

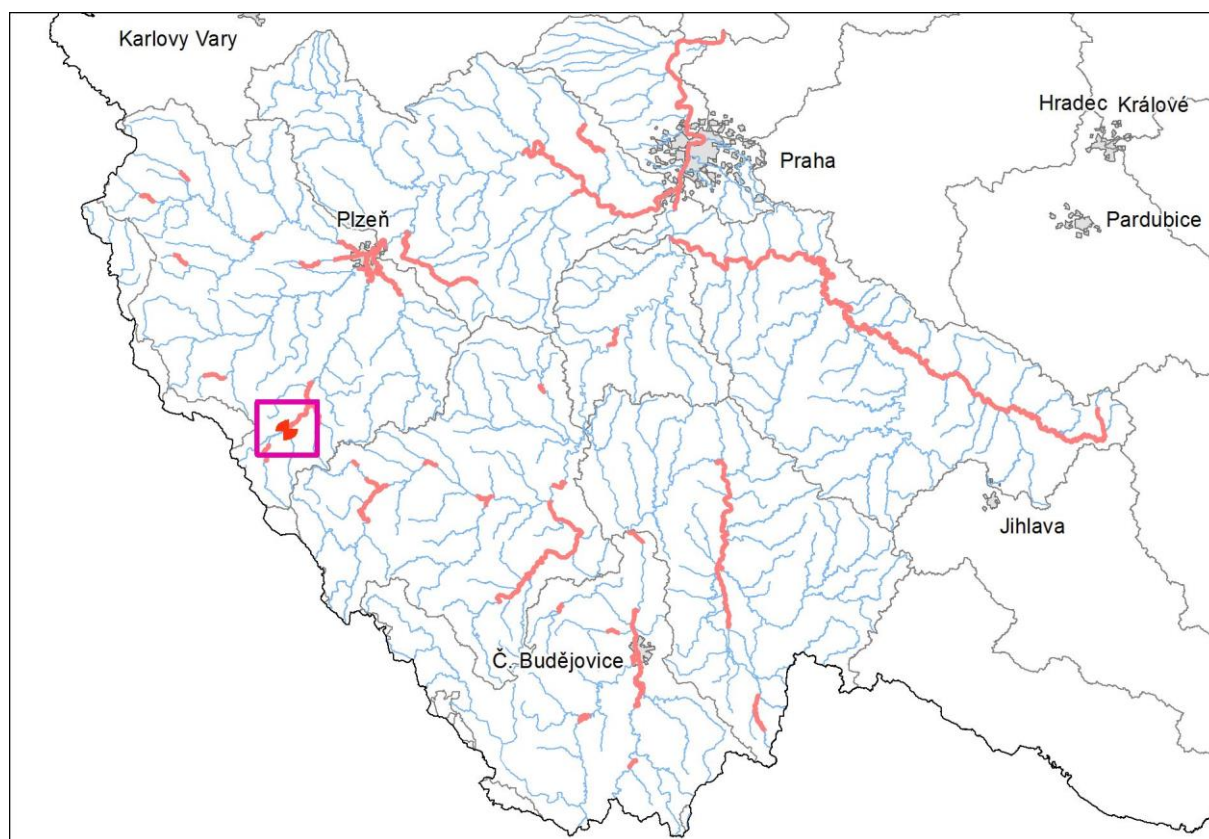


TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK PRO OBLASTI POVODÍ HORNÍ VLTAVY, BEROUNKY A DOLNÍ VLTAVY

DÍLČÍ POVODÍ BEROUNKY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

ÚHLAVA - 10100025_3 - Ř.KM 74 - 76



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

ÚHLAVA - 10100025_3 - Ř.KM 74 - 76

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)	10
3	Přehled podkladů	11
3.1	Topologická data	12
3.1.1	Vytvoření (aktualizace) DMT	12
3.1.2	Mapové podklady	12
3.1.3	Geodetické podklady	13
3.2	Hydrologická data	13
3.3	Místní šetření	13
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura	14
3.5	Normy, zákony, vyhlášky	14
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů	14
4	Popis koncepčního modelu	15
4.1	Schematizace řešeného problému	15
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	15
4.3	Způsob zadávání OP a PP	15
5	Popis numerického modelu	16
5.1	Použité programové vybavení	16
5.2	Vstupní data numerického modelu	16
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území	16
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	16
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	17
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	17
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	17
5.3	Popis kalibrace modelu	17
6	Výstupy z modelu	18
6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	21
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	21
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	21
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	21

