

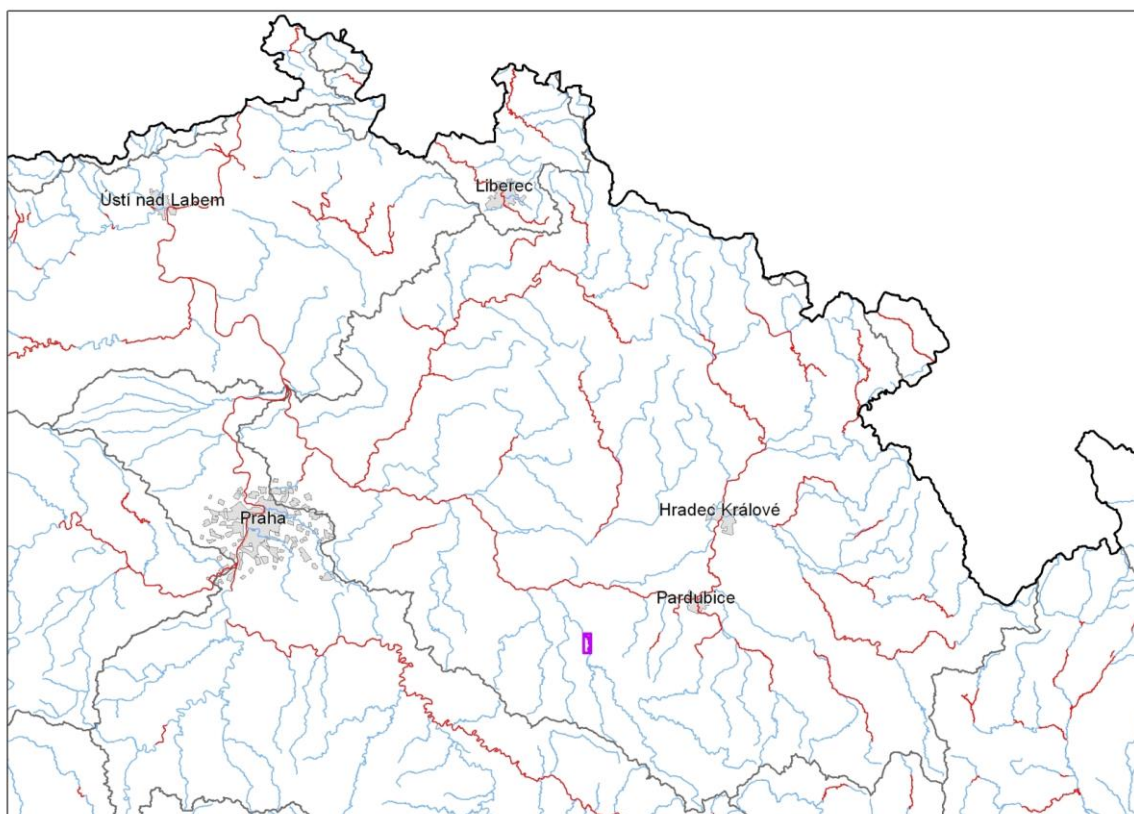


TVORBA MAP POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ A POVODŇOVÝCH RIZIK V OBLASTI POVODÍ HORNÍHO A STŘEDNÍHO LABE A UCELENÉHO ÚSEKU DOLNÍHO LABE

DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ A STŘEDNÍ LABE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

DOUBRAVA – 10100033_1 - Ř. KM 15,000 – 21,000 (PL-11)



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

DÍLČÍ POVODÍ HORNÍ A STŘEDNÍ LABE

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

DOUBRAVA – 10100033_1 - Ř. KM 15,000 – 21,000 (PL-11)

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:



Hydro Expert spol. s r.o.
Nad Šárkou 100
Praha 6
160 00

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	9
2.1	Všeobecné údaje	10
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	10
3	Přehled podkladů	11
3.1	Topologická data	11
3.1.1	Vytvoření (aktualizace) DMT	11
3.1.2	Mapové podklady	11
3.1.3	Geodetické podklady	12
3.2	Hydrologická data	12
3.3	Místní šetření	12
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura	13
3.5	Normy, zákony, vyhlášky	13
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů	13
4	Popis koncepčního modelu	14
4.1	Schematizace řešeného problému	14
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	14
4.3	Způsob zadávání OP a PP	14
5	Popis numerického modelu	15
5.1	Použité programové vybavení	15
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	18
6	Výstupy z modelu	20
6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	20
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	20
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	20
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	21

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratek a symbolů

Tabulka – Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Vysvětlení
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DMT	Digitální model terénu
JTSK	Souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SOP	Studie odtokových poměrů
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i.
ZÚ	Záplavová území
2D model	Matematický model dvourozměrného proudění

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 hydrodynamického modelu a provedení příslušných numerických simulací
- Zpracování výsledků numerického modelování a vytvoření map povodňového nebezpečí (mapy rozlivů, hloubek a rychlostí).

