



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

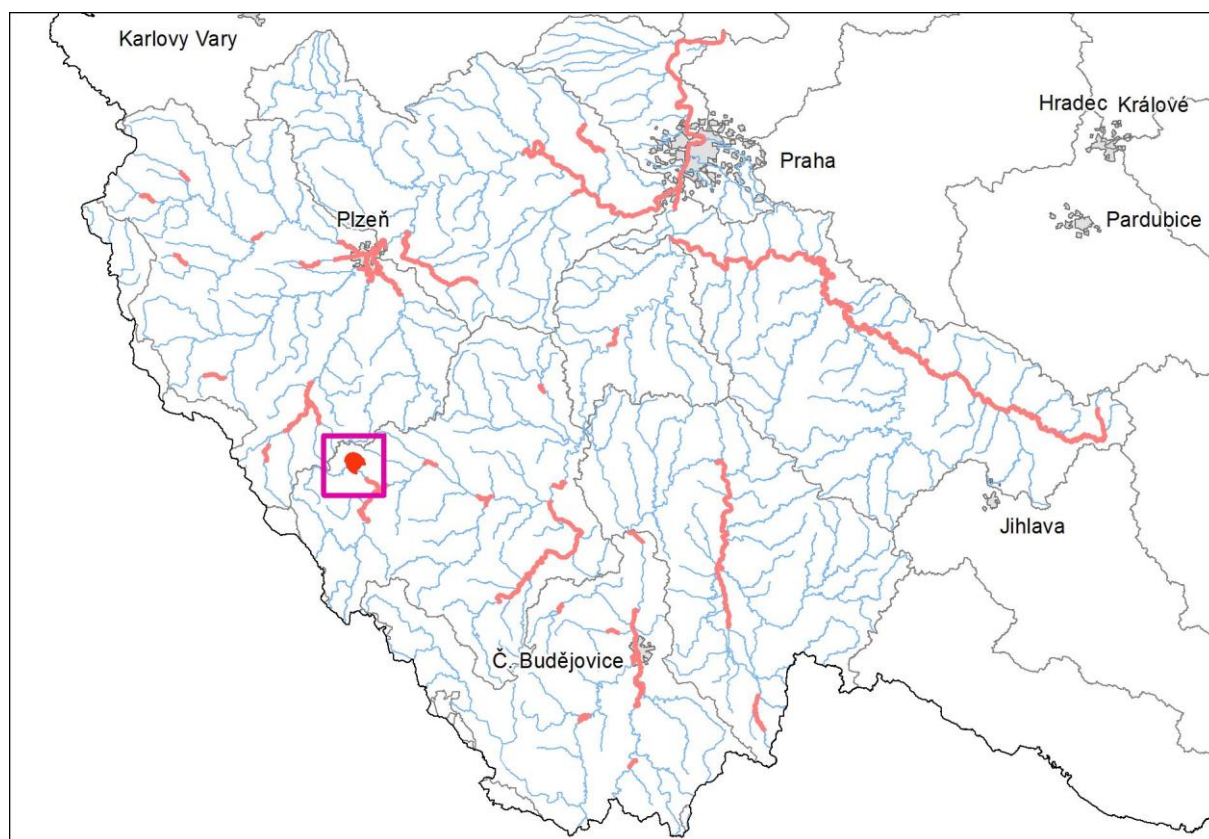
Pro vodu,
vzduch a přírodu

TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK PRO OBLASTI POVODÍ HORNÍ VLTAVY, BEROUNKY A DOLNÍ VLTAVY

DÍLČÍ POVODÍ BEROUNKY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

OSTRUŽNÁ - 10100097_4 - Ř.KM 11,5 – 13,6



04. 2013





OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK PRO OBLASTI POVODÍ HORNÍ VLTAVY, BEROUNKY A DOLNÍ VLTAVY

DÍLČÍ POVODÍ BEROUNKY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

OSTRUŽNÁ - 10100097_4 - Ř.KM 11,5 – 13,6

Pořizovatel:



Povodí Vltavy, státní podnik

Holečkova 8

Praha 5

150 24

Zhotovitel: sdružení „DHI + HDP“



DHI a.s.

Na Vrších 1490/5

Praha 10

100 00



Sweco Hydroprojekt a.s.

Táborská 31

Praha 4

140 16



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

Řešitel:



Sweco Hydroprojekt a.s.
Táborská 31
Praha 4
140 16

V Praze, 04. 2013

Obsah:

1	Základní údaje	6
1.1	Seznam zkratk a symbolů	6
1.2	Cíle prací	6
1.3	Předmět práce	6
1.4	Postup zpracování a metoda řešení	6
2	Popis zájmového území	8
2.1	Všeobecné údaje	9
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	9
3	Přehled podkladů	10
3.1	Topologická data	10
3.1.1	Vytvoření (aktualizace) DMT	10
3.1.2	Mapové podklady	10
3.1.3	Geodetické podklady	11
3.2	Hydrologická data	11
3.3	Místní šetření	11
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura	12
3.5	Normy, zákony, vyhlášky	12
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů	12
4	Popis koncepčního modelu	13
4.1	Schematizace řešeného problému	13
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	13
4.3	Způsob zadávání OP a PP	13
5	Popis numerického modelu	14
5.1	Použité programové vybavení	14
5.2	Vstupní data numerického modelu	14
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území	14
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	15
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	15
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	15
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	15
5.3	Popis kalibrace modelu	16
6	Výstupy z modelu	17
6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	18
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	19
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	19
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	19

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratk a symbolů

Tabulka 1 – Seznam zkratk a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMT	Digitální model terénu
S_JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
ZÚ	Záplavová území
1D model	Matematický model jednorozměrného proudění
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i.
PPO	Protipovodňová opatření
ZM-10	Základní mapa 1 : 10 000
ZABAGED®	Základní báze geografických dat – digitální topografický model
GIS	Geografický informační systém
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ř.km	Říční kilometr

1.2 Cíle prací

Cílem prací je vyjádření povodňového nebezpečí na základě stanovení těchto charakteristik průběhu povodně:

- hranice rozlivů,
- hloubky vody v záplavovém území,
- rychlosti proudění vody v záplavovém území.

Podstatou vyjádření povodňového nebezpečí je určení prostorového rozdělení uvedených charakteristik povodně a zpracování těchto údajů do podoby tzv. map povodňového nebezpečí. Ty slouží v dalším kroku jako podklad pro vyjádření povodňového rizika semikvantitativní metodou uvedenou v „Metodice tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik“.

1.3 Předmět práce

Předmět práce zahrnuje tyto činnosti:

- Popis postupů souvisejících se zajištěním vstupních podkladů – stávající + nové (dodatečné zaměření profilů, objektů atd.)
- Sestavení (aktualizace) hydrodynamických modelů a příslušné simulace
- Zpracování výsledků numerického modelování a vytvoření map povodňového nebezpečí (mapy rozlivů, hloubek a rychlostí).

1.4 Postup zpracování a metoda řešení

Výchozím podkladem při zajišťování vstupů pro sestavení hydraulického modelu bylo geodetické zaměření, které bylo poskytnuto pořizovatelem. Jedná se o zaměření Ostružné v rozsahu Dobruška – Kupy.

Po prostudování poskytnutých dat byl proveden terénní průzkum s cílem zjistit, zda poskytnutý rozsah geodetického zaměření je dostatečný pro hydraulické modelování a aktuální nebo bude třeba provést dodatečné zaměření. V průběhu terénního průzkumu byla pořízena nová fotodokumentace vybraných profilů a objektů. Na základě místního šetření bylo shledáno původní zaměření za dostatečné, avšak bylo nutné provést dodatečné zaměření u 8 příčných profilů a 8 objektů.

Od ČHMÚ byla objednána aktuální hydrologická data (N-leté průtoky) pro scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} .

Sestavení hydraulického modelu.

Hydraulický model byl sestaven dle vymezené oblasti s potenciálně významným povodňovým rizikem, které je na řece Ostružné v rozsahu od ř.km 11,5 do ř.km 13,6. V daném rozsahu nebyly k dispozici žádné kalibrační značky.

Hydraulické charakteristiky proudění v zájmové oblasti toku byly simulovány matematickým modelem HEC – RAS 4.1.0 včetně jeho nadstavby pro GIS GeoRAS.

Hlavním podkladem pro generování vstupů pro HEC – RAS byl digitální model terénu (DMT) ve formátu TIN. DMT zájmové oblasti byl sestaven z dat bodů 4G a 5G, který byl zpřesněn o vymodelované dno koryta včetně objektů v korytě. Koryto bylo vystaveno pomocí lineární interpolace zaměřených říčních příčných profilů s akceptováním směrového vedení toku. Již zmíněná nadstavba HEC-RAS GeoRAS, která je extensí ArcGIS vytváří z digitálního modelu terénu geometrický model terénu – dojde k vytvoření 3D říční sítě s 3D souřadnicemi, které jsou pak vstupem pro hydraulický model.

Příčné profily generované z geometrického modelu terénu, byly voleny tak, aby v maximální možné míře postihovaly složitost proudění při povodni. Po importu do HEC – RAS proběhlo další upřesňování tvarů některých profilů podle poznatků z terénního průzkumu. Takto upravené profily byly dále vymezeny na aktivní a neaktivní zóny pro jednotlivé návrhové průtoky.

Drsnosti koryta jsou do řešení zahrnuty Manningovým součinitelem drsnosti n . Hodnoty lze zadávat v různých bodech příčného profilu, daná hodnota pak platí, až k bodu další změny hodnoty parametru n . Základní postup zavádí moduly průtoku pro pásy příčného profilu mezi místy změn hodnot zadávaných drsností. Z dílčích hodnot modulů průtoku získává program hodnoty modulů průtoku pro levou a pravou inundaci a tyto hodnoty pak přičítá k modulu průtoku vlastního koryta. Rozdělení průtoků bylo počítáno v dílčích pásech jak vlastního koryta, tak i obou inundací včetně stanovení rozdělení rychlostí. Model tedy poskytne, kromě dalších hydraulických charakteristik i charakteristiky rychlostního pole v hlavním korytě i v inundacích.

Jezové objekty a spádové stupně jsou počítány jako přepad přes obecné jezové těleso se zahrnutím součinitele zatopení na základě známé úrovně dolní vody, jež vzešla z výpočtu úseku pod objektem. Mostní objekty jsou počítány až do doby zahlcení jako vlastní profil koryta, po zahlcení jsou pak počítány jako objekty skládající se z kombinace výtoku vody otvorem a přepadu přes širokou korunu – přepad vody přes mostovku. I tyto objekty jsou uvažovány se správnou úrovní dolní vody vzešlou z výpočtu spodního úseku.

V takto sestavené výpočetní trati proběhl výpočet pro zadané povodňové scénáře – Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} a pomocí RAS Mapperu byly vygenerovány záplavové čáry, které vznikly průnikem vypočtené hladiny v daném příčném profilu s terénem. Rozsah záplavových území byl poté ještě upravován s přihlédnutím na skutečný možný rozliv a znalosti terénního průzkumu.

