

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

DÍLČÍ POVODÍ KLABAVY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

KLABAVA - 10100060_1 - Ř. KM 0,000 – 35,500 (PV-15-1)



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 VLTAVY

DÍLČÍ POVODÍ KLABAVY

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA – HYDRODYNAMICKÉ MODELY A MAPY POVODŇOVÉHO NEBEZPEČÍ

KLABAVA - 10100060_1 - Ř. KM 0,000 – 33,500 (PV-15-1)

Pořizovatel:



Povodí Vltavy, státní podnik
Holečkova
Praha 5
150 00

Zhotovitel: sdružení „VRV + HDP + DHI“



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:



Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc. - Revital
Suchý vršek 13
Praha 5
158 00

V PRAZE, DUBEN 2013.

Obsah:

1	Základní údaje	7
1.1	Seznam zkratk a symbolů	7
1.2	Cíle prací	7
1.3	Předmět práce	7
1.4	Postup zpracování a metoda řešení	7
2	Popis zájmového území	8
2.1	Všeobecné údaje	9
2.2	Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)	9
3	Přehled podkladů	10
3.1	Topologická data	10
3.1.1	Vytvoření (aktualizace) DMT	10
3.1.2	Mapové podklady	10
3.1.3	Geodetické podklady	10
3.2	Hydrologická data	11
3.3	Místní šetření	11
3.4	Doplňující podklady – technické a provozní informace, zprávy, studie, dokumenty, literatura	12
3.5	Normy, zákony, vyhlášky	12
3.6	Vyhodnocení a příprava podkladů	13
4	Popis koncepčního modelu	14
4.1	Schematizace řešeného území	14
4.2	Posouzení vlivu nestacionarity proudění	16
4.3	Způsob zadávání OP a PP	16
5	Popis numerického modelu	18
5.1	Použité programové vybavení	18
5.2	Vstupní data numerického modelu	18
5.2.1	Morfologie vodního toku a záplavového území	19
5.2.2	Drsnosti hlavního koryta a inundačních území	21
5.2.3	Hodnoty okrajových podmínek	21
5.2.4	Hodnoty počátečních podmínek	22
5.2.5	Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat	22
5.3	Popis kalibrace modelu	23
6	Výstupy z modelu	27
6.1	Záplavové čáry pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	27
6.2	Hloubky pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	27
6.3	Rychlosti pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100} a Q_{500}	27
6.4	Zhodnocení nejistot ve výsledcích výpočtů	27

1 Základní údaje

1.1 Seznam zkratk a symbolů

Tabulka – Seznam zkratk 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 (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

Potřebné průtokové stavy byly řešeny na nově sestaveném matematického 1D modelu v zájmové oblasti.

2 Popis zájmového území

Název vodního toku: Klabava
IDVT (CEVT): 10100060_1 (PV-15-1)
Číslo hydrologického pořadí: 1-11-01-0100
1-11-01-0200
1-11-01-0380

Začátek zájmového úseku: ř.km 0,0
Konec zájmového úseku: ř.km 35,3

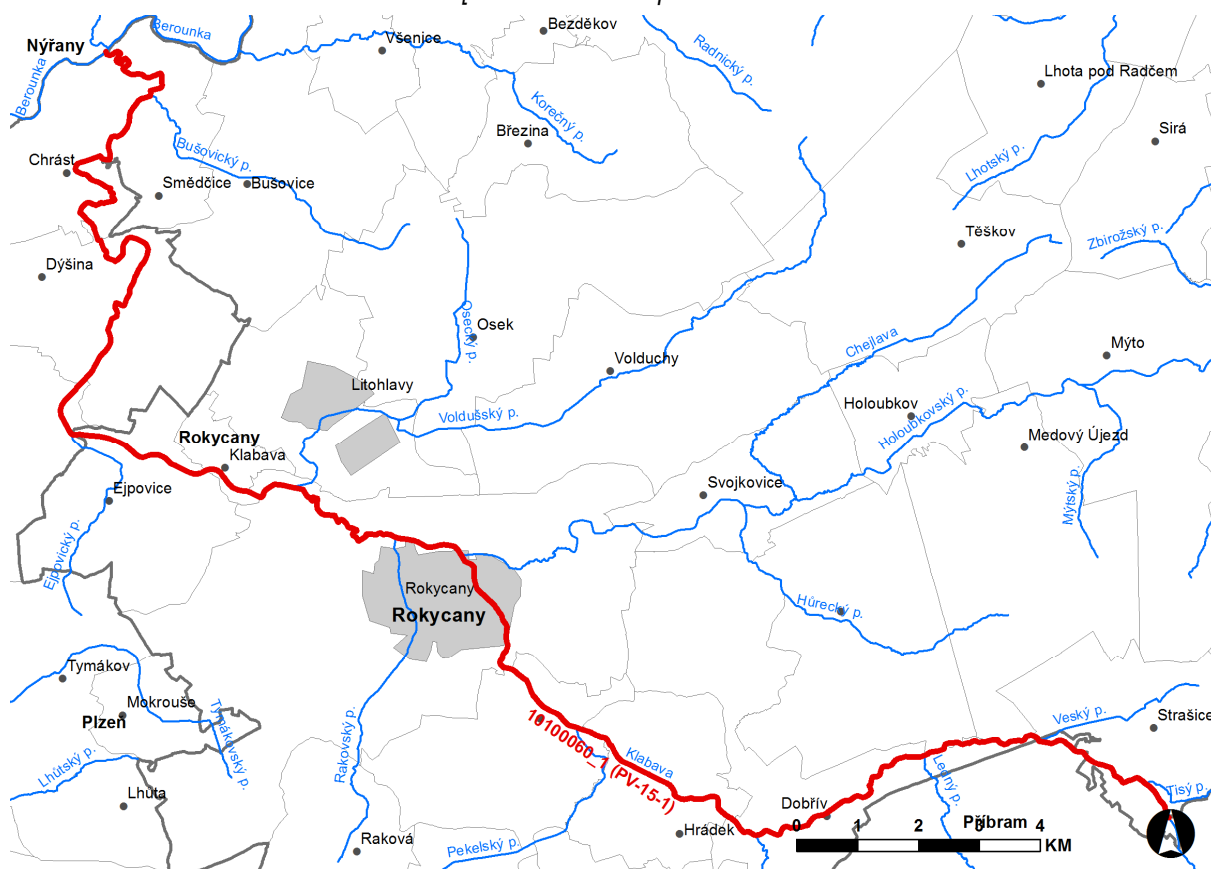
Významné přítoky: Ledný potok (ř. km 30.60)
Příkosický potok (ř. km 27.30)
Pekelský potok (ř.km 23.50)
Holoubkovský potok (ř. km xx)
Voldušíský potok (vzdutí VD Klabava)

V zájmovém úseku Klabavy se vyskytuje významné vodní dílo VD Klabava.

Podklady:

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.

Obrázek[1 – Přehledná mapa řešeného území



2.1 Všeobecné údaje

Řeka Klabava pramení v oblasti Brd. První obcí, kterou protéká, jsou Strašice, kde začíná řešení této studie. Koryto řeky je v katastru oce upraveno. Pod ní se trasa koryta na délce několika kilometrů volně vine v rozsáhlém lesním území, zde má koryto plně přirozený charakter. S dalším úsekem s upraveným korytem se setkáme v obci Dobřív. Mezi obcemi Dobřív a Hrádek, kde řeka protéká širokou zemědělsky využívaným inundačním územím, se do Klabavy vlévá levostranný přítok Příkosický potok. V obci Hrádek protíná trasa v délce téměř 1000 m rozsáhlý průmyslový areál místní železárny. Trasa koryta je zde zcela přímá, kapacita koryta je výrazně vyšší než v ostatních úsecích toku. Na obec Hrádek navazuje zástavba další obce Kamenný újezd. I zde je koryto řeky upraveno. Po touto obcí protéká řeka opět širším, zemědělsky využívaným územím.

Kolem ř.km 22.0 začíná Klabava protéká zástavbou významného města Rokycany. Koryto řeky je zde pochopitelně upraveno. Jak ukázal průběh povodně z roku 2002 i výsledky této studie, Tato úprava nezajišťuje městu ochranu na průtok Q_{100} . V minulosti připravované řešení se doposud nerealizovalo. V Rokycanech se zprava vlévá významný přítok – Holoubkovský potok.

Úsek Klabavy pod Rokycany byl lidskou činností významně ovlivněn. V profilu ř.km XXXX byl v minulosti vybudován profil hradícího tělesa VD Klabava. Úsekem v dosahu vzdutí se proto tato studie nevěnuje. Pod hrází je podél stejnojmenné obce koryto upraveno. Dále ve směru toku byl v původní trase koryta provozován rozsáhlý lom Ejpovice. Řeka zde byla v době provozování lomu svedena do skalního přivaděče, který ústil v oblasti Horomyslic. V současné době již lom svou funkci neplní a řeka tímto prostorem opět protéká s volnou hladinou. Na území bývalého lomu se tak vytvořila další umělá nádrž. Těsně nad jejím začátkem musí Klabava na krátkém úseku délky cca 100 m překonat velký výškový rozdíl 10 m. Původně byl tento problém řešen betonovým skluzem, který však nevydržel extrémní namáhání za povodně z roku 2002, kdy došlo k jeho totální destrukci. V současné době je problém řešen spádovými objekty.

Využití území pod lomem Ejpovice se významně změnilo, nyní na pozicích podél řeky stojí významné golfové hřiště. V úseku mezi ř.km 8.5 až 7.5 protéká Klabava podél zástavby Nová Huť. V době zpracování této studie, zde byla dokončena výstavba levostranné ochranné hráze. V úseku mezi ř.km 5.5 až 3.0 vede koryto podél zástavy Chrástu. Dále až k soutoku s Berouňkou má koryto přirozený charakter, okolní území je nezastavěné.

2.2 Průběhy historických povodní (největší zaznamenané povodně)

Povodeň 2002

Extrémní povodeň ze srpna 2002 zasáhla také celé povodí Klabavy. Posouzení průběhu povodně bylo provedeno již ve studiích věnovaných návrhům protipovodňové ochrany. Velikosti průtoků byly blízké průtokům Q_{100} , rovněž rozsahy záplavového území byly zejména v Rokycanech velmi blízké hranicím stanoveným pomocí 2D výpočtu []

Povodeň 2013

Významná povodeň zasáhla celé povodí Klabavy rovněž červnu 2013, tedy v době dokončování této studie. Zpracovatel studie provedl v průběhu povodně několik pohlídek toku a spolupodílel se na vyhodnocení kulminačního průtoku zejména v profilu limnigrafické stanice ČHMÚ Nová Huť. Tyto údaje byly využity při kalibraci modelu.

3 Přehled podkladů

3.1 Topologická data

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. Dalšími podklady vstupující do vytváření DMT byly projektové dokumentace, příp. skutečné zaměření již postavených staveb, které ovlivňují průtokové poměry.

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

3.1.1 Vytvoření (aktualizace) DMT

Digitální model terénu (DMT) byl vytvořen v softwaru ArcGIS a charakterizuje řešené území pomocí trojúhelníkové nepravidelné sítě (tin). DMT v tomto formátu slouží pro sestavení geometrie hydrodynamického modelu. Pro vytváření map hloubek byl převeden do rastrového formátu s velikostí mřížky 2x2 metry.

Vstupní data pro vytvoření DMT byla v textovém formátu (DMR a geodetické zaměření), nebo ve formátu .dwg (povinné spojnice s výškovou hodnotou).

Digitální model terénu je v polohovém souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

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

Ortofoto České republiky

Sada periodicky aktualizovaných barevných ortofot v rozměrech a kladu mapových listů Státní mapy 1:5 000 .

zdroj: Zeměměřický úřad

datum zpracování: aktualizace 2011

měřítko: 1 : 5 000

3.1.3 Geodetické podklady

Pro popis inundačního území byl použit podklad DMR 4. a 5. generace, který vytváří a poskytuje ČÚZK.

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5x5

m) bodů o souřadnicích X, Y, Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) se liší od předchozího nepravidelnou trojúhelníkovou sítí (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.

DMR 5. generace byl k dispozici prakticky v celém rozsahu řešeného území, DMR 4. generace byl využit jen pro oblast horní Klabavy v obci Strašice.

Pro popis koryta vodního toku bylo využito stávající geodetické zaměření z prosince 1998 doplněno o nové geodetické zaměření z května 2012.

Veškeré geodetické podklady byly v polohovém souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

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

datum pořízení: aktualizace 2012

výškový systém: Balt p.v.

souřadnicový systém: JTSK

pořizovatel zaměření: ČÚZK

Digitální model reliéfu ČR 4. generace (DMR 4G)

datum pořízení: aktualizace 2012

výškový systém: Balt p.v.

souřadnicový systém: JTSK

pořizovatel zaměření: ČÚZK

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

datum pořízení: 1995, 1997

výškový systém: Balt p.v.

souřadnicový systém: JTSK

pořizovatel zaměření: Povodí Vltavy, státní podnik

3.2 Hydrologická data

Hydrologická data, standardní N-leté vody doplněné o Q_{500} , byla objednána od ČHMÚ hlavním řešitelem projektu v profilech viz tabulka [1]. Hodnoty průtoků byly v souladu s hodnotami stanovenými v roce 2005 pro profily ústí do Berounky a VD Klabava viz tabulka [2].

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

Hydrologický profil	Datum pořízení	Plocha povodí	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
LGS Strašice	2012	73.24	23.2	41.5	70.2	108	I.
LGS Hrádek	2012	158.45	42.7	76.3	129	200	I.
LGS Nová Huť	2012	359.40	70.2	136	248	402	I.

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

Hydrologický profil	Datum pořízení	Plocha povodí	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Třída přesnosti
VD Klabava	2005	329.87	68.9	132	233		II
ústí do Berounky	2005	372.48	71.1	139	254		II

3.3 Místní šetření

Místnímu šetření předcházelo podrobné seznámení s veškerými získanými podklady. Zejména se jednalo o stávající geodetické zaměření a projektové dokumentace staveb typu protipovodňové opatření, obnovy po povodních z roku 2002 a úprava toku.

Se všemi informacemi a podklady bylo provedeno v řešené lokalitě podrobné místní šetření jak vlastního toku, tak přilehlého inundačního území. Byla vytvořena fotodokumentace objektů a vytvořena základní představa schematizace hydraulického modelu na základě předpokládaného proudění vody v řece a inundačním území. Při zjištění nedostatečnosti geodetických podkladů byla v terénu vytipována lokalizace zadání dalších geodetických prací.

Místní šetření bylo provedeno dne 20. 9. 2012. Další pak bylo uskutečněno ve dnech 2. 6. a 3. 6. 2013 v souvislosti s dokumentací a vyhodnocením povodně 2013.

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

- [01] Zadávací dokumentace k veřejné zakázce, podle zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách. Studie vyhodnocení a zvládnutí povodňových rizik na dílčích úsecích řek Morávce, Lučíně, Podolském potoce, Moravice a Odře. Zadavatel: Povodí Odry, s.p., Varenská 49, 701 26 Ostrava 1. Ostrava, 2010.
- [02] Posílení rizikové analýzy a stanovení aktivních zón v českém vodním hospodářství. Ministerstvo zemědělství ČR, květen 2004.
- [03] Metodický pokyn č.j.: 28181/2005-16000 k zadávání fotogrammetrických činností pro potřeby vymezování záplavových území. Ministerstvo životního prostředí. Praha, listopad 2005.
- [04] Metodika stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území. Ministerstvo životního prostředí. Brno, prosinec 2008.
- [05] Metodika tvorby map povodňových nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí, březen 2012.
- [06] Sdělení ZP17/2011 odboru ochrany vod MŽP o aktualizaci Metodiky tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. 2011.
- [07] Digitální modely terénu 4G a 5G, Český úřad zeměměřičský a katastrální.
- [08] Zaměření údolních a příčných profilů koryta Cidliny, různé zdroje.
- [09] Zpracování N-letých průtoků, ČHMÚ, Plzeň, 2012.
- [10] Studie odtokových poměrů na Klabavě, Revital, Praha, 2005.
- [11] Studie zvláštní povodně z VD Klabava (VD Klabava – soutok vodních toků Klabavy a Berounky), Revital Praha, 2005.
- [12] Zpracování návrhu na stanovení záplavového území Klabavy a Holoubkovského potoka v Rokycanech, Hydroexpert, Praha, 2007.
- [13] Zpracování návrhu na stanovení záplavového území Klabavy v ř.km 21.8 – 36.48, Šindlar, Hradec Králové, 2007.

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 vytipovaných lokalitách, kde proběhla výstavba mostu nebo úprava koryta. Všechny dostupné podklady byly pro sestavení DMT a hydrodynamického modelu dostačující.

4 Popis koncepčního modelu

Pro hydraulické výpočty byly použity 2 přístupy. Převážná část tok ubyla řešena pomocí 1D přístupu, zde byl použit matematický 1D model proudění Hec-Ras, a to jeho výpočetní modul určený pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění. Teoretickým základem je aplikace iterační metody zvané „po úsecích“, která z fyzikální podstaty zohledňuje zákon zachování mechanické energie. V dosahu zástavby města Rokycany byl zvolen 2D přístup. Výpočty byly provedeny pomocí matematického modelu FESWMS, který je založen na metodě konečných prvků.

4.1 Schematizace řešeného území

Vzhledem k rozhodnutí modelovat různé úseky Klabavy dle odlišných přístupů, byla schematizace území, s výjimkou úseku v dosahu vzdutí VD Klabava, rozdělena do 3 samostatných modelů, jejich označení je v souladu s označení dílčích mapových listů:

01 – ústí do Berounky až Klabava ř.km 0 – 14.857 - 1D model

02 – Rokycany ř.km 16.645 – 22.0 -2D model

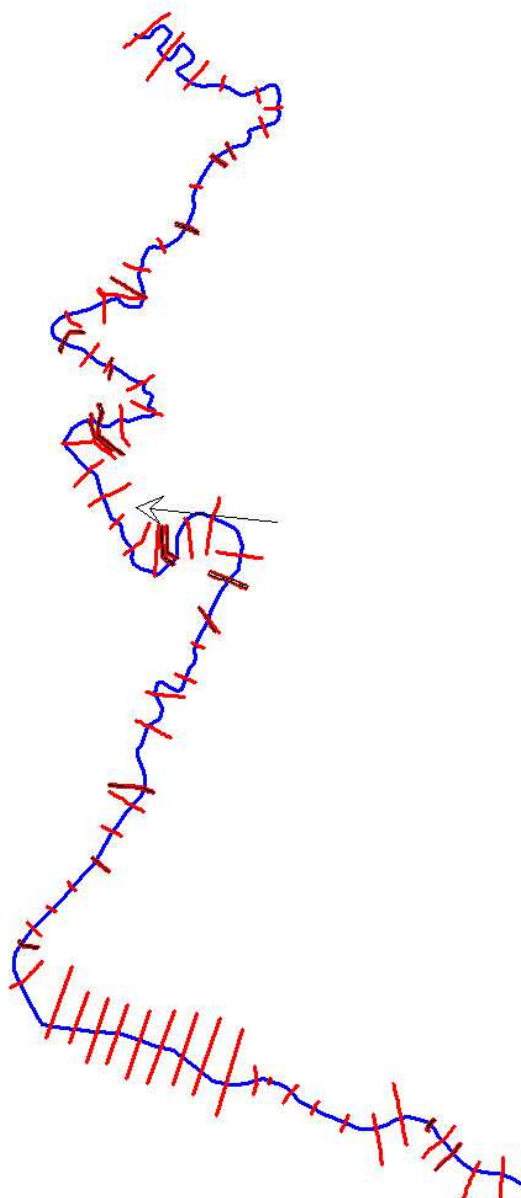
03 – Kamenný Újezd až Strašice 21.626 – 36.48 – 1D model

První model Klabava_01 se zabývá úsekem od VD Klabava až ústí (ř.km 0.0 až 14.857, profily P73 až P1). Schéma modelu je znázorněno na obrázku [2]. Model byl sestaven jednoduchý. V dosahu tohoto modelu se nacházejí obce Klabava, Dýšina, Nová Huť a Chrást. V tomto dílčím úseku se nachází celkem 12 mostů, všechny se staly součástí geometrického modelu. Model je tvořen celkem 73 údolními profilem P01 až P73. Profilem 53 až P61 byly celé vygenerovány z DMT, nezaměřené dno lomu na kótě 320.00 m n.m. Základem ostatních bylo klasické zaměření profilu doplněné dle potřeby o jejich prodloužení z DMT. Úsek v dosahu vzdutí VD Klabava nebyl ve studii řešen.

Proudění v zástavbě významného města Rokycany bylo řešeno pomocí 2D modelu Klabava_02. Horní okraj modelu byl umístěn přibližně do místa profilu P87, spodní potom do místa křížení s dálnicí D5. Součástí modelu byla i významná část záplavového území významného pravostranného přítoku Holoubkovského potoka, ten se do Klabavy vlévá ve středu Rokycan. Velikost výpočtových elementů se pohybovala kolem 6 m, vzdálenost výpočtových bodů potom byla poloviční – 3 m. V místech obytných a jiných budov nebyla výpočetní síť vytvářena. To je patrné ze schematického obrázku [3] výpočetní sítě modelu Klabava_02I. Model byl tvořen 38805 elementy a 149083 výpočtovými body. K digitálnímu modelu koryta byly využity příčné profily P 74 až P86 a zaměřené objekty na toku.

Schéma posledního modelu Klabava_03 (ř.km 21.626 až 36.48, profily P151 až P85) je znázorněno na obrázku [4]. Model byl sestaven jednoduchý. V dosahu tohoto modelu se nacházejí obce Strašice, Dobřív, Hrádek a Kamenný Újezd. V tomto dílčím úseku se nachází celkem 18 mostů, všechny se staly součástí geometrického modelu. Model byl sestaven celkem 67 údolními profilem (P85 až P151). Základem všech profilů bylo zaměření bylo klasické zaměření profilu části inundace doplněné dle potřeby o jejich prodloužení z DMT.

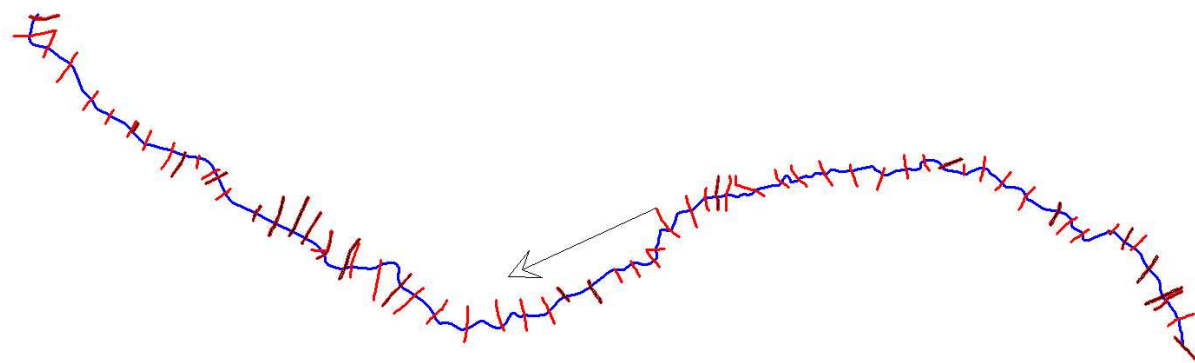
Obrázek 2 – Schéma hydraulického modelu Klabava_01 (1D)



Obrázek 2 – Schéma výpočtové sítě hydraulického modelu Klabava_II (2D)



Obrázek 4 – Schéma hydraulického modelu Klabava_03 (1D)



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

Modelové výpočty ustáleného nerovnoměrného proudění vyžadují v případě říčního proudění zadání okrajové podmínky v dolním výpočtovém profilu formou hodnot úrovně hladin.

Pro model Klabava_I byla použita měrná křivka profilu stanovenou pro průměrný sklon čáry energie ve věstní trati.

Protože i za běžných průtoků dosahuje vzdutí hladiny až k dálničnímu mostu, byly pro model Klabava_II úrovně hladiny v místě dolní okrajové podmínky odvozeny z měrné křivky bezpečnostních přelivů VD Krvava. Sklon hladiny v dosahu vzdutí nebyl uvažován.

Rozsah 2D modelu Rokycan a navazujícího 1D modelu se v délce asi 200 m překrývá. Hodnoty hladiny pro dolní okrajovou podmínku 1D modelu Klabava_III byly odečteny z 2D modelu.

Všechny výpočty byly zpracovány pro ustálený režim, počáteční podmínky proto nebyly potřeba.

5 Popis numerického modelu

5.1 Použité programové vybavení

Pro výpočet 1D proudění byl použit matematický program vyvinutý americkým hydrologickým centrem (Hydrologic Engineering Center- HEC), který spadá pod tým inženýrů institutu vodních zdrojů (Institute for Water Resources - IWR) americké armády. Slouží k jednorozměrnému matematickému modelování říčních systémů (River Analysis Systém - RAS). První verze HEC- RAS 1.0 byla uvedena v červenci roku 1995. Nejnovější verze je v současnosti HEC- RAS 4.1.

Předpoklady výpočtu

- Průtok vody v řece je buď nerovnoměrný ustálený anebo nerovnoměrný neustálený.
- Proudění je pozvolna měnící se. Nedochází k náhlým změnám v příčném průřezu.
- K náhlé změně průřezu může dojít pouze v objektech, jako jsou jezy, mosty nebo propustky
- Sklon řeky je menší než $i = 0.1$
- Proudění je jednorozměrné, proud vody má směr vždy kolmý na zadaný příčný profil.

Uživatelské manuály

- HEC-RAS River Analysis System - User's Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010
- HEC-RAS River Analysis Systém – Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010
- HEC-GeoRAS Geospatial River Analysis System - User's Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010

2D proudění bylo řešeno pomocí amerického modelu FESWMS, jeho autorem je logickým centrem (Hydrologic Engineering Center- HEC), který spadá pod tým inženýrů institutu vodních zdrojů (Institute for Water Resources - IWR) americké armády. Slouží k jednorozměrnému matematickému modelování říčních systémů (River Analysis Systém - RAS). První verze HEC- RAS 1.0 byla uvedena v červenci roku 1995. Nejnovější verze je v současnosti HEC- RAS 4.1.

Předpoklady výpočtu

- Průtok vody v řece je buď nerovnoměrný ustálený anebo nerovnoměrný neustálený.
- Proudění je pozvolna měnící se. Nedochází k náhlým změnám v příčném průřezu.
- K náhlé změně průřezu může dojít pouze v objektech, jako jsou jezy, mosty nebo propustky
- Sklon řeky je menší než $i = 0.1$
- Proudění je jednorozměrné, proud vody má směr vždy kolmý na zadaný příčný profil.

Uživatelské manuály

- HEC-RAS River Analysis System - User's Manual, US Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineers Center), January 2010

5.2 Vstupní data numerických modelu

Základem matematických afelů proudění vody s volnou hladinou je geometrický model koryta a inundačního území. Ten je v případě 1D přístupu definován příčnými profily nad digitálním modelem terénu. V případě 2D modelu je reliéf terénu definován sítí výpočetních elementů a bodů. Pro oba případy je nutné doplnit geometrii ještě o odporové charakteristiky, ty se pro oba přístupy zadávají nejčastěji v podobě Manningova součinitele v závislosti charakteru a využití území a materiálu dna. Hodnoty Manningova součinitele drsnosti pro jednotlivé dílčí části profilů byly stanoveny na základě mapových podkladů, fotodokumentace, rekognoskace terénu a archivních zrnitostních rozborů splavenin.

Hydrologická data se přebírají z údajů ČHMÚ (viz kap. 3.2) jako okrajové podmínky výpočtu v profilech, kde dochází ke změně průtoků.

5.2.1 Morfologie vodního toku a záplavového území

Řeka Klabava pramení v oblasti Brd. První obcí, kterou protéká, jsou Strašice, kde začíná řešení této studie. Koryto řeky je v katastru oce upraveno. Pod ní se trasa koryta na délce několika kilometrů volně vine v rozsáhlém lesním území, zde má koryto plně přirozený charakter. S dalším úsekem s upraveným korytem se setkáme v obci Dobřív. Mezi obcemi Dobřív a Hrádek, kde řeka protéká širokou zemědělsky využívaným inundačním územím, se do Klabavy vlévá levostranný přítok Příkosický potok. V obci Hrádek protíná trasa v délce téměř 1000 m rozsáhlý průmyslový areál místní železářny. Trasa koryta je zde zcela přímá, kapacita koryta je výrazně vyšší než v ostatních úsecích toku. Na obec Hrádek navazuje zástavba další obce Kamenný újezd. I zde je koryto řeky upraveno. Po touto obcí protéká řeka opět širším, zemědělsky využívaným územím.

Kolem ř.km 22.0 začíná Klabava protéká zástavbou významného města Rokycany. Koryto řeky je zde pochopitelně upraveno. Jak ukázal průběh povodně z roku 2002 i výsledky této studie, Tato úprava nezajišťuje městu ochranu na průtok Q100. V minulosti připravované řešení se doposud nerealizovalo. V Rokycanech se zprava vlévá významný přítok – Holoubkovský potok.

Úsek Klabavy pod Rokycany byl lidskou činností významně ovlivněn. V profilu ř.km XXXX byl v minulosti vybudován profil hradícího tělesa VD Klabava. Úsekem v dosahu vzdutí se proto tato studie nevěnuje. Pod hrází je podél stejnojmenné obce koryto upraveno. Dále ve směru toku byl v původní trase koryta provozován rozsáhlý lom Ejpovice. Řeka zde byla v době provozování lomu svedena do skalního přivaděče, který ústil v oblasti Horomyslic. V současné době již lom svou funkci neplní a řeka tímto prostorem opět protéká s volnou hladinou. Na území bývalého lomu se tak vytvořila další umělá nádrž. Těsně nad jejím začátkem musí Klabava na krátkém úseku délky cca 100 m překonat velký výškový rozdíl 10 m. Původně byl tento problém řešen betonovým skluzem, který však nevydržel extrémní namáhání za povodně z roku 2002, kdy došlo k jeho totální destrukci. V současné době je problém řešen spádovými objekty.

Využití území pod lomem Ejpovice se významně změnilo, nyní na pozicích podél řeky stojí významné golfové hřiště. V úseku mezi ř.km 8.5 až 7.5 protéká Klabava podél zástavby Nová Huť. V době zpracování této studie, zde byla dokončena výstavba levostranné ochranné hráze. V úseku mezi ř.km 5.5 až 3.0 vede koryto podél zástavy Chrástu. Dále až k soutoku s Beroučkou má koryto přirozený charakter, okolní území je nezastavěné.

V tabulkách [3] a [4] je uveden přehled objektů na Klabavě.

Tabulka [3] – Soupis mostních objektů v řešeném úseku Klabavy

Staničení	Popis	Lokalita	Spodek mostovky	Vršek mostovky
2.187	Lávka pro pěší		296.92	296.67
2.78	Silniční most		302.34	300.64
4.231	Silniční most	Chrást	302.77	302.29
5.516	Cestní most	Chrást	306.62	306.1
7.072	Lávka pro pěší	Nová Huť	313.05	312.91
7.095	Cestní most	Nová Huť	311.27	311.03
8.106	Silniční most	Nová Huť	315.5	314.58
9.805	Lávka pro pěší	Dýšina	321.15	319.81
10.348	Lávka pro pěší	Dýšina	324.67	324.07
11.036	Cestní most	Kyšice	327.61	326.15
14.271	Silniční most	Klabava	340.18	338.88
16.642	Dálniční most	Rokycany	359.43	- - -
18.326	Silniční most	Rokycany	359.23	357.48
18.89	Lávka	Rokycany	356.33	356.01
19.62	Lávka	Rokycany	357.1	356.18
20.018	Silniční most	Rokycany	359.25	357.22
20.233	Lávka	Rokycany	359.39	359.2
20.842	Lávka	Rokycany	362.95	362.2
20.842	Železniční most	Rokycany	371.02	369.03
21.217	Lávka	Rokycany	364.97	363.47
23.251	Silniční most	Kamenný Újezd	378.11	377.52
23.815	Silniční most	Kamenný Újezd	382.57	381.78
24.775	Lávka pro pěší	Hrádek	389.34	389.11
24.988	Cestní most	Hrádek	390.93	390.17
25.166	Cestní most	Hrádek	392.55	391.4
25.299	Cestní most	Hrádek	394.47	393.59
25.833	Silniční most	Hrádek	397.47	396.3
26.566	Lávka pro pěší		400.13	399.67
28.496	Silniční most	Dobřív	416.4	415.28
28.758	Cestní most	Dobřív	418.98	417.66
33.016	Silniční most	Strašice	458.25	457.05
34.361	Cestní most	Strašice	471.57	470.79
35.073	Silniční most	Strašice	480.34	479.43
35.266	Silniční most	Strašice	491.4	480.8
35.625	Silniční most	Strašice	488.79	487.45
35.94	Cestní most	Strašice	493.58	492.43
36.475	Silniční most	Strašice	501.26	499.83