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratk a symbolů

Tabulkač. 1 – Seznam zkratk a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
1D model	Matematický model jednorozměrného proudění
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMT	Digitální model terénu
GIS	Geografický informační systém
PPO	Protipovodňová opatření
S_JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TPE	Technickoprovozní evidence
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 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 geometrie hydraulického modelu bylo geodetické zaměření, které pro potřeby tohoto projektu zaměřila společnost GEODIS BRNO s.r.o v roce 2013 v celé délce řešeného úseku, tedy od ř. km 74,173 – 77,008. (modelová kilometráž), ř. km 74,173 – 77,100 (TPE kilometráž) Dalším podkladem geometrie koryta Úhlavy a přilehlého území posloužila technickoprovozní evidence toku Úhlavy III. etapa (ř. km 57,223 – 77,100) z roku 2004, kterou zpracovalo sdružení firem Ing. Lubor Pekarský - geodetická kancelář PGK a Jaroslav Touš – Geoplan Plzeň.

Po prostudování poskytnutých dat byl proveden terénní průzkum. V průběhu terénního průzkumu byla pořízena nová fotodokumentace všech objektů na toku a vybraných profilů. Digitální model terénu byl vytvořen pomocí DMR 5G - LLS od ČÚZK, který byl použit po inundační území a pro vymodelování koryta byla použita 3D kresba spojnic hran koryta od společnosti GEODIS BRNO s.r.o.

Od ČHMÚ byla objednána aktuální hydrologická data (N-leté průtoky) ve 2 profilech (nad Jelenkou a pod Jelenkou).

Sestavení hydraulického modelu.

Na řece Úhlavě jsou vymezeny 4 oblasti s potenciálně významným povodňovým rizikem a to v rozsahu od ř.km 0 do 9, od ř.km 50 do 66, od ř.km 74 do 76 a od ř.km 82 do 88.

Hydraulický model byl sestaven ve větším rozsahu, než je řešený úsek z pohledu Map rizik a povodňových nebezpečí.

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 geometrie pro HEC–RAS je digitální model terénu (DMT) ve formátu TIN. DMT zájmové oblasti byl sestaven z DMR 5g a 3D spojnic hran koryta včetně geometrie objektů.

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. 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: Úhlava

ID úseku IDVT CEVT: 10100025_3

Číslo hydrologického pořadí toku:

1-10-03-022, 1-10-03-024 a 1-10-03-030

Úsek toku: intravilán města Janovic nad Úhlavou až po nadjezí jezu Dubová Lhota ř.km 74,0 - 76,0 (rozsah modelu ř.km 74,173 – 77,008)

Významná vodní díla:

V řešeném úseku se přímo na vodním toku Úhlavy nenacházejí vodní díla, která by významně ovlivňovala odtokové poměry, což se týče transformace povodňových průtoků. Na Úhlavě se nachází významné vodní dílo a to VD Nýrsko, které je schopnou svým retenčním prostorem ovlivňovat povodňové průtoky v řešeném úseku toku.