Rozsah záplavového území je stanoven dle platné vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 236/2002 Sb. pro nerovnoměrné ustálené proudění, což znamená, že nezohledňuje délku trvání povodně ani objem povodňové vlny. Proto i v místech širokých rozlivů hladina odpovídá stanovenému průtoku a tedy nezohledňují transformaci povodňové vlny, ke které může dojít.

Z dosažených výsledků byly pro všechny průtokové stavy Q_N vygenerovány:

- záplavové čáry (hranice rozlivů),
- mapy hloubek,
- mapy rychlostí,
- mapy hladin

na základě kterých byly vytvořeny mapy povodňového nebezpečí.

2 Popis zájmového území

Název toku: Ostružná

ID úseku IDVT CEVT: 10100097_4

Číslo hydrologického pořadí toku: 1-08-01-071; 1-08-01-072; 1-08-01-073; 1-08-01-074; 1-08-01-075;

Úsek toku: Kolinec ř.km 11,5 - 13,6

(rozsah modelu odlehčení ř.km 10,028 – 14,064)

Ostružná (někdy také označována jako Pstružná) je významným levostranným přítokem řeky Otavy v okrese Klatovy v Plzeňském kraji. Délka toku činí 40,4 km. Plocha povodí měří 168,6 km².

Řeka pramení na Šumavě, zhruba 2 km severovýchodně od Hadího vrchu (1025 m), v nadmořské výšce 938 m. Na horním toku potok proudí nejprve severozápadním až severním směrem. U Čachrova se obrací na východ k obci Velhartice (kde na ostrohu nad levým břehem stojí hrad Velhartice) a odtud směřuje dále na severovýchod. U starobylé zlatokopecké osady Kolinec se Ostružná mění v částečně regulovanou říčku s četnými jezy. Pod Sušicí, ve výšce 452 m n.m., ústí Ostružná do Otavy přepadem před nímž odbočuje vlevo jeden kilometr dlouhým náhonem, okolo ČOV, ústícím též do Otavy.

Podklady:

Název toku - zdroj VÚV TGM

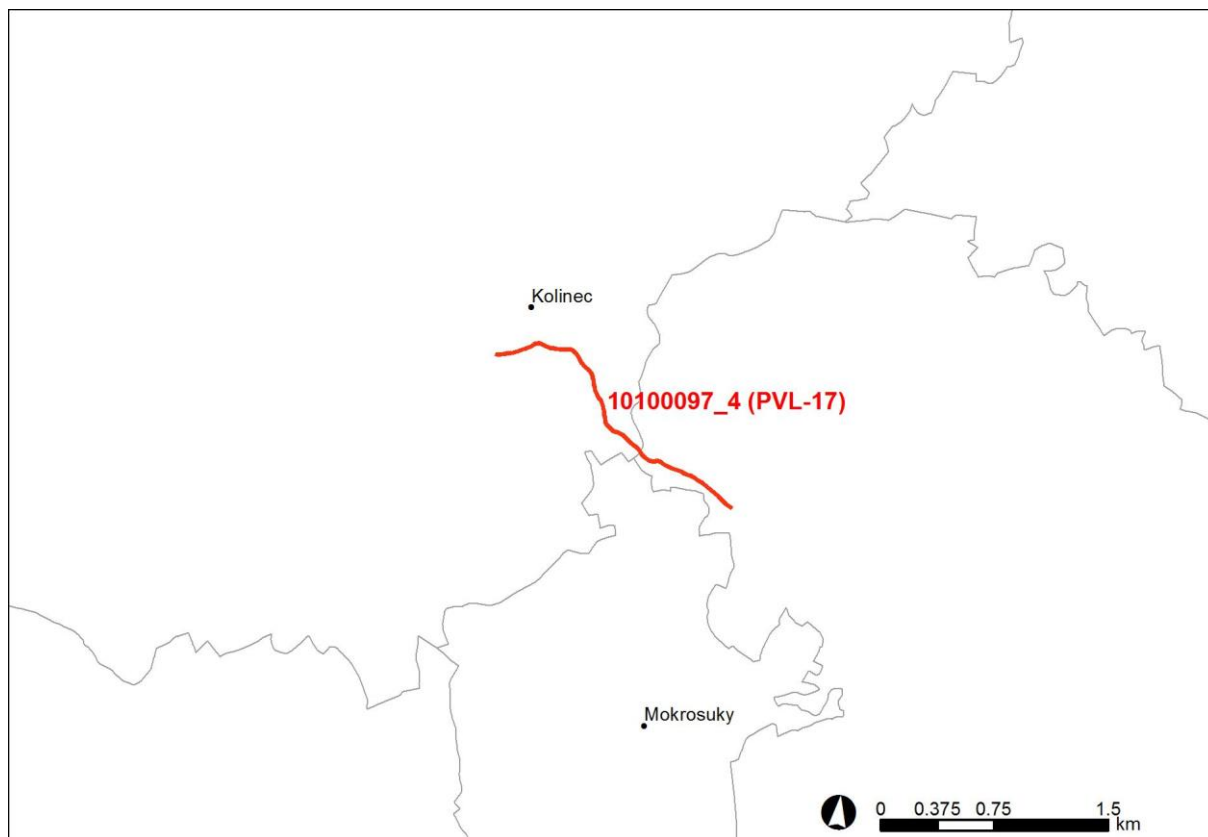
ID úseku IDVT CEVT - zdroj Ministerstvo zemědělství

Číslo hydrologického pořadí toku - zdroj ČHMÚ

Úsek toku - zdroj Povodí Vltavy, státní podnik

Wikipedie

Obrázek 1 – Přehledná mapa řešeného území



2.1 Všeobecné údaje

Posuzovaný úsek toku Ostružná byl určen od ř.km 11,5 do ř.km 13,6 dle kilometráže poskytnuté pořizovatelem a přesně vymezen zadanými souřadnicemi S JTSK začátku a konce toku:

začátek úseku: $X = -824\,137,00$ $Y = -1\,121\,016,76$

konec úseku: $X = -826\,189,77$ $Y = -1\,120\,065,54$

Staničení uvedené ve výpočetním modelu a použité při zpracování map povodňového nebezpečí bylo v řešeném úseku přepočteno podle skutečné délky osy vodního toku. Pro tento daný úsek byl sestaven model od ř.km 10,028 až do ř.km 14,064 zohledňující odlehčení před zaústěním Ostružné do Otavy.

