

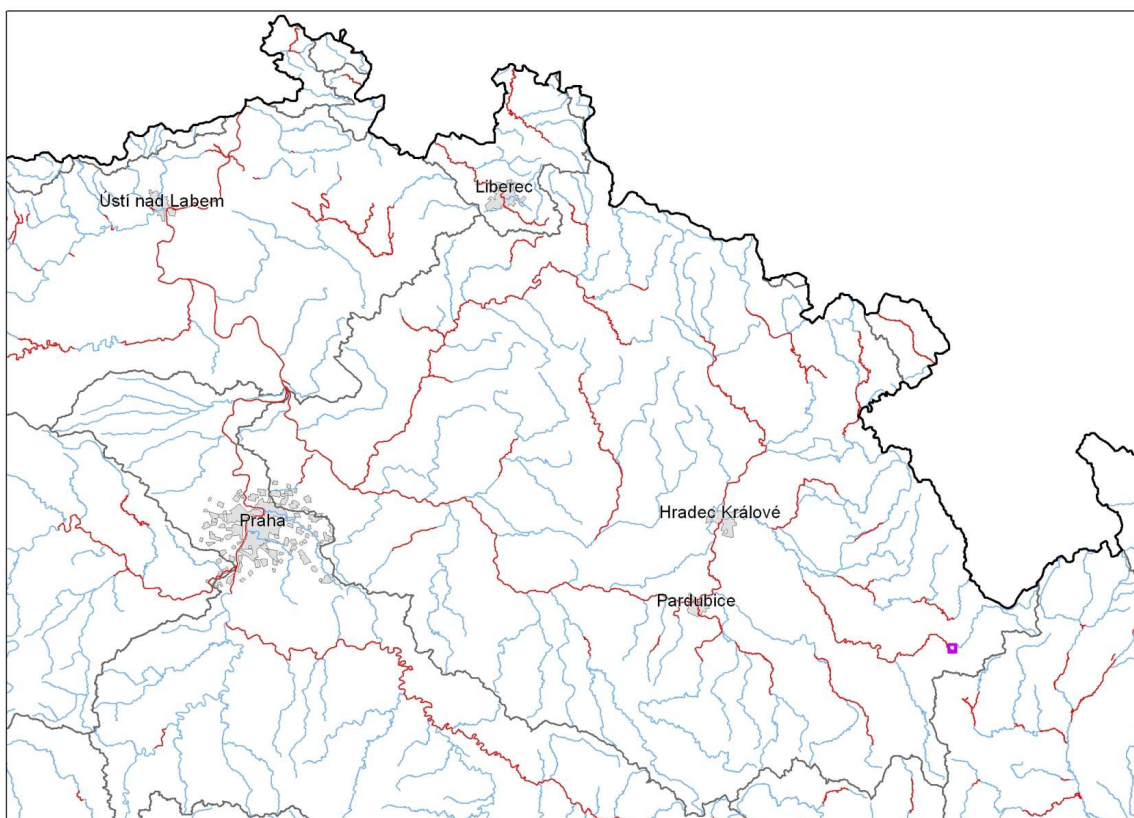


TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTI POVODÍ HORNÍHO A STŘEDNÍHO LABE A UCELENÉHO ÚSEKU DOLNÍHO LABE

DÍLČÍHO POVODÍ HORNÍHO A STŘEDNÍHO LABE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODEL Y A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

TICHÁ ORLICE - 10100023_3 - Ř. KM 68,000 - 72,000 (PL-16-3)



PROSINEC 2012



OPERAČNÍ PROGRAM
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE
Fond soudržnosti

Pro vodu,
vzduch a přírodu

TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTI POVODÍ HORNÍHO A STŘEDNÍHO LABE A UCELENÉHO ÚSEKU DOLNÍHO LABE

DÍLČÍHO POVODÍ HORNÍHO A STŘEDNÍHO LABE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

TICHÁ ORLICE - 10100023_3 - Ř. KM 68,000 - 72,000 (PL-16-3)

Pořizovatel:



Povodí Labe, státní podnik
Víta Nejedlého 951
Hradec Králové
500 03

Zhotovitel: sdružení „VRV + HDP + DHI“



Vodohospodářský rozvoj a výstavba a. s.
Nábřeží 4
Praha 5
150 56



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



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



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, PROSINEC 2012.