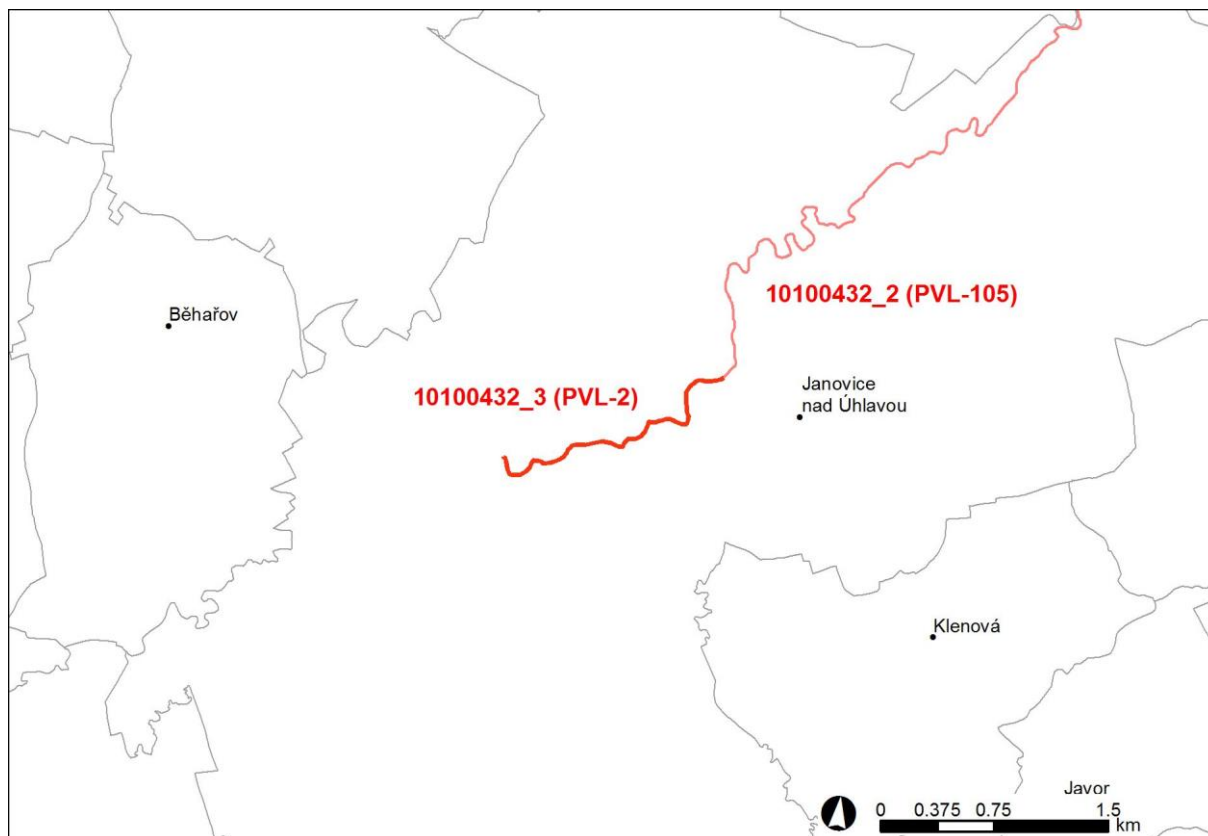
Úhlava pramení na Šumavě na západních svazích hory Pancíř v Železnorudské hornatině v nadmořské výšce 1110 m. Teče k severozápadu a vytváří hluboké Úhlavské údolí, které odděluje Královský hvozď a Pancířský hřbet. U Hamrů, kde se řeka stáčí k severu, vzdouvá její vody vodní nádrž Nýrsko. Přes Švihovskou vrchovinu teče do Plzeňské kotliny. Protéká přes Nýrsko, Janovice nad Úhlavou, okrajem Klatov, v blízkosti vodního hradu Švihov, Přesticemi, Štěnovicemi, Plzní a obcí Radobyčice, kde se v Doudlevcích vlévá zprava do řeky Radbuzy v nadmořské výšce 303 m. Délka Úhlavy činí 108,5 km.

Charakter řeky v řešeném úseku je meandrující tok v široké inundaci, která mimo intravilán Janovic nad Úhlavou je převážně zalučněna popřípadě zemědělsky obdělávána. Ve většině úseku po obou březích Úhlavy rostou vzrostlé stromy s bohatým křovinným podrostem.

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
Významné přítoky:	zdroj ZM10

Obrázek – Přehledná mapa řešeného území



2.1 Všeobecné údaje

Posuzovaný úsek toku Úhlavy byl určen od ř.km 74,00 do ř.km 76,00 dle kilometráže poskytnuté pořizovatelem a přesně vymezen zadanými souřadnicemi S JTSK začátku a konce toku:

