

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Jaroslav ČERNÝ

**MODELOVÁNÍ POVODŇOVÉ VLNY PŘI
DESTRUKCI VYBRANÉ VODNÍ NÁDRŽE**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jana SVOBODOVÁ, Ph.D.

Olomouc 2012

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jany SVOBODOVÉ, Ph.D., uvedl jsem veškerou použitou literaturu a ostatní informační zdroje. Vše je citováno s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví. Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

Olomouc, 14. srpna 2012

.....

podpis

Děkuji vedoucí práce RNDr. Janě SVOBODOVÉ, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a konzultace. Za užitečné informace děkuji Ing. Ivě JELÍNKOVÉ, zástupkyni vedoucího útvaru hydroinformatiky ve státním podniku Povodí Moravy, dále por. Mgr. Kamilu KOŘÍNKOVÍ, pracovníkovi oddělení ochrany a přípravy obyvatelstva odboru ochrany obyvatelstva a krizového řízení Krajského ředitelství HZS Olomouckého kraje.

Za poskytnutá data děkuji Českému úřadu zeměměřičskému a katastrálnímu, státnímu podniku Povodí Moravy a HZS Pardubického kraje.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav ČERNÝ**
Osobní číslo: **R09285**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **Modelování povodňové vlny při destrukci vybrané vodní nádrže**
Zadávací katedra: **Katedra geoinformatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je modelování povodňové vlny při destrukci vybrané vodní nádrže v prostředí software HEC-HMS. Vhodná vodní nádrž bude vybrána na základě konzultací se zástupci Povodí Morava a HZS Olomouckého kraje, pro jejichž potřebu bude práce zpracována. Student zajistí potřebná data pro provedení analýz (ve spolupráci s výše uvedenými subjekty). Hlavním výsledkem práce bude mapa se zákresem záplavové vlny, profily a další navazující informace z oblasti ochrany obyvatelstva. Například, kolik lidí je potřeba evakuovat, vyznačení objektů kritické infrastruktury, kterým hrozí zaplavení či vyznačení objektů, které vyžadují zvláštní přístup (domovy důchodců, nemocnice...). Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O bakalářské práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002) a šablony dostupné na stránkách katedry. Na závěr bakalářské práce připojí student jednostránkové resumé v anglickém jazyce.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **max. 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

Feldman, A. D. (ed.) (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual. USACE, Davis. Jeníček, M. (2007): Rainfall-runoff modelling in small and middle-large catchments - an overview. Geografie - Sborník ČGS, 111, č. 3, s. 305-313. ISSN 1212-0014. Jeníček, M. (2008): Modelling the effect of small reservoirs on flood regime in the Chomutovka river basin. In Brilly, M. and Šraj, M. (eds.): XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 2.-4. June 2008 [CD-ROM]. Ljubljana. ISBN 978-961-91090-2-1. Kulhavý, Z., Kovář, P. (2002): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha, 123 p. Langhammer, J. (ed.) (2007): Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině, 5. 6. 2007 Praha. ISBN 978-80-86561-87-5. Říhová, V., Richnavský, J., Hořínková, M., Unucka, J., Židek, D., Šír, B., Podhorány, M., Malek, O. (2011): Aplikace pro HEC-HMS. Sborník z konference GIS Ostrava 2011. 6 s. Šobr, M., Jeníček, M., Vočadlova, K. (2008): Dam breach reconstruction of the Blažňov pond caused by extreme hydrological event. Acta Universitatis Carolinae, Geographica, No. 1-2, p. 105-114.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Jana Svobodová, Ph.D.**
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: **5. května 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2012**

L.S.

Prof. RNDr. Juraj Ševčík, Ph.D.
děkan

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEODINAMIKY
tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc
-1-

Prof. RNDr. Vít Vozenílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 13. června 2010

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
ÚVOD.....	8
1 CÍLE PRÁCE	9
2 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	10
2.1 Hydrologická charakteristika	11
2.2 VD Moravská Třebová.....	13
3 OCHRANA OBYVATELSTVA	15
3.1 Varování obyvatelstva.....	15
3.2 Evakuace obyvatelstva	16
3.3 Důležité pojmy v oblasti ochrany obyvatelstva.....	17
4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	19
4.1 Hydrodynamické modelování v literatuře	19
4.2 Extremní hydrologické jevy	19
4.3 Hydrologické modely	21
4.3.1 Klasifikace hydrologických modelů	21
4.3.2 Modely rodiny HEC.....	21
4.3.3 Ostatní modely.....	22
4.4 Modelování ustáleného a neustáleného proudění v korytě.....	23
5 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ	26
5.1 Použité programy	26
5.2 Data	26
5.3 Postup zpracování	28
6 MODELOVÁNÍ PROTRŽENÍ HRÁZE VD MORAVSKÁ TŘEBOVÁ.....	29
6.1 Práce v programu ArcGIS 10	29
6.2 Modelování v HEC-RAS.....	33
6.3 Prezentace výsledků	39
7 VÝSLEDKY.....	41
7.1 Parametry povodňové vlny.....	41
7.2 Hodnocení zaplavené oblasti.....	47
7.2.1 Objekty v záplavovém území.....	47
7.2.2 Komunikace	49
7.2.3 Ochrana obyvatelstva.....	50
8 DISKUZE	52
9 ZÁVĚR.....	53
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
SUMMARY	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
a.s.	Akciová společnost
CAD	Computer-aided design
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
Č. p.	Číslo popisné
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČHP	Číslo hydrologického pořadí
ČSN	České technické normy
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMT	Digitální model terénu
DSM	Digitální model povrchu
GIS	Geografický informační systém
HEC	The Hydrologic Engineering Center
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Centers - Hydrologic Modeling System
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System
HZS	Hasičský záchranný sbor
JPO	Jednotka požární ochrany
ORP	Obec s rozšířenou působností
OS	Operační systém
Q_{100}	Stoletý (maximální) průtok
$Q_{355d.}$	Průměrný 355-denní průtok
Q_{min}	Trvalý minimální průtok
Q_N	Čára opakování kulminačních průtoků
Q_{ZPV1}	Průtok zvláštní povodňové vlny s označením 1-3
s.p.	Státní podnik
TIN	Triangulated irregular network
VD	Vodní dílo
VUT	Vysoké učení technické
ZABAGED®	Základní báze geografických dat České republiky
ZPV1-3	Zvláštní povodňová vlna s označením 1-3

ÚVOD

Lidé si celá staletí uvědomovali možnosti hospodaření s vodou, která patří mezi nejdůležitější látky na zemi. Z počátku se jednalo pouze o odvodňování bažin a mokřadů a zřizování rybníků, ale s pozdějším vývojem technických znalostí a rostoucími nároky na užívání vody (zásobování pitnou vodou, regulace vodních toků, ochrana území před povodněmi apod.) začaly vznikat složitější stavby na daných tocích tzv. vodní díla. Mezi nejznámější vodní díla se řadí zejména přehrady, hráze a vodní nádrže.

Se stavbou a provozem těchto vodních děl je spojeno riziko částečného, či úplného porušení hrazení, které může zapříčinit destrukci daného díla a následně způsobit zvláštní povodeň. Jednou z nejznámějších katastrof přehradního stavitelství, která se udála roku 1916, je protržení nádrže Bílá Desná v Jizerských horách.

Z hlediska vzniku a průběhu zvláštních povodní způsobených destrukcí vodního díla jsou nejvýznamnější díla zařazená do I. a II. kategorie, která by po protržení hráze měla katastrofální následky. U těchto děl je v dnešní době velmi malá pravděpodobnost této situace, jelikož jsou stavěna ze železobetonových konstrukcí a jsou pod stálým technicko-bezpečnostním dohledem. Snad jediný způsob, při kterém by mohlo dojít k destrukci vodního díla I. a II. kategorie, je technická porucha závažného charakteru, nebo teroristický útok. Oproti tomu u vodních děl spadajících do III. a IV. kategorie (hráze jsou zemní sypané, naplavované, balvanovité) je protržení pravděpodobnější díky špatnému technickému stavu mnoha těchto děl, nebo je způsobeno následkem přirozené povodně 50-100 letého charakteru.

V dnešní době tyto katastrofy nelze vyloučit, ale se současnými programy sloužícími k modelování těchto extrémních hydrologických jevů lze určit velikost záplavové vlny pro jednotlivé druhy zvláštních povodní a stanovit tak rozsah území, které bude touto zvláštní povodní zasazeno. V České republice jsou dle zákona č. 254/2001 na vodních dílech I. až III. řádu provozovatelé těchto vodních děl povinni vést a poskytovat příslušným povodňovým orgánům, orgánům krizového řízení a orgánům integrovaného záchranného systému údaje o parametrech možné zvláštní povodně (zejména charakteristiky povodňových vln a rozsah ohroženého území). Na vodních dílech IV. řádu tyto údaje vedeny být nemusí.

Výsledky hydrologických modelů pak využívají složky integrovaného záchranného systému pro plánování opatření na ochranu obyvatelstva při hroziící či nastalé krizové situaci v podobě povodňové vlny způsobené destrukcí vodního díla.

Vodní nádrž Moravská Třebová patří mezi vodní díla IV. řádu a hned pod hrází se na vodním toku Třebůvka nachází stejnojmenné město plynule přecházející v obec Linhartice. Při destrukci vodního díla může následná povodňová vlna ohrožovat rodinné domy nebo průmyslové stavby nacházející se v blízkosti vodního toku, to bylo také hlavním důvodem, proč byla vodní nádrž vybrána pro namodelování záplavové vlny zvláštní povodně v této bakalářské práci.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je namodelování povodňové vlny při destrukci vybrané vodní nádrže a její zobrazení v mapě s následným hodnocením zaplaveného území, které bude obsahovat navazující informace z oblasti ochrany obyvatelstva. Vybranou vodní nádrží je vodní dílo Moravská Třebová. Následné hodnocení je vztaženo na město Moravská Třebová a obec Linhartice. Oproti zadání bakalářské práce nebyl pro modelování záplavové vlny použit srážko-odtokový model HEC-HMS, ale mnohem vhodnější hydrodynamický model HEC-RAS.

K dílčím cílům patří získání a příprava dat, popř. informací potřebných pro naplnění hydrodynamického modelu HEC-RAS s popisem průběhu tohoto modelování, vytyčení záplavové zóny zvláštní povodně způsobené destrukcí vodní nádrže a následné stanovení zaplavené oblasti.

V teoretické části budou obsaženy kapitoly týkající se stručné charakteristiky zájmového území a daného vodního díla, ochrany obyvatelstva, extrémních hydrologických jevů, hydrologických modelů a modelování proudění v korytě. Praktická část bude zaměřena na přípravu dat a následné modelování v prostředí softwaru HEC-RAS. Výsledky této práce budou prezentovány jak v podobě mapových výstupů, tak slovním hodnocením.