Obsah:

1	Základní údaje	8
1.1	Seznam zkratk a symbolů	8
1.2	Cíle prací	8
1.3	Předmět práce	8
1.4	Postup zpracování a metoda řešení	8
2	Popis zájmového území	11
2.1	Všeobecné údaje	13
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	13
3	Přehled podkladů	15
3.1	Topologická data	15
3.1.1	Vytvoření (aktualizace) DMT	15
3.1.2	Mapové podklady	15
3.1.3	Geodetické podklady	16
3.2	Hydrologická data	16
3.3	Místní šetření	16
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	17
4	Popis koncepčního modelu	18
4.1	Schematizace řešeného problému	18
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	18
4.3	Způsob zadávání OP a PP	18
5	Popis numerického modelu	19
5.1	Použité programové vybavení	19
5.2	Vstupní data numerického modelu	19
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území	19
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	20
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	20
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	20
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	20
5.3	Popis kalibrace modelu	21
6	Výstupy z modelu	21
6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	24
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	24
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	24
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	25

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratk a symbolů

Tabulkač. 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
SZU	Stanování záplavových území
ADM	Administrativní kilometráž správce vodního toku

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 poskytnuté pořizovatelem. Jedná se o zaměření Tiché Orlice Verměřovice z července roku 2000 od firmy GEOŠRAFO s.r.o. Zájmové území bylo určeno od obce Kunčice, přes Verměřovice, Jablonné, Těchotín, Mladkov po poldr nad obcí Lichkov.

Po prostudování podkladních dat byl proveden terénní průzkum s cílem zjistit, zda poskytnutý rozsah geodetického zaměření je aktuální a dostatečný pro hydraulické modelování nebo bude třeba provést dodatečné zaměření. V průběhu terénního průzkumu byla pořízena nová fotodokumentace všech objektů na toku a vybraných profilů. Na základě místního šetření bylo shledáno, že je nutné provést dodatečné doměření pro zpřesnění průběhu břehové hrany v úseku mezi železničním a silničním mostem ve Verměřovicích. Jinak bylo původní zaměření pro schematizaci 1D modelu vyhovující.

Od ČHMÚ byla objednána aktuální hydrologická data (N-leté průtoky). Na žádost pořizovatele byla pro výpočet použita ovlivněná hydrologická data pro scénáře Q_5 , Q_{20} a Q_{100} , která byla zpracována v souladu s Metodikou pro změnu N-letých průtoků vlivem protipovodňových opatření zpracovanou VUV TGM, v.v.i. Hodnoty průtoků Q_{500} byly použity od ČHMÚ.

Sestavení hydraulického modelu.

Na řece Tiché Orlici jsou vymezeny 3 oblasti s potenciálně významným povodňovým rizikem a to v rozsahu od ř.km 5,0 až do ř.km 72,0. Tyto 3 oblasti na sebe navzájem navazují a jedná se konkrétně o úseky toků PL-16-1 ř.km 5,0 - 25,0, PL-16-2 ř.km 25,0 - 68,0 a PL-16-3 ř.km 68,0 - 72,0.

Hydraulické modely nebyly sestaveny přesně v rozsahu jednotlivých oblastí s potenciálně významným povodňovým rizikem, ale byly rozděleny na tři přibližně stejně dlouhé úseky, které byly voleny s ohledem na vhodné umístění horních okrajových podmínek a na umístění kalibračních značek. Celý řešený úsek Tiché Orlice, tj. od ř.km 5,0 do ř.km 72,0 je popsán třemi hydraulickými modely v těchto rozsazích:

úsek 1	Borohrádek - Choceň	ř.km 4,087 - ř.km 30,356
úsek 2	Choceň - Černovír	ř.km 30,356 - ř.km 53,569
úsek 3	Černovír - Verměřovice	ř.km 53,569 - ř.km 71,403

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 je digitální model terénu (DMT) ve formátu TIN. DMT zájmové oblasti byl sestaven z dat letecké fotogrammetrie, který byl zpřesněn o vymodelované dno koryta Tiché Orlice včetně objektů v korytě. Koryto Tiché Orlice 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 průtoků pro pásy příčného profilu mezi místy změn hodnot zadávaných drsností. Z dílčích hodnot modulů průtoků získává program hodnoty modulů průtoků pro levou a pravou inundaci. Tyto hodnoty pak přičítá k modulu průtoků 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 výtoků 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 ze znalostí 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: Tichá Orlice