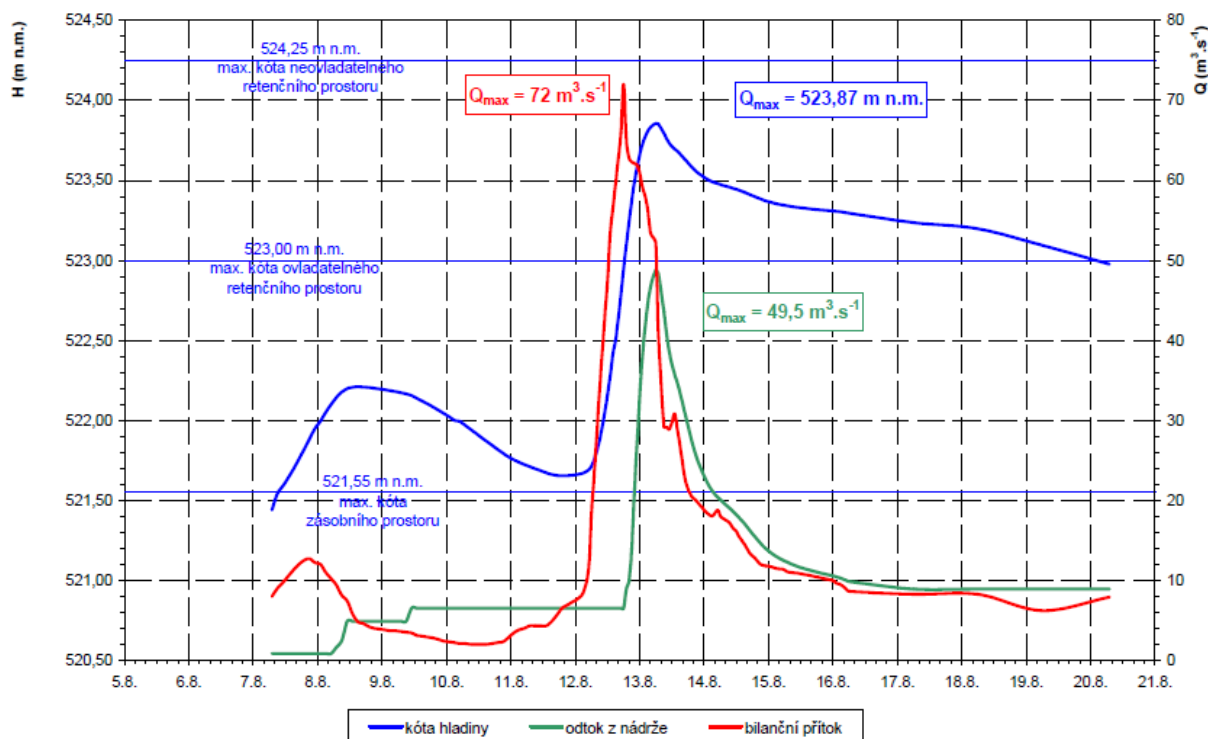
začátek úseku: $X = -842\,529$; $Y = -1\,112\,444$

konec úseku: $X = -841\,073$; $Y = -1\,111\,919$

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 74,173 do 77,008. Rozsah modelu zohledňuje celé území intravilánu Janovice nad Úhlavou.

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Největší zaznamenaná povodeň na řece Úhlavě je z roku 2002, kdy přes střední Evropu v krátkém sledu přešli dvě výrazné tlakové níže a s nimi spojené frontální systémy, které byly doprovázeny vydatnými zvolna postupujícími srážkami, které v zasaženém regionu způsobily katastrofální povodně. Kulminační průtoky v povodí Úhlavy dosahovaly hodnot v rozmezí mezi 100 až 500-letou velkou vodou.



Obrázek – Průběh průtoků při povodni v srpnu na VD Nýrsko (zdroj dat Povodí Vltavy, státní podnik)

Další významné povodňové události na řece Úhlavě dokládají zaznamenané maximální vodní stavy na níže uvedených limnigrafických stanicích, které se nacházejí v povodí Úhlavy.