Tabulka [3] – Soupis spádových objektů v řešeném úseku Klabavy

Staničení	Popis	Lokalita	Přelivná hrana
2.292	Stupeň		295.25
3.391	Jez	Chrást	298.1
4.581	Jez	Chrást	302.26
5.576	Jez	Chrást	305.5
8.383	Jez	Dýšina	313.74
13.165	Spádový stupeň	nad lomem Ejpovice	330.78
14.508	Jez	Klabava	335.64
18.785	Jez	Rokycany	351.47
21.043	Jez	Rokycany	362.16
21.632	Jez	Rokycany	365.26
24.262	Jez	Hrádek	382.26
25.564	Jez	Hrádek	392.66
30.488	Jez	nad Dobříví	431.4
35.987	Jez	Strašice	491.89

5.2.2 Drsnosti hlavního koryta a inundačních území

Hydraulická drsnost je v modelu zadávána pomocí Manningova součinitele drsnosti. Tento součinitel je jeden z faktorů, který ovlivňuje výslednou výšku hladiny a představuje jednu z charakteristik popisující terén a odpor prostředí. Pro potřeby výpočtu byly hodnoty součinitelů drsnosti odvozeny z podobnosti jiných toků, kde je tento součinitel znám a lze tedy předpokládat i v námi řešeném území. V úsecích, kde jsou k dispozici kalibrační povodňové značky, byla výsledná drsnost upravena dle těchto bodů tak, aby pro známý průtok byla dosažena známá zaměřená hladina. Přehledně jsou jednotlivé hodnoty součinitele drsnosti uvedeny v následující tabulce [5].

Tabulka [5] – Použité hodnoty součinitele drsnosti pro různé povrchy

Charakter území	Manningův součinitel drsnosti n
upravené koryto řeky	0,0375 – 0,045
neupravené koryto řeky	0,045 – 0,06
louky, pole	0,06 – 0,15
zalesněné území	0,15 – 0,2
zastavěné území	0,2

5.2.3 Hodnoty okrajových podmínek

Horní okrajové podmínky jsou zadány v místech s výrazně měnícími hydrologickými poměry v místech významných přítoků s využitím N-letých průtoků z tabulek [1] a [2]

Dolní okrajové podmínky modelu Klabava_01 byla převzata z úrovní hladin na Berounce v místě soutoku, přičemž se vzhledem k rozdílu ploch povodí nepředpokládal souběh N-letostí. V případě Q_{500} , Q_{100} , Q_{20} a Q_5 na Klabavě byly uvažovány na Berounce průtoky Q_{100} , Q_{20} , Q_{10} a Q_5 . V případě modelu Klabava_02 se zanedbal

sklon hladiny ve zdutí VD Klabava a hladiny byly odvozeny z hladiny na bezpečnostním přelivu. O posledního modelu byly využity hladiny stanovené výpočtem 2D modelu Klabava_02. Konkrétní čísla jsou zapsána do tabulek [6], [7] a [8].

Tabulka [6] - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení modelu Klabava_01

Úsek Klabavy / N- leté průtoky Q_N	Úsek toku (km od - do)	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Poznámka
Klabava až konec lomu Ejpovice	14.857 – 11.305	69.9	132	233	378	
Konec lomu Ejpovice až Chrást	11.305 – 2.791	70.2	136	248	402	
Chrást až ústí do Berounky	2.791 – 0.040	71.1	139	254	410	
Dolní okrajová podmínka v podobě úrovně hladiny	0.040	290.50	291.35	291.80	212.90	Dolní okrajová podmínka (m n.m.)

Tabulka [7] - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení modelu Klabava_02

Úsek Klabavy / N- leté průtoky Q_N	Úsek toku (km od - do)	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Poznámka
Klabava v Rokycanech po soutok s Holoubkovským potokem	22.000 – 19.700	46.9	81.3	143	222	
Klabava v Rokycanech po soutok s Holoubkovským potokem	19.700 – 16.645	55.3	107.0	195	316	
Holoubkovský potok v Rokycanech		8.6	23.5	53	96	
Dolní okrajová podmínka v podobě úrovně hladiny	16.645	347.50	349.80	351.40	351.60	Dolní okrajová podmínka (m n.m.)

Tabulka [8] - N-leté povodňové průtoky uvažované při hydraulickém řešení modelu Klabava_01

Úsek Klabavy / N- leté průtoky Q_N	Úsek toku (km od - do)	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}	Poznámka
Klabava až konec lomu Ejpovice	36.480 – 30.885	23.2	41.5	70.2	108	
Konec lomu Ejpovice až Chrást	30.885 – 27.369	33.4	59.7	101	156	
Konec lomu Ejpovice až Chrást	27.369 – 23.428	42.7	76.3	129	200	
Chrást až ústí do Berounky	23.428 – 21.626	46.9	81.3	143	222	
Dolní okrajová podmínka v podobě úrovně hladiny	21.626	367.10	367.60	368.00	368.40	Dolní okrajová podmínka (m n.m.)

5.2.4 Hodnoty počátečních podmínek

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

5.2.5 Diskuze k nejistotám a úplnosti vstupních dat

Pro zpracování zadání skládající se ze sestavení DMT a vytvoření matematického modelu byly veškeré dostupné podklady dostačující.

Nicméně je nutné vzít v úvahu přesnosti použitých podkladů a jejich interpretace. Samotná geodetická data v podobě polohové a výškové umístěných bodů mají svou danou přesnost a hodnoty mezi nimi jsou výsledky určité interpolace, kde může docházet k nejistotám.

Další z nejistot, ke kterým může docházet, je fakt, že se řešené území schematizuje pomocí příčných profilů, ve kterých probíhá výpočet, a výsledky jsou dále interpretovány plošně pomocí interpolace.

5.3 Popis kalibrace modelu

Pro kalibraci případně verifikaci modelu byly k dispozici jednak starší údaje o průběhu hladin za povodně z roku 2002 a jednak údaje získané z průběhu povodně z června 2013. Vzhledem k tomu, že za povodně 2002 nebyly průtoky změřeny, ale pouze stanoveny na základě odhadu, rozhodl se řešitel této studie ke kalibraci modelu použít zejména údaje z poslední povodně, na jejímž vyhodnocení se spolu s ČHMÚ podílel.

Prohlídka byly provedeny 2, a to 2.6 a 3.6. Druhého prozkoumal řešitel horní úsek od Strašic po Kamenný Újezd cca 2 až 4 hodiny po první kulminaci. Ve Strašicích byla hladina bezpečně v korytě, což dokumentují fotografie [1] a [2] obrázku z okolí silničního mostu v ř.km 35.073.

Fotografie [1] – Silniční most ř.km 35.073 ve Strašicích krátce po kulminaci povodně ze dne 2. 6. 2013



Fotografie [2] – Průběh povodně pod silničním mostem ř.km 35.073 ve Strašicích



V plném souladu s výsledky výpočtů byl rozsah záplavového územím v lesním úseku nad obcí Dobřív. Zde dochází k vylévání vody z koryta již za průtoku menšího než Q_5 . Dne 2. 6. dopoledne zde byl pozorován již razantní proudění v širokém pásu včetně přelévání místní turistické cesty (Fotografie [3]).

Fotografie [3] – Rozliv v lesním úseku na Dobříví dne 2. 6. 2013 dopoledne



Nejblíže k vybřežení měla hladina cca 300 m nad cestním mostem v ř.km 28.758 v Dobříví, to je dokumentováno na Fotografii [4]. Dosah kulminační hladiny je patrný z polehlé trávy. Pod uvedeným mostem již voda bezpečně proudila v korytě (Fotografie [5]).

Fotografie [4] – Stopa po kulminační hladině za povodně 2. 6. 2013 v Dobříví v ř.km cca 29.0



Fotografie [5] – Hladina pod cestním mostem v ř.km 28.758 v Dobřívě za povodně 2. 6. 2013



V dolním úseku kulminovala hladina dne 3. 6. 2013 kolem poledne. Ve stejnou dobu se řešitel studie dostal do nejvíce rizikového místa – obce Nová Huť. Zde byla bezprostředně před povodní dokončena výstavba protipovodňové ochranné hráze, ta v době povodně ještě nebyla ani zkolaudována. Niveleta hráze byla v celém úseku vysoko nad kulminační hladinou, výpočty potvrdily ochranu obce na návrhový průtok Q_{100} . Ukázka průběhu hladinu v okolí obce Nová Huť je na Fotografiích [6] a [7]. Na první z nich je pohled z koruny hráze. Napravo od ní proudí voda v Klabavě, nalevo je stojatá voda, která se do prostoru dostala pravděpodobně vlivem špatného těsnění v profilu hradících vrat. V tomto místě také v souladu s výsledky výpočtu voda intenzivně vybířežuje do pravého inundačního území a obtéká místní ČOV.

V průběhu blízké ke kulminaci byla zaměřena hladina v profil silničního mostu v ř.km 8.106. Pro průtok blízký kulminaci zde provedli pracovníci ČHMÚ hydrometrování při průtoku $89.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na základě těchto údajů byla drsnost upraveného koryta zkalibrována na $n = 0.0375$.

Fotografie [6] – Hladina podél navýšené podélné ochranné hráze u obce Nová Huť v ř.km 7.5 za situace blízko kulminace povodně z 3. 6. 2013



Fotografie [7] – Vybřežení hladiny v okolí 'COV Nová Huť' v ř.km 7.1 za situace blízko kulminace povodně z 3. 6. 2013



Rozsah záplavového území byl v souladu s výsledky modelování.

6 Výstupy z modelu

Výstupem z hydrodynamického modelu jsou hydraulické charakteristiky proudění modelovaných průtokových scénářů spočítané v jednotlivých příčných profilech. Lze je prezentovat tabelární nebo grafickou formou v podobě podélných a příčných profilů, bodového pole rychlostí a map hloubek. 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.

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.

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

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

Informace o rychlosti proudění vody v korytě a v inundačním území u jednorozměrného modelu jsou známy pouze ve výpočetních profilech. Po provedení výpočtu a získání úrovně vodní hladiny v profilu je možné dopočítat rozdělení rychlostí v korytě a levé i pravé inundaci. Rychlosti jsou prezentovány pomocí vhodně distribuovaných bodů na příčných profilech. Distribuce bodů je závislá na velikosti vodního toku (koryta toku) a rozsahu záplavového území. V korytě vodního toku bude vždy umístěn alespoň jeden bod charakterizující rychlost proudění v korytě.

Výsledné zobrazení rychlostí je součástí mapy hloubek, kdy informace o rychlosti spolu s hloubkou vody dávají názornou představu o charakteru nebezpečí při povodni v pozorovaném úseku.

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.

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.