ID úseku IDVT CEVT: 10100023_3

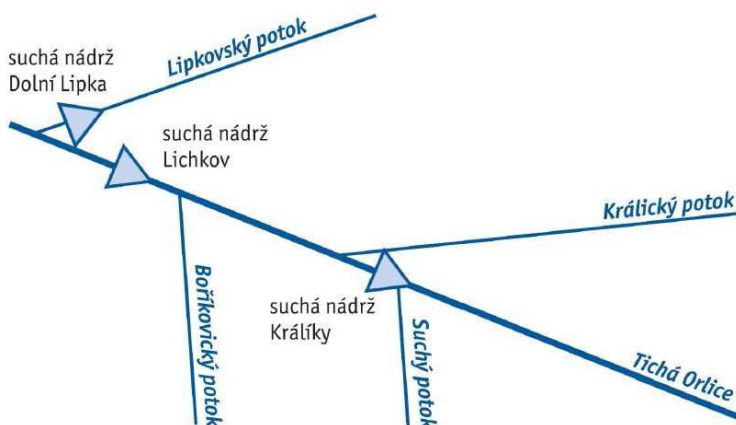
Číslo hydrologického pořadí toku: 1-02-02-023; 1-02-02-022; 1-02-02-019

Úsek toku: Letohrad – Verměřovice ř.km 68,00 - 72,00

Významná vodní díla:

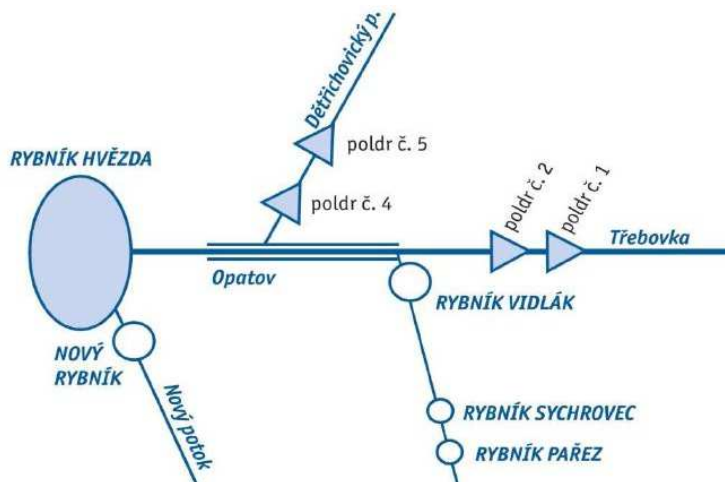
V řešeném úseku se nenacházejí žádná významná díla. Ale je zde nutné zmínit díla, která se nacházejí výše na toku. V horním povodí Tiché Orlice byly v roce 2007 dokončeny dvě suché nádrže, první na Tiché Orlici pod Králíky - suchá nádrž Králíky, a druhá na Lipkovském potoce před soutokem s Tichou Orlicí - suchá nádrž Dolní Lipka. Koncem sedmdesátých let 20. století byla na Tiché Orlici vybudována první suchá nádrž nad soutokem s Lipkovským potokem - suchá nádrž Lipkov.

Obrázek 1 – Soustava retenčních nádrží v povodí Tiché Orlice



V povodí Třebovky, která je jedním z hlavních přítoků Tiché Orlice, je v horní části povodí vybudována soustava suchých retenčních nádrží, které spolu s rybníkem Hvězda výrazně snižují povodňové průtoky.

Obrázek 2 – Soustava retenčních nádrží v povodí Třebovky



Významné přítoky: Čermná (levostranný přítok pod Verměřovicemi)

Popis zájmového území je převzat z knihy Po řekách krajinou a časem, kterou vydalo Povodí Labe, státní podnik.