Tabulka 2a – záznam max. povodní – LGS Stará Lhota

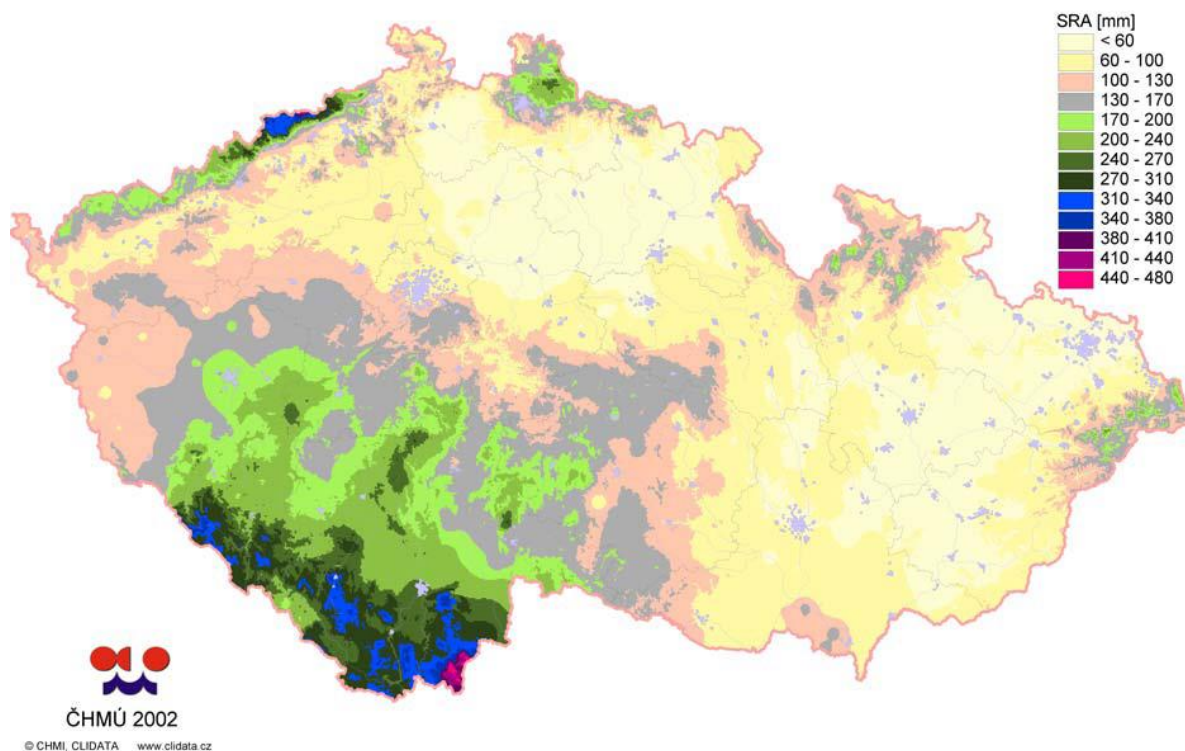
LGS Stará Lhota ř.km 93,6			
datum kulminace	Q [m³/s]	H [cm]	N - letost
13.8.2002	50	180	100 - 200
3.8.1991		117	
3.8.1990		103	
3.11.1998		79	

Tabulka 2b – záznam max. povodní – LGS Janovice nad Úhlavou

LGS Janovice nad Úhlavou ř.km 75,9			
datum kulminace	Q [m³/s]	H [cm]	N - letost
13.8.2002		380	

Tabulka 2c – záznam max. povodní – LGS Tajanov

LGS Tajanov ř.km 64,30			
datum kulminace	Q [m³/s]	H [cm]	N - letost
13.8.2002	159	362	200 - 500
28.6.2009		315	
7.8.2010		304	
21.12.1993		288	
10.3.2006		286	



Obrázek – Mapa úhrnů srážek za období od 6. do 15. srpna 2002 (zdroj dat ČHMÚ)

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 5. generace (DMR 5G) , ČÚZK
- Geodetické zaměření provedené firmou GEODIS BRNO s.r.o. v roce 2013
- Technickoprovozní evidence toku Úhlava - III. etapa, 2004
- Hydrologická data: n-leté průtoky - ČHMÚ Praha, 2012
- Podrobný terénní průzkum zpracovatele, uskutečněný v roce 2012
- 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

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 5G – LLS a geodetického zaměření koryta. DMT zájmového území se skládá z DMT koryta vodního toku a DMT inundačního území. DMT koryta vodního toku bylo vymodelováno pomocí 3D hran koryta a objektů v korytě, které byly geodeticky zaměřeny. 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 pixelu 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 měřítko.

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 2011 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 bezešvá 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 3D hran koryta a objektů v korytě, které bylo provedeno v roce 2013 firmou GEODIS BRNO s.r.o. pro potřeby tohoto projektu.

- Dalším podkladem pro tvorbu DMT byl Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) od (ČÚZK).

Všechny souřadnice jsou v polohopisném systému S_JTSK a výškovém Bpv.

3.2 Hydrologická data

Hydrologická data byla objednána od pobočky ČHMÚ Praha v profilech uvedených v tabulce níže.

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

Hydrologický profil	Datum pořízení	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
nad Jelenkou	2012	75	74,9	66,2	108	160	II
pod Jelenkou	2012	74	75,0	76,2	124	185	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.