Bakalářská práce bude odevzdána jak v analogové, tak v digitální podobě. O této práci bude vytvořena webová stránka, která bude umístěna na katedrální server.

2 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území se sledovaným vodním dílem (dále jen VD) Moravská Třebová se nalézá v Pardubickém kraji u stejnojmenné obce. Územím protéká vodní tok Třebůvka a je prostorově vymezeno povodími IV. stupně: 4-10-02-066, 4-10-02-067, 4-10-02-068, 4-10-02-069, 4-10-02-070, 4-10-02-071, 4-10-02-072, 4-10-02-073, 4-10-02-074, 4-10-02-075, 4-10-02-076, 4-10-02-077, 4-10-02-078, 4-10-02-079 (viz Obr. 1). Tato jednotlivá povodí obsahují zčásti nebo celé obce: Útěchov, Hrušov, Dětrichov u Moravské Třebové, Gruna, Dětrichov, Dlouhá Loučka, Jevíčko, Kamenná, Horka, Koclířov, Křenov, Kunčina, Linhartice, Malíkov, Městečko Trnávka, Mladějov na Moravě, Moravská Třebová, Pohledy, Rozstání, Rychnov na Moravě a Staré Město. Rozloha celého vymezeného území je 131,4 km².



Obr. 1: Lokalizace zájmového území s vymezením hranic povodí IV. stupně (Data: DIBAVOD, ZABAGED)

2.1 Hydrologická charakteristika

Zájmové území patří k povodí řeky Moravy (Dunaje) a k úmoří Černého moře. Nejvýznamnějším vodním tokem, který prochází tímto územím a na němž leží i VD Moravská Třebová, je vodní tok III. řádu řeka Třebůvka (pravostranný přítok řeky Moravy). Pramen se nachází nedaleko obce Křenov ve výšce 462 m n. m., celková délka vodního toku je 48,3 km (ve vymezeném území 16,25 km), plocha povodí je 584,6 km² (ve vymezeném území 131,36 km²). Do Třebůvky se vlévají v tomto území vodní toky IV. řádu. Hydrologická charakteristika vodních toků a jejich částí je uvedena v Tab. 1-3.

Tab. 1: Hydrologická charakteristika vodních toků v zájmovém území (převzato: Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, 1. díl – text, 1965)

Vodní tok	Přítok	Řád toku	Plocha povodí (P) [km ²]	Délka údolí (L) [km]	Charakter povodí (P/L ²)	Lesnatost [%]
Hřebčovský potok	levostranný	IV.	9,537	5,0	0,38	60
Stříbrný potok	levostranný	IV.	9,538	6,0	0,27	40
Kunčinský potok	levostranný	IV.	56,408	10,5	0,51	30
Hraniční potok	pravostranný	V.	10,538	6,9	0,22	40
Bílý potok	levostranný	V.	14,558	7,8	0,24	20
Udánský potok	pravostranný	V.	10,458	6,8	0,23	30
Borušovský potok	levostranný	IV.	11,148	6,0	0,31	30
Třebůvka	pravostranný	III.	584,570	47,0	0,26	40

Tab. 2: Charakteristické hydrologické údaje zájmového území (převzato: Hydrologické poměry, 3. díl, 1970)

ČHP	Tok	Místo	Velké vody dosažené nebo překročené průměrně jednou za						
			1	2	5	10	20	50	100
			roků [m ³ /s]						
4-10-02-070	Třebůvka	nad Kunčinským potokem	9	18	30	41	48	55	60
4-10-02-077	Kunčinský potok	ústí	10	19	31	42	50	57	62
4-10-02-078	Třebůvka	pod Kunčinským potokem	14	28	45	60	72	83	90

Tab. 3: Charakteristické hydrologické údaje zájmového území (převzato: Hydrologické poměry, 3. díl, 1970)

ČHP	Tok	Místo	Průměrné roční hodnoty					
			Plocha povodí [km ²]	Srážky [mm]	Rozdíl srážek a odtoku [mm]	Odtok [mm]	Odtokový součinitel	Průtok [m ³ /s]
4-10-02-070	Třebůvka	nad Kunčinským potokem	52,87	663	509	154	0,23	0,26
4-10-02-077	Kunčinský potok	ústí	56,41	665	511	154	0,23	0,27
4-10-02-078	Třebůvka	pod Kunčinským potokem	109,28	664	510	154	0,23	0,53

Pozn.: Odtokový součinitel je poměr odtokové výšky a průměrné srážky v povodí.

Na vodním toku Třebůvka se dnes nacházejí dvě vodoměrné stanice. První je vodoměrná stanice Loštice, patřící mezi základní hlásné kategorie A, jejímž provozovatelem je Český hydrometeorologický úřad (ČHMÚ). Druhou je stanice Mezihoří patřící do kategorie B, tzv. doplňkový hlásný profil. Zřizovatelem této stanice je krajský úřad a provozovatelem příslušná obec Mezihoří. Obě zmíněné vodoměrné stanice se nacházejí v ORP Moravská Třebová, ale ani jedna se nenachází ve vymezeném zájmovém území. Data průměrných extrémních průtoků z vodoměrné stanice Loštice jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4: Průměrný celkový průtok a extrémní průtoky na vodoměrné stanici Loštice (převzato: Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, 2. díl, 1967)

Vodoměrná stanice	Období	Průměrný průtok [m ³ /s]	Extrémní průtok [m ³ /s]			
			Maximální	Datum	Minimální	Datum
Loštice	1931-1960	2,35	140	1.9.1938	0,15	13.8.1934

2.2 VD Moravská Třebová

Vodní dílo Moravská Třebová (viz Obr. 2) se nachází na 38,3 km vodního toku Třebůvka. Tato víceúčelová vodní nádrž byla vybudována v letech 1961-1962 za účelem energetického využití a zajištění trvalého minimálního průtoku v Třebůvce $Q_{\min}=0,035\text{m}^3/\text{s}$. Hráz je zemní sypaná s návodním jílovým těsněním. Délka hráze v koruně je 141 m, šířka 3,5 m a kóta této koruny kamenité hráze je 358,55 m n. m. (vše uvedeno ve výškovém systému Balt p.v.). Maximální výška hráze nad terénem je 5,05 m. Kóta dna údolí je 354,20 m n. m., kóta hladiny je 355,42 m n. m., výpusť je zajišťována dvěma spodními ocelovými stavidly o průměru 1200 mm s kapacitou $2 \times 8,2\text{ m}^3/\text{s}$. Objem je 0,2209 milionů m^3 a zatopená plocha je 11 ha. Tato nádrž přísluší k Moravské vodohospodářské soustavě a provozovatelem je státní podnik Povodí Moravy. Účelem nádrže je především akumulace vody pro zajištění výše uvedeného minimálního průtoku a ochrana před povodněmi. Dalšími účely nádrže jsou rybí hospodářství, rekreace a vodní sporty. Tato nádrž příznivě ovlivňuje mikroklima, rozšířením vodního ptactva a vodomilné vegetace. Výše uvedené charakteristiky jsou převzaty z díla Průběh zvláštní povodně v Třebůvce pod VD Moravská Třebová, 2011. Další hydrologické údaje jsou zobrazeny v Tab. 5.



Obr. 2: VD Moravská Třebová (Zdroj: Průběh zvláštní povodně v Třebůvce pod VD Moravská Třebová, 2011)

Tab. 5: Parametry VD Moravská Třebová (převzato ze studie: Průběh zvláštní povodně v Třebůvce pod VD Moravská Třebová, 2011)

Hydrologické údaje	
Číslo hydrologického pořadí:	4-10-02-070
Plocha povodí:	47,85 km ²
Průměrný dlouhodobý roční průtok:	0,250 m ³ /s
Q ₁₀₀ :	48,000 m ³ /s
Q _{355d} :	0,062 m ³ /s
Účinek nádrže	
Neškodný odtok:	10,000 m ³ /s
Minimální odtok:	0,035 m ³ /s
Stálé nadržení:	0,030 mil. m ³
Zásobní prostor:	0,110 mil. m ³
Hladina zásobního prostoru:	356,87 m n. m.
Prostor retenční neovladatelný:	0,081 mil. m ³
Hladina retenčního neovladatelného prostoru:	357,92 m n. m.
Bezpečnostní přeliv	
Typ bezpečnostního přelivu:	boční, nehrazený
Počet polí × délka přelivu:	1 × 46,0 m
Kóta přelivu:	356,87 (15 m); 357,37 (31 m) m n. m.
Kapacita při max. hladině:	45,50 m ³ /s

3 OCHRANA OBYVATELSTVA

Ochranou obyvatelstva se rozumí taková opatření, jejíž snahou je zabránit, nebo co nejvíce minimalizovat působení ničivých účinků na obyvatelstvo. Ze zákona č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů se ochranou obyvatelstva rozumí plnění několika základních úkolů:

- **varování obyvatelstva**, což je hlavně budování a provoz jednotného systému varování a vyrozumění (JSVV)
- **evakuace obyvatelstva**, hospodářského zvířectva a věcných prostředků
- **ukrytí**, čímž se rozumí kolektivní ochrana obyvatelstva ve stálých, nebo improvizovaných úkrytech (o ukrytí obyvatel se v případě povodně neuvažuje)
- **nouzové přežití obyvatelstva** v nouzovém ubytování, dále zásobování pitnou vodou, potravinami a dalšími nezbytnými prostředky nutnými k přežití obyvatelstva
- **další opatření** k zabezpečení ochrany života, zdraví a majetku

3.1 Varování obyvatelstva

Podle Výkladového slovníku krizového řízení a obrany státu Ministerstva vnitra (2005) je varování: „*Souhrn technických a organizačních opatření zabezpečujících včasné upozornění obyvatelstva orgány veřejné správy na hrozící nebo nastalou mimořádnou událost, vyžadující realizaci opatření na ochranu obyvatelstva a majetku.*“

Pro upozornění na hrozící, nebo probíhající nebezpečí se používá varovný signál, po jehož provedení je neprodleně realizováno informování obyvatelstva o povaze nebezpečí a o opatřeních k ochraně života, zdraví a majetku. K tomuto upozornění slouží sirény, obecní rozhlas, přenosná zařízení (megafony) nebo vozidla integrovaného záchranného systému.