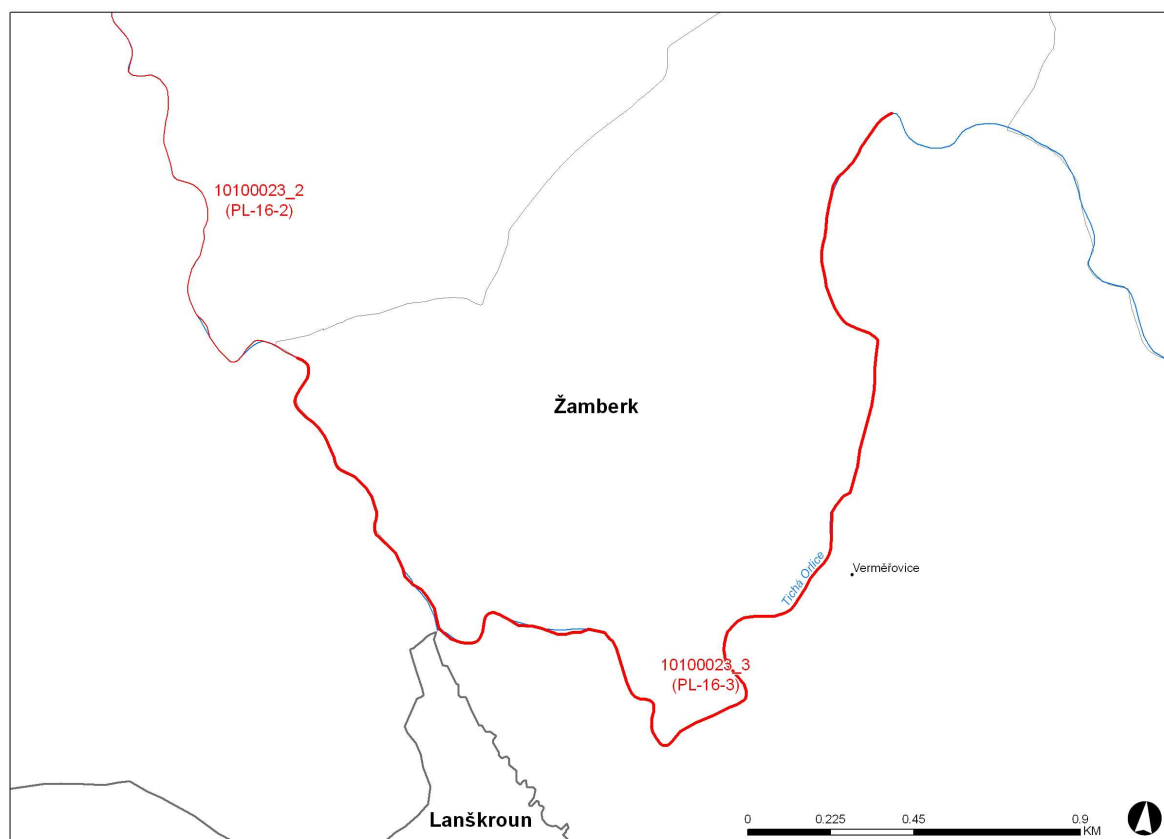
Tichá Orlice je ze dvou zdrojnic řeky Orlice, pramení na západním svahu Jeřábu a teče západním směrem podhůřím Orlických hor k Mladkovu, kde se otáčí k jihu. Z Letohradu několikrát mění směr až k Chocni, kde se obrací na severozápad, a tímto směrem teče Třebechovickou tabulí, širokým a plochým údolím, až k soutoku s Divokou Orlicí u Albrechtic nad Orlicí.

Zájmové území tohoto úseku se rozkládá mezi Kunčicemi a Verměřovicemi. Tichá Orlice pramení na západním svahu Jeřábu, nejvyšší hoře Hrubého lesa v Hanušovické vrchovině. Prvním větším městem na dlouhé trati jsou Králíky. Pod Králíky teče Tichá Orlice lučinami, které byly v 80. letech minulého století odvodněny a koryto řeky bylo upraveno. Říčka se stáčí na západ a před Lichkovem přijímá zprava první větší přítok, Lipkovský potok. Tichá Orlice se rychle ztrácí v sevřeném průlomovém údolí, které si řeka vyhloubila v nejnižnějším výběžku Orlických hor, v pásmu Suchého vrchu. Míjí Mladkov a hlubokým údolím teče řeka do Těchotína. Perlou mezi městy, kterými Tichá Orlice protéká, je město Jablonné nad Orlicí. Leží na ostrohu nad soutokem s levostranným potokem Orlička. Městem protéká v upraveném korytě a dále pokračuje těsným údolím, míjí lom v Mistrovicích, ve kterém se v letech 1924 – 1926 lámal kámen na úpravu Tiché Orlice v okolí Ústí nad Orlicí a Chocně. Pod mistrovickým lomem řeka vytvořila dva protisměrné oblouky se strmými nárazovými svahy, vytvořenými ve vápenných jílovcích a slínovcích. Na začátku obce Verměřovice stojí empírový obloukový most z druhé poloviny 19. století, který je technickou památkou. U soutoku s potokem Čermná naráží Tichá Orlice kolmo na Žampašskou vrchovinu a prudce stáčí koryto podél kopce Hůra. Pod soutokem s Čermnou míjí starobylé vesnice Orlicí a Kunštát a pokračuje směrem Letohrad.

Podklady:

Název toku:	zdroj VÚV TGM
ID úseku IDVT CEVT:	zdroj Ministerstvo zemědělství
Číslo hydrologického pořadí toku:	zdroj ČHMÚ
Úsek toku:	zdroj Povodí Labe, státní podnik
Významná vodní díla:	zdroj ZM10, Soustava retenčních nádrží v povodí Tiché Orlice - Povodí Labe, státní podnik Soustava retenčních nádrží v povodí Třebovky - Povodí Labe, státní podnik
Významné přítoky:	zdroj ZM10
Popis zájmového území:	Po řekách krajinou a časem, Putování řekami ve správě Povodí Labe, státní podnik; Vydalo Povodí Labe, státní podnik ve spolupráci s vydavatelstvím GARAMON s.r.o.

Obrázek 3 – Přehledná mapa řešeného území



2.1 Všeobecné údaje

Posuzovaný úsek toku Tiché Orlice byl určen od ř.km 68,00 do ř.km 72,00 dle kilometráže poskytnuté pořizovatelem a přesně vymezen zadanými souřadnicemi S JTSK začátku a konce toku:

začátek úseku: X = -593215.938; Y = -1070211.497

konec úseku: X = -591607.456; Y = -1069550.986

Staničení uvedené ve výpočetním modelu a použité při zpracování map povodňového nebezpečí bylo v řešeném úseku přepočteno podle skutečné délky osy vodního toku. Tento řešený úsek popisuje hydraulický model, který je sestaven od ř.km 53,569 do ř.km 71,403.

Řešený úsek začíná Kunčicemi a končí nad obcí Verměřovice.

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

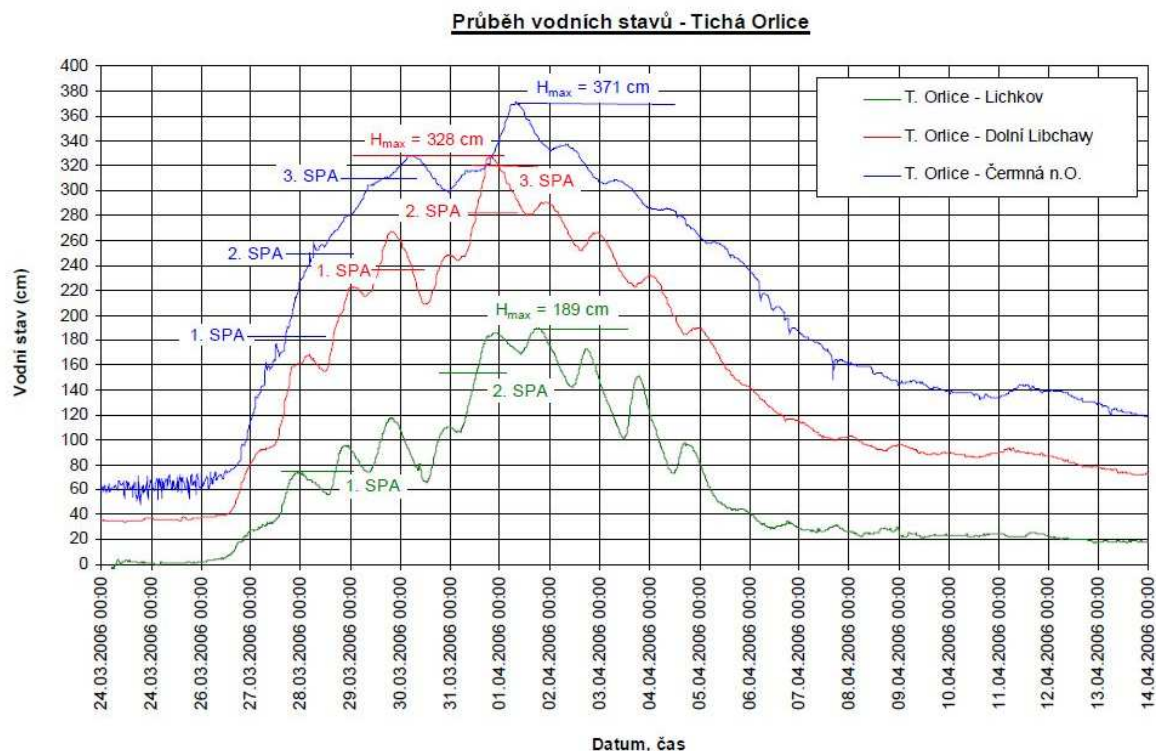
Povodí řeky Tiché Orlice bylo z historických podkladů často sužováno povodněmi (letními z vydatných srážek – červen, červenec a při tání sněhu s deštěm – únor, březen).

Nejvýznamnější povodeň kulminovala v korytě Tiché Orlice v červenci 1997, která byla vyhodnocena jako větší než Q_{100} . V profilu limnigrafické stanice Černá nad Orlicí na ř.km 11,00 byl 9.7.1997 zaznamenán vodní stav 481 cm a průtok $250 \text{ m}^3/\text{s}$ (zdroj Závěrečná souhrnná zpráva o červencových povodních 1997 za ucelené povodí Labe).

Další významná povodeň proběhla v březnu 2006 způsobená táním sněhu. Z vyšších poloh bylo tání pozvolné a omezené. Daleko intenzivnější bylo ze středních a zejména nižších poloh. Tomu odpovídají i zaznamenané kulminace povodňového průtoku v měrných profilech na toku, jejichž dlouhodobá četnost výskytu se směrem po toku snižuje. V horním úseku v profilu Lichkov dosáhl kulminační průtok $19 \text{ m}^3/\text{s}$ hodnoty Q_1 , ve středním úseku v Dolních Libchavách byl kulminační průtok $103 \text{ m}^3/\text{s}$ v rozmezí Q_5 až Q_{10} a v dolním úseku toku v profilu Černá nad Orlicí byl průtok $171 \text{ m}^3/\text{s}$ již v úrovni Q_{20} - Q_{50} . Uvedené průtoky odpovídají vodním stavům, které znamenaly překročení 2. SPA v profilu Lichkov a 3. SPA v profilech Dolní Libchavy i Černá nad Orlicí (zdroj Zpráva o

povodni v březnu 2006 v oblasti povodí Horního a středního Labe a na vlastním toku Labe v oblasti povodí Ohře a Dolního Labe (24.3. – 13.4.2006)

Obrázek 4 – Průběh vodních stavů na Tiché Orlici při povodni v roce 2006



Následující tabulka uvádí dvě nejvýznamnější povodně, tak jak byly zaznamenány příslušnou limnigrafickou stanicí.

Tabulka 2 – záznam max. povodní – LGS Čermná nad Orlicí

LGS Čermná nad Orlicí ř.km 11,00			
datum kulminace	Q [m³/s]	H [cm]	N - letost
09.07.1997	250	481	>100
01.04.2002	171	371	20-50

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).

- Základní mapy 1:10 000 – digitální, rastrové - ZAGAGED, poskytlo Povodí Labe, státní podnik.
- Výškopisná data získaná metodou letecké fotogrammetrie v přilehlém pásu vodního toku, která byla provedena firmou GEOREAL spol. s.r.o. v listopadu 2011
- Geodetické zaměření provedené firmou Geošrafo, s.r.o. v červenci 2000
- Geodetické zaměření provedené firmou GEFOS a.s. v květnu 2012
- Hydrologická data: n-leté průtoky - ČHMÚ Hradec Králové, 2012
- Manipulační řady objektů na toku poskytnuté Povodím Labe, státní podnik
- Podrobný terénní průzkum zpracovatele, uskutečněný v listopadu 2011, zaměřený na zmapování stavu koryta, inundací a objektů na toku
- Vyhláška MŽP 236/2002 Sb. – o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování 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 letecké fotogrammetrie 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 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 příčných profilů, které bylo provedeno v roce 2000 firmou Geošrafo s.r.o. pro potřeby Povodí Labe, státní podnik. Zaměření bylo provedeno od obce Kunčice až po Lichkov. Dále pak geodetické doměření, které vyplynulo z místního šetření. To provedla firma GEFOS a.s. v květnu 2012.

