,459	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
387	138,432	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
386	138,397	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
385	138,293	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
384	138,232	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
383	138,060	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
382	137,965	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ANO
380	137,897	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
379	137,766	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
378	137,661	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
377	137,544	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
376	137,482	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
375	137,422	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
374	137,338	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ANO
373	137,326	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
372	137,304	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
371	137,284	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
370	137,162	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
369	137,052	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
368	136,859	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
367	136,710	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
366	136,601	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

Tabulka 14 – Porovnání výšek hladin před a po provedení PPO při Q_{20} a Q_{100}

Kladná hodnota znázorňuje navýšení hladiny, záporná její pokles.

		Q_{20}			Q_{100}		
		před PPO	po PPO	-	před PPO	po PPO	-
Příčný profil PF	Staničení	Výška hladiny [m n.m.]	Výška hladiny [m n.m.]	Rozdíl hladin [m]	Výška hladiny [m n.m.]	Výška hladiny [m n.m.]	Rozdíl hladin [m]
400	139,524	464,61	464,57	-0,04	465,15	465,10	-0,05
399	139,329	464,44	464,39	-0,05	464,95	464,89	-0,06
398	139,200	464,36	464,29	-0,07	464,87	464,80	-0,07
397	139,078	464,29	464,21	-0,08	464,79	464,71	-0,08
396	139,018	464,22	464,13	-0,09	464,68	464,60	-0,08
395	138,988	464,22	464,11	-0,11	464,70	464,56	-0,14
394	138,932	464,18	464,06	-0,12	464,66	464,49	-0,17
393	138,827	464,05	463,96	-0,09	464,52	464,37	-0,15
392	138,674	463,90	463,87	-0,03	464,33	464,25	-0,08
391	138,548	463,73	463,74	0,01	464,14	464,08	-0,06
390	138,537	463,72	463,71	-0,01	464,11	464,04	-0,07
389	138,513	463,73	463,72	-0,01	464,12	464,05	-0,07
388	138,459	463,35	463,25	-0,10	463,94	463,84	-0,10
387	138,432	463,27	463,15	-0,12	463,84	463,73	-0,11
386	138,397	463,19	463,05	-0,14	463,77	463,64	-0,13
385	138,293	463,02	462,89	-0,13	463,58	463,46	-0,12
384	138,232	462,93	462,81	-0,12	463,51	463,40	-0,11
383	138,060	462,71	462,63	-0,08	463,26	463,19	-0,07
382	137,965	462,61	462,53	-0,08	463,16	463,08	-0,08
380	137,897	462,51	462,41	-0,10	463,04	462,96	-0,08
379	137,766	462,26	462,19	-0,07	462,76	462,71	-0,05
378	137,661	462,05	462,04	-0,01	462,55	462,55	0
377	137,544	461,62	461,72	0,10	462,08	462,17	0,09
376	137,482	461,65	461,76	**0,11**	462,14	462,24	**0,10**
375	137,422	461,18	461,17	-0,01	461,81	461,79	-0,02
374	137,338	461,08	461,07	-0,01	461,72	461,68	-0,04
373	137,326	460,90	460,86	-0,04	461,43	461,38	-0,05
372	137,304	460,69	460,67	-0,02	461,18	461,15	-0,03
371	137,284	460,58	460,58	0	461,06	461,06	0
370	137,162	460,42	460,42	0	460,91	460,91	0
369	137,052	460,31	460,31	0	460,80	460,80	0
368	136,859	460,17	460,17	0	460,66	460,66	0
367	136,710	460,00	460,00	0	460,45	460,45	0
366	136,601	459,84	459,84	0	460,31	460,31	0

8. Závěr

Byla zpracována studie kapacity toku na řece Jihlavě v ř. km 139,5 – 136,6. Výpočtům proudění povrchové vody při povodňových průtocích předcházela tvorba DMT, který byl použit pro export geometrie toku do programu HEC-RAS. Pomocí tohoto programu byly vypočteny průběhy hladin za povodňových průtoku Q_1, Q_5, Q_{20} a Q_{100}. Před vlastním výpočtem byla provedena kalibrace modelu na základě podkladů, které poskytlo Povodí Moravy. Již zmiňovaný výpočet proběhl v ustáleném nerovnoměrném režimu proudění pro úsek s 34 příčnými profily o délce 3,1 km.

Výsledky hydrotechnických výpočtů kapacity stávajícího koryta jsou blíže popsány v Kap. 7.1. K nejzásadnějším rozlivům dochází v chatové oblasti a v intravilánu obce u průmyslových budov, skladů a místní mateřské školky.

Prvním opatřením, které mohlo kapacitě koryta pomoci, byla prohrábka dna v problematických úsecích cca 0,35 m (Kap. 7.3.1). Po provedení druhé série výpočtů však bylo zjištěno, že toto PPO nijak situaci ve vybraných úsecích nezlepší a proto bylo potřeba navrhnout důslednější ochranu v podobě zemní hrázky a betonové zídky.

Chatová oblast, nacházející se ve staničení 139,018 – 138,833 na levém břehu, bude ochráněna na povodňový průtok Q_5. Kolem této oblasti dojde k výstavbě zemní hrázky (Příloha 8). Výška hrázky se pohybuje v rozmezí 0,79 – 1,11 m. Návrh byl proveden s rezervou 30 cm nad hladinu Q_5. Její délka bude 206 m (Kap. 7.3.2). V místě křížení cesty bude nutné vždy při ohrožení povodněmi uložit mobilní kus.

Druhým úsekem, kde bude navržena PPO je oblast průmyslových budov a mateřské školky. Jedná se o oblast ve staničení 137,925 – 137,294. Na levém břehu dojde k výstavbě komplexní ochrany betonovou zídkou (Příloha 9). Výška zídky bude v rozmezí 0,18 m do 1,42 m, opět s rezervou 30 cm, tentokrát však nad hladinu Q_{100}. Jelikož je návrh pouze ideový, bude ho nutné upřesnit na základě dalších analýz (Kap. 7.3.3).

Po provedení všech těchto PPO byla provedena třetí série výpočtů znovu pro všechny řešené průtoky. Výsledky s grafickým odlišením použitých PPO jsou zpracovány v Kap. 7.4.

Posledním krokem bylo vypracování výkresů rozlivů pro průtoky Q_{20} a Q_{100}. Rozlivy před PPO byly porovnány s daty ze serveru DIBAVOD (Příloha 3 a 4). Dále byly zpracovány rozlivy po provedení PPO, které se následně porovnaly s původními stanovenými rozlivy (Příloha 6 a 7). Z důvodu neměnnosti původních výšek hladin byly vykresleny pouze dílčí úseky v místech, kde byla PPO navržena.

9. Zdroje

9.1. Podklady

[A1] Evidenční list hlásného profilu č. 385. 04.03.2016.

[A2] ArcGIS: - Geologická a geomorfologická mapa (ČGS) [online]. 2016 [cit. 2016-04-04].

[A3] Mapy.cz [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: mapy.cz.

[A4] Základní báze geografických dat České republiky - úvod. Geoportál ČÚZK: Přístup k mapovým produktům a službám resortu [online]. 2015 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/(S(ld43xxc0zaepqr0zmitlpqxt))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24.

[A5] Dibavod. VÚV TGM: Oddělení geografických informačních systémů a kartografie [online]. 2016 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://www.dibavod.cz/17/geodatabaze-dibavod.html?PHPSESSID=ddc9ad0838444f881c6c263bc3d9533c.

[A6] Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). Geoportál ČÚZK: Přístup k mapovým produktům a službám resortu [online]. 2015 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/(S(g4l4x1zcf0stmnqvkjttuwih))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302.

[A7] Příčné a podélné profily toku Jihlava v ř. km 139,5 – 136,6. 2015. Povodí Moravy, s.p.

9.2. Literatura

[B1] Jihlava (řeka). Wikipedie [online]. 2016 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jihlava_(řeka).

[B2] Řeky prameny. Geography.ophelp [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://geography.okhelp.cz/czech/reky-prameny.php.

[B3] J. JANDORA a J. ŠULC, HYDRAULIKA, Brno: Akademické nakladatelství CERN, 2006, p. 178.

[B4] Ing. L. Smelík, „Katalog drsností," Ústav vodních staveb Fakulty stavební VUT v Brně, [Online]. Dostupné z: https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/.

[B5] Povodí Moravy. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE PLÁNU DÍLČÍHO POVODÍ DYJE: Analýza všeobecných a vodohospodářských charakteristik povodí (podle § 8 vyhlášky). [online]. 2013 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://www.pmo.cz/download/1.3-vseob-charakteristiky-dyj.pdf.

[B6] Web Map Service. Wikipedia [online]. 2014 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Web_Map_Service.

Seznam tabulek:

Tabulka 1 - N-leté průtoky [A7] ..... - 28 -
Tabulka 2 - Objekty na řešeném úseku ..... - 28 -
Tabulka 3 – Použité součinitele drsnosti po kalibraci ..... - 51 -
Tabulka 4 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_1 ..... - 54 -
Tabulka 5 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_5 ..... - 55 -
Tabulka 6 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{20} ..... - 56 -
Tabulka 7 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{100} ..... - 57 -
Tabulka 8 – Porovnání vybřežení v profilech za N-letých průtoků ..... - 61 -
Tabulka 9 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_1 po provedení PPO..... - 68 -
Tabulka 10 – Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_5 po provedení PPO..... - 69 -
Tabulka 11 - Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{20} po provedení PPO ..... - 70 -
Tabulka 12 - Vyhodnocení kapacity příčných profilů při průtoku Q_{100} po provedení PPO .... - 71 -
Tabulka 13 – Porovnání vybřežení v profilech za N-letých průtoků po provedení PPO..... - 73 -
Tabulka 14 – Porovnání výšek hladin před a po provedení PPO při Q_{20} a Q_{100} ..... - 74 -

Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Ustálené proudění ..... - 14 -
Obrázek 2 - Určení základních charakteristik profilu ..... - 14 -
Obrázek 3 - Profily o různých drsnostech ..... - 16 -
Obrázek 4 – Složený průtočný profil ..... - 17 -
Obrázek 5 - Křivka vzdutí ..... - 18 -
Obrázek 6 - Křivka snížení ..... - 19 -
Obrázek 7 - Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění ..... - 20 -
Obrázek 8 - Směr výpočtu nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [B3] ..... - 21 -
Obrázek 9 - Vymezení dílčích povodí v ČR ..... - 22 -
Obrázek 10 - Hydrologické poměry ..... - 23 -
Obrázek 11 - Průměrný roční úhrn srážek [mm] z let 1961 – 2000 ..... - 24 -
Obrázek 12 - Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu [°C] z let 1961-2000 [B5] ..... - 25 -
Obrázek 13 – Mapa ČR – řeka Jihlava [B2] ..... - 26 -
Obrázek 14 – Mapa řešeného úseku [A2] ..... - 27 -
Obrázek 15 - Mapa objektů na řešeném úseku ..... - 29 -
Obrázek 16 - Mapa zaplavované chatové oblasti [A3] ..... - 29 -
Obrázek 17 - Zaplavení chatové oblasti v roce 1985 ..... - 30 -
Obrázek 18 - Zaplavení chatové oblasti v roce 2006 ..... - 30 -
Obrázek 19 - Porovnání povodňového stavu (2010) - vlevo s běžným průtokem – vpravo (intravilán obce) ..... - 31 -
Obrázek 20 - Porovnání povodňového stavu (2010) - vlevo s běžným průtokem – vpravo (intravilán obce) ..... - 31 -
Obrázek 21 - Schéma postupu prací v softwarech ..... - 34 -
Obrázek 22 - Připojení SHP - krok č. 1 ..... - 35 -
Obrázek 23 - Připojení SHP krok č. 2 ..... - 35 -
Obrázek 24 - Připojení SHP krok č. 3 ..... - 36 -
Obrázek 25 - Připojení SHP krok č. 4 ..... - 36 -
Obrázek 26 - Příklad SHP v programu CIVIL 3D - Jemné úseky toků ..... - 37 -
Obrázek 27 - Postup připojení SHP v programu ArcMap ..... - 37 -
Obrázek 28 - Tvorba prvního úseku v programu CIVIL 3D ..... - 38 -
Obrázek 29 - Rozdělení dílčích úseků v programu CIVIL 3D ..... - 39 -
Obrázek 30 - Nahrání prvního úseku do programu ArcMap ..... - 39 -
Obrázek 31 - Export dat do formátu .shp v programu ArcMap ..... - 40 -