Charakter území:

Nad intravilánem města Janovice nad Úhlavou Úhlava mírně meandruje v široké ploché inundaci, která je zemědělsky obdělávána. V tomto úseku říční trať vede lesním úsekem případně koryto je doprovázeno hustou křovinnou vegetací se vzrostlými stromy. V horní části řešeného úseku se nachází jez, který umožňuje derivaci části průtoků do náhonu, který vede v levobřežní části inundace. V profilu železničního mostu, na který navazuje násep vedoucí napříč inundačním územím, se Úhlava s tímto náhonem přibližují k sobě. Náhon od železničního mostu dále pokračuje směrem k Janovicím podél Úhlavy k malé vodní elektrárně, která stojí na začátku intravilánu. Nejvýznamnějším přítokem v celé řešené části je vodní tok Jelenka, který se vlévá z pravé strany mezi mosty v Janovicích. V intravilánu Janovic vede zarostlou oblastí keří a stromy a přechází v rozvinutý meandrující úsek.

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

Povodňové značky povodně 2002, Povodí Vltavy, státní podnik

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). 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. Celkový počet příčných profilů je 32 na 2,8km dlouhé výpočtové trati, tedy průměrná vzdálenost mezi dvěma příčnými profily je cca 88m.

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).

Pokud bychom chtěli tuto otázku vůbec diskutovat (přímo nesouvisí s řešenou úlohou!), je třeba uvést, že vliv nestacionarity je v daném úseku Úhlavy poměrně nevýznamný.

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/hecras/>

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 výtoky 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 74.918 most silniční betonový Janovice

ř. km 75.077 most silniční železný příhradový Janovice

ř. km 76.219 most železniční Janovice

ř. km 77,046 jez Dubová Lhota

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 rekognoscace terénu. Vliv vegetace je do výpočtů zahrnut vždy v nejméně příznivé situaci, to znamená při plném vegetačním období.

Tabulka - Použité součinitele drsnosti (podle Mays, 1999)

profil	Popis		Součinitel drsnosti
koryto	dno	hrubý štěrk	0,027 (0,022–0,04)
		balvany	0,050 (0,045–0,06)
	udržované břehy	keře	0,038 – 0,050
		stromy	0,040 – 0,050
		beton	0,02 (0,018 – 0,022)
inundační území	polní plodiny – pro hloubku vody < výška vegetace		0,05 – 0,10
	zralé polní plodiny		0,030 – 0,050
	křoviny a stromy		0,035 – 0,080
	hustě zarostlé plochy – vrby v létě		0,10 – 0,20

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 0,001.

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

Popis úseku	Úsek toku (ř.km)	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Poznámka
nad Jelenkou	74,939 – 77,008	38,7	66,2	108	160	ČHMÚ
pod Jelenkou	74,173 – 74,939	44,6	76,2	124	185	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

Hydraulický model byl kalibrován na dosud největší povodňovou událost na Úhlavě a to na povodeň ze srpna 2002, která byla vyhodnocena jako cca Q₁₀₀. Průtok v řešeném úseku byl vyhodnocen pro jednotlivé úseky řešeného toku, viz tabulka níže.

Tabulka - N-leté kalibrační průtoky uvažované při kalibraci modelu

Popis úseku	Úsek toku (ř.km)	Q ₂₀₀₂	n-letost	Poznámka
nad Jelenkou	74,939 – 77,008	117	100	*)
pod Jelenkou	74,173 – 74,939	149	100	*)

*) Hodnoty kulminačních průtoků, byly vypočteny metodou analogie přes plochu povodí. Byly použity známé kulminační průtoky na odtoku z VD Nýrsko a průtok v profilu Tajanov

poznámka: ř. km odpovídá kilometrůžce použité v modelu

Tabulka - Kalibrace modelu

ř. km	název	Výška srovnávací hladiny (m n. m.)	Výška vypočítané hladiny (m n. m.)	Rozdíl (m)
-------	-------	---------------------------------------	---------------------------------------	------------