Dalším podkladem pro tvorbu DMT byla použita data z letecké fotogrammetrie. Letecké snímkování a vyhotovení leteckých měřičských snímků provedla firma GEODIS BRNO, spol. s.r.o. Letecké laserové skenování proběhlo v době s minimálním vegetačním pokryvem dne 19.12.2011 a v rozsahu celého zájmového území. Výsledkem snímkování je mračno bodů ve čtvercové síti 2 x 2m, které je odfiltrované od budov a vegetace.

Všechny souřadnice jsou v polohopisném systému S_JTSK a výškovém Bpv.

3.2 Hydrologická data

Hydrologická data byla objednána ČHMÚ v profilech uvedených v tabulce níže. Na žádost pořizovatele byly do výpočtu použity pro Q_5 až Q_{100} hodnoty ovlivněných průtoků vlivem protipovodňových opatření v horním povodí Tiché Orlice a v povodí Třebovky. Takto přepočtená data byla předána v profilech Malá Černná, pod Třebovkou, nad Třebovkou, pod Černnou a nad Černnou.

Tabulka 3 - 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
pod Černnou		70,664	60,3	97,7	161,0	246,0	-
nad Černnou		71,316	54,2	88,0	152,0	235,0	-

Třída přesnosti dle ČSN 75 1400

3.3 Místní šetření

Místní šetření bylo provedeno v listopadu 2011, 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 a dále pro kontrolu velkých příčných a podélných hrází, valů a náspů v DMT záplavového území Tiché Orlice.

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 ovlivnit proudění atd. V obce Verměřovice, v úseku mezi železničním a

silničním obloukovým mostem, bylo po rekognoskaci území shledáno, že pro upřesnění výškového vedení pravého břehu bude provedeno geodetické doměření.

Charakter území:

V extravilánech je koryto vodního toku přirozené částečně meandrující. Břehy jsou většinou lemovány vzrostlými stromy, svahy jsou porostlé křovisky a hustými travinami, vyjma intravilánu, kde se jedná o udržovaný travní porost nebo je koryto opevněno technickými úpravami.

Inundační území je v intravilánu obcí tvořeno budovami a objekty občanského, zemědělského a průmyslového charakteru, travními a ostatními volnými plochami (hřiště, parkoviště, parky). V extravilánu je ZÚ tvořeno rozlehlými poměrně rovinnými plochami – jedná se o zemědělsky obhospodařované pole, louky a lesní porost.

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

Povodí Labe, státní podnik poskytl zpracovateli manipulační řád vodního díla jezu Verměřovice.

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, které je v extravilánech doprovázené širokými plochými inundacemi, 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 prismatickým 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).

Použitá hydrologická data N-leté průtoky ($Q_5 - Q_{100}$) jsou ovlivněna transformačním účinkem soustavou retenčních nádrží v horním povodí Tiché Orlice a v povodí Třebovky.

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 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 administrativní kilometráž správce vodního toku (toto staničení nesouhlasí se staničením hydraulického modelu).

ADM ř.km 70,184	silniční most Kunčice
ADM ř.km 72,634	most Verměřovice
ADM ř.km 73,100	silniční most Verměřovice
ADM ř.km 73,363	jez Verměřovice
ADM ř.km 73,716	silniční most Verměřovice
ADM ř.km 74,100	železniční most Verměřovice

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 4 - 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 5 - 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 hladinou, jejíž určení vychází z rovnoměrného proudění na základě známého sklonu dna.

Tabulka 6 - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení

Popis úseku	Úsek toku (ř.km)	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Poznámka
Verměřovice do soutoku s Čermnou	71,403 – 67,808	54,2	88,0	152,0	235,0	
Od soutoku s Čermnou do Kunčic	67,808 - 67,506	60,3	97,7	161,0	246,0	

Tabulka 7 - Hladiny v m n.m pro dolní okrajovou podmínku

Popis úseku	Úsek toku (ř.km)	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Poznámka
silniční most Kunčice	67,506	373,95	374,30	375,07	375,92	

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 Tiché Orlici a to na povodeň z července 1997, která byla vyhodnocena jako větší než Q100. Průtok ve stanici Dolní Libchavy nad Orlicí byl vyhodnocen hodnotou 183 m³/s.