Obrázek 32 - Dílčí úseky s DM reliéfu v programu ArcMap ..... - 41 -
Obrázek 33 - Input do nástroje Profile v programu ArcMap ..... - 41 -
Obrázek 34 - Export do CAD v programu ArcMap ..... - 43 -
Obrázek 35 - Vytvořený DMT v programu CIVIL 3D ..... - 43 -
Obrázek 36 - Přidání definice nově vzniklému povrchu TIN v programu CIVIL 3D ..... - 44 -
Obrázek 37 - Koncepční model DMT v prohlížeči objektů ..... - 44 -
Obrázek 38 - Zpracování dat v programu MS Excel ..... - 45 -
Obrázek 39 - Situace řešeného úseku v programu ArcMap ..... - 46 -
Obrázek 40 – Vzorové umístění orientačních bodů ..... - 46 -
Obrázek 41 – Příklad výpočtu souřadnic pro konkrétní profil PF 369 ..... - 47 -
Obrázek 42 – Přidání spočtených souřadnic příčných profilů do programu ArcMap – krok 1 - 48 -
Obrázek 43 – Přidání spočtených souřadnic příčných profilů do programu ArcMap – krok 2 - 48 -
Obrázek 44 – Zobrazení příčných profilů v situaci v programu ArcMap ..... - 49 -
Obrázek 45 – Kombinace DMT s vloženými příčnými profily v programu CIVIL 3D ..... - 49 -
Obrázek 46 – Import do programu HEC-RAS ..... - 50 -
Obrázek 47 – Příklad vložení mostu v programu HEC-RAS (silniční vícepólový most) ..... - 51 -
Obrázek 48 – Připravený 1D model v programu HEC-RAS ..... - 52 -
Obrázek 49 – Jez Hůlová ve staničení 138,513 ..... - 58 -
Obrázek 50 – Porovnání vypočteného rozlivu (fialově) s daty ze serveru DIBAVOD (šraf zeleně) pro Q_{100} v chatové oblasti ..... - 62 -
Obrázek 51 – Příklad prohrábky v příčném profilu 383 ve staničení 138,060 ..... - 64 -
Obrázek 52 – Oblast výstavby zemní hrázky (pohled proti proudu toku) ..... - 65 -
Obrázek 53 – Jedno z mnoha míst, kde dochází k zaplavení areálu ..... - 66 -
Obrázek 54 - Zpětný pohled na lávku přes náhon u mateřské školky ..... - 67 -

Seznam použitých zkratek a symbolů:

1D	jednorozměrný
2D	dvojrozměrný
3D	trojrozměrný
PPO	protipovodňová ochrana
DMT	digitální model terénu
DMR 5G	digitální model reliéfu 5. generace
Q_1	jednoletý průtok [m^3/s]
Q_5	pětiletý průtok [m^3/s]
Q_{20}	dvacetiletý průtok [m^3/s]
Q_{100}	stoletý průtok [m^3/s]
TIN	Triangulated Irregular Network
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ESRI	Environmental Systems Research Institute
JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers – River Analysis System
SHP	shapefile
WMS	Web Map Service
SPA	stupeň povodňové aktivity
Q	průtok [m^3/s]
v	střední profilová rychlost [m/s]
A	průtočná plocha [m^2]
O	omočený obvod [m]
R	hydraulický poloměr [m]
h	hloubka vody [m]
Δh	rozdíl horní a dolní hladiny [m]
ΔL	délka úseku mezi profily i a i+1 [m]
h_z	celková hydraulická ztráta [m]
h_t	hydraulická ztráta třením [m]
h_m	hydraulická ztráta místní [m]
i	sklon čáry energie [-]
i_o	podélný sklon dna [-]

i_h	podélný sklon hladiny [-]
n	součinitel drsnosti [-]
C	rychlostní součinitel [$m^{0,5}/s$]
d	charakteristické zrno [mm]
α	Coriolisovo číslo [-]
g	tíhové zrychlení [m/s^2]

Seznam příloh:

1. Situace širších vztahů M: 1:125 000
2. Podrobná situace M: 1:4 000
3. Mapa rozlivů Q_{20} M: 1:4 000
4. Mapa rozlivů Q_{100} M: 1:4000
5. Přehledná situace - Návrh PPO M: 1:4000
6. Situace rozlivů po PPO při Q_{20} M: 1:4000
7. Situace rozlivů po PPO při Q_{100} M: 1:4000
8. Příčný řez PPO – zemní hrázka M: 1:50
9. Příčný řez PPO – betonová zídka M: 1:50