ř. km	název	Výška srovnávací hladiny (m n. m.)	Výška vypočítané hladiny (m n. m.)	Rozdíl (m)
75,070	UHL_L_046	409,85	409,65	0,20
74,910	UHL_P_047	409,21	409,03	0,18
74,852	UHL_P_048	408,86	408,90	-0,04

poznámka: ř. km odpovídá kilometrům použité v modelu

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 9 – Psaný podélný profil

ř. km	Úroveň dna [m n.m.]	Levý břeh [m n.m.]	Pravý břeh [m n.m.]	Q5 [m3/s]	H5 [m n.m.]	Q20 [m3/s]	H20 [m n.m.]	Q100 [m3/s]	H100 [m n.m.]	Q500 [m3/s]	H500 [m n.m.]
74,173	404,83	407,04	407,57	44,6	406,63	76,2	406,80	124	407,00	185	407,19
74,315	403,62	407,46	407,40	44,6	406,97	76,2	407,18	124	407,37	185	407,57
74,586	405,17	407,44	407,14	44,6	407,48	76,2	407,74	124	407,96	185	408,20
74,613	404,49	407,95	407,59	44,6	407,53	76,2	407,80	124	408,03	185	408,27
74,687	404,97	407,61	408,22	44,6	407,78	76,2	408,07	124	408,32	185	408,56
74,867	405,32	407,69	408,34	44,6	408,15	76,2	408,50	124	408,81	185	409,10
74,898	404,70	410,99	410,90	44,6	408,18	76,2	408,52	124	408,82	185	409,12
74,910	ř. km (TPE) 74,918 most silniční betonový Janovice										
74,910	404,70	410,99	410,90	44,6	408,21	76,2	408,57	124	408,90	185	409,24
74,939	405,71	407,31	408,06	44,6	408,29	76,2	408,71	124	409,15	185	409,61
75,063	405,69	409,54	409,65	38,7	408,51	66,2	408,95	108	409,40	160	409,84
75,067	ř. km (TPE) 75,077 most silniční železný příhradový Janovice										
75,067	405,58	409,54	409,65	38,7	408,51	66,2	408,95	108	409,41	160	409,86
75,152	405,94	408,70	408,55	38,7	408,69	66,2	409,14	108	409,58	160	410,01
75,229	405,90	409,37	408,43	38,7	408,82	66,2	409,25	108	409,68	160	410,09
75,278	406,01	409,44	409,01	38,7	408,87	66,2	409,33	108	409,79	160	410,2
75,389	406,27	408,48	409,15	38,7	408,97	66,2	409,44	108	409,90	160	410,28
75,625	406,99	410,49	411,50	38,7	409,53	66,2	410,01	108	410,40	160	410,64
75,825	408,35	410,21	410,62	38,7	410,27	66,2	410,71	108	410,95	160	411,13
75,978	408,40	409,84	411,64	38,7	410,87	66,2	411,13	108	411,32	160	411,48
76,105	409,02	411,23	411,04	38,7	411,19	66,2	411,42	108	411,62	160	411,80
76,160	408,86	414,43	414,43	38,7	411,40	66,2	411,64	108	411,84	160	411,95
76,165	ř. km (TPE) 76,219 most železniční Janovice										
76,165	408,86	414,43	414,43	38,7	411,4	66,2	411,72	108	411,99	160	412,22
76,296	409,21	412,44	412,01	38,7	411,97	66,2	412,24	108	412,53	160	412,81
76,444	410,46	412,37	412,06	38,7	412,44	66,2	412,62	108	412,82	160	413,04
76,592	411,11	412,76	412,95	38,7	413,00	66,2	413,20	108	413,38	160	413,52
76,752	411,10	413,29	413,36	38,7	413,48	66,2	413,67	108	413,84	160	414,00

76,958	412,06	414,20	414,48	38,7	414,04	66,2	414,23	108	414,40	160	414,55
76,964	ř, km (TPE) 77,046 jez Dubová Lhota										
76,964	412,73	414,31	414,29	38,7	414,04	66,2	414,23	108	414,40	160	414,56
77,008	412,35	414,52	414,27	38,7	414,29	66,2	414,42	108	414,58	160	414,71

poznámka: ř. km odpovídá kilometrůžce použité v modelu

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

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 zatápených ploch a objektů. Dále se tímto způsobem zjistí překážky průtoku, které působí patrné vzduť 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 vyladit 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 třírozměrný 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 profily 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 rozvlněná, 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 – Přehled obcí do kterých zasahuje záplavové území při kulminačním průtoku Q_{500}

ORP	Obec	ICOB
Klatovy	Janovice nad Úhlavou	556394

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 pixelu 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 nezřídka 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.