Tabulka 8 - Kalibrace modelu

ř. km	Lokalizace kalibračního bodu	Výška srovnávací hladiny (m n. m.)	Výška vypočítané hladiny (m n. m.)	Rozdíl (m)
70,358	Verměřovice - u jezu, družstevní bytovka čp.153	385,53	385,55	+ 0,02
71,062	Verměřovice - železniční viadukt nad obcí	389,08	388,97	- 0,11

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

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.]	Poznámka
67,507	371,49	60,3	373,95	97,7	374,30	161,0	375,07	246,0	375,92	
67,668	372,02	60,3	374,49	97,7	374,78	161,0	375,46	246,0	376,33	
67,808	372,47	60,3	374,80	97,7	375,11	161,0	375,69	246,0	376,46	
68,028	372,98	54,2	375,55	88,0	375,78	152,0	376,19	235,0	376,74	
68,253	374,13	54,2	376,45	88,0	376,75	152,0	377,21	235,0	377,62	
68,509	375,11	54,2	377,41	88,0	377,66	152,0	378,09	235,0	378,51	
68,826	376,31	54,2	378,37	88,0	378,73	152,0	379,00	235,0	379,27	
69,220	378,21	54,2	380,17	88,0	380,32	152,0	380,50	235,0	380,67	
69,596	379,20	54,2	381,53	88,0	381,64	152,0	382,07	235,0	382,52	
69,641	379,43	54,2	381,56	88,0	381,69	152,0	382,19	235,0	382,67	
69,642										mostek silniční 2 pólový ocelový Verměřovice jev_ID: 400043927 AKM: 72,641 (F8)
69,643	379,43	54,2	381,58	88,0	381,73	152,0	382,43	235,0	382,82	
69,782	379,44	54,2	382,19	88,0	382,69	152,0	383,07	235,0	383,49	
70,084	381,01	54,2	383,29	88,0	383,89	152,0	384,37	235,0	384,95	
70,090	381,03	54,2	383,30	88,0	383,90	152,0	384,38	235,0	384,95	
70,092										ocelová lávka Verměřovice jev_ID:400043928 AKM: 73,099 (F9)
70,093	381,03	54,2	383,32	88,0	383,99	152,0	384,67	235,0	385,14	
70,335	381,93	54,2	384,22	88,0	384,78	152,0	385,31	235,0	386,09	
70,358										pevný jez Verměřovice jev_ID:400043930 AKM: 73,359 (F10,11)
70,359	383,81	54,2	384,91	88,0	385,00	152,0	385,34	235,0	386,09	
70,508	383,82	54,2	385,77	88,0	385,93	152,0	386,17	235,0	386,94	

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.]	Poznámka
70,663	384,18	54,2	386,64	88,0	387,05	152,0	387,38	235,0	387,85	
70,704	384,24	54,2	386,84	88,0	387,14	152,0	387,50	235,0	388,00	
70,708										3 pólový klenbový most Verměřovice jev_ID:400043932 AKM: 73,727 (F12)
70,710	384,24	54,2	386,87	88,0	387,20	152,0	387,62	235,0	388,27	
70,849	385,21	54,2	387,25	88,0	387,62	152,0	388,27	235,0	388,99	
70,978	385,47	54,2	388,11	88,0	388,29	152,0	388,66	235,0	389,28	
71,062	385,89	54,2	388,42	88,0	388,58	152,0	388,87	235,0	389,33	
71,068										železniční viadukt Verměřovice jev_ID:400043933 AKM: 74,099 (F13)
71,069	385,89	54,2	388,44	88,0	388,63	152,0	388,99	235,0	389,53	
71,217	387,11	54,2	389,01	88,0	389,42	152,0	390,08	235,0	390,83	
71,403	388,65	54,2	389,98	88,0	390,17	152,0	390,66	235,0	391,28	

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 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 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.

Analýzou průniku maximálního rozlivu (při průtoku Q_{500}) a správních území byly zajištěny informace o následujících dotčených správních územích obcí uvedené v následující tabulce.

Tabulka 10 – Dotčené správní území obcí maximálním rozlivem

Kód ORP	Název ORP	Kód ICOB	Název obce
5315	Žamberk	580538	Letohrad
		581119	Verměřovice
5306	Lanškroun	580767	Petrovice

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.