1.4 Postup zpracování a metoda řešení

Aby bylo možné sestavit hydrodynamický model zvoleného úseku toku a vyhodnotit výstupy požadované objednatelem bylo zapotřebí shromáždit a prostudovat všechny dostupné podklady a doplnit je na základě místního šetření a podrobné terénní rekonstrukce. Byla zpracována fotodokumentace zájmového území.

Vzhledem k tomu, že dostupné geodetické zaměření koryta toku bylo nedostačující, byly připraveny podklady pro zaměření doplňujících korytových profilů a také některých objektů na toku.

Po získání všech podkladů pro popis terénu a koryta toku v zájmovém území byl vytvořen digitální model terénu jakožto základ pro vytvoření modelu terénu ve dvourozměrném výpočetním modelu. Pro předpokládaný rozsah zaplavovaného území při největším požadovaném průtokovém stavu byl sestaven dvourozměrný hydrodynamický model proudění. Byly provedeny výpočty pro dva kalibrační průtoky, odpovídající pozorovaným povodňovým situacím a byla provedena kalibrace modelu.

S ohledem na požadavek objednatele díla byly poté do digitálního modelu terénu zapracovány na základě poskytnuté projektové dokumentace změny současného terénu související s navrženými protipovodňovými opatřeními – protipovodňové bariéry, rekonstrukce jezu pod obcí Vrdy a úprava koryta ve Zbyslavi. Výpočty pro požadované průtokové stavy Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500} byly provedeny pro takto upravený model terénu.

Výsledky výpočtů byly na závěr zpracovány do map povodňového nebezpečí (mapy rozlivů, hloubek a rychlostí) v požadovaných formátech a byly zhotoveny další požadované výstupy.

2 Popis zájmového území

Název vodního toku: Doubrava
IDVT (CEVT): 10100033_1
Číslo hydrologického pořadí: 1-03-05-047

Začátek zájmového úseku: ř.km 15,0
Konec zájmového úseku: ř.km 21,0

V řešeném úseku se nevyskytují významné přítoky.

V zájmovém úseku Doubravy se nevyskytují významná vodní díla.

Vrstvu a informace o navržených úsecích s významným povodňovým rizikem vlastní Ministerstvo životního prostředí. Názvy toků - spravuje VÚV TGM, v.v.i.; IDVT CEVT – spravuje Ministerstvo zemědělství.

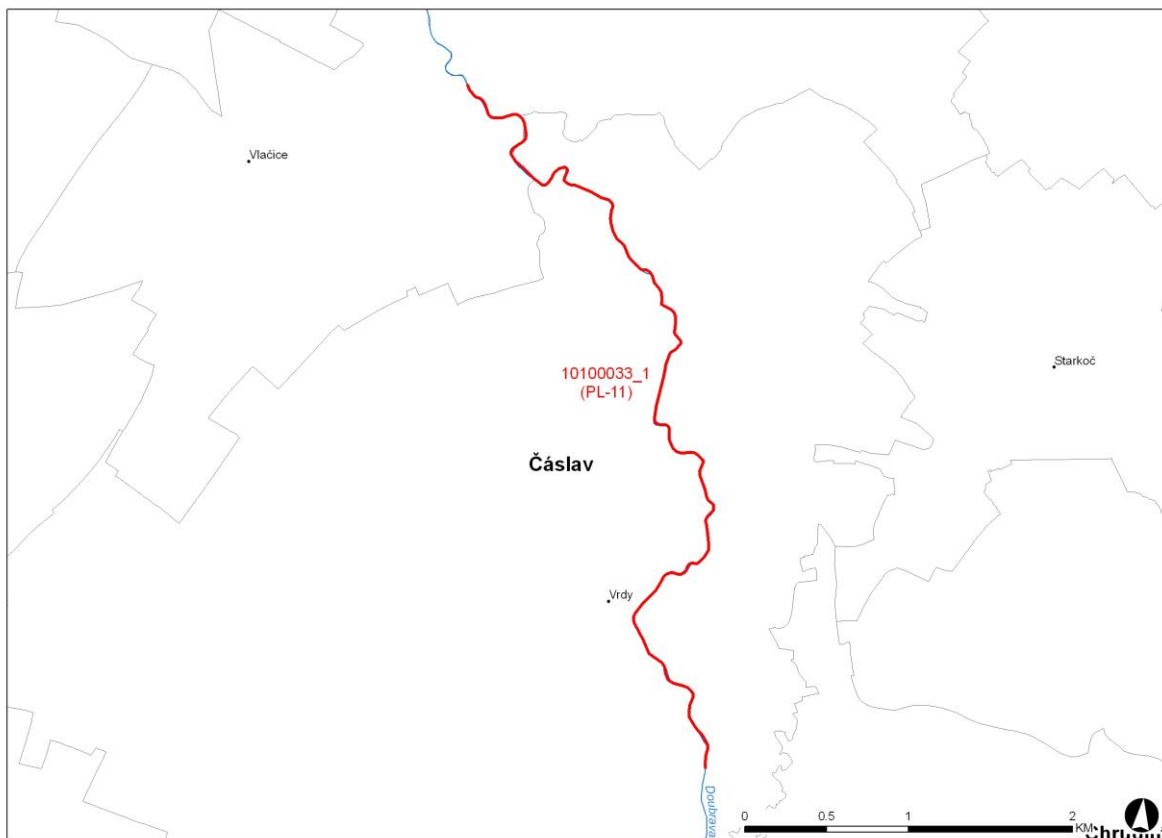
Říční kilometráž spravuje Povodí Labe, státní podnik.

Koryto toku je převážně přirozené, v extravilánu jsou břehy zarostlé hustou vegetací.

Inundační území je ploché, široké stovky metrů, je využíváno jako louky a pole. Územím prochází několik drobných vodotečí a kanálů, v jejichž okolí se vyskytuje hustá vegetace. Koryto Doubravy v zájmovém území protéká intravilánem dvou obcí – Zbyslav a Vrdy. V oblasti zástavby se vyskytují zahrady s ploty.

V rámci protipovodňové ochrany obcí Vrdu a Zbyslav jsou vybudovány protipovodňové bariéry (hráze a zídky), je provedena rekonstrukce jezu ř. km 18,468 u obce Dolní Bučice (rekonstrukce jezu ID 400049341, JEZ, Dolní Bučice, ř. km 18,155) spočívající v náhradě pevného jezu pohyblivým jezem vakovým. Dále je provedena kompenzační úprava koryta ve Zbyslavi.

Přehledná mapa řešeného území



2.1 Všeobecné údaje

Zájmové území je vymezeno kilometrží vodního toku (ř. km) 15,0 až 21,0. Jedná se o digitální kilometráž (DKM), která byla společně s říční osou poskytnuta podnikem Povodí Labe, státní podnik. Tato osa byla dle požadavku objednatele upravena dle aktualizovaného geodetického zaměření a dle poskytnutého digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). Veškeré staničení použité v části B Technická zpráva – hydrodynamické modely a mapy povodňového nebezpečí je vztaženo k nově vytvořené ose toku s počátkem na začátku řešeného úseku v ř. km 15,0.

Řešený úsek toku prochází intravilánem dvou obcí – Zbyslav a Vrdy.

V řešeném úseku je koryto toku kříženo třemi silničními mosty, nachází se zde pevný jez Vrdy a nově rekonstruovaný vakový jez.

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

V zájmové oblasti jsou byly zaznamenány dvě významnější povodně, a to v srpnu v roce 2002 a v březnu roku 2006 (v obou případech se jednalo zhruba o dvacetiletou vodu). Průtoky byly vyhodnoceny pro měrnou stanici ve Žlebech, která se nachází cca 3 km nad zájmovým úsekem. Rozsahy rozlivů při povodních nebyly vyhodnoceny. K dispozici je několik zaměřených povodňových značek; jejich souhrn je uveden v části 5.3 zprávy, která je věnována kalibraci modelu.

Kromě uvedených povodní se v zájmovém úseku vyskytlo několik dalších menších povodňových situací: březen 2005 (5 až 10-ti letá voda), srpen 2006 (5 až 10-ti letá voda) a leden až březen 2002 (jednoletá až dvouletá voda). Pro tyto povodňové epizody nejsou k dispozici žádné údaje využitelné pro kalibraci modelu.

3 Přehled podkladů

Většina potřebných podkladů byla získána od objednatele díla. Podklady zahrnují zejména topologická data, mapové, kalibrační a hydrologické podklady, podklady týkající se budovaných protipovodňových opatření a podklady hydrotechnické.

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.

Hlavními topologickými daty byl digitální model terénu (DMT), který byl vytvořen z geodetického zaměření příčných profilů a objektů popisující koryto vodního toku a digitálního modelu reliéfu (DMR) popisujícího inundační území. Dalším podkladem byla projektová dokumentace budovaných protipovodňových opatření.

Mezi další důležité topologické podklady patří některé vrstvy z GIS, jako je vrstva budov získaná z vektorového ZABAGEDu příp. upravená za pomoci leteckých snímků.

3.1.1 Vytvoření (aktualizace) DMT

Digitální model terénu pro hydrodynamický model byl vytvořen na základě poskytnutých geodetických podkladů – digitálního modelu reliéfu 5. generace popisujícího tvar inundačního území a geodetického zaměření. Data byla poskytnuta v textovém formátu.

Pro popis tvaru koryta toku byly poskytnuty zaměřené příčné profily (korytové a objektové), které jsou součástí geodetického zaměření z roku 2003. Zaměření provedla firma Geošrafo, s r.o. Pro doplnění těchto podkladů byly zpracovatelem navrženy podklady pro zaměření nových příčných profilů a objektů v řešeném úseku. Bylo zaměřeno celkem 18 nových profilů. Zaměření provedla firma GEFOS a.s. v dubnu a květnu r. 2012. Podklady byly k dispozici ve formátech textových souborů, souborů dwg, dxf. Data byla poskytnuta v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Součástí zaměření je také fotodokumentace (formát jpg).

Pro zohlednění budovaných protipovodňových opatření byla použita projektová dokumentace ve formátu dwg. Do modelu terénu je zahrnuta formou 3D linií.

Pro vytvoření výsledného modelu terénu byl využíván grafický software AutoCad, a další vlastní programové prostředky zpracovatele. Výsledný model terénu pro hydrodynamický model zahrnuje mračno 3D bodů dodaného DMR 5G (očistěné o body nacházející se uvnitř koryta) a 3D linie definující tvar koryta, terén v blízkosti objektů a protipovodňová opatření.

Digitální model terénu pro tvorbu map povodňového nebezpečí byl poskytnut objednatelem. Tento DMT byl vytvořen v softwaru ArcGIS, charakterizuje řešené území pomocí trojúhelníkové nepravidelné sítě (tin) a byl převeden do rastrového formátu s velikostí mřížky 2x2 metry.

3.1.2 Mapové podklady

Základní Mapa – rastrový mapový podklad byl využit pro tisky mapových atlasů v měřítku 1:10 000 v celém rozsahu zájmového území.

Ortofoto snímky oblastí kolem vodních toků byly využity jako jeden ze zdrojů informací pro určování drsnostních charakteristik inundačních území. Tyto snímky byly k dispozici na celém řešeném úseku.

Vektorový ZABAGED sloužil k lokalizaci budov, které byly zadávány do hydrodynamického modelu.

Základní vodohospodářská mapa 1:50 000

Státní mapové dílo pro oblast vodního hospodářství.

zdroj: VÚV T.G.M.. v.v.i. ve spolupráci se Zeměměřickým úřadem

datum zpracování: 1989

měřítko: 1 : 50 000

Základní mapa ČR 1:10 000

Základní státní mapové dílo obsahující polohopis (sídla, objekty, komunikace, vodstvo, porost, povrch půdy, atd.), výškopis (vrstevnice a terénní stupně) a popis.

zdroj: Zeměměřický úřad

datum zpracování: aktualizace 2009

měřítko: 1 : 10 000

3.1.3 Geodetické podklady

Pro popis inundačního území byl poskytnut digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) zpracovaný ČÚZK v roce 2012. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.

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

datum pořízení: aktualizace 2012

výškový systém: Balt p.v.

souřadnicový systém: JTSK

pořizovatel zaměření: ČÚZK

Pro popis koryta vodního toku bylo využito stávající geodetické zaměření z roku 2003, které bylo doplněno o nové geodetické zaměření z dubna a května 2012.

Geodetické zaměření příčných profilů koryta (pro modelaci dna koryta) a objektů

datum pořízení: 2003, 2012

výškový systém: Balt p.v.

souřadnicový systém: JTSK

pořizovatel zaměření: Povodí Labe, státní podnik

3.2 Hydrologická data

Hydrologická data, standardní N-leté vody doplněné o Q_{500} , byla objednána od ČHMÚ ve vybraných profilech.

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
pod Zbyslaví	19. 12. 2011	15,0	69,4	131	231	353	II.

3.3 Místní šetření

Místnímu šetření předcházelo podrobné seznámení s veškerými získanými podklady. Zejména se jednalo o stávající geodetické zaměření a projektovou dokumentaci budovaných protipovodňových opatření. Dále proběhla schůzka s úsekovým technikem s představením stávajících podkladů a konzultací o jejich aktuálnosti příp. doplněním o podklady a informace, které nebyly doposud získány.

Na základě analýzy dostupných podkladů bylo provedeno v řešené lokalitě podrobné místní šetření jak vlastního toku, tak přilehlého inundačního území. Byla pořízena fotodokumentace objektů a vytvořena základní představa o

koncepti hydraulického modelu na základě předpokládaného charakteru proudění vody v řece a inundačním území. Pro upřesnění a doplnění geodetických podkladů byly v terénu vytipovány lokality pro zadání dalších geodetických prací.

Terénní rekognoskace byla zaměřena mimo jiné na zhodnocení zastavěnosti území, překážek proudění v intravilánu obcí a vegetačního pokryvu.

Místní šetření bylo provedeno dne 20. 10. 2011.

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

Do DMT i do hydrodynamického modelu bylo na základě projektové dokumentace zapracováno protipovodňové opatření v obcích Zbyslav a Vrdy.

Použité podklady:

Doubrava, Vrdy – Zbyslav, zvýšení ochrany obcí hrázemi a rekonstrukcí jezu, Vakový jez v ř.km 18,254, Dokumentace pro stavební povolení, PÖYRY Environment a.s., 2007

Doubrava, Vrdy – Zbyslav, zvýšení ochrany obcí hrázemi a rekonstrukcí jezu, Dokumentace pro stavební povolení, VH - TRES spol. s r.o., 2009

Jako doplňující podklad byla využita studie Doubrava, Záboří – Libice (ř. km 0,0 – 63,0), Stanovení záplavového území, zpracovaná pro Povodí Labe firmou Hydroexpert s r.o. v roce 2004.

3.5 Normy, zákony, vyhlášky

Postupy zpracování jsou v souladu s následujícími 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 2102 Úpravy potoků.
- [4] TNV 75 2103 Úpravy řek.
- [5] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže.
- [6] TNV 75 2415 Suché nádrže.
- [7] TNV 75 2910 Manipulační řady vodních děl na vodních tocích.
- [8] TNV 75 2931 Povodňové plány.
- [9] Zákon č. 240/2000 Sb. o krizovém řízení a změně některých zákonů (krizový zákon).
- [10] Nařízení vlády č. 462/2000 Sb., k provedení §27 odst. 8 a §28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon).
- [11] Vyhláška MŽP 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území.
- [12] Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků.
- [13] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

3.6 Vyhodnocení a příprava podkladů

Původní zaměření, které je v rozsahu celého řešeného úseku, je stále aktuální a bylo doplněno pouze o doměření koryta ve zpracovatelem vytipovaných lokalitách. Podklady dostupné pro sestavení numerického modelu proudění vody byly pro daný účel zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik postačující.

4 Popis koncepčního modelu

Hydrodynamický model pro zájmový úsek řeky Doubravy měl být podle smlouvy o dílo zpracován jako model jednorozměrný. Po prostudování všech dostupných podkladů a zejména projektové dokumentace budovaných protipovodňových opatření, která měla být dle objednatele v modelu proudění zohledněna, byla zpracovatelem modelu navržena změna koncepce řešení, spočívající v sestavení dvourozměrného modelu proudění. Dvourozměrný model bylo možné vytvořit zejména díky nově dostupnému modelu terénu ve formě DMR 5G. Dvourozměrný hydrodynamický model umožní výstižněji zhodnotit proudové poměry v řešeném úseku, které jsou vzhledem ke složitosti území a šíři rozlivů velmi komplikované. Změna koncepce řešení byla projednána s objednatelem díla a byla schválena.

4.1 Schematizace řešeného problému

Řešený úsek toku Doubrava je charakteristický širokým plochým inundačním územím s rozlivem šířky až 1,5 km pod obcí Zbyslav. Koryto se mírně vlní a přechází z jedné strany inundace na druhou. Proudění vody je ovlivněno třemi příčnými komunikacemi a zástavbou v obcích Vrdu a Zbyslav a také nově vybudovanými protipovodňovými bariérami v těchto dvou obcích. Pro vytvoření hydrodynamického modelu byla kvůli komplikovaným proudovým poměrům zvolena koncepce dvourozměrného numerického modelování.

Použitý dvourozměrný model FAST 2D využívá pro řešení řídicích parciálních diferenciálních rovnic metodu konečných objemů.

Rozsah vytvořeného hydrodynamického modelu pokrývá a mírně přesahuje délku řešeného zájmového území. Šířka modelu byla volena tak, aby byla respektována celá zaplavovaná oblast při největším řešeném průtoku (Q_{500}). Vstupní a výstupní hranice modelu jsou umístěny přibližně v ř. k m 22,273 a 13,554 a jsou vedeny zhruba kolmo na podélnou osu inundačního území v místě, kde je možné předpokládat jednorozměrný charakter proudění vody. Šířka modelu je cca 2,2 km, délka cca 7 km.

Výpočetní síť byla navržena jako křivočará, s počtem buněk 3000 x 1300, tj. 3,9 milionu buněk. Průměrná velikost buňky je 1,8 x 2 m.

4.2 Posouzení vlivu nestacionarity proudění

Vliv nestacionarity proudění je ve výpočtech zanedbán a výpočty jsou zpracovány metodou ustáleného nerovnoměrného proudění v souladu s požadavky objednatele.

4.3 Způsob zadávání OP a PP

Na vstupní hranici 2D modelu byl zadáván celkový přítok do modelované oblasti, rozložení měrného průtoku podél hranice bylo modelováno v závislosti na hloubce.

Dolní okrajová podmínka byla zadána jako konstantní výška hladiny odpovídající příslušnému průtokovému stavu.

Počáteční podmínka se nezadává, vzhledem k tomu, že výpočty se provádějí pro ustálené proudění.

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Pro dvourozměrné numerické modelování byl použit model FAST2D, který umožňuje podrobné numerické modelování povodňových situací v reálných geometrických podmínkách otevřených koryt a inundačních územích včetně urbanizovaných oblastí. Aktuální verze modelu (Valenta, 2004) koncepčně vychází z původní verze modelu vyvinutého v Institutu pro hydrodynamiku univerzity Karlsruhe, který uvádějí Wenka a Valenta (1991).

Matematický základ modelu představuje soustava svisle integrovaných Reynoldsových rovnic, která bývá v odborné literatuře někdy označována jako 'shallow water equations' (rovnice mělké vody). Řídící rovnice proudění je řešena numericky metodou konečných objemů, která tvoří přechod mezi metodou sítí a metodou konečných prvků. Princip metody vychází ze skutečnosti, že parciální diferenciální rovnice popisující řešený fyzikální jev, vyjadřují bilanci sledované veličiny v nekonečně malém objemu. Řešená oblast je nejprve rozdělena na malé podoblasti – konečné objemy – čtyřúhelníkového tvaru. Na rozdíl od přímé diskretizace, používané v metodě sítí, jsou řešené diferenciální rovnice nejprve v každém konečném objemu formálně integrovány a převedeny na integrály po hranicích konečného objemu. Od požadavku splnění bilance v nekonečně malém objemu se tak přechází k požadavku jejího splnění v konečném objemu, tedy v makroskopickém měřítku.

Předmětem řešení je celkem pět neznámých veličin, definovaných ve středu každého konečného objemu – dvě složky průměrných svislicových rychlostí u a v , poloha hladiny h , turbulentní kinetická energie k a disipace ε . Těchto pět neznámých je určováno jako řešení soustavy pěti nelineárních parciálních diferenciálních rovnic – dvou pohybových rovnic, rovnice kontinuity a přenosových rovnic pro k a ε .

Při praktické aplikaci modelu je řešená oblast nejprve pokryta křivočarou výpočetní sítí, která je zadávána pomocí souřadnic x a y rohových uzlů jednotlivých konečných objemů. Při konstrukci sítě je přitom vhodné využít možností dané metody a hlavní linie sítě přizpůsobit obrysům hranic a eventuálně významným vnitřním překážkám uvnitř modelované oblasti, jakými jsou například příčné a podélné usměrňovací stavby, linie významné zástavby, linie oddělující oblasti s různými drsnostmi dna (terénu), atd. V další fázi je třeba doplnit souřadnice konečných objemů o informaci o nadmořské výšce terénu ve všech bodech výpočetní sítě a vytvořit tak digitální model terénu. Pro každý konečný objem je dále třeba definovat odpovídající hodnotu součinitele drsnosti podle charakteru dna, resp. povrchu zaplavovaného terénu. Plošné rozložení drsností a odhad jejich velikosti je předmětem kalibrace modelu.

Na hranicích (vnějších i vnitřních) zvolené řešené oblasti je nutné zadat příslušné okrajové podmínky. Model umožňuje použít na jednotlivých částech hranice následující typy okrajových podmínek:

- zadání rychlostního profilu včetně směrů proudění,
- zadání rozdělení průtoků podél vstupního profilu,
- zadání polohy hladiny,
- zadání parametrů turbulence,
- zadání nepropustné hranice s uvažováním tření,
- zadání nepropustné hranice bez tření (ev. zadání osy symetrie).

Výsledkem numerické simulace jsou složky rychlostí proudění a poloha hladiny spolu s charakteristikami turbulence proudění ve středech všech konečných objemů v řešené oblasti. Dostupná grafická vyhodnocení výsledků zahrnují výstupy v podobě tematických map hladin, hloubek a rychlostí či vyhodnocení proudových poměrů ve formě proudnic a vektorových polí rychlostí proudění vody.

Literatura:

Valenta, P., (2004): Dvourozměrné numerické modelování proudění vody v otevřených korytech a inundačních územích. Habilitační práce, ČVUT v Praze.

Wenka, T., Valenta, P., 1991. Entwicklung und Austesten einer tiefengemittelten Version des FAST-2D Computer Programms. Bericht Nr. 671. Karlsruhe : Institut für Hydromechanik, TU Karlsruhe.

5.2 Vstupní data numerického modelu

Základní vstupní data modelu FAST2D zahrnují:

- geometrická data definující výpočetní síť,
- geometrická data popisující morfologii terénu,
- data definující obtékané překážky proudění (budovy, hráze, násypy komunikací),
- rozložení parametrů drsnosti povrchu území,
- okrajové podmínky.

5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

Inundační území v zájmovém úseku je ploché a značně široké. Územím prochází několik dalších drobných vodotečí a kanálů. Doubrava v zájmovém území protéká intravilánem obcí Zbyslav a Vrdy, ve kterých jsou realizována nová protipovodňová opatření. Protipovodňová opatření zahrnují návrh protipovodňových bariér (hráze a zídky), rekonstrukci jezu ř. km 18,468 u obce Dolní Bučice (ID 400049341) a kompenzační úpravu koryta ve Zbyslavi.

Při definování morfologie terénu se vycházelo z dostupných topologických a geodetických podkladů, využit byl digitální model reliéfu 5. generace, geodetická data z pozemního zaměření a data popisující protipovodňová opatření. Použitá data jsou podrobně specifikována v kap. 3.

V řešeném úseku se vyskytují následující objekty:

400049338, MOST, Zbyslav-silnice, ř. km 16,270

400049341, JEZ, Dolní Bučice, ř. km 18,155

400049343, MOST, Dolní Bučice-silnice, ř. km 18,406

400049344, JEZ, Vrdy, ř. km 19,122

400049345, MOST, Vrdy-silnice, ř. km 19,433

Ve výše uvedeném výčtu objektů jsou uvedeny údaje obsažené v aplikaci GISyPoNET. Jedná se o internetovou aplikaci pro prohlížení a správu dat související s jevy na vodních tocích. Aplikaci spravuje Povodí Labe, státní podnik. Popis objektů je dle schématu „Jev_ID, Typ_jevu, Název_jevu, adm_řKM_od“.

Jez ID 400049341, JEZ, Dolní Bučice, ř. km 18,155, je v současné době nahrazen vakovým jezem, u něho je v modelu předpokládáno jeho vyhrazení při všech uvažovaných povodňových stavech.

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Hydraulická drsnost je v modelu zadávána pomocí Manningova drsnostního součinitele. Tento součinitel je jeden z faktorů, který ovlivňuje výslednou výšku hladiny a představuje jednu z charakteristik popisující terén a odpor prostředí. Hodnoty tohoto parametru byly odhadnuty na základě odborné literatury a dále upřesněny v průběhu kalibrace modelu. Hodnoty byly upraveny tak, aby výpočet pro kalibrační stavy poskytoval výšku hladiny odpovídající naměřeným povodňovým značkám. Prostorové rozložení hodnot součinitele drsnosti bylo zadáváno na základě provedené terénní rekonstrukce a s využitím ortofotografií.

Přehledně jsou rozsahy součinitele drsnosti pro jednotlivé typy povrchu uvedeny následující tabulce.

Charakter území	Manningův drsnostní součinitel n
koryto řeky	0,032 – 0,038
louky, pole	0,06 – 0,09
hustá břehová vegetace	0,10
udržované travnaté plochy (hřiště)	0,045
silnice	0,04
řidký stromový porost	0,08
zalesněné území	0,10 – 0,12
zahrady s ploty	0,12 - 0,16

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Na vstupní hranici 2D modelu byl zadáván celkový přítok do modelované oblasti. Použité průtokové stavy jsou uvedeny v tabulce 1a. Vzhledem k tomu, že v řešeném úseku se nevyskytuje žádný významný přítok, je průtok v celém modelu konstantní.

Tabulka 1a - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení

Horní okrajová podmínka	Úsek toku (km od - do)	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Poznámka
hodnota průtoku [m ³ s ⁻¹]	15,000 – 21,000	69,4	131	231	353	

Dolní okrajová podmínka byla zadána jako konstantní výška hladiny odpovídající příslušnému průtokovému stavu, získaná z jednorozměrného modelu vytvořeného zpracovatelem v rámci studie pro stanovení záplavových území v r. 2004, který byl rozšířen pro průtok Q₅₀₀. Okrajová podmínka byla stanovena z výpočetního profilu ř. km 13,5540.

Tabulka 1b - Hodnoty dolní okrajové podmínky

Dolní okrajová podmínka	Úsek toku (km od - do)	Q ₅	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Poznámka
úroveň hladiny [m n.m.]	37,127	372,63	373,08	374,85	374,87	

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

Pro hydraulické výpočty je použit model ustáleného proudění, počáteční podmínky tedy nejsou zadávány.

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Podklady poskytnuté pro sestavení numerického modelu proudění vody byly pro daný účel zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik postačující. Použití výsledků pro jiné účely (zejména návrhy protipovodňových opatření a další činnosti opírající se o konkrétní úrovně hladin) není vhodné bez uvážení souvisejících nejistot a bez případného doplnění a upřesnění vstupních podkladů a samotného výpočetního modelu.

Teoretické výstupy získané pomocí numerického modelu jsou obecně zatíženy nejistotami, které souvisejí s přijatými předpoklady a zjednodušeními, s metodou řešení a také s přesností vstupních dat. Nejistoty řešení

vyplývají z nepřesnosti digitálního modelu reliéfu (zhotovitel DMR 5G uvádí úplnou střední chybu výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu) a dále z přijaté modelové aproximace. Další podstatné nejistoty ve stanovení polohy hladiny vyplývají z nahodilosti jevů, které při průchodu povodně nastávají. Numerické řešení neuvažuje dynamické vlivy proudění, předpokládá se volný průtok mostními objekty, které mohou být při povodni zaneseny plávmi apod.

Skutečné průběhy hladin se mohou měnit v závislosti na konkrétních hydrologických podmínkách, použité manipulaci na objektech a aktuálním stavu koryta a inundačního území při konkrétní povodňové situaci. Zejména v souvislosti s případným omezením průtočnosti objektů na toku částečným či úplným ucpáním, resp. v souvislosti s porušením hrází a jiných objektů, mohou hladiny dosáhnout vyšších úrovní, než ukazují výsledky teoretických výpočtů.

5.3 Popis kalibrace modelu

Pro kalibraci modelu byly k dispozici informace o dvou povodňových situacích, které proběhly v řešené oblasti v letech 2002 a 2006. Hodnoty kulminačních průtoků a povodňové značky byly získány od Povodí Labe. Kulminační průtoky byly v obou případech vyhodnoceny v profilu měrné stanice Žleby, pro povodeň 2002 je udávána hodnota 127 až 130 m³s⁻¹, pro povodeň 2006 je to 121 m³s⁻¹. Tyto hodnoty odpovídají zhruba dvacetileté povodni.