V Moravské Třebové se nachází jedna elektronická rotační siréna umístěná na městském úřadě a městský rozhlas. V okolních obcích se nachází dalších 12 sirén zajišťujících varování a informování obyvatelstva o hrozící, či nastalé mimořádné situaci. V obci Linhartice se žádná siréna nenachází, zde je k varování užíván pouze obecní rozhlas. V Tab. 6-7 jsou zobrazeny podrobnější informace o siréně a rozhlasech v těchto dvou obcích.

Tab. 6: Podrobné informace o siréně v Moravské Třebové (zdroj: HZS Pardubického kraje)

Obec	Objekt	Ulice, Č. p.	Majitel	Druh	Typ	Typ přijímače
Moravská Třebová	městský úřad	T.G. Masaryka 29	HZS	elektronická rotační	DSS 977	DSE300

Tab. 7: Podrobné informace o rozhlasích v Moravské Třebové a Linharticích (zdroj: HZS Pardubického kraje)

Název obce	Typ ústředny/ typ rozhlasu	Výkon ústředny	Počet reproduktorů	Ozvučení obce [%]	Způsob ovládání rozhlasu
Moravská Třebová	VISO 2002 kanál BMIS	2W	190	95	Dálkové, KOPIS HZS PaK
Linhartice	MIR-01 Empemont	2W	50	100	Manuální z obecního úřadu

3.2 Evakuace obyvatelstva

Evakuace je dle Výkladového slovníku krizového řízení a obrany státu Ministerstva vnitra (2005): „*Souhrn organizačních a technických opatření zabezpečujících přemístění osob, zvířat a věcných prostředků v daném pořadí priority z míst ohrožených mimořádnou událostí do míst, ve kterých je zajištěno pro osoby náhradní ubytování a stravování, pro zvířata ustájení a pro věcné prostředky uskladnění.*“ Evakuace probíhá do vytipovaných evakuačních center. V Moravské Třebové je evakuačním střediskem areál budov Střední technické školy Ministerstva obrany (viz Tab. 8).

Tab. 8: Evakuační střediska pro Moravskou Třebovou a Linhartice (zdroj: HZS Pardubického kraje)

Obec	Evakuační středisko	Ulice	Kapacita osob	Spojení (tel./mobil)
Moravská Třebová	Střední technická škola Ministerstva obrany	Jevíčská 7	800	461318297/ 602185316
Linhartice	Střední technická škola Ministerstva obrany	Jevíčská 7	800	461318297/ 602185316

Transport raněných by probíhal do jediného zdravotnického centra v ORP Moravská Třebová nacházejícího se asi 1 km západně od centra Moravské Třebové, o kterém jsou bližší informace vypsány v Tab. 9.

Tab. 9: Podrobné informace o zdravotním centru v Moravské Třebové (zdroj: HZS Pardubického kraje)

Obec	Název organizace	Adresa		Telefon	Lůžková kapacita zdravotnického zařízení	Zaměstnanci celkem
		Ulice	Č. p.			
Moravská Třebová	Nemocnice následné péče	Svitavská	25	461 352 222	90	134

3.3 Důležité pojmy v oblasti ochrany obyvatelstva

Mimořádná událost

Mimořádnou událostí se dle zákona č. 239/2000 Sb. rozumí: „*Škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, ale také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek, nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací.*“ Obecně lze za mimořádnou událost považovat náhlou závažnou událost, která způsobila narušení stability systému s možným ohrožením jeho bezpečnosti nebo existence.

Ohrožující objekty

Ohrožujícím objektem se z pohledu ochrany obyvatelstva rozumí objekt, který ke své činnosti využívají nebezpečné látky. Jedná se především o čistírny odpadních vod, průmyslové areály, skládky, čerpací stanice apod. (Kořínek, 2011, ústní sdělení) K těmto objektům se musí přistupovat s obezřetností při výskytu mimořádné události, a proto značně komplikuje zásah HZS.

Významné objekty

Významným objektem se naopak oproti ohrožujícím objektům rozumí objekt, který pro svou činnost nevyužívá žádné nebezpečné látky, ale svou rozlohou a možnou kapacitou může shromažďovat více lidí na jednom místě (Kořínek, 2011, ústní sdělení). Takovýmito objekty se rozumí např.: domovy pro seniory, školy, nemocnice, supermarkety apod. Z hlediska evakuace, plánování nouzového ubytování, stravování je nutné znát tyto významné objekty i s počty lidí shromážděných v těchto objektech a taktéž se k nim musí přistupovat při mimořádné události s větší pozorností nežli u ostatních objektů.

Bližší specifikace ohrožujících, či významných objektů se v zákonech o integrovaném systému, krizovém řízení, nebo požární ochraně nenachází, proto byly definice těchto dvou pojmů stanoveny na základě konzultací s Mgr. Kamilem Kořínkem, pracovníkem oddělení ochrany a přípravy obyvatelstva odboru ochrany obyvatelstva a krizového řízení Krajského ředitelství HZS Olomouckého kraje.

Jednotky požární ochrany (JPO)

Ze zákona č. 133/1985 Sb. vyplývá, že JPO je organizovaný systém tvořený odborně vyškolenými osobami, požární technikou a věcnými prostředky požární ochrany, který v případě vzniku mimořádných událostí by byl k plnění úkolů záchranných a likvidačních prací doplněn o další profesionální jednotky HZS (v zájmovém území HZS Pardubického kraje) a jednotky požární ochrany z okolních obcí v souladu s poplachovým plánem IZS (Integrovaného záchranného systému). Základním úkolem těchto jednotek je chránit životy a zdraví obyvatel a jejich majetku před požáry a poskytovat pomoc při mimořádných událostech. JPO se dle druhu jednotky a operační hodnoty (doba výjezdu, územní působnost, počet jednotek) dělí do šesti kategorií na JPO I až JPO VI. Každá z těchto kategorií má jiný význam JPO I – jednotka Hasičského záchranného sboru ČR, JPO V – jednotka požární ochrany sboru dobrovolných hasičů obce. Podrobnější informace o JPO v obcích Moravská Třebová a Linhartice jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10: Seznam JPO v Moravské Třebové a Linharticích (zdroj: HZS Pardubického kraje)

Název jednotky	Kategorie JPO	Nadřízená JPO	Zřizovatel	Adresa zřizovatele
Moravská Třebová	JPO II	Moravská Třebová	Město Moravská Třebová	T. G. Masaryka 29
Moravská Třebová - Boršov	JPO V	Moravská Třebová	Město Moravská Třebová	T. G. Masaryka 29
Moravská Třebová - Sušice	JPO V	Moravská Třebová	Město Moravská Třebová	T. G. Masaryka 29
Moravská Třebová - Udánky	JPO V	Moravská Třebová	Město Moravská Třebová	T. G. Masaryka 29
Linhartice	JPO V	Moravská Třebová	Obec Linhartice	Linhartice 134

4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

4.1 Hydrodynamické modelování v literatuře

Modelováním hydrologických procesů se v současné době zabývá řada odborníků. Většina z nich se však zabývá modelováním srážko-odtokovým, nežli hydrodynamickým. Pro tvorbu bakalářské práce byly prostudovány např. následující publikace popisující modelování protržení hrazení VD:

- Dam breach reconstruction of the Blažňov pond caused by extreme hydrological event, M. Šobr, 2008
- A Dam Break Analysis Using HEC-RAS, Y. Xiong, 2011

V těchto dílech jsou popsány metody a postupy řešení modelování protržení VD.

Dalšími publikacemi, které byly prostudovány, ale nesouvisí přímo s modelováním protržení hráze, jsou díla popisující hydraulické modelování a díla zabývající se modelováním v prostředí programu HEC-RAS, např.:

- Hydrologic and Hydraulic: modeling support with geographic information systems, D. Maidment, 2000
- Floodplain modeling using HEC-RAS, G. Dayhouse, 2003
- HEC-RAS River Analysis System User's Manual v. 4.1.0, G. W. Banner, 2010

Z českých autorů se okrajově této problematice hydrodynamického modelování věnuje RNDr. Michal Jeníček, Ph.D. z Karlovy Univerzity v Praze ve svém díle: Využití GIS v hydrologických a hydrodynamických modelech z roku 2007, dále pro lepší pochopení jednotlivých pojmů z oblasti hydrauliky bylo použito dílo: Hydraulika a hydrologie doc. Ing. Jana Jandory, Ph.D. z roku 2005.

Obdobnou problematikou se zabývaly Ing. Kateřina Casáková ze Stavební fakulty VUT v Brně ve své diplomové práci z roku 2004 na téma: Řešení zvláštní povodně pod VD Boskovice, kde se zabývá matematickým modelováním zvláštní povodně, a Bc. Lenka Čermáková z Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy Univerzity v Brně také v diplomové práci s názvem: Modelování n-letých průtoků vodního toku Dědiny pomocí softwaru HEC-RAS.

4.2 Extrémní hydrologické jevy

Mezi nejznámější extrémní hydrologické jevy patří povodně a zátopa, opakem a méně známým jevem je hydrologické sucho, které způsobuje pokles hladiny podzemní vody.

Dle zákona č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) je povodní přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda zaplaví území mimo koryto vodního toku a může tak způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda působí škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat (odtok je nedostatečný), případně dochází k zaplavení

území při soustředěném odtoku srážkových vod. Povodeň může být způsobena přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů (přírozená povodeň), nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havárii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).

Podle ČSN 75 0101 je povodňová vlna vlnou průtokovou s charakterem povodní a průtoková vlna znamená přechodné zvětšení a následný pokles průtoků a vodního stavu vyvolaný deště, táním sněhu nebo umělým zásahem.

Parametry zvláštních povodní

Zvláštní povodeň je definována jako povodeň způsobená umělými vlivy. To jsou situace, jež mohou nastat při stavbě nebo provozu vodohospodářských děl, která vzdouvají nebo mohou vzdouvat vodu zejména při (toto dělení vyplývá z díla Posudek bezpečnosti vodního díla za povodní, 2000):

- Narušení vzdouvacího prvku vodohospodářského díla (označení ZPV1).
- Porušení hradících bezpečnostních konstrukcí nebo výpustních zařízení vodohospodářských děl (označení ZPV2).
- Nouzové řešení kritických situací z hlediska bezpečnosti vodohospodářského díla (označení ZPV3).

Zvláštní povodně jsou často spojeny s výskytem povodní přirozených v daném území. Tato extrémní situace se nejčastěji týká zemních hrází malých nádrží a rybníků. Studie dle Middlebrooka (1953) ukazuje nejčastější příčiny částečného či úplného porušení zemních sypaných, či kamenitých hrází, kterými jsou: Přelití (30 %), vnitřní eroze (25 %), sesuv (15 %), netěsnost potrubních výpustí (13 %), úprava (dláždění) svahu (5 %), různá (7 %), neznámá (5 %).

V díle Posudek bezpečnosti vodního díla za povodní (2000) jsou k vodnímu dílu Moravská Třebová řešeny všechny možnosti způsobení zvláštní povodně. Jako první je řešeno narušení vzdouvacího prvku vodohospodářského díla (ZPV1), které může být způsobeno erozí hráze při jejím přelití. Do ZPV1 řadíme ještě zvláštní povodeň způsobenou vnitřní erozí hráze. Vnitřní eroze je řešena v 7 různých variantách (každá má počátek poruchy v různých výškách nádrže od 354,20 m n. m. po 357,20 m n. m.). Nejvyšší kulminační průtok ($Q_{ZPV1}=142,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) pod hrází má varianta poruchy vzniklé ve střední části hráze (357,20 m n. m.), což způsobí 100-letou povodeň.

Jako ZPV2 je uvažována porucha jedné spodní výpusti při jejím plném otevření, která způsobí zvláštní povodeň s kulminačním průtokem $Q_{ZPV2}=7,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, což je průtok menší než neškodný $Q_N=10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Dále jako ZPV2 se uvažuje náhlé vyhrazení bezpečnostního přelivu délky 15 m, což zapříčiní neškodnou zvláštní povodeň s průtokem $Q_{ZPV2}=8,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. V tomto díle je uvažována jako ZPV3 havarijní vypouštění plnou kapacitou obou spodních výpustí. Kulminační průtok bude $Q_{ZPV3}=15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a to je cca 10-letá voda. Při této poruše se již vyhláší II. stupeň povodňové aktivity.

4.3 Hydrologické modely

Model je zjednodušením skutečné reality. Reprezentuje určitý objekt nebo spojitý systém v prostoru a čase. Je to zmenšená realita, převedená do formy, kterou můžeme pochopit. Clarke (1973) chápe model v matematickém vyjádření jako algoritmus řešení soustavy rovnic, které popisují strukturu a chování systému.

Hydrologický model lze popsat jako matematický model srážko-odtokového procesu představující zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému (Daňhelka, 2003).

4.3.1 Klasifikace hydrologických modelů

Zjednodušeně lze hydrologické modely rozdělit na srážko-odtokové modely (s-o modely) a hydrodynamické modely (HD modely). S-o modely mají svou aplikaci v operativní hydrologii, kdy vstupními daty jsou mimo stavových veličin také okamžité údaje z radaru nebo meteorologických stanic. Oproti tomu HD modely slouží především pro dlouhodobé předpovědi, např. řešení protipovodňových opatření, řešení umístění technických staveb na vodním toku atd. Podrobnější klasifikací a vývojem hydrologických modelů se ve svých pracích zabývalo v minulosti mnoho autorů, např.: Beven (2001), Blöschl a Grayson (2002). Modely používané v hydrologii lze rozlišit mnoha způsoby, např. Daňhelka (2007) rozděluje modely dle prostorové diskretizace na:

- Celistvé modely (lumped modely) – parametry charakterizující dané povodí se vztahují k celému nebo dílčímu povodí (bodově měřené hodnoty jsou nejrůznějšími geostatistickými metodami převedeny na hodnoty plošné).
- Distribuované modely – uvažují prostorovou variabilitu vstupních parametrů, povodí je rozděleno na síť (grid) a každé políčko gridu má svou charakteristickou hodnotu parametru.
- Semi-distribuované modely – kombinace dvou výše uvedených modelů.

4.3.2 Modely rodiny HEC

HEC (The Hydrologic Engineering Center) bylo založeno v roce 1964 jako inženýrské centrum armády USA – US Army Corps of Engineers zabývající se hlavně vývojem hydrologických softwarů. Mezi nejznámější programy patří:

HEC-RAS

HEC-RAS (River Analysis System) je jednorozměrný hydrodynamický model umožňující řešení stromových i okružních sítí přirozených otevřených koryt včetně příčných a podélných objektů na toku, dále umožňuje výpočet nerovnoměrného proudění v korytě a to jak v ustáleném, tak v neustáleném režimu metodou po úsecích (Šobr, 2008). Pro výpočet proudění využívá HEC-RAS Saint-Venantových rovnic neustáleného

proudění. Dále lze v modelu nadefinovat odpory koryta na jednotlivých dílčích profilech, a proto mohou mít tyto profily proměnlivou drsnost. Toto je řešeno buďto Manningovým součinitelem drsnosti, nebo lze využít i parametr zrnitostního složení materiálu dna. HEC-RAS lze kombinovat s programem HEC-GeoRAS, který je extenzí (nástrojovým a aplikačním rozšířením) pro software ArcGIS, která umožňuje přípravu a následný export geodetických dat. HEC-RAS je nyní dostupný ve verzi 4.1 a jako všechen ostatní software HEC (The Hydrologic Engineering Center) je volně k dispozici na stránkách US Army Corps of Engineers (<http://www.hec.usace.army.mil/>).

HEC-HMS

HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) je jeden z nejvíce celosvětově rozšířených srážko-odtokových modelů. HEC-HMS je především celistvý (lumped) model. Tento program dokáže využívat mnoho metod používaných jak v hydrologii, tak v hydraulice. Obecně do srážko-odtokového modelu vstupuje několik základních faktorů, jinak tomu není ani u HEC-HMS. Do modelu mohou vstupovat srážky, jak dešťové, tak sněhové, ve formě časových řad, nebo plošného úhrnu těchto srážek, dále evapotranspirace a intercepce. Důležitým faktorem je povrchový a podpovrchový odtok z povodí, pro odtok v korytě jsou k výpočtům stejně jako u HEC-RAS využívány Saint-Venantovy rovnice. HEC-HMS obsahuje komponenty popisující jednotlivé procesy srážko-odtokového procesu: Meteorologický model (Meteorological Model), Model objemu odtoku (Runoff Volume Model), Model přímého odtoku (Direct Runoff Model), Model podzemního odtoku (Baseflow Model), Korytový model (Channel Model) a ostatní komponenty (model výpočtu nádrže, kanálu, odběru vody atd.) (Jeníček, 2007). HEC-HMS lze stejně jako HEC-RAS doplnit o extenzi HEC-GeoHMS sloužící k přípravě a exportu vstupních dat. Tento software má stejně jako ostatní programy HEC (Hydrologic Engineering Center) freeware licenci.

4.3.3 Ostatní modely

HYDROG – Sovina (2010) popisuje tento program jako srážko-odtokový distributivní model společnosti HySoft, který byl vyvinut k simulaci, operativní předpovědi a operativnímu řízení odtoku vody z daného povodí.

MIKE SHE – jeden z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších komerčních programů dánské firmy DHI. Jedná se o dynamický semi-distribučný srážko-odtokový model, který má širokou oblast uplatnění, využití pro analýzu, plánování a řízení v oblasti vodohospodářství a životního prostředí (Prucha, 2012).

MIKE 11 – světově nejrozšířenější komerční matematický jednorozměrný hydrodynamický model, jehož distributorem je taktéž firma DHI. Model umožňující simulaci proudění, kvality vody a pohybu splavenin v otevřených korytech, je vhodný při řešení protipovodňové ochrany, vývoje kvality vody a řízení vodohospodářských objektů (Prucha, 2012).

AquaLog – jedná o matematický semi-distributivní model vyvinutý společností AquaLogic Consulting, s.r.o.

Další modely: SMODERP (Simulační model povrchového odtoku a erozního procesu), INFIL/KINFIL (modely pro odhadování maximálního odtoku z povodí způsobené přívalovými dešti), LOREP (slouží k identifikaci a prostorové lokalizaci ploch s nízkou retencí)...

4.4 Modelování ustáleného a neustáleného proudění v korytě

Ustálené proudění je dle Jandory (2011) takové proudění, kdy jsou hydraulické veličiny (průtok, průřezová rychlost, průtočná plocha) v čase neměnné a závisí tedy pouze na poloze, dále blíže specifikuje rovnoměrné a nerovnoměrné proudění jako:

- **Rovnoměrné** - zvláštní případ ustáleného proudění, při kterém jsou průtočné řezy na celém úseku konstantní. Dále je i konstantní průtok, a proto jsou konstantní i průřezové rychlosti. Tento případ nastává při konstantním sklonu dna koryta, neměnných příčných profilech a drsnosti vedení. V reálném světě je tento jev málo pravděpodobný, ale v oblasti matematického modelování lze v některých případech tímto prouděním nahradit reálné nerovnoměrné proudění.
- **Nerovnoměrné** – proudění, u kterého jsou hydraulické veličiny konstantní v čase, ale průřezová rychlost a průtočná plocha se mění po délce proudu, což je dáno např.: proměnným sklonem dn, proměnných příčných profilech a drsnostech.

Ve většině softwarů zabývajících se hydrologickým modelováním ustáleného rovnoměrného, či nerovnoměrného proudění je tento jev metodicky řešen pomocí kombinací rovnic výpočtu rychlosti proudění (Chézyho, Manningovou, nebo Darcy-Weisbachovou rovnicí) spolu s rovnicí kontinuity.

Chézyho rovnice (vztah pro výpočet rychlosti vody v otevřeném korytě):

$$v = C \sqrt{R \cdot i}$$

kde: v - rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

R - hydraulický poloměr (m),

i - sklon čáry energie,

C - Chézyho rychlostní součinitel ($\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}$)

Manningova rovnice (empirický vztah pro výpočet rychlosti proudění v otevřeném korytě):

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i_0^{\frac{1}{2}}$$

kde: n - Manningův drsnostní součinitel ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3}$),

R - hydraulický poloměr (m),

i_0 - sklon dna

Tyto rovnice se musí kombinovat s rovnicí kontinuity vyjadřující průtok:

$$Q = v \cdot S$$

kde: Q - průtok (m^3s^{-1}),

v - rychlost (m.s^{-1}),

S - průtočná plocha (m^2)

Neustálené proudění – průtok se oproti ustálenému mění jak v čase, tak i v prostoru (Jandora, 2011). Rovnice popisující neustálené proudění se mění v závislosti na tom, zdali se jedná o hydrologické modely jednorozměrné, dvourozměrné, či třírozměrné (Daňhelka, 2007):

- Třírozměrné modely (3D) – modely ve 3D jsou obecně popsány tzv. Navier-Stokesovými rovnicemi, což je soustava 4 rovnic, z nichž je jedna rovnice rovnicí kontinuity a tři rovnice reprezentující 3 pohybové rovnice ve třech směrech os kartézského souřadného systému
- Dvourozměrné modely (2D) – popsáno pomocí Reynoldsových rovnic turbulentního proudění, kterou tvoří soustava tří rovnic, z toho dvou rovnic pohybových ve směrech x_1 a x_2 a rovnice kontinuity
- Jednorozměrné modely (1D) – popsáno pomocí Saint-Venantových rovnic

U 1D modelu, který byl použit i v rámci bakalářské práce, je výpočet založen na řešení dvou diferenciálních rovnic, tzv. Saint Venantových rovnic:

a) rovnice kontinuity, která je po úpravách použita ve tvaru:

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} - q = 0$$

kde: A - průřezová plocha (m^2),

t - čas (s),

Q - průtok ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$),

x - podélný rozměr (m),

q - boční přítok na jednotku délky ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

b) rovnice hybnosti vycházející z druhého Newtonova zákona je po úpravě použita ve tvaru:

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} \left(\beta \cdot \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\delta}{\delta x} (g \cdot y \cdot A) = (i_0 - i_E) + q \cdot v_p \cdot \cos \varphi$$

kde: A - průřezová plocha (m^2),

t - čas (s),

Q - průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

x - podélný rozměr (m),

q - boční přítok na jednotku délky ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$),

v_p - rychlost ve směru přítoku, který uzavírá se směrem toku úhel φ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

i_0 - sklon dna,

i_e - sklon čáry energie,

g - tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),

y - střední hloubka (m),

φ - úhel mezi hlavním směrem proudu a směrem přítoku ($^\circ$)

5 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ

V této kapitole jsou shrnuty veškeré použité programy, získaná data potřebná k následné modelaci povodňové vlny a stručný postup jednorozměrného modelování.

5.1 Použité programy

Software firmy ESRI resp. ESRI ArcGIS 10 s licencí ArcInfo, která pomocí sady nástrojů umožňuje pokročilé zpracovávání prostorových dat, tvorbu kartografických výstupů a řešení analytických úloh. Pro preprocessing prostorových dat byly použity extenze 3D Analyst Tools sloužící k modelování trojrozměrných povrchů a jejich následnou vizualizaci a Spatial Analyst Tools, který slouží taktéž k prostorovému modelování, ale i k analýze těchto prostorových dat.

HEC-GeoRAS 10 je extenze (nástrojové a aplikační rozšíření) softwaru ArcGIS umožňující zpracování prostorových dat se zaměřením na vodohospodářské využití. Extenze je zaměřena na preprocessing dat vstupujících do softwaru HEC-RAS a jejich následný export, který funguje i opačně, kdy výsledky kalkulací lze zpětně převést do aplikací GIS a následně je zvizualizovat. HEC-GeoRAS musí být použit v kompatibilní verzi v závislosti na softwaru ESRI (např.: HEC-GeoRAS 10 pro ArcGIS 10). HEC-GeoRAS je volně k dispozici na stránkách US Army Corps of Engineers (http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas_downloads.html).

HEC-RAS 4.1.0 (River Analysis System) je software řešící jednorozměrné hydraulické kalkulace proudění v síti přirozených koryt i umělých kanálů. Možnosti a metody, které používá software HEC-RAS jsou popsány v kapitole 3.3.2. Stejně jako HEC-GeoRAS je možné tento software volně stáhnout na stránkách US Army Corps of Engineers (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-download.html>).

5.2 Data

Mezi základní vstupní data, která byla použita k přípravě vrstev nutných pro vstup (viz Kap. 5.1) do modelovacího programu HEC-RAS k modelování povodňové vlny při destrukci VD Moravská Třebová a následnému posouzení dopadů, patří především vektorová data ve formátu ESRI shapefile. Jedná se o 2 mapové listy (14-34-20, 14-43-16) ZABAGED obsahující polohopisná data, u kterých přesnost odpovídá přesnosti Základní mapě České republiky 1:10 000 (ZM 10), což je 3-10 m (popis jednotlivých vrstev polohopisné části dat je v Příloze 1) a tytéž stejné mapové listy ZABAGED obsahující výškopisný grid 10×10 m, u kterých poslední aktualizace výškopisných bodů proběhla v roce 2010 u mapového listu 14-34-20 a mapového listu 14-43-16 v roce 2012, Přesnost výšky naměřených bodů výškopisného gridu je závislá na sklonu a členitosti terénu a dosahuje 0,7-1,5 m v odkrytém terénu, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném terénu. Tato data jsou na úrovni podrobnosti Základní mapy ČR 1:10 000. Výškopisný grid 10×10 m byl použit pro tvorbu DMT. Polohopisná i výškopisná data ZABAGED

byla poskytnuta Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním pouze pro účely této bakalářské práce. Výškopisná data sloužila k tvorbě DMR, resp. spolu s polohopisnou vrstvou budov, bloků budov ke tvorbě DSM. Ostatní vrstvy z polohopisné části ZABAGED sloužily ke kartografické vizualizaci.

K dalším datům použitým v této práci patří DIBAVOD v měřítku 1:10 000, jejímž poskytovatelem byl Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, konkrétně z této databáze byl použit polygon záplavového území stoleté vody, hydrologického členění – povodí IV. řádu a liniová vrstva vodních toků, všechny tyto vrstvy jsou taktéž ve formátu ESRI shapefile s polohovou přesností 5-10 m a poslední aktualizací těchto vrstev ze dne 22.2.2011. Všechny tyto vrstvy jdou volně stažitelné z databáze DIBAVOD ve formátu SHP (komprese ZIP) na stránkách Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka dostupných z: <http://www.dibavod.cz/27/struktura-dibavod.html>. Liniová vrstva vodních toků spolu s ortofotomapou CENIA sloužila k určení osy toku řeky Třebůvky, polygon záplavového území stoleté vody sloužil k predikci možné hranice záplavového území po úplné destrukci VD Moravská Třebová a polygon hydrologického členění posloužil pouze k vymezení a vizualizaci zájmového území.

ZABAGED i DIBAVOD jsou v souřadnicovém systému S-JTSK Krovak EastNorth. Kromě výše zmíněných dat byly použity ještě výkresy geodeticky zaměřených příčných profilů obsahující i mosty a jiné překážky na vodním toku Třebůvka poskytnutých státním podnikem Povodí Moravy pouze pro účely této bakalářské práce. Tyto výkresy, které byly použity ke zpřesnění koryta řeky Třebůvky (viz Kap. 5.2), jsou ve formátu DXF (Drawing Exchange Format) v měřítku 1:500, resp. 1:1000 a výškovém systému Balt p.v., konkrétně se jedná o čísla výkresu C.3.38 až C.3.51 a byly vytvořeny v dubnu 2003.

Dalšími daty poskytnutými státním podnikem Povodí Moravy pro účely této práce byly hodnoty průtoků ve formě tabulky. Tyto průtoky jsou predikovány pro poruchu VD Moravská Třebová s následným postupným a úplným protržením hrazení s počátkem sufoze ve výšce 357,20 m n. m. Tabulka obsahuje hodnoty celkového odtoku z nádrže, objemu odtéklé vody a vývoj hladiny v podhrází (viz Příloha 2). Lokace tohoto vývoje odtoku při destrukci hrazení VD Moravská Třebová je pro spodní výpusť tohoto vodního díla. Tato data byla použita jako horní okrajová podmínka při zadávání hydrologických dat neustáleného proudění (viz kap. 5.2).

5.3 Postup zpracování

Postup zpracování bakalářské práce lze shrnout do několika kroků:

1. Studium literatury

Před vlastním praktickým zpracováním bakalářské práce byla provedena literární rešerše na základě studia odborných pramenů (viz kap. 4.1)

2. Tvorba DMR se zahrnutím výšek budov v daném území do tohoto DMR

Pro tvorbu DMR byla použita metoda Delaunay triangulace, kdy uvnitř kružnice opsané libovolnému trojúhelníku neleží žádný jiný bod z dané množiny (více informací lze nalézt v literatuře např. Voženílek, 1998) nad datovou vrstvou z databáze ZABAGED výškopisný grid 10×10 m. Tento DMR byl doplněn o výšky objektů, které by mohly bránit rozlivu (např. budovy, bloky budov, válcové nádrže...).

3. Pre-processing geometrických dat koryta toku a záplavového území z DSM, které budou sloužit jako vstup do výpočtového 1D modelu HEC-RAS

4. Import vytvořených dat do HEC-RAS, jejich úprava, přidání dalších parametrů a následné spuštění výpočtu neustáleného proudění

HEC-RAS používá pro výpočet ustáleného proudění kombinaci Manningovy rovnice s rovnicí kontinuity a hybnosti (viz kap. 4.4), pro neustálené proudění používá tento software tzv. Saint-Venantovy rovnice (viz kap. 4.4).

5. Export výsledků výpočtu zpět z HEC-RAS do ArcGIS (HEC-GeoRAS) a vytvoření map záplavových území

Pro vizualizaci do map byly použity kartografické metody. Mimo mapy byly vytvořeny grafy a tabulky pro popis časových změn.

6 MODELOVÁNÍ PROTRŽENÍ HRÁZE VD MORAVSKÁ TŘEBOVÁ

V této kapitole je popsán postup při přípravě a předzpracování dat pro vstup do modelačního programu a následné zpracování dat při modelování povodňové vlny způsobené postupnou úplnou destrukcí VD Moravská Třebová.

6.1 Práce v programu ArcGIS 10

Tvorba DMR

Jako podklad při tvorbě DMR sloužil výškopisný grid 10×10 m ZABAGED, ze kterého byl vytvořen TIN pomocí funkce **3D Analyst Tools** → **TIN Management** → **Create TIN** v územním rozsahu obcí Moravská Třebová a Linhartice. Dále tento TIN byl převeden na raster o velikosti pixlu 1×1 m pomocí funkce **3D Analyst Tools** → **Conversion** → **From TIN** → **TIN to Raster**. Zprvu byl vytvořen TIN z toho důvodu, že DMR ve formě TINu lépe zachovává terénní hrany, což je v oblasti hydrologie velmi důležité. Pro následné analýzy však bylo lepší jej převést na raster o velikosti pixlu 1×1 m. Tato velikost pixlu byla zvolena kvůli pozdějšímu přičtení rastru s výškami staveb, kde bylo potřeba zachytit i menší stavby (např.: kůlny...), které nejsou tak rozlehlé.

Z polohopisných dat ZABAGED z vrstev BudovaBlokBudov.shp, KulnaSklenikFoliovník.shp, PrecerpavaciStaniceProduktovodu.shp, RozvodnaTransformovna.shp a ValcovaNadrzZasobnik.shp byla vytvořena nová polygonová vrstva ve stejném prostorovém rozsahu jako rastrový DMR. Jednotlivým kategoriím byl přiřazen výškový atribut na základě územních plánů jednotlivých obcí, dostupných na webových stránkách města Moravská Třebová (<http://www.mtrebova.cz/>) a obce Linhartice (<http://www.linhartice.cz/>), viz Tab. 11. Tam, kde se nenachází žádná stavba, byla polygonu přidělena výška 0. Tato polygonová vrstva byla poté převedena na raster o stejné velikosti pixlu jako DMR (1×1 m) pomocí funkce **Conversion Tools** → **To Raster** → **Polygon to Raster** na základě atributu *vyska*. Poté byl rastr staveb pomocí funkce **Spatial Analyst Tools** → **Math** → **Trigonometric** → **Plus** přičten k prvnímu rastru DMR vytvořenému pouze z výškových bodů gridu ZABAGED. S takto vytvořeným rastrem částečného digitálního modelu povrchu DSM lze přejít na přípravu ostatních dat vstupujících do programu HEC-RAS. Na Obr. 3 je zobrazen DMT a z něho vytvořený DSM. Při tvorbě DSM byl DMR navýšen pouze o stavby, jelikož se v daném území z vegetace, která by mohla ovlivnit rozliv, nachází pouze skupinky stromů, či keřů vyskytujících se podél části řeky Třebůvky, ale po konzultaci se zástupci Povodí Moravy s. p. byla tato vegetace vynechána u tvorby DSM, protože nemá při úplné destrukci hrazení VD Moravská Třebová téměř žádný vliv na následný rozliv.

Tab. 11: Kategorie staveb a k nim přiřazené výšky (zdroj údajů o výšce objektů – územní plán města Moravská Třebová a obec Linhartice)

Druh stavby	Výška [m]
Bez budov	0
Budova čistírny odpadních vod	5
Budova nemocnice	15
Budova průmyslového podniku	12
Budova skládky	4
Budova STŠ MO - ev. Středisko	18
Čerpací stanice	10
Kaple	10
Kostel	10
Kůlna, skleník, foliovník	3
Kulturní objekt	15
Obytný dům	20
Poštovní úřad	10
Přečerpávací stanice	3
Rodinný dům	6
Rozvodovna el. energie	4
Správní a soudní budova	12
Supermarket	7
Škola, školská zařízení	10
Tepelná elektrárna	4
Válcová nádrž	3



Obr. 3: Rozdíl mezi DTM (vlevo) a DSM (vpravo)

Preprocessing geometrických dat

Za pomoci extenze HEC-GeoRAS pro software ArcGIS v. 10 (viz Obr. 4) byly vytvořeny vrstvy dat, které následně vstupovaly do modelování v HEC-RAS. Je to především vrstva definující osu daného toku (Stream Centerline), dále vrstva definující břehy daného toku (Bank Lines), vrstva hranic definujících protékané oblasti (Flow Path Centerlines) a příčné profily (XS Cut Lines). HEC-GeoRAS umožňuje vytvoření i oblasti neefektivního proudění (Ineffective Flow Areas), mostů či propustků (Bridges/Culverts) a dalších vrstev, ale těchto možností nebylo využito. Nástroje pro zakreslení křivek

vymezujících osu toku, příčné profily, břehy toku a směry proudění vody lze nalézt v menu **RAS Geometry** → **Create RAS Layers** extenze GeoRas (Obr. 4).



Obr. 4: Extenze HEC-GeoRAS v uživatelském prostředí ArcGIS 10

Jako první je nutné zakreslit osu toku což je liniová vrstva, která vyznačuje střednici námi zvolené řeky. Pro vytvoření této vrstvy byl použit nástroj: **Ras Geometry** → **Create RAS Layers** → **Stream Centerline**, a následně do dialogového okna byl uveden název vrstvy pro zakreslení osy toku (zde: *River*). Osa toku na řece Třebůvce byla digitalizována ručně nad barevnou ortofotomapou České informační agentury životního prostředí CENIA s prostorovým rozlišením 50 cm připojenou pomocí WMS služby dostupné z Mapových služeb Portálu veřejné správy (MS PVS) na adrese: http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_rt_ortofotomapa_aktualni/mapserver/WMServer? a vrstvou vodních toků databáze DIBAVOD. Poslední aktualizace této ortofotomapy ve vymezeném území proběhla v roce 2008. Digitalizace probíhala v editačním režimu programu ArcMap v měřítku 1:100 až 1:200. Na řece Třebůvce byla osa toku digitalizována od říčního staničení 32.3750 (vzdálenost v km od ústí daného toku do jiného toku, nebo vodní plochy) po 38.0760. Na této ose toku je nutné přiřadit atributový název úseku Reach (zde: *pod VD*) a název toku River (zde: *Třebůvka*), dále atribut staničení daného toku FromStation (výše zmíněných: 32.3750), ToStation (výše zmíněných: 38.0760).

Dalším krokem, který není povinný, jelikož jej lze definovat přímo v programu HEC-RAS, je zakreslení břehových čar, což jsou linie tvořící hranici mezi korytem toku a inundačním územím. Pro jejich tvorbu byl vybrán nástroj: **Ras Geometry** → **Create RAS Layers** → **Bank Lines** a taktéž do dialogového okna byl zadán název vrstvy (zde: *Banks*). K zakreslení těchto břehů byla v editačním režimu obdobně jako u osy toku použita jako podklad k digitalizaci ortofotomapa CENIA připojená pomocí WMS služby. Břehovou linii nelze stanovit z těchto podkladů přesně, lze ji pouze odhadnout, dodatečná korekce (posun břehové linie) byla provedena v programu HEC-RAS.

Dále je nutné nadefinovat hranice protékanych oblastí, mezi tyto oblasti se řadí koryto daného toku a inundační území, což je odhadnuté zátopové území, které bude pravděpodobně zasaženo záplavovou vlnou při destrukci VD Moravská Třebová. Pro vytvoření vrstvy byl zvolen nástroj: **Ras Geometry** → **Create RAS Layers** → **Flow Path Centerlines** a tak jako u předešlých vrstev byl zadán název (zde: *Flowpaths*). Pokud je již zakreslena osa toku je možné ji nakopírovat jako jednu z os protékanych oblastí (koryto toku). Zde tedy byla použita již vytvořená vrstva *River*. Dále je nutné zakreslit v editačním režimu protékané oblasti na levém a pravém břehu, přičemž je nutné je zaklesovat ve směru toku řeky Třebůvky. Levá a pravá protékaná oblast byla zakreslena podle hranice záplavového území 100-leté povodně z databáze DIBAVOD rozšířené ještě o 2-160 metrů dle členitosti terénu a predikce možného zaplaveného

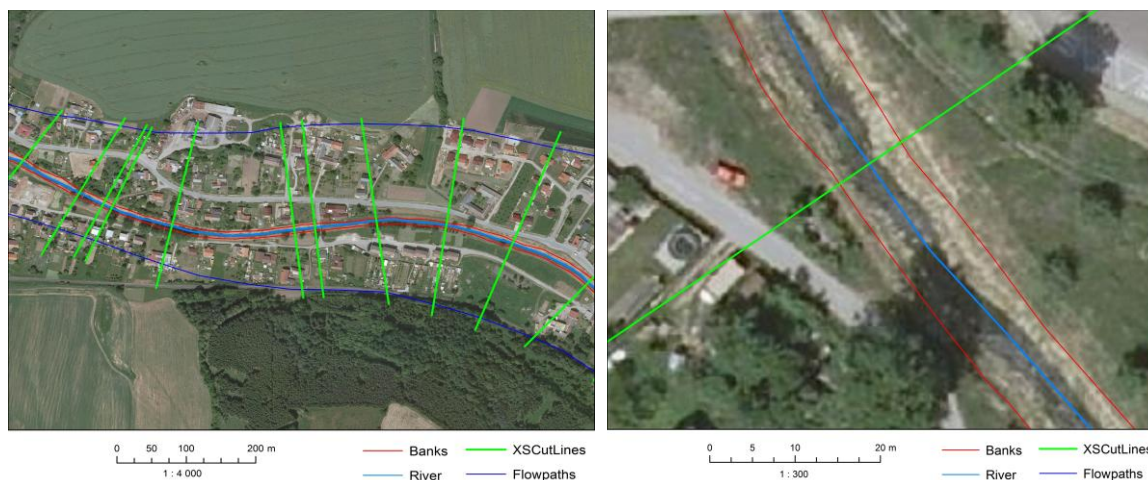
území. Tyto tři linie definují geometrické vlastnosti toku a je nutné jim přiřadit atribut o tom, zda se jedná o protékanou oblast v toku (*Channel*), na levém (*Left*), či pravém (*Right*) břehu.

Nezbytnou vrstvou v přípravě dat vstupujících do HEC-RAS jsou příčné profily daného toku, které jsou vytvořeny v prostředí nástroje: **Ras Geometry** → **Create RAS Layers** → **XS Cut Lines** s názvem vrstvy *XSCutLines*. Tyto linie se dají vytvořit ručně, nebo podle nastavených parametrů vzájemné konstantní vzdálenosti jednotlivých profilů a jejich šířky. V případě této bakalářské práce byly linie profilů vytvořeny ručně v editačním režimu, přesně ve staničení odpovídajícím příčným profilům získaným do Povodí Moravy, s.p. Ve zvoleném území na řece Třebůvce o délce toku necelých 6 km se nachází 67 těchto příčných řezů, jež definují koryto daného toku. Při vymezování linií příčných profilů bylo nutné dodržet několik pravidel:

- Příčné profily musí být zakresleny z levého břehu na pravý (zleva doprava po směru toku řeky)
- Příčné profily musí protínat všechny tři osy protékaných oblastí
- Příčné profily se nesmí vzájemně protínat (mohou být zalomeny)
- Příčné profily musí být kolmé ke směru proudění (kolmé k ose daného toku)

Díky těmto pravidlům (kolmosti k ose daného toku) a při dodržení staničení daného profilu bylo možné později v programu HEC-RAS zpřesnit koryto řeky Třebůvky získanými geodeticky naměřenými příčnými profily.

Po vytvoření výše uvedených vrstev (viz Obr. 5, 6) je nutné je převést do 3D zobrazení, kdy jsou z dříve vytvořeného DSM ve formě gridu extrahovány výškové poměry a z vrstev Stream Centerline, XS Cut Lines pomocí **Ras Geometry** → **Stream Centerlines Attributes** → **All**, respektive **Ras Geometry** → **XS Cut Line Attributes** → **All** jsou vytvořeny vrstvy Stream Centerline 3D, XS Cut Lines 3D, ve kterých je každý bod přesně definován polohou v trojrozměrném prostoru.



Obr. 5, 6: Vrstvy potřebné k vytvoření RAS GIS Import File na podkladu ortofotomapy CENIA
(Zdroj: <http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>)

Posledním krokem bylo vytvoření souboru s příponou *.RASimport.sdf pomocí nástroje **Ras Geometry** → **Export RAS data**, který má definovanou celou geometrii zvoleného toku a slouží pro import vytvořených dat do programu HEC-RAS.

6.2 Modelování v HEC-RAS

Po přípravě exportního souboru s koncovkou *.RASimport.sdf, který obsahuje vrstvy Stream Centerline 3D a XS Cut Lines 3D se práce v samotném modelačním programu HEC-RAS dá shrnout do několika kroků:

- Založení projektu v programu HEC-RAS
- Import dat vytvořených v softwaru ArcGIS (Hec-GeoRAS)
- Editace geometrických dat, popř. přidání dalších charakteristik daného toku (stavby na toku, informace o drsnosti koryta a inundačních oblastí)
- Zadání hydrologických dat
- Analýza a prezentace výsledků

Založení nového projektu

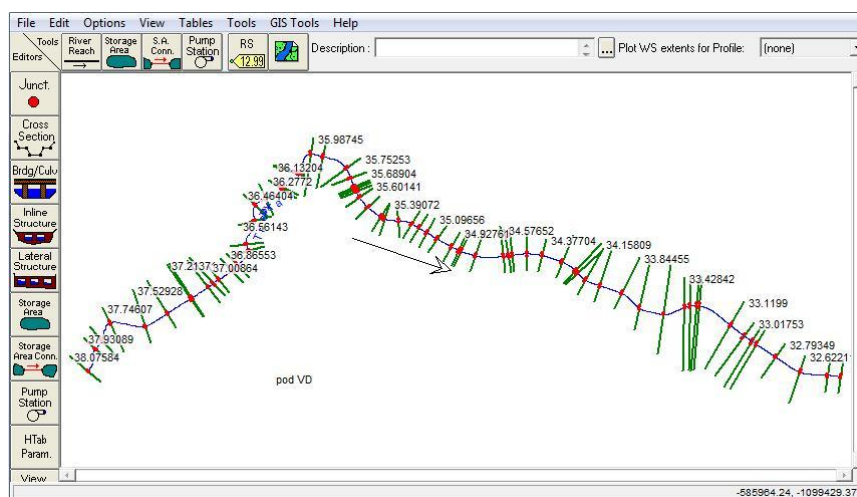
Ještě před založením nového projektu a jeho uložením je nezbytné změnit v ovládacích panelech OS Windows v sekci: *Místní a jazykové nastavení* oddělování desetinných míst číslic z čárky na tečku. Tak, jako všechny programy mají své výstupní soubory, HEC-RAS má projekty, které mají po uložení příponu *.prj. Další nezbytností je změna jednotkového systému z původního používaného v USA (US Customary) na systém metrický (System International, Metric System) volbou v uživatelském rozhraní: **Options** → **Unit system (US Customary/SI)**.

Import dat

Do programu HEC-RAS je možné importovat data v různých formátech z CAD, GIS a dalších programů zabývajících se hydrologickým modelováním. Lze importovat celou geometrii toku, nebo jen geometrii příčných profilů. Z tohoto hlediska je HEC-RAS široce kompatibilní s ostatními softwary. Import vytvořených dat pomocí extenze HEC-GeoRAS (geometrie řeky Třebůvky s příčnými profily) probíhal pomocí: **Edit/Enter geometric data**, v této sekci **File** → **Import Geometry Data** → **GIS Format ...** a dále jen najít vyexportovaný soubor z ArcGIS 10. Pro další editaci této geometrie je nutné ji uložit. Importovaná geometrie zvolené řeky Třebůvky ohraničené staničením 32.3750 až 38.0770 v prostředí HEC-RAS je na Obr. 7.

Editace geometrických dat

Všech 67 příčných profilů bylo upraveno podle geodeticky zaměřených příčných profilů koryta řeky Třebůvky. Dále byly doplněny mosty, kterých se nachází na tomto vodním toku 11. Geodeticky zaměřená data příčných profilů i s mosty byla získána od Povodí Moravy, s.p. a bližší specifikace těchto dat je uvedena v kapitole 4.2.



Obr. 7: Ukázka importované geometrie říčního toku v programu HEC-RAS

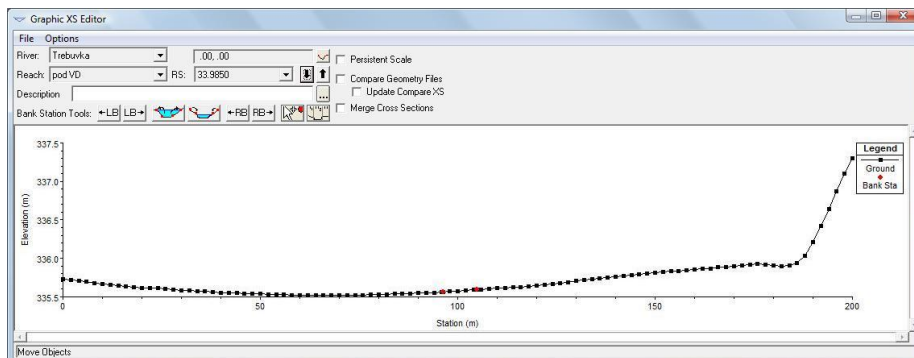
Editace příčných profilů

Přes okno **Geometric Data** je nutné spustit ikonou **Cross Section** editační rozhraní jednotlivých příčných profilů. Tyto příčné profily je možné měnit jak tabelárním způsobem (viz Obr. 8), tak grafickým. Editace tabelárním způsobem spočívá v zadání vzdálenosti od počátku daného profilu a nadmořské výšky v tomto bodě.

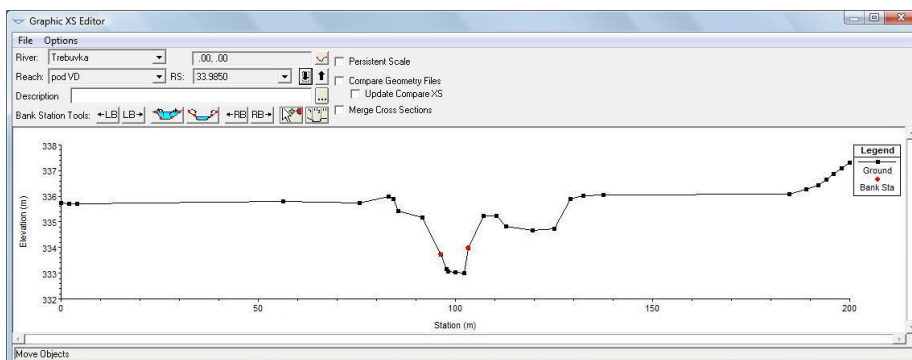
V této bakalářské práci bylo tabelárním způsobem upraveno koryto řeky Třebůvky na všech 67 příčných profilech dříve vytvořených v programu ArcGIS, extenzi HEC-GeoRAS. Tato úprava probíhala z důvodu zachycení přesného průběhu koryta podle jednotlivých geodeticky zaměřených příčných profilů. Tato editace byla nezbytná pro získání přesnějších a věrohodnějších výsledků po následujícím zadání hydrologických dat. Na Obr. 9 je zobrazen příčný profil 33.9850 před editací geometrie a na Obr. 10 po této editaci.

River:	Třebůvka	Apply Data			
Reach:	pod VD	River Sta.:	38.07584		
Description					
Del Row	Ins Row		Downstream Reach Lengths		
Cross Section Coordinates			LOB	Channel	ROB
	Station	Elevation	146.34	145.84	145.86
1	0	359.43	Manning's n Values		
2	3.64	359.03	LOB	Channel	ROB
3	32.3	356.12	0.035	0.03	0.035
4	36.15	355.93	Main Channel Bank Stations		
5	45.8	355.57	Left Bank	Right Bank	
6	76.84	354.89	138.67	146.11	
7	118.01	354.9	Cont'Exp Coefficient (Steady Flow)		
8	138.67	354.78	Contraction	Expansion	
9	141	353.46	0.1	0.3	
10	141.21	353.27			
11	142	353.16			
12	143.02	353.2			
13	146.11	354.8			
14	163.08	355.16			
15	181.05	355.29			
16	185.03	354.87			
17	187.85	353.08			

Obr. 8: Editace příčných profilů pomocí tabulkové metody



Obr. 9: Příčný profil staničení 33.9850 před editací geometrie



Obr. 10: Příčný profil staničení 33.9850 po editaci geometrie

Po této úpravě všech příčných profilů je ještě nutné zadat jednotlivým profilům tzv. součinitel drsnosti n (Manning's n Value) pro koryto, pravý i levý břeh, který se dá vypočítat vzorcem odporu v otevřených korytech (převzato: HEC-RAS v 4.1 Reference Manual, 2010):

$$n = \frac{1}{v} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

kde v je střední průřezová rychlost [m/s], R je hydraulický poloměr [m] a I je sklon čáry energie [-]. Jednodušším řešením, které bylo použito i v rámci zpracování bakalářské práce, je nalézt si v HEC-RAS v4.1 Reference Manual tabulku odporů pro dané druhy koryt, záplavových území i různých druhů materiálů. Obecně se hodnoty pro hlavní koryto pohybují od 0.025 až po 0.150 a pro okolní záplavové území od 0.025 po 0.200. Všechny hodnoty Manning's n Value jsou k nalezení ve výše zmíněném manuálu k softwaru HEC-RAS. Po konzultaci se zástupci státního podniku Povodí Moravy byly jednotlivým příčným profilům v oblasti koryta řeky Třebůvky přiřazeny hodnoty součinitele drsnosti v rozmezí od 0.032 po 0.050, což odpovídá korytu rovinného toku, kde nižší hodnoty znázorňují koryto bez peřejí, kamenů, nebo porostu, či plevele na dně. S narůstající hodnotou součinitele drsnosti těchto jevů v daném korytu narůstá. Pro

inundační území byly zvoleny hodnoty: 0.035, 0.060, 0.070, 0.100 a 0.200, kde hodnota 0.035 odpovídá hladkému povrchu (asfalt, beton, holá půda), 0.060 zástavbě s částečným výskytem hladkého povrchu, 0.070 městské či vesnické zástavbě, 0.100 obdělávané půdě s výskytem travního porostu, či jednotlivých keřů a stromů a 0.200 hustému porostu trav, keřů a stromů. Hodnoty, které byly použity při řešení bakalářské práce, jsou uvedeny v Příloze 2.

Editace mostů

Pro editaci mostů je nutné ikonou **Brdg/Culv** otevřít dialogové okno pro zvolení objektu, který chceme vložit, a dále v **Options** → **Add a Bridge and/or Culvert ...** je nutné zadat staničení daného mostu. Následně lze vytvořený most na daném staničení editovat pomocí výběru nástroje **Deck/Roadway** (Obr. 11). U všech mostů vyskytujících se ve vymezeném území byla doplňována vzdálenost od předešlého příčného profilu, šířka mostu, horní a spodní hrana daného mostu. Horní a spodní hrana byla definována jak pro začátek, tak i pro konec mostu (upstream, downstream). Dalším atributem, který je nutné zadat je hodnota součinitele přepadu (Weir Coef). Přepad vzniká postavením překážky po směru proudění daného toku (typickým příkladem přepadu jsou jezy). Na vymezeném úseku se žádné jezy nenachází, proto byla u všech mostů ponechána původní hodnota používaná softwarem HEC-RAS, a to součinitel přepadu (1.4). Zadané hodnoty 11 mostů vyskytujících se na řece Třebůvce jsou zobrazeny v Tab. 12. Data o jednotlivých mostech byla získána stejně jako příčné profily od Povodí Moravy, s.p.

Deck/Roadway Data Editor						
Distance		Width		Weir Coef		
25		6		1.4		
Clear		Del Row		Ins Row		Copy US to DS
Upstream			Downstream			
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	34.582	337.91	336.22	34.581	337.91	336.22
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

U.S. Embankment SS: 0 D.S. Embankment SS: 0

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:
 Weir Crest Shape
☒ Broad Crested
☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Obr. 11: Editace parametrů mostů

Tab. 12: Zadané hodnoty mostů

Staničení [km]	Vzdálenost (Distance) [m]	Šířka (Width) [m]	Upstream		Downstream	
			Horní hrana [m n. m.]	Spodní hrana [m n. m.]	Horní hrana [m n. m.]	Spodní hrana [m n. m.]
32.9630	53	13	337.01	334.58	337.01	334.58
34.1390	22	4	337.38	336.00	337.38	336.00
34.5820	25	6	337.91	336.22	337.91	336.22
35.6000	23	14	352.60	347.31	352.60	347.31
35.6330	55	10	347.46	342.45	347.46	342.45
36.1320	10	6	346.49	344.50	346.49	344.50
36.2650	14	8	347.35	344.90	347.35	344.90
36.7570	91	13	355.75	352.68	355.75	352.68
36.8660	48	13	358.18	355.05	358.18	355.05
37.0480	40	8	350.97	349.75	350.97	349.75
37.9810	95	15	357.96	357.02	357.96	357.02

Zadání dat ustáleného proudění

Pro modelování povodňové vlny, což je neustálené proudění, je nutné vytvořenou geometrii toku „naplnit“ daty ustáleného proudění, nad kterými bude probíhat výpočet neustáleného proudění. Ustálené proudění se zadává v uživatelském prostředí volbou **Edit → Steady Flow Data**. Zde je možné zadat do kolonky **Edit/Enter Number of Profiles** hodnotu pro kolik různých průtoků se má provést výpočet ustáleného proudění. Podle zadaného počtu je tedy potřeba tolikrát vyplnit hodnotu průtoku v m^3/s a navolit jeho horní a dolní okrajové podmínky. V HEC-RAS je možné oba druhy okrajových podmínek volit čtyřmi způsoby:

- Known W.S. (při zadaném průtoku známe výšku této hladiny v daném příčném profilu).
- Critical Depth (kritická hloubka v dolním profilu).
- Normal Depth (musíme znát sklon hladiny za předpokladu rovnoměrného proudění, na základě které bude vypočtena měrná křivka profilu).
- Rating Curve (zadávání známé závislosti výšky hladiny na měrné křivce).

V případě této bakalářské je postačující zadat pouze jeden průtok, konkrétně průtok vyskytující se při povodni v průměru jednou za 5 let (Q_5), který činí $11 \text{ m}^3/\text{s}$, z důvodu pouze naplnění geometrie hydrologickými daty, nad kterými bude probíhat výpočet neustáleného proudění. Po zadání těchto dvou parametrů je nutné navolit okrajové podmínky. Jako horní okrajová podmínka byla zvolena možnost **Known W.S.**, tzn. při průtoku $Q_5=11 \text{ m}^3/\text{s}$ je na prvním profilu pod VD Moravská Třebová se staničením 38.0760 výška hladiny 354,54 m n. m. Dolní okrajovou podmínkou byla zvolena možnost **Normal Depth**, kdy byl vypočten sklon hladiny na základě známé výšky hladiny, a to výšky 354,54 m n. m. na prvním profilu se staničením 38.0760 při průtoku Q_5 a výšky 333,23 m n. m. na posledním příčném profilu se staničením 32.4540 při

stejném průtoku. Vzdálenost těchto dvou profilů je 5,622 km. Z těchto parametrů po dosazení do vzorce

$$i = \frac{\text{rozdíel výšek bodů}}{\text{vzdálenost mezi body v ose toku}}$$

vyjde sklon hladiny 0,003790, ze které si následně software HEC-RAS vypočte měrnou křivku profilu. Tyto okrajové podmínky byly zvoleny z hlediska nejjednoduššího zadání a výpočtu vstupních parametrů.

Zadání neustáleného proudění

Parametry neustáleného proudění se zadávají v uživatelském prostředí volbou **Edit** → **Unsteady Flow Data**. Zadání neustáleného proudění probíhá stejně jako ustálené pomocí okrajových podmínek. Na prvním příčném profilu pomocí hydrografu, což je časová řada průtoku (**Flow Hydrograph**), výšek hladin (**Stage Hydrograph**), nebo obou veličin (**Stage/Flow Hydr.**). Této časové řadě se musí zadat interval (sekundy, minuty, hodiny), popř. přesné datum startu dané časové řady a k jednotlivým časům přiřadit danou hodnotu průtoku, resp. výšku hladiny (Obr. 12). Díky přesnému zadání data může simulace probíhat v reálném čase. Dolní okrajové podmínky lze zadat taktéž pomocí hydrografů, nebo výše zmíněných okrajových podmínek zmíněných při ustáleném proudění (**Normal Depth, Rating Curve**).

V této práci byla jako horní okrajová podmínka zvolena možnost **Flow Hydrograph** (časová řada průtoků) na prvním příčném profilu se staničením 38.0760. Časová řada průtoků, což je predikovaná časová řada průtoků při postupné úplné destrukci hráze VD Moravská Třebová, byla získána od státního podniku Povodí Moravy, a proto byla také po konzultaci se zástupci výše zmíněného státního podniku zvolena jako horní okrajová podmínka možnost **Flow Hydrograph**. Interval této časové řady byl stanoven na 3 min a počátek poruchy a následného rozpadání se hrazení byl stanoven na smyšlené datum 1. března 2012 v čase 8:00. Tato časová řada průtoků je ve formě tabulky součástí Přílohy 3. Dolní okrajovou podmínkou byla zvolena stejně jako u zadávání dat ustáleného proudění možnost **Normal Depth** s totožnou hodnotou sklonu hladiny.

Analýza

Program HEC-RAS umožňuje řešit proudění třemi různými způsoby, a to prouděním říčním (Subcritical), bystřinným (Supercritical) a smíšeným (Mixed). Třebůvka je sice řekou, ale při modelování povodňové vlny při destrukci VD Moravská Třebová bylo použito smíšeného proudění (**Mixed**), ve kterém se vlny na hladině při normálním průtoku mohou šířit i proti proudu. Výhodou programu HEC-RAS je, že před zahájením kteréhokoli způsobu analýzy je možné spustit kontrolu správnosti dat, která v případě chyby v zadávaných datech vypíše list chybných zadání, což usnadní a urychlí následnou opravu.

Flow Hydrograph

River: Trebuvka Reach: pod VD. RS: 38.07599

☐ Read from DSS before simulation

File:
 Path:

☒ Enter Table Data time interval: 3 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: Time:
☒ Fixed Start Time: Date: 01MAR2012 Time: 8:00

No. Ordinates: Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time	Flow
		(hours)	(m ³ /s)
3	01III2012 0806	00.06	48.01
4	01III2012 0809	00.09	48.42
5	01III2012 0812	00.12	48.76
6	01III2012 0815	00.15	49.05
7	01III2012 0818	00.18	49.29
8	01III2012 0821	00.21	49.5
9	01III2012 0824	00.24	50

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

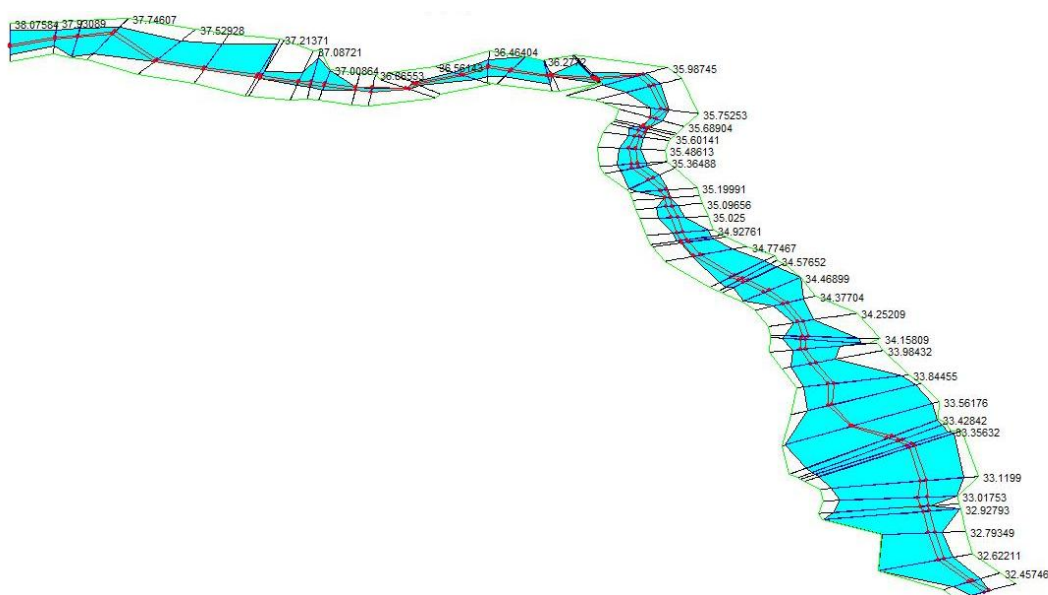
Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier:

Obr. 12: Zadávání neustáleného odtoku pomocí časové řady průtoků

6.3 Presentace výsledků

Výsledky lze prezentovat jak v grafické podobě ve formě jednotlivých příčných profilů, podélného profilu, či pohledu na celý řešