



OPERAČNÍ PROGRAM  
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE  
Fond soudržnosti

Pro vodu,  
vzduch a přírodu

# TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTECH POVODÍ HORNÍ VLTAVY, BEROUNKY A DOLNÍ VLTAVY

## DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ VLTAVY

### B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

VLTAVA - 10100001\_6 - Ř. KM 279,000 - 286,000 (PV-1-6)



DUBEN 2013







OPERAČNÍ PROGRAM  
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE  
Fond soudržnosti

Pro vodu,  
vzduch a přírodu

# TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTECH POVODÍ HORNÍ VLTAVY, BEROUNKY A DOLNÍ VLTAVY

## DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ VLTAVY

### B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

VLTAVA - 10100001\_6 - Ř. KM 279,000 - 286,000 (PV-1-6)

#### Pořizovatel:



Povodí Vltavy, státní podnik  
Holečkova 8  
Praha 5  
150 24

#### Zhotovitel:



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:**



DHI a. s.  
Na Vrších 1490/5  
Praha 10  
100 00

V PRAZE, DUBEN 2013.



## Obsah:

<b>1</b>	<b>Základní údaje.....</b>	<b>8</b>
1.1	Seznam zkratk a symbolů .....	8
1.2	Cíle prací.....	8
1.3	Předmět práce .....	8
1.4	Postup zpracování a metoda řešení .....	9
1.4.1	Hydrodynamický model .....	9
1.4.2	Výsledky výpočtů .....	10
<b>2</b>	<b>Popis zájmového území .....</b>	<b>11</b>
<b>Vyšší Brod – České Budějovice “, DHI Hydroinform, a.s., 2004/5.....</b>		<b>11</b>
2.1	Všeobecné údaje .....	12
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně) .....	13
<b>3</b>	<b>Přehled podkladů.....</b>	<b>14</b>
3.1	Topologická data.....	14
3.1.1	Mapové podklady.....	14
3.1.2	Geodetické podklady .....	16
3.2	Hydrologická data .....	16
3.3	Místní šetření .....	17
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura.....	17
3.5	Normy, zákony, vyhlášky .....	17
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů .....	18
<b>4</b>	<b>Popis koncepčního modelu .....</b>	<b>19</b>
Použitý software.....		19
Mike 21FM .....		19
MIKE 11 .....		19
Mike Flood .....		19
4.1	Posouzení vlivu nestacionarity proudění.....	20
4.2	Způsob zadávání OP a PP .....	20
<b>5</b>	<b>Popis numerického modelu.....</b>	<b>21</b>
5.1	Použité programové vybavení.....	21
5.2	Vstupní data numerického modelu.....	21
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území.....	22
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území .....	22
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek .....	23
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek .....	23
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat .....	23
5.3	Popis kalibrace modelu .....	24
<b>6</b>	<b>Výstupy z modelu .....</b>	<b>25</b>

6.1	Záplavové čáry pro průtoky $Q_5$ , $Q_{20}$ , $Q_{100}$ a $Q_{500}$ .....	25
6.2	Hloubky pro průtoky $Q_5$ , $Q_{20}$ , $Q_{100}$ a $Q_{500}$ .....	25
6.3	Rychlosti pro průtoky $Q_5$ , $Q_{20}$ , $Q_{100}$ a $Q_{500}$ .....	26
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů .....	26

## 1 Základní údaje

### 1.1 Seznam zkratek a symbolů

Tabulka 1 – Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
1D model	Matematický model jednorozměrného proudění
2D model	Matematický model dvourozměrného proudění
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMR5G	Digitální model reliéfu České republiky 5. generace
DMR4G	Digitální model reliéfu České republiky 4. generace
DMT	Digitální model terénu
DMT ATLAS	Software pro zpracování digitálního modelu terénu
DOP	Dolní okrajová podmínka
HOP	Horní okrajová podmínka
M21C / MIKE21	Matematický model Mike21C (2D model – curvilinear)
MIKE21 FM	Matematický model Mike21 FM (2D model – flexible mash)
MPN	Mapy povodňového nebezpečí
MR	Manipulační řády
MZE	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PPO	Protipovodňová opatření
S_JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SZÚ	Studie záplavového území
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i.
ZABAGED®	Základní báze geografických dat – digitální topografický model
ZM-10	Základní mapa 1 : 10 000
ZÚ	Záplavová území

### 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 semi-kvantitativní 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

### Hydrologická data

Pro účel studie byla objednána a ČHMÚ stanovena aktuální hydrologická data (N-leté průtoky) ve dvou profilech zájmového úseku Vltavy – LG Spolí a v profilu pod soutokem Vltavy s Polečnicí.

### Topologická data

Pro potřeby 2D matematického modelu byl využit digitální model terénu (DMT) vytvořený na základě digitálního zaměření reliéfu České republiky pomocí technologie Lidar vyhodnoceného kombinací automatického a manuálního zpracování – model 5. generace (5G), částečně doplněného automaticky zpracovanými podklady (4. generace – 4G). Digitální model je doplněn o digitální model dna řeky, který byl vytvořen pomocí interpolace zaměřených příčných profilů.

#### 1.4.1 Hydrodynamický model

Hydraulické charakteristiky proudění v zájmové oblasti toku byly simulovány metodou couplingu, kombinující jednorozměrný a dvourozměrný výpočet matematickými modely. Propojení 1D a 2D modelů umožňuje systém MIKE Flood, díky kterému je možno řídit procesy přetékání přes rozhraní 1D a 2D technologií.

Použitý dvourozměrný matematický model je MIKE 21FM (v. 2012), vyvinutý firmou DHI, Hørsholm (Dánsko). Tento model je založen na řešení Navier-Stokesových diferenciálních rovnic (rovnice kontinuity a 2 pohybové rovnice v horizontální rovině) metodou konečných objemů v jednotlivých elementech půdorysné výpočetní sítě. Model MIKE 21 FM pracuje v nepravidelné výpočetní síti; tzn. jeho výpočetní síť lze, na rozdíl od pravoúhlých (obdélníkových) sítí, přizpůsobit tvaru území a tak omezit počet výpočetních bodů.

Pro popis vlastního koryta řeky je použit matematický model MIKE 11 (v. 2012). Jedná se o jednorozměrný plně dynamický model pro řešení dynamických procesů na vodních tocích. Může být použit k popisu jak větevné tak okružové sítě. Model je založen na aproximaci Saint-Venantových diferenciálních rovnic metodou konečných diferencí ve vystřídáném výpočetním schématu Abbott-Ionescu.

Z důvodu stability horních okrajových podmínek modelu byl počátek 1D úseku posunut výše proti proudu do profilu „Kryté Lávky“ (km 286,347) mostu, resp. do profilu ř.km.288, v této části však výpočty nemají dostatečnou vypovídací schopnost a slouží pouze pro stabilizaci horní okrajové podmínky. Ze stejných důvodů je počátek 2D modelu v ř.km. 286,380. Konec 2D oblasti je ve zúžení údolního profilu toku ř.km. 281,865. Konec výpočetního úseku 1D části je posunut pod závěrový profil požadovaného výpočtu (ř.km 286) do profilu ř.km. 278, tak aby výtok vody z modelu neovlivňoval hladinu v závěrovém profilu.

#### Základní postup tvorby hydrodynamického modelu:

Nad ortofoto-mapami příslušného území byla v programovém prostředí MIKE 21 Mash Generatoru (v. 2012) zkonstruována dvourozměrná trojúhelníková výpočetní síť v takové šíři a rozsahu, aby plně pokryla ZÚ intravilánu Českého Krumlova pro všechny simulované průtoky  $Q_N$ .

Tato síť a DMT byly použity při generaci batymetrie (geometrie) zájmového území.

Drsnosti ZÚ byly plošně rozděleny na základě klasifikace území v digitálním geografickém modelu ZABAGED® a postupně upravovány dle kalibračních výpočtů, stejně tak jako drsnosti v korytě řeky.

Průtokové stavy  $Q_5$ ,  $Q_{20}$ ,  $Q_{100}$  a  $Q_{500}$  ve vstupním profilu byly použity na základě dat vyhodnocených v limnigrafické stanici Spolí a byly horní okrajovou podmínkou ustálených hydraulických výpočtů modelu. Druhým vstupem vody do modelu byly průtoky vyhodnocené pro zadané n-letosti v profilu Vltavy pod soutokem

s Polečnicí. Hodnoty přítoku byly dopočteny vzhledem k bilanci průtoků Vltavy mezi oběma známými profily a přítok - Polečnice byl zadán jako bodový zdroj do 1D modelu v místě soutoku.

Dolní okrajovou podmínkou modelu je Q/N křivka počítaná z profilu dostatečně vzdáleného od posledního profilu zadaného úseku.

#### **1.4.2 Výsledky výpočtů**

Z dosažených výsledků byly pro všechny průtokové stavy  $Q_N$  vygenerovány:

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

na základě kterých budou vytvořeny mapy povodňového nebezpečí.

## 2 Popis zájmového území

Název toku:	VLTAVA
ID úseku IDVT CEVT	10100001_6
Číslo hydrologického pořadí toku:	1-06-01-185,
Říční kilometry začátku a konce úseku:	ř. km 279,000 - 286,000
Významná vodní díla – zdymadla:	
Významné přítoky:	Polečnice

Zájmovým tokem je Vltava. Hlavní pramen (Teplé Vltavy) vyvěrá na Šumavě na východním svahu Černé hory, 4,5 km jihozápadně od obce Kvilda, nedaleko hranic se Spolkovou republikou Německo, kterou v první části toku sleduje v nadmořské výšce cca 900 m n. m.

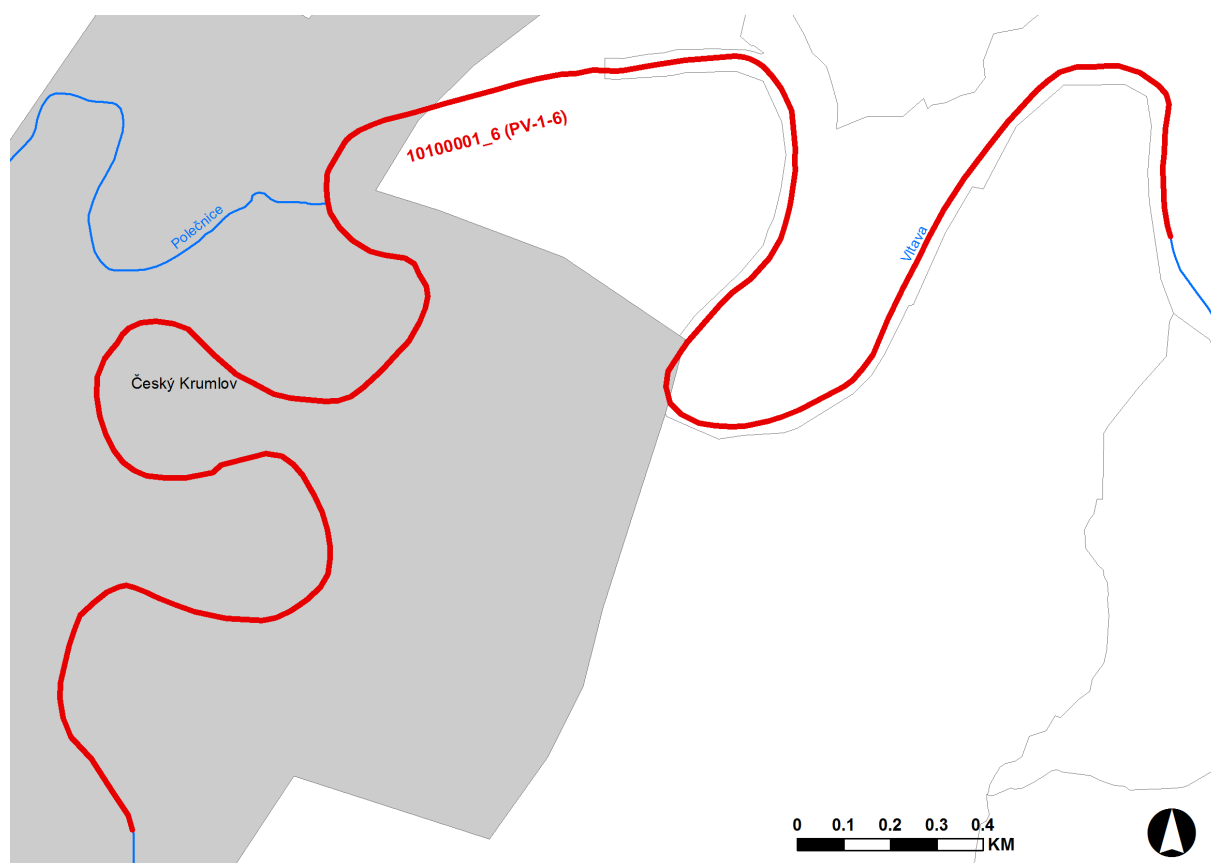
Z vodohospodářského hlediska je tok v úseku intravilánu města Krumlov ovlivněn nádrží Lipno, minimální odtok z nádrže Lipno II je 6 m<sup>3</sup>. s-1, za určitých okolností (déletrvající odstávka VE Lipno I) lze po předchozím vodohospodářském projednání připustit i odtok 5 m<sup>3</sup>. s-1.

Měrný profil Český Krumlov na Vltavě je umístěný v lokalitě Spolí ř. km. 285.60 ČHP 1-06-01-158, je kategorie A, a je součástí hlásné a povodňové služby jako řídící pro úsek Český Krumlov – Zlatá Koruna. Další řídící limnigraf pro úsek nad Českým Krumlovem je Zátoň ř. km. 285.60 ČHP 1-06-01-156 a Vyšší Brod, ř.km. 319,00, ČHP 1 - 06 - 01 – 121. (Stanice pozoruje od roku 1926.)

Celý zájmový úsek toku je zařazen MŽP do databáze toků v oblastech s významným povodňovým rizikem (2009, I. Etapa)

### Podklady:

Název toku	- zdroj VÚV TGM, v.v.i.
ID úseku IDVT CEVT	- zdroj Ministerstvo zemědělství
Číslo hydrologického pořadí toku	- zdroj VÚV TGM, v.v.i.
Úsek toku	- zdroj Povodí Vltavy, s.p.
Významná vodní díla	- zdroj ZM-10, Povodí Vltavy, s.p.
Významné přítoky	- zdroj ZM-10
Povodňový model	- „Studie odtokových poměrů Vltavy v úseku Vyšší Brod – České Budějovice“, DHI Hydroinform, a.s., 2004/5.



Obrázek 1 – Přehledná mapa řešeného území

## 2.1 Všeobecné údaje

Posuzovaný úsek Vltavy byl určen od ř. km 279,000 do ř. km 286,000, dle kilometráže poskytnuté objednatelem studie a přesně vymezen zadanými souřadnicemi začátku a konce toku:

začátek:  $x = -770001.5$   $y = -1183524.2$

konec:  $x = -767765.15$   $y = -1182245.3$

## 2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

V posledních letech byl Český Krumlov zasažen několika povodňovými vlnami, které významně přispěly k rozvoji protipovodňových opatření v regionu. Bezesporu nejvýznamnější povodní byla povodeň z roku 2002. Pro ilustraci jsou v tabulce uvedeny některé z významnějších povodní zaznamenaných v měrných stanicích v horní části povodí.

Rok	Datum	Vodní tok	Profil	Průtok (m <sup>3</sup> .s-1)	Doba opakování (roky)
1890	3. 9.	Vltava	Zátoň	395	100
1920	14. 1.	Vltava	Vyšší Brod	350	100
		Vltava	Zátoň	420	100
		Vltava	Březí	436	50+
1998	2.-9.11.	Vltava	Vyšší Brod	95	1+
2002	12. 8.	Polečnice	Český Krumlov	270	100+
2002	13. 8.	Vltava	Český Krumlov	480	100+
2006	27. 3.	Polečnice	Český Krumlov	170	5+
2006	30. 6.	Polečnice	Český Krumlov	198	5+

### 3 Přehled podkladů

V souladu s vyhláškou č. 236/2002 Sb. byly použity pro zpracování návrhu záplavového území tyto podklady. Pravidla pro citace podkladů se řídí dle ČSN ISO 690 (01 0197).

Hydrologické podklady:

- Hodnoty N-letých průtoků (ČHMÚ, 2012)
- Hydrologické poměry ČSSR III, „modrá kniha“, III. díl (Hydrometeorologický ústav Praha, 1970)

Topologické podklady:

- DMT (DHI Hydroinform, a.s., data 2004/5 a starší)
- DMR5G (ČÚZK, a.s., 2011-2012)
- DMR4G (ČÚZK, a.s., 2011-2012)
- ORTOFOTO v digitální podobě (geoportál CENIA)
- ZABAGED v digitální podobě (Povodí Vltavy, s.p.)

Další podklady:

- Říční kilometráž (digitální, Povodí Vltavy, s.p.)
- Osa toku (digitální, Povodí Vltavy, s.p.)
- Povodňový model (DHI Hydroinform, a.s., 2004/5)
- Kalibrační podklady – Q-h křivky měrných profilů (Povodí Vltavy, s.p., ČHMÚ)
- Fotodokumentace a odborné poznatky z terénního šetření (DHI, a. s. 2012)
- projektové dokumentace prohrábek koryta intravilánu Krumlova (VH - Tres spol.s.r.o. 2010)
- projektové dokumentace úprava jezu Jelení lávka ř.km. 282,490 (VH - Tres spol.s.r.o. 2011)

#### 3.1 Topologická data

Pro vytvoření modelu záplavového území byl použit *Digitální model reliéfu ČR 5. generace* (DMR 5G), 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 (ČÚZK, a.s., 2011-12), podrobné body byly předány v ASCII formátu.

Svahy koryta a objekty na toku (jezy, mosty) byly převzaty z již stávající TPE (zpracování 2000 až 2005); novější objekty byly doplněny dle aktuální dokumentace.

Zpracovatel studie si DMT převedl pro vlastní potřeby do softwaru ARC GIS.

DMT je prostorová plocha, která (podle kvality zadání) kopíruje skutečný (zaměřený) nebo projektovaný terén. Vzniká na základě zadaných 3D bodů. Lze zadat i 3D čáry. Zadanými body plocha prochází, mimo ně se dopočítává podle matematických vzorců tak, aby se blížila skutečnosti – výpočet není založen na lineární interpolaci, ale modeluje hladký „oblý“ terén. Tam, kde je to na závalu, lze doplnit terénní hrany. Hlavními zdroji dat pro vytváření (generování) DMT jsou textové soubory (bodové pořady) z DMR5G a výkresy ve formátu DXF (body, linie, plochy).

##### 3.1.1 Mapové podklady

Pro účely studie byla využita Základní mapa České republiky 1:10 000 aktualizovaná Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (dále jen ČÚZK) v roce 2009. Jedná se o nejpodrobnější základní mapu středního měřítka.

ZM10 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.

Tvorbu a aktualizaci ZM 10 zajišťuje ČÚZK.

ZM10 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 / Křováč EN. Tento soubor obsahuje souřadnici levého horního rohu umístovacího čtverce a velikost pixelu v metrech pro dané rozlišení souboru. Předané soubory TIF mají velikost 3149x3149, rozlišení 400 x 400 DPI, hloubku barev 4 bit/pixel

Dále bylo využito informací ze základní báze geografických dat **ZABAGED®**, což je digitální geografický model území České republiky (ČR) na úrovni podrobnosti Základní mapy ČR 1:10 000 (ZM 10). ZABAGED® je součástí informačního systému zeměměřictví a patří mezi informační systémy veřejné správy. Je vedena v podobě bežešvé databáze pro celé území ČR v centralizovaném informačním systému spravovaném Zeměměřickým úřadem. Polohopisná část ZABAGED® obsahuje dvourozměrně vedené (2D) prostorové informace a popisné informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu, terénním reliéfu.

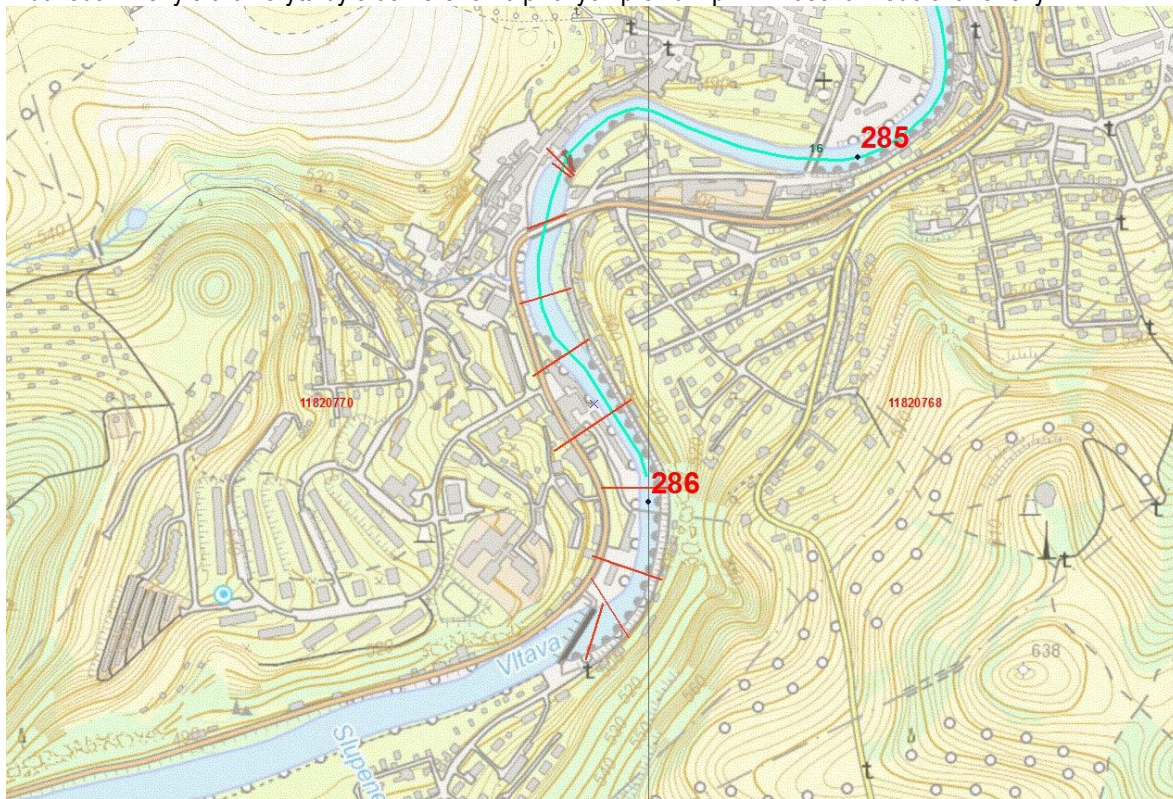
Nedílnou součástí při konstruování výpočetní sítě byly v r. 2009 – 2010 aktualizované **ORTOFOTOMAPY ČR** – obdélníky 2,5 x 2,0 km ve formátu TIF, se stranami rovnoběžnými se souřadnicovými osami S-JTSK. Předané soubory TIF mají velikost 2500x2000, rozlišení 96 x 96 DPI, hloubku barev 24 bit/pixel.

Dále mapa na Geoportálu INSPIRE – aktuální ortofotomapa CENIA (což je česká informační služba MŽP). *Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe je iniciativou Evropské komise, která si klade za cíl vytvořit evropský legislativní rámec potřebný k vybudování evropské infrastruktury prostorových informací a pravidel zejména k podpoře environmentálních politik a politik, které životní prostředí ovlivňují.*

**Všechny souřadnice mapových podkladů jsou v polohopisném systému S\_JTSK a výškovém Bpv.**

### 3.1.2 Geodetické podklady

Z důvodu změny tvaru koryty bylo doměřeno 10 příčných profilů v prvním úseku modelované řeky.



## 3.2 Hydrologická data

Vodní tok: VLTAVA  
Datum zpracování: 2012  
Vydal: ČHMÚ, pobočka České Budějovice

Tabulka 3 – Vltava, N-leté průtoky ( $Q_N$ ) v  $m^3 \cdot s^{-1}$

Řeka	Hydrologický profil	ČHP	plocha povodí ( $km^2$ )	5	20	100	500	Třída přesnosti
Vltava	LG Spolí	1-06-01-158	1338.3	183	303	489	735	2
	pod Polečnicí	1-06-01-186	1545.4	210	345	547	803	3

Třída přesnosti dle ČSN 75 1400



### 3.3 Místní šetření

Terénní průzkum se uskutečnil srpnu v roce 2012.

Během průzkumu byla pořízena aktuální fotodokumentace všech objektů na toku, významných částí toku, charakteru a překážek v záplavovém území.

Toto šetření bylo pro zpracovatele významné z hlediska stanovení drsnostních součinitelů matematického modelu a dále pro kontrolu významných příčných a podélných hrází, valů a náspů v DMT záplavového území Vltavy.

#### Charakter zaplavené zástavby

Zájmový úsek se skládá ze dvou výrazně odlišných částí. Dominantní je intravilán města charakteristický výrazně upraveným tokem s lichoběžníkovým průřezem. Český Krumlov je významně spojen s řekou a jeho zástavba zasahuje těsně k řece, je tedy logické, že jakékoliv změny v toku mají přímou odezvu v zástavbě. Kapacita koryta činí Q5 – Q10. Při vyšších průtocích dochází k vybřežování. Z tohoto důvodu probíhalo v nedávné době několik PPO jako je prohloubení koryta, rekonstrukce jezu u Jelení lávky apod. Vzhledem k charakteru a významu staveb bylo rozhodnuto o využití 2D technologie i přes to, že sevřený tvar údolí by umožňoval využití 1D modelu. Jeho výstupy by však poskytovaly výrazně horší detail map.

**Zemědělsky využívané plochy** se v zájmové oblasti vyskytují pod městem Český Krumlov jako převažující **Lesní porosty** (převážně jehličnaté kultury),

**Inundační území** je v intravilánu měst tvořeno budovami a objekty občanského, zemědělského a průmyslového charakteru, travními a ostatními volnými plochami.

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

Povodí Vltavy poskytlo zpracovateli **manipulační řády** všech vodních děl na toku.

**AZZU Lipno – silniční most Planá, prohrábeky koryta intravilánu Krumlova (VH - Tres spol.s.r.o. 2010), úprava jezu Jelení lávka ř.km. 282,490 (VH - Tres spol.s.r.o. 2011)** byly předány zadavatelem a dále samotnými zpracovateli projektové dokumentace ve formě digitální podoby technických zpráv, koordinačních situací, podélných a příčných řezů.

### 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] TNV 75 2910 Manipulační řády vodních děl na vodních tocích.
- [4] TNV 75 2931 Povodňové plány.
- [5] Vyhláška MŽP 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území.
- [6] Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků.
- [7] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

U uvedených zákonů, nařízení a vyhlášek se předpokládá jejich platné znění.

### **3.6 Vyhodnocení a příprava podkladů**

Poskytnuté topologické a hydrologické podklady plně pokryly zájmové území.

Za významné a přesnost ovlivňující výsledky lze považovat nepřesnosti DMR5G několika lokalit s nepřehledným terénem porostlým hustými křovisky a travinami, kde bylo zjištěno převýšení nad skutečným terénem (zaměřeným geodeticky v příčném profilu) o 2 – 3 m, většinou se však jednalo o území malého rozsahu.

## 4 Popis koncepčního modelu

Stanovení záplavového území vychází dle vyhlášky MŽP z výpočtů ustáleného nerovnoměrného proudění, to lze popsat jak 1D, tak 2D modely.

Zájmový úsek toku tvoří upravené koryto Vltavy o šířce toku 20 m – 60 m. Tok v intravilánu výrazně meandruje mezi pevně ohraničenými břehy, které místy přecházejí v břehy zvolna stoupající do parků a travnatých povrchů.

### Použitý software

Pro výpočty hydraulických charakteristik proudění byly použity software **MIKE 21FM ver. 2012**, **MIKE 11 ver. 2012** a **MIKE Flood** (propojení MIKE 11 a MIKE 21) **ver. 2012** vyvinuté DHI Water & Environment & Health, Hørsholm (Dánsko).

Veškerý software, použitý pro výpočet, je komerčně dostupný, má zajištěn servis a pravidelný update.

### Mike 21FM

Pro simulaci proudění byl použit dvourozměrný matematický model proudění v otevřeném korytě s inundačním územím MIKE 21 FM (verze 2009). Tento model je založen na řešení Navier-Stokesových diferenciálních rovnic (rovnice kontinuity a 2 pohybové rovnice v horizontální rovině) metodou konečných objemů v jednotlivých elementech půdorysné výpočetní sítě. Model MIKE 21 FM pracuje v nepravidelné výpočetní síti; tzn. jeho výpočetní síť lze, na rozdíl od pravoúhlých (obdélníkových) sítí, přizpůsobit tvaru území a tak omezit počet výpočetních bodů. Nepravidelná síť dále umožňuje zahuštění a zmenšení výpočetních elementů (tj. zvýšit podrobnost popisu zájmového území) v oblastech, kde je třeba podrobněji modelovat reliéf terénu (např. objekty na toku), resp. v oblastech, kde požadujeme velmi detailní znalost výsledků.

Výstupem modelu MIKE 21 FM jsou primárně tyto charakteristiky proudění:

- hodnoty úrovně hladiny vody,
- směry a velikosti vektorů rychlostí v horizontální rovině

ve všech výpočetních elementech zájmové oblasti a pro všechny počítané časové kroky. 2D model tak dává reálnou představu o zakřivené ploše hladiny v celém zájmovém území (např. při ustáleném proudění je hladina v neprotékaném inundačním území výše než v korytě) i o rozdělení rychlostí v celé oblasti.

### MIKE 11

Matematický model MIKE 11 je jednorozměrný plně dynamický model pro řešení dynamických procesů na vodních tocích. Může být použit k popisu jak větvěné tak okružové sítě a lze ho aplikovat i na problémy pseudo-dvourozměrného proudění (tzv. 1D+). Model je založen na aproximaci Saint-Venantových diferenciálních rovnic metodou konečných diferencí ve vystřídáném výpočetním schématu Abbott-Ionescu.

Objekty na tocích (mosty, jezy) jsou schematizovány pomocí příčných profilů, resp. funkčních objektů, které umožňují definovat rozměry objektů geometricky přesně a hydraulickou funkci objektů odpovídajícími matematickými vztahy.

Drsnost koryta v jednotlivých výpočetních úsecích je výsledkem kalibračních a verifikačních výpočtů.

### Mike Flood

Systém matematických modelů MIKE Flood umožňuje propojení 1D a 2D modelů do funkčního celku, ve kterém běží propojené modely souběžně a vzájemně si předávají simulované charakteristiky proudění formou vnitřních okrajových podmínek.

V projektu byl systém MIKE Flood použit pro simulaci proudění na Vltavě, a to kombinace modelů MIKE 11 (simulace proudění v říčním korytě včetně schematizace objektů na tocích) a MIKE 21 (detailní simulace charakteristik proudění v inundačním území).

#### 4.1 Posouzení vlivu nestacionarity proudění

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

Pokud bychom chtěli tuto otázku vůbec diskutovat, je třeba uvést, že vliv nestacionarity je v daném úseku Vltavy, poměrně významný. V tomto úseku dochází k vyběhování při  $Q_5$  až  $Q_{10}$ ; při vyšších povodňových průtocích jsou zaplavována rozsáhlá inundační území, která samozřejmě mají vliv na transformaci povodňové vlny.

Výše uvedená úvaha je však vzhledem k řešené úloze irelevantní. Hydrologická data ČHMÚ (N-leté průtoky) jsou výsledkem metod, které se nezabývají postupem povodňové vlny daným územím, její transformací. Hydrologické metody pro stanovení N-letých průtoků vycházejí z pravděpodobnostních analýz dlouhodobých řad pozorovaných vodních stavů (a z nich odvozených průtoků) v konkrétních profilech na toku, bez vazby na průběh (nestacionaritu) té které povodňové události v zájmovém území.

Výpočet charakteristik proudění metodou ustáleného proudění zcela odpovídá Metodice zpracování SZÚ, metodice pořizování hydrologických dat (N-letých průtoků) a především požadavkům Směrnice 2007/60/EC.

#### 4.2 Způsob zadávání OP a PP

**Horní okrajová podmínka modelu** – ustálený průtok – byl zadáván dle tab. 3 na vstupu do výpočetní sítě, tj. v ř. km ř.km.288. Vzhledem k hydrostatickému charakteru výpočtu není bod vstupu vody do modelu příliš významný. Příbytek vody v toku podél toku je nulový, stačí tedy stanovený průtok vložit výše nad předepsaným profilem. Výhodou je naopak relativní stabilita toku již v prvním sledovaném profilu a s tím související potřebná stabilita pro přetékání modelované vody do 2D části modelu a jeho plnění. Jako druhý zdrojový bod je využit profil těsně pod soutokem s Polečnicí tak, aby byla dodržena podmínka předepsané n-letosti. Vlastní tok Polečnice v tomto modelu není řešen jinak než přirozeným zpětným vzduťím Vltavy do Polečnice.

**Dolní okrajová podmínka modelu** – tak aby nebyl závěrový profil sledované oblasti ř.km. 281,865 zasažen případnou nestabilitou a nepřesností dolní okrajové podmínky modelu, je poslední profil modelu v ř.km. 278 a je stanoven jako Q/h křivka.

## 5 Popis numerického modelu

### 5.1 Použité programové vybavení

Pro simulaci ustáleného nerovnoměrného proudění byl použit dvourozměrný matematický model proudění v otevřeném korytě s inundačním územím MIKE 21FM, verze 2012 v kombinaci s jednorozměrným modelem MIKE 11.

Výstupem modelu MIKE 21FM jsou primárně tyto charakteristiky proudění:

- hodnoty úrovní hladiny vody
- vektory rychlostí (tj. směr a velikost vektorů rychlostí, nebo též možno vyjádřit pomocí velikosti podélné a příčné složky vektorů rychlostí)

ve všech výpočetních bodech zájmové oblasti a pro všechny počítané časové kroky. 2D model tak dává reálnou představu o zakřivené ploše hladiny v celém inundačním území (např. při ustáleném proudění je hladina v neprotékaném inundačním území výše než v korytě) i o rozdělení rychlostí v celé inundační oblasti.

Charakteristiky proudění ovlivňují především reliéf terénu (tvar koryta, inundačního území, sklonové poměry) a odpory proudění (drsnost a tvarové odpory – zúžení resp. rozšíření průtočného profilu, oblouky, obtékání překážek, proudění přes objekty, apod.). Velkou pozornost je proto třeba věnovat přípravě souboru s geometrickými daty pro 2D model, neboť tento soubor v sobě obsahuje jak vlastní reliéf terénu tak i veškerá data pro výpočet tvarových odporů.

Pro modelování toku v korytě je použit 1D model MIKE 11, jehož výstupy jsou hydraulické charakteristiky toku v bodě. Výsledky z tohoto modelu je třeba distribuovat na plochu celého toku, čímž se do systému vnáší určitý stupeň nepřesností. Tato nevýhoda je kompenzována výraznou stabilitou modelu zejména při popisu objektů v toku. Zároveň je třeba si uvědomit že v průběhu povodně je informace o rychlostech a hloubkách přímo v toku méně podstatná. Daný prostor je vždy vyhodnocen jako vysoce rizikový.

Podrobná specifikace modelu, detailní popis všech jeho vstupních souborů a jeho použití lze najít v manuálech programu - *M21FM\_User\_Guide.pdf*, *M21FM\_GridGenerator.pdf*, *MIKE21FM\_Scientific\_documentation.pdf* a *M11\_User\_Guide.pdf*, *M11\_Scientific\_documentation.pdf*.

### 5.2 Vstupní data numerického modelu

Z dostupných podkladů (viz kap. 3.1 Topologické podklady) byl nejprve sestaven digitální model terénu.

Při přípravě modelu v daném úseku byla vytvořena trojúhelníková síť vymezující oblast modelu, doplněna ve specifických případech výpočetními čtyřúhelníky. Z dostupných podkladů (viz kap. 3.1 Topologická data) byl sestaven digitální model terénu zájmové oblasti. Promítnutím této sítě na DMT byl získán geometrický (batymetrický) model terénu ve **výpočetní síti modelu MIKE 21 FM**. Hustota sítě (vzdálenost mezi výpočetními body) je proměnlivá - v rozsahu cca 3-15 m. V intravilánu s hustou zástavbou je výpočetní síť hustší, v širokém záplavovém území je výpočetní síť řidší. Pro potřeby studie je míra schematizace zájmového území dostatečně jemná pro podrobný popis prostorových jevů proudění v oblasti. Domy a bloky domů byly modelovány pomocí podstatně vyvýšeného terénu (nepřelitélné překážky); ploty a jiné překážky podobného charakteru byly simulovány pruhy zvýšené drsnosti. Vlastní tok s objekty hydraulicky významnými je popsán pomocí 1D

schematizace **modelu MIKE 11** vzájemně propojených výpočetních bodů na toku. Na rozhraní mezi oběma modely, většinou na břehové hraně, byly sestaveny linky simulující přetékaní vody mezi zaplavovaným územím a řekou.

**Linie a stavby PPO** byly do batymetrie zadány s kótami horních úrovní PPO konstrukcí (zemní valy, zdi a mobilní hrazení s osazujícími prvky) dle projektové dokumentace.

### 5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

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

Popis objektů na toku, je uváděn proti směru proudu, staničení je „evropské“ (zdroj DIBAVOD).

Tabulka 5 – Přehled objektů na toku

ř.km.	Popis objektu
286.347	Pevný dřevěný jez s kamennou výplní ve Spolí, s vorovou propustí, lomený
284.859	Dřevěná lávka na jezem
284.859	Jez Rechle
284.150	Železobetonový most s oboustrannými chodníky sv.š. vozovky 8.90 m.
284.049	Kamenný jez U vozíčkárný
283.660	Ocelový silniční most s betonovou vozovkou
282.970	Kamenný jez
282.860	Železobetonový most E.Beneše s oboustranným chodníkem sv. šíře 7.40 m, šířka vozovky 5.20 m.
282.490	Kamenný jez
282.402	Železobetonová lávka pro pěší pod zámek sv. šíře 1.95 m , šikmá
282.228	Dřevěný silniční most s oboustrannými chodníky sv. šíře 6.60 m , šířka vozovky 5.10 m
281.618	Železobetonová lávka pro pěší a inženýrské sítě, sv.š.2.00 m
281.441	Ocelový most
281.233	Silniční železobetonový most s oboustrannými chodníky, sv.š. vozovky 8.50 m, sv.š. chodníků 2.40 m
280.590	Šikmý ocelový most, sv.š. 3.93 m.
279.514	Betonový silniční most v areálu ČOV

### 5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

**Hydraulická drsnost** a místní zvýšené odpory proudění jsou pro model MIKE 21FM zadávány pro každý bod výpočetní sítě. Základní „mapa drsností“ byla vytvořena zpracováním podrobných ortofotomap a informací ZABAGED® (každý bod získal drsnost „propíchnutím“ výpočetní sítě s databází klasifikující území) v modelové oblasti; hodnoty Manningova součinitele drsnosti „n“ ukazuje tab 6.

Tabulka 6 – Hodnoty Manningova součinitele drsnosti „n“

Popis povrchu	n
říční koryto	0,024 ÷ 0,037
hladké plochy, ulice, volná prostranství	0,030
nízká, sekaná tráva	0,035
vyšší, nesezaná tráva, pole	0,040
řídce lesní porost	0,052
hustý lesní porost	0,075
keře	0,085 ÷ 0,100
technické stavby	0,070 ÷ 0,100
ploty	0,090 ÷ 0,200

### 5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Tabulka 7 - N-leté povodňové průtoky pro model

Řeka	Hydrologický profil	ČHP	plocha povodí (km <sup>2</sup> )	5	20	100	500
Vltava	LG Spolí	1-06-01-158	1338.3	183	303	489	735
	pod Polečnicí	1-06-01-186	1545.4	210	345	547	803

### 5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

**Počáteční podmínky** – kóty hladin ve všech bodech výpočetní sítě – byly odvozovány z výsledků dříve provedených výpočtů 2D modelem a z povodňových značek zaměřených po délce toku.

### 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 popsání 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

Kalibrace modelu byla provedena pomocí série kalibračních výpočtů, při kterých byly upravovány hodnoty součinitelů drsnosti v celé ploše modelu (tj. v jednotlivých úsecích koryta a rovněž i v inundačním území dle typu zástavby či využití území) tak, aby při shodných průtocích bylo dosaženo uspokojivé shody mezi vypočtenými a zaměřenými průběhy hladin, resp. značkami hladin.

Jedná se o data shromážděná z povodňové epizody 2006 a 2002. Na tyto povodně byl model řádně nakalibrován.

Tabulka 8 – Příklad kalibrace na epizodě z roku 2002

Ricni Km	znacka	prvotni vypocet	rozdil	kalibrace	rozdil
286333	488.53	488.48	0.05	488.48	0.05
285673	486.99	486.8	0.19	486.93	0.06
285446	486.43	486.36	0.07	486.34	0.09
285093	485.98	486.11	-0.13	486.08	-0.1
285059	486.07	485.92	0.15	485.98	0.09
283474	482.79	482.56	0.23	482.72	0.07
284365	484.41	484.4	0.01	484.4	0.01
284209	483.92	483.77	0.15	483.75	0.17
283833	482.96	482.56	0.4	482.6	0.36
283272	481.99	481.94	0.05	481.624	0.366
282704	480.96	482.08	-1.12	481.06	-0.1

V tabulce jsou uvedeny hodnoty pro kalibrační hladinu 2002. Jedná se o výpočet na finálním setupu, který obsahuje aktuální úpravy koryta a objektů. Tomu také odpovídají hodnoty ve zvýrazněné části tabulky, kde jsou popsány kalibrační značky v oblasti následných prohrábek koryta a rekonstrukce jezu. Kladné hodnoty v rozdílu vyjadřují pokles oproti kalibrační značce.



## 6 Výstupy z modelu

Základní informací, kterou poskytují výsledky 2D matematického modelu, je **průběh hladin** a rozložení **vektorů rychlostí** (tj. směru a velikosti vektorů rychlostí) v celé zájmové oblasti (tj. „v ploše“). Vektory svislicových rychlostí mohou být rozloženy na podélnou a příčnou složku (vzhledem k zakřivené ose výpočetní sítě, resp. jinému souřadnicovému systému). S užitím základních hydraulických vztahů mohou být vyjádřeny další veličiny: **hloubka** vody (rozdíl vypočtené úrovně hladiny a terénu, resp. nivelety dna) a **měrné průtoky** (násobky vektorů rychlostí a hloubek).

Z průběhu hladin byl sestaven psaný podélný profil, který obsahuje niveletu dna a úrovně hladin pro  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  a  $Q_{500}$  nad osou koryta.

Mapy hloubek a rychlostí byly základními vstupními parametry pro stanovení míry povodňového nebezpečí v záplavovém území.

### 6.1 Záplavové čáry pro průtoky $Q_5$ , $Q_{20}$ , $Q_{100}$ a $Q_{500}$

Záplavové čáry tvoří obalovou křivku záplavovému území resp. mapám hloubek. Zobrazují maximální rozsah povodně pro daný průtok. Jsou zobrazeny v jedné mapě pro všechny povodňové scénáře. Tím je umožněno snadné porovnání rozsahu povodní. Záplavové čáry jsou zobrazeny na podkladě Základní rastrové mapy ČR v měřítku 1:10 000.

Pomocí softwaru ESRI ArcMap a DHI Flood Tool Box byly z vypočtených hydraulických charakteristik pro  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  a  $Q_{500}$  vygenerovány záplavové čáry a mapy hladin v zájmové oblasti.

Formát záplavových čar    \*.shp    – polygon, vektorový formát ESRI

Formát map hladin        \*.tif        – rastr, georeferencovaný tif        velikost pixelu rastru 2x2 m

Analýzou průniku maximálního rozlivu (při průtoku  $Q_{500}$ ) a správních území byly zajištěny informace o dotčených správních územích.

Tabulka 16 – Dotčené správní území obcí maximálním rozlivem

KOD ORP	NAZEV ORP	IČ OBCE	NÁZEV OBCE
02293	Český Krumlov	545732	Přísečná
02293	Český Krumlov	545392	Český Krumlov

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

Mapa hloubek vznikne odečtením vypočítané úrovně hladiny a sestaveného digitálního modelu terénu. V barevné škále zobrazuje názorně hloubku vody při povodni v záplavovém území a upozorňuje na rizikové oblasti s vysokými hloubkami vody. Pro přehledné znázornění hloubek v tištěné podobě je výsledná hloubka vody rozdělena do kategorií s pevně zvoleným rozsahem hloubky (znázorněno v legendě mapového výstupu). Mapa hloubek je zobrazena na podkladě Základní rastrové mapy ČR v měřítku 1:10 000.

Pomocí softwaru ESRI ArcMap a DHI Flood Tool Box byly z vypočtených hydraulických charakteristik pro  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  a  $Q_{500}$  vygenerovány mapy hloubek.

Formát map hloubek      \*.tif      – rastr, georeferencovaný tif      velikost pixelu rastru 2x2 m

Nad mapu hloubek jsou zobrazeny bodové rychlosti proudění ve všech výpočetních profilech (viz kapitola 6.3).

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

Informace o rychlosti proudění vody v korytě a v inundačním území u dvourozměrného modelu jsou známy ve všech výpočetních bodech. Výsledné zobrazení rychlostí je součástí mapy hloubek, kdy informace o rychlosti spolu s hloubkou vody dávají názornou představu o charakteru nebezpečí při povodni v pozorovaném úseku.

Pomocí softwaru ESRI ArcMap a DHI Flood Tool Box byly z vypočtených hydraulických charakteristik pro  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$  a  $Q_{500}$  vygenerovány mapy rychlostí.

Formát map rychlostí      \*.tif      – rastr, georeferencovaný tif      velikost pixelu rastru 2x2 m

### 6.4 Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů

Nejistoty mohou vstupovat do výpočtů a dále do výsledků v každé dílčí fázi zpracování. Jedná se zejména o nejistoty hydrologických dat, geodetických dat, zpracování digitálního modelu terénu, schematizace řešeného území hydrodynamickým modelem, přesnost hydrodynamického modelu, drsnosti povrchů, kalibrační značky, kulminační průtoky historických povodní atd.

Dalším 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 značně pozměnit průtočný profil (částečné nebo úplné ucpání), což má zásadní vliv na jeho průtočnou kapacitu a následně na průběh hladin nad objektem.

Způsob zpracování vycházel z použití nejmodernějších a nejaktuálnějších vstupních podkladů, hydrodynamických modelů, metod zpracování hydrodynamických modelů a prezentace jejich výsledků s cílem minimalizovat nejistoty ve výsledcích výpočtů.