Pro povodeň v srpnu 2002 byly kromě hodnoty průtoku k dispozici pouze tři kalibrační značky - viz Tabulka 2a. Přitom povodňová značka ve Zbyslavi byla patrně chybně stanovena - oproti značkám z roku 2006 se liší téměř o jeden metr. Tato značka nebyla z uvedeného důvodu při kalibraci modelu brána v úvahu.

Povodňové značky povodně 2006 jsou uvedeny v Tabulce 2b. Rozdíly hladin vyjadřují diferenci mezi povodňovou značkou a hodnotou vypočítanou v místě příslušné značky. V tabulce je uvedena identifikace povodňových značek správce toku. Uvedené staničení je pouze orientační, protože některé značky z povodně 2006 se nacházejí v inundaci ve vzdálenosti až 300 m od koryta.

Tabulka 2a - Kalibrace modelu – povodeň v roce 2002

Ř. km	Lokalizace kalibračního bodu	Výška srovnávací hladiny (m n. m.)	Výška vypočítané hladiny (m n. m.)	Rozdíl (m)
16,548	Na silničním mostě ve Zbyslavi	216,83	217,83	-1,00
19,747	Na povodní straně mostu ve Vrdech	222,12	222,19	-0,07
19,758	Na protivodní straně mostu ve Vrdech	222,33	222,34	-0,01

Tabulka 2b - Kalibrace modelu – povodeň v roce 2006

Ř. km	Lokalizace a označení kalibračního bodu	Výška srovnávací hladiny (m n. m.)	Výška vypočítané hladiny (m n. m.)	Rozdíl (m)
16,477	Pod mostem Zbyslav, pravý břeh, DOU_P_015	217,38	217,41	-0,03
16,340	Zbyslav, levý břeh, DOU_L_013	217,14	217,18	-0,04
16,453	Zbyslav, levý břeh, DOU_L_012	217,36	217,45	-0,09
16,579	Zbyslav, levý břeh, DOU_L_016	217,90	217,84	0,06
18,732	Protivodní strana silničního mostu Bučice, DOU_P_017	220,77	220,83	-0,06
18,732	Protivodní strana silničního mostu Bučice, DOU_P_018	220,73	220,89	-0,16
19,454	Jez Vrdy, levý břeh, DOU_L_024	221,89	221,87	0,02
19,546	Vrdy, stadion, levý břeh, DOU_L_019	221,51	221,53	-0,02
19,765	Vrdy, nad mostem, DOU_P_020	221,94	222,29	-0,35
19,748	Vrdy, pravý břeh, DOU_P_021	222,10	222,27	-0,17
19,765	Vrdy, silnice, pravý břeh, DOU_P_022	222,10	222,27	-0,17
19,834	Vrdy, nad mostem, pravý břeh, DOU_P_023	222,11	222,38	-0,27

K významným odchylkám ve výšce hladiny dochází v oblasti mostu Vrdy, avšak pouze v případě jarní povodně 2006. V případě letní povodně 2002 ve stejném místě výsledky modelu naopak přesně odpovídají zaznamenané povodňové značce. Z uvedeného důvodu a s přihlédnutím k možnému vlivu vegetačního období byla při hodnocení kalibrace preferována vyšší značka povodně 2002, což je ve prospěch bezpečnosti řešení.

6 Výstupy z modelu

Výstupem z hydrodynamického modelu jsou hydraulické charakteristiky proudění modelovaných průtokových scénářů spočítané v síti výpočetních buněk. Pro sestavení map povodňového nebezpečí jsou základním výstupem z hydraulických modelů mapa hloubek a mapa rychlostí. Mapové výstupy představují georeferencovanou rastrovou mapu v požadovaném měřítku a formátu.

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.

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 – Dotčené správní území obcí maximálním rozlivem

Kód ORP	Název ORP	Kód ICOB	Název obce
01834	Čáslav	534552	Vlačice
01834	Čáslav	533971	Bílé Podolí
01834	Čáslav	534587	Vrdu
01834	Čáslav	530875	Starkoč
01834	Čáslav	534544	Vinaře

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. Výsledný rastr ve formátu .tif o velikosti pixelu 2 x 2 m obsahuje informace o hloubce vody pro každý pixel. 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.

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 v celém záplavovém území. Rychlosti jsou doplněny i informací o směru proudění.

Výsledky jsou prezentovány rastrem ve formátu .tif o velikosti pixelu 2 x 2 m obsahující informace o velikosti rychlosti a body ve vhodném pravidelném rozložení na území záplavového území, které obsahují informace o velikosti a směru rychlosti. Tyto body mají v prezentovaných mapách symboliku šipek znázorňující velikost rychlosti a směr proudění.

Pro přehledné znázornění rychlostí v tištěné podobě je výsledná rychlost proudění rozdělena do kategorií s pevně zvoleným rozsahem rychlostí (znázorněno v legendě mapového výstupu). Mapa rychlostí je zobrazena na podkladě Základní rastrové mapy ČR v měřítku 1:10 000.

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. Problematika nejistot ve vstupních datech a jejich vliv na přesnost výsledků numerických výpočtů je podrobněji diskutována v kapitole 5.2.5.

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.