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Na toku se vyskytuje v řešeném úseku limnigraf LG Kolinec. Řeka je velice citlivá na vydatnější srážky, které mohou výrazně změnit její ráz. Nejhorší zaznamenaná povodeň byla způsobena protržením hráze rybníka ve Velharticích, kdy hladina dosahovala 220 cm a průtok byl necelých $80\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. O něco nižší průtok byl zaznamenán 12. srpna 2002, kdy více než stoletý průtok trval po několik dní. Tehdy hladina dosáhla 173 cm.

3 Přehled podkladů

V souladu s vyhláškou č. 236/2002 Sb. byly použity pro zpracování návrhu záplavového území tyto podklady.

- Základní mapy 1:10 000 – digitální, rastrové - ZAGAGED, poskytl Povodí Vltavy, státní podnik.
- Digitální model reliéfu České republiky 4. a 5. generace (DMR 4G a 5G), ČÚZK, 2012
- Geodetické zaměření provedené firmou Georeal, s.r.o. v 2013
- Geodetické zaměření TPE na toku Ostružná, poskytl Povodí Vltavy, státní podnik
- Hydrologická data: n-leté průtoky - ČHMÚ Praha, 2012
- Podrobný terénní průzkum zpracovatele, uskutečněný v listopadu 2012, zaměřený na zmapování stavu koryta, inundací a objektů na toku
- Zákon č. 257/2001 Sb. - o vodách
- Vyhláška MŽP 236/2002 Sb. – o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území
- TNV: 75 2931 - Povodňové plány, 75 2102 - Úpravy potoků, 75 2103 - Úpravy řek, 75 2932 – Navrhování záplavových území
- Metadata poskytnutá Zeměměřičským ústavem k aktuální verzi ZM 10
- Wikipedie

3.1 Topologická data

Topologická data jsou základním zdrojem, který je potřebný pro sestavení hydrodynamického modelu. Pomocí nich je možné popsat řešené území, sestavit digitální model terénu a vytvořit vhodnou schematizaci modelu. Jednotlivé topologické podklady jsou popsány v následujících kapitolách.

3.1.1 Vytvoření (aktualizace) DMT

Digitální model terénu byl sestaven z DMR 4G a 5G a geodetického zaměření. DMT zájmového území se skládá z DMT koryta vodního toku a DMT inundačního území. DMT koryta vodního toku bylo vymodelováno pomocí lineární interpolace zaměřených příčných profilů s akceptováním směrového vedení toku. Vytvoření a složení DMT proběhlo v softwaru společnosti ESRI v ArcGIS pomocí extenze 3D Analyst. Trojúhelníková síť (TIN) DMT se rovněž převedla na georeferencovaný TIF o velikosti pixlu 2 m x 2 m.

Všechny souřadnice DMT jsou v polohopisném systému S_JTSK a výškovém systému Bpv.

3.1.2 Mapové podklady

Pro potřeby studie byla použita Základní mapa České republiky 1:10 000 (ZM 10) aktualizovaná Zeměměřičským úřadem v roce 2011. Jedná se o nejpodrobnější základní mapu středního měřítka.

ZM 10 obsahuje polohopis, výškopis a popis. Předmětem polohopisu jsou sídla a jednotlivé objekty, komunikace, vodstvo, hranice správních jednotek a katastrálních území (včetně územně technických jednotek), hranice chráněných území, body polohového a výškového bodového pole, porost a povrch půdy. Předmětem výškopisu je terénní reliéf zobrazený vrstevnicemi a terénními stupni. Popis mapy sestává z druhového označení objektů, standardizovaného geografického názvosloví, kót vrstevnic, výškových kót, rámových a mimorámových údajů. Obsahem mapových listů je i rovinná pravoúhlá souřadnicová síť a zeměpisná síť. Předměty obsahu mapy jsou znázorněny pouze na území České republiky. Míra generalizace polohopisu je na takové úrovni, že nedochází k rozsáhlejšímu spojování jednotlivých staveb do bloků a ke zjednodušování tvarů. Mapa tak poskytuje velmi podrobnou představu o zobrazovaném území.

Data ZM 10 se stavem aktualizace v roce 2009 a dříve byly odvozovány z vektorových výstupů, které vznikaly v průběhu tvorby vizualizací ZABAGED®. Jejich rasterizací a následnou transformací do souřadnicového systému S-JTSK vznikl obraz státního území, který byl strukturovaný po listech ZM 10. Dalším zpracováním byla pořízena barevná bežešvá rastrová mapa s barevnou hloubkou 4 bit, jednotnou barevnou paletou a hustotou 400 dpi. Z důvodu nižší kvality rozlišení těchto výstupů bylo v roce 2011 přistoupeno k nahrazení těchto souborů novými

rastry, které vznikly přímým odvozením z tiskových podkladů ZM 10. Tyto rastry mají barevnou hloubku 24 bit a rozlišení 800 dpi. Data ZM 10 se stavem aktualizace v roce 2010 a později jsou odvozovány přímo z postscriptových souborů nové technologické linky. Tyto soubory jsou službou aplikačního serveru rastrovány s rozlišením 800 dpi, barevnou hloubkou 8 bit a jednotnou barevnou paletou. Do doby pokrytí celého území ČR soubory z nové technologické linky budou uživatelům poskytovány vždy obě datové sady. Tvorbu a aktualizaci ZM 10 zajišťuje Zeměměřický úřad.

ZM 10 je distribuována ve formátu TIF po segmentech bežešvé mapy – čtvercích 2x2 km, se stranami rovnoběžnými se souřadnicovými osami S-JTSK. Kromě grafického umístovacího souboru je dodáván textový umístovací soubor TFW a to pro zobrazení S-JTSK / Krovak EN. Tento soubor obsahuje souřadnici levého horního rohu umístovacího čtverce a velikost pixelu v metrech pro dané rozlišení souboru. Předané soubory TIF mají rozlišení 3149x3149 (72DPI).

Nedílnou součástí při konstruování výpočetní sítě byly v r. 2004 – 2006 aktualizované ORTOFOTOMAPY ČR – čtverce 2,5 x 2,0 km ve formátu tif, se stranami rovnoběžnými se souřadnicovými osami S-JTSK. Kromě grafického umístovacího souboru je dodáván textový umístovací soubor TFW a to pro zobrazení S-JTSK / Krovak EN. Tento soubor obsahuje souřadnici levého horního rohu umístovacího čtverce a velikost pixelu v metrech pro dané rozlišení souboru. Předané soubory TIF mají velikost 2500x2000, rozlišení 96 x 96 DPI, hloubku barev 24 bit/pixel.

3.1.3 Geodetické podklady

Pro vytvoření DMT koryta toku bylo použito geodeticky zaměřených příčných profilů koryta a objektů v korytě, které bylo provedeno v roce 2013 firmou GEOREAL spol. s r.o. a geodeticky zaměřených příčných profilů koryta a objektů v korytě z technickoprovozní evidence toku správce vodního toku Ostružná.

Dalším podkladem pro tvorbu DMT byl Digitální model reliéfu České republiky 4. a 5. generace (DMR 4G a 5G) od ČÚZK, který představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H s úplnou střední chybou výšky 0,14 m.

Všechny souřadnice jsou v polohopisném systému S_JTSK a výškovém Bpv.

3.2 Hydrologická data

Hydrologická data byla objednána v profilech pro zadané povodňové scénáře Q_5 , Q_{20} , Q_{100} , Q_{500} .

Tabulka 2 - N-leté průtoky (Q_N) v $m^3.s^{-1}$

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
LG Kolínek	15.6.2011	12,574	22	40	72	113	I.
Pod Kalným potokem	15.6.2011	12,148	26	47	82	131	I.
Ústí do Otavy	15.6.2011	0,0	34	61	109	178	II.

Třída přesnosti dle ČSN 75 1400

3.3 Místní šetření

Místní šetření bylo provedeno v listopadu 2012, při kterém byla pořízena aktuální fotodokumentace objektů na toku, významných částí toku, charakteru inundačního území a překážek v něm. Toto šetření bylo pro zpracovatele významné z hlediska stanovení drsnostních parametrů použitých v matematickém modelu.

Při místním šetření také proběhla kontrola stávajícího geodetického zaměření, jestli nedošlo ke změně mostních objektů, jestli jsou objekty zaměřené v potřebné míře pro sestavení hydraulického modelu, jestli jsou zaměřené objekty a stavby, které mohou významně ovlivňovat proudění atd. Na základě tohoto šetření bylo zjištěno, že stávající zaměření je vyhovující a postačí doměřit jen 8 příčných profilů a 8 objektů.

Charakter území:

Koryto vodního toku je v extravilánech přirozené a meandrující. Břehy jsou většinou lemovány vzrostlými stromy, svahy jsou porostlé křovisky a hustými travinami, vyjma intravilánu, kde se jedná o udržovaný travní porost.

Inundační území je v intravilánu města Kolinec tvořeno budovami a objekty občanského, zemědělského a průmyslového charakteru, travními a ostatními volnými plochami (hřiště, parkoviště, parky). V extravilánu je údolí převážně zalesněno.

3.4 Doplnující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura

3.5 Normy, zákony, vyhlášky

Postupy zpracování studie byly v souladu s níže uvedenými dokumenty v jejich platném znění:

- [1] ČSN 75 0110 Vodní hospodářství – Terminologie hydrologie a hydroekologie
- [2] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod.
- [3] Vyhláška MŽP 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území.
- [4] Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků.

3.6 Vyhodnocení a příprava podkladů

Poskytnuté topologické a hydrologické podklady plně pokryly zájmové území.

4 Popis koncepčního modelu

Základním požadavkem na zpracování záplavových území je provádění výpočtů metodou ustáleného nerovnoměrného proudění. Pro tento typ výpočtů byl zvolen program HEC RAS 4.1.0 včetně jeho nadstavby pro ARCGIS GeoRAS.

4.1 Schematizace řešeného problému

Schéma modelu je v souladu se SZÚ jednorozměrné (1D). Vzhledem k charakteru toku byla schematizace provedena tak, že příčné profily byly vymezeny na aktivní a neaktivní zóny pro jednotlivé návrhové průtoky. Vzdálenost příčných řezů je nepravidelná a jejich umístění je zaměřeno primárně na charakteristická místa toku, náhlé změny profilu toku, objekty na toku apod. V místech s prizmatickým korytem nebo neměnicí se tratí je vzdálenost řezů větší, v případě objektů nebo náhlých změn tvarů koryta jsou řezy zahuštěny. Takto provedená schematizace je naprosto dostatečná a danému toku a účelu odpovídající.

4.2 Posouzení vlivu nestacionarity proudění

Použitá metodika výpočtu charakteristik proudění nepočítá s vlivem neustáleného proudění na odtokové poměry (v souladu s Metodikou zpracování SZÚ).

4.3 Způsob zadávání OP a PP

Jedná se o výpočet nerovnoměrného ustáleného proudění v otevřeném korytě. Do výpočetního modelu se tak zadává okrajová podmínka v dolním výpočtovém profilu v podobě hladiny, v horním výpočtovém profilu v podobě průtoku. V místě významných přítoků, pro které jsou k dispozici hydrologické údaje, se zadává změna průtoku. Jiné okrajové ani počáteční podmínky výpočtu se nezadávají.

Vnitřními podmínkami jsou pak údaje o drsnostních charakteristikách a ztrátových součinitelích.

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Výpočty byly prováděny metodou ustáleného nerovnoměrného proudění v programu HEC – RAS 4.1.0 včetně jeho nadstavby v GIS GeoRAS.

Základní verze modelu hladinového režimu v otevřených korytech HEC-RAS, (River Analysis System) je jedním z produktů, které v oblasti hydrologie a hydrauliky vyvinul Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers. V roce 2000 byl dokončen vývoj nové verze programu, do které byl zařazen model neustáleného proudění HEC-UNET, dnes již ve verzi 4.1.0. Model umožňuje řešení stromových i okružních sítí přirozených otevřených koryt včetně příčných a podélných objektů na toku. Internetová adresa pro další informace je:

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Program umožňuje výpočet nerovnoměrného proudění v otevřených korytech, v ustáleném i v neustáleném režimu. Je integrovaným prostředkem, který umožňuje interaktivní provoz, obsahuje moduly hydraulické analýzy, obsluhy datové báze, vizualizaci vstupních dat i výsledků. Významné jsou jeho možnosti výpočtu objektů na toku, příčných i podélných staveb. Umožňuje numerickou simulaci stromových sítí, bifurkací a okružních říčních systémů. Jako produkt federálního rozsahu, je standardním prostředkem pro plánování, návrh a protipovodňovou ochranu ve Spojených státech.

Základní verze programu HEC-RAS je vyvinuta armádou Spojených států jako federální institucí a je volně šířena po Internetu Nadstavba HEC-GeoRAS je rovněž volně šiřitelná.

5.2 Vstupní data numerického modelu

Hlavním podkladem pro generování vstupů pro HEC – RAS je geometrický model terénu, tj. 3D říční síť s 3D souřadnicemi, které jsou vygenerované pomocí GeoRasu z digitálního modelu terénu v TIN, podrobnější popis, viz výše.

5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

Charakter toku byl již podrobně popsán v kap. 3.3 Místní šetření.

Jezové objekty a spádové stupně jsou počítány jako přepad přes obecné jezové těleso se zahrnutím součinitele zatopení na základě známé úrovně dolní vody, jež vzešla z výpočtu úseku pod objektem. Mostní objekty jsou počítány až do doby zahlcení jako vlastní profil koryta, po zahlcení jsou pak počítány jako objekty skládající se z kombinace výtoku vody otvorem a přepadu přes širokou korunu – přepad vody přes mostovku. I tyto objekty jsou uvažovány se správnou úrovní dolní vody vzešlou z výpočtu spodního úseku. Při výpočtu se jeden objekt skládá minimálně ze dvou profilů a to profilu pod objektem, jež slouží pro správné určení dolní vody těsně pod objektem a dále z profilu objektu, jež je uvažován v místě jeho návodní strany, často bývají tyto profily doplněny i profilem nad objektem, jež je umístěn cca 2 – 5 m nad návodní hranou objektu.

Výpis objektů na toku je uváděn ve směru proti proudu a je použita kilometráž z technickoprovozní evidence toku správce vodního toku. (toto staničení nesouhlasí se staničením hydraulického modelu).

ř.km 10,240 brod O26 - KM 10.240

ř.km 10,242 lávka O27 - KM 10.243

ř.km 10,735 kamenný most O28 - KM 10.733

ř.km 11,783 jez O29 - KM 11.692

ř.km 11,944 lávka O30 - KM 11.878

ř.km 12,575 stupeň O31 - KM 12.504

ř.km 12,730 kamenný most O32 - KM 12.659

ř.km 13,037 lávka O33 - KM 12.968

ř.km 13,080 stupeň O34 - KM 13.010

ř.km 13,153 lávka O35 - KM 13.084

ř.km 13,993 jez O36 - KM 13.925

ř.km 14,060 železniční most O37 - KM 13.988

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Drsnostní charakteristiky použité ve výpočetním modelu jsou zadány pomocí Manningova drsnostního součinitele. Hydraulické drsnosti jsou zadávány v jednotlivých příčných řezech a to v odlišných hodnotách jak pro jednotlivé části inundací, tak i pro jednotlivé části koryta, na základě již výše uvedené pořízené fotodokumentace a rekognoskace terénu. Vliv vegetace je do výpočtů zahrnut vždy v nejméně příznivé situaci, to znamená při plném vegetačním období.

Tabulka 3 - Použité drsnosti dle Manninga v korytě

Popis	n
beton	0,020 – 0,035
dlažba	0,025 – 0,045
tráva	0,035 – 0,045
keře	0,060 – 0,090

Tabulka 4 - Použité drsnosti dle Manninga v inundaci

Popis	n
silnice, chodníky – asfalt, beton	0,020 – 0,025
louky, pole	0,035 – 0,045
stromy, keře	0,060 – 0,120
hustý porost	0,120 – 0,160
zahrady s ploty, zástavba	0,160 – 0,200 nebo vypuštěné z výpočtu

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Horní okrajové podmínky tvoří N-leté průtoky v místě významných přítoků. Dolní okrajové podmínky pro jednotlivé průtokové scénáře jsou zadány sklonem hladin (Normal Depth S) o hodnotě 0,005.

Tabulka 5 - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení v $m^3 \cdot s^{-1}$

Popis úseku	Úsek toku (ř.km)	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Poznámka
LG Kolinec	14,064 – 12,148	22,0	40,0	72,0	113,0	ČHMÚ
pod Kalným potokem	12,148 – 10,028	26,0	47,0	82,0	131,0	ČHMÚ

poznámka: ř. km odpovídá kilometrůžce použité v modelu

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Výpočet byl řešen pomocí ustáleného proudění.

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Každý výpočetní model je vždy schematizací skutečnosti. Chyba výsledných vypočtených charakteristik proudění (úroveň hladin, hloubky, rychlosti) je dána superpozicí chyb dat a procesů vstupujících do celého systému. Míra nejistoty tak plyne především z chybných vstupních dat (nedostatečně popsaná topologie území a koryta, chyby v zaměření a zpracování geodetických dat, špatný odhad drsnostních charakteristik a hydraulických odporů, chyby/nejistoty v hydrologických datech).

5.3 Popis kalibrace modelu

Model nebyl kalibrován, neboť nejsou k dispozici kalibrační značky.

6 Výstupy z modelu

Hlavním výstupem z matematického modelu je psaný podélný profil, jež je zpracován pro všechny průtokové epizody a jež je hlavním nástrojem pro tvorbu záplavových čar. Psaný podélný profil kromě vypočtené úrovně hladiny obsahuje i informaci o výšce dna (nejhlubší dno) a je doplněn o poznámku, upřesňující umístění daného příčného řezu.

Tabulka 6 – Psaný podélný profil

Staničení [km]	Úroveň dna [m n.m.]	Q ₅ [m ³ /s]	H ₅ [m n.m.]	Q ₂₀ [m ³ /s]	H ₂₀ [m n.m.]	Q ₁₀₀ [m ³ /s]	H ₁₀₀ [m n.m.]	Q ₅₀₀ [m ³ /s]	H ₅₀₀ [m n.m.]
14.064	542.63	22	544.27	40	544.63	72	545.11	113	545.96
14.060	železniční most O37 - KM 13.988								
14.057	542.63	22	544.23	40	544.56	72	544.93	113	545.23
13.994	543.03	22	543.65	40	543.94	72	544.23	113	544.54
13.993	jez O36 - KM 13.925								
13.991	541.03	22	542.67	40	543.14	72	543.54	113	543.88
13.968	540.94	22	542.37	40	542.91	72	543.33	113	543.59
13.770	539.27	22	540.34	40	540.65	72	541.17	113	541.67
13.569	537.55	22	538.87	40	539.31	72	539.57	113	539.81
13.364	536.1	22	537.26	40	537.41	72	537.78	113	538.01
13.154	534.5	22	536.03	40	536.31	72	536.62	113	536.88
13.153	lávka O35 - KM 13.084								
13.152	534.5	22	535.99	40	536.27	72	536.6	113	536.86
13.093	534.57	22	535.3	40	535.55	72	536.1	113	536.5
13.083	533.55	22	534.75	40	535.1	72	535.4	113	535.8
13.080	stupeň O34 - KM 13.010								
13.078	532.69	22	534.81	40	535.2	72	535.49	113	535.67
13.038	533.37	22	534.67	40	535.07	72	535.36	113	535.65
13.037	lávka O33 - KM 12.968								
13.036	533.37	22	534.62	40	534.86	72	535.06	113	535.35
12.841	531.98	22	533.51	40	533.92	72	534.49	113	535.22
12.732	531.65	22	532.91	40	533.24	72	533.8	113	534.67
12.730	kamenný most O32 - KM 12.659								
12.727	531.65	22	532.87	40	533.14	72	533.38	113	533.79
12.602	531.15	22	532.19	40	532.46	72	532.74	113	533.01
12.576	530.74	22	531.75	40	532.08	72	532.36	113	532.58
12.575	stupeň O31 - KM 12.504								
12.574	529.45	22	531.2	40	531.61	72	532.1	113	532.49
12.545	529.63	22	531.07	40	531.42	72	531.76	113	532.01
12.351	528.19	22	529.89	40	530.3	72	530.65	113	530.98
12.344	528.02	22	529.9	40	530.32	72	530.65	113	530.97
12.148	527.24	26	528.65	47	528.97	82	529.39	131	529.71

Staničení [km]	Úroveň dna [m n.m.]	Q ₅ [m³/s]	H ₅ [m n.m.]	Q ₂₀ [m³/s]	H ₂₀ [m n.m.]	Q ₁₀₀ [m³/s]	H ₁₀₀ [m n.m.]	Q ₅₀₀ [m³/s]	H ₅₀₀ [m n.m.]
11.945	525.68	26	527.29	47	527.75	82	528.11	131	528.43
11.944	lávka O30 - KM 11.878								
11.943	525.68	26	527.25	47	527.54	82	527.87	131	528.24
11.784	524.73	26	526.07	47	526.45	82	526.86	131	527.36
11.783	jez O29 - KM 11.692								
11.442	522.14	26	523.47	47	523.76	82	524.21	131	524.67
11.252	520.24	26	521.86	47	522.42	82	522.75	131	523.1
11.047	518.19	26	520.11	47	520.49	82	521.05	131	521.52
10.844	516.58	26	518.47	47	519.12	82	519.67	131	520.18
10.739	515.69	26	517.65	47	518.11	82	519.15	131	519.63
10.735	kamenný most O28 - KM 10.733								
10.734	515.69	26	517.59	47	517.91	82	518.68	131	519.2
10.525	514.72	26	516.35	47	516.85	82	517.18	131	517.58
10.323	513.47	26	514.74	47	514.97	82	515.63	131	516
10.243	513.09	26	514.4	47	514.79	82	515.01	131	515.15
10.242	lávka O27 - KM 10.243								
10.241	513.09	26	514.05	47	514.35	82	514.62	131	514.87
10.240	brod O26 - KM 10.240								
10.028	510.33	26	511.88	47	512.44	82	512.81	131	513.22

poznámka: ř. km odpovídá kilometrácii použité v modelu

6.1 Záplavové čáry pro průtoky Q₅, Q₂₀, Q₁₀₀ a Q₅₀₀

Z vypočítaných úrovní hladiny v jednotlivých profilech byl interpretován průběh záplavové čáry. Z tohoto znázornění a z průběhu hladin v podélném profilu je patrný rozsah zatápných ploch a objektů. Dále se tímto způsobem zjistí překážky průtoku, které působí patrné vzdutí hladiny, jejichž odstraněním nebo rekonstrukcí je možno rozsah zátop redukovat.

Záplavové čáry jsou vyneseny na podkladě rastrové Základní mapy ČR v měřítku 1:10 000. Zakreslení záplavových čar, zejména mimo zaměřené příčné profily, zahrnuje nepřesnosti použité mapy. Snahou vyloučit nepřesnosti je užití bodového pole z DMT mimo zaměřené příčné profily. Při posouzení konkrétního místa je tedy rozhodující kóta hladiny odvozená z podélného profilu a skutečná nadmořská výška terénu posuzovaného místa.

Při aplikaci výsledků výpočtu je nutno si uvědomit, že přírodní třísozbořený v čase proměnný děj je popisován stacionárním jednorozměrným matematickým výpočtem s použitím mnoha zjednodušujících předpokladů a odhadů. Přesnost výpočtu je limitována zejména hustotou příčných profilů použitých k výpočtu a odhadem drsnostního součinitele.

Hodnoty úrovně hladin získané interpolací mezi jednotlivými výpočtovými příčnými profilemi nemusí odpovídat skutečnosti.

Nejsou zde postiženy jevy běžně se vyskytující při povodních - hladina v inundaci nemusí být v jednom příčném profilu stejná jako v korytě, v obloucích dochází k příčnému převýšení hladiny, hladina je rozvlákněná, atd.

Výpočet je proveden pro ideální stav koryta. Není započítáno ucpání průtočného profilu plaveným materiálem, které hrozí zejména v mostních profilech. Vliv na proudění má i sezónní stav vegetačního pokryvu, při výpočtu bylo uvažováno s vegetací v plném vegetačním období.

Výsledky tohoto výpočtu nejsou neměnné. Může dojít ke změnám vlivem zpřesnění topografických podkladů, změny hydrologických údajů, použitím přesnějších výpočetních modelů, nebo vlivem změn v průtočném profilu toku.

Tabulka 7 – Přehled obcí do kterých zasahuje záplavové území při kulminačním průtoku Q_{500}

ORP	Obec	ICOB
Sušice	Hrádek	556301
Sušice	Sušice	557153

6.2 Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Určení hloubek pro jednotlivé povodňové scénáře je provedeno v HEC-RAS pomocí nadstavby GeoRAS, která je extensí ArcGIS. Hloubka je vypočtena jako rozdíl digitálního modelu hladiny a digitálního modelu terénu. Výsledkem je rastr hloubek o velikosti pixlu 2 m x 2 m. Mapa hloubek se následně ořízne záplavovou čarou pro daný scénář.

6.3 Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}

Při výpočtu nerovnoměrného proudění byly z výpočetního programu HEC-RAS exportovány pro jednotlivé profily a jednotlivé průtokové epizody průměrné průřezové rychlosti pro koryto a pravou a levou inundaci. Takto získané hodnoty rychlostí pak byly v GIS přiřazeny jako bodová informace daného příčného řezu.

6.4 Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů

Jak bylo uvedeno výše, výpočetní model 1D je vždy schematizací skutečnosti. Hlavní míra nejistoty však neplyne ze špatného odhadu drsnostních charakteristik, nebo nedostatečně popsané topologie území a koryta, ale ze vstupních průtokových dat, jejichž přesnost je nezdědka v rozmezí $\pm 40 - 60\%$ dle uvedené třídy přesnosti. Dalším již zmíněným faktorem, s nímž model nepočítá, je množství plavenin, které postupují tokem při povodni, ať už se jedná například o ledové kry nebo antropogenní materiál či dřevní hmotu. Tyto plaveniny, pak zejména v prostoru objektů mohou způsobit naprosto převratné změny průtočného profilu (částečné nebo úplné ucpání), které pak mají na průběh hladiny zásadní vliv.

Pokud však odhlédneme od nejistot způsobených nepřesnými hydrologickými daty a budeme vztahovat rozsah záplavového území ke konkrétnímu průtoku (a nikoliv k deklarované četnosti povodně) a budeme postupovat v souladu s Metodikou stanovení SZÚ, tedy výpočet bez plavenin, můžeme konstatovat, že vypovídací schopnost modelu je značně vysoká. Největší ovlivnění hladin nastává v místech objektů, jejichž nesprávné posouzení, či špatně provedený výpočet ve vztahu k zatopení dolní vodou, má na úroveň hladiny zásadní vliv. Poměrně významné je i ovlivnění výpočtu chybně umístěnými dílčími profily v příčném řezu, naopak chybný odhad drsnosti byt v řádu desítek procent se ve volné trati dramaticky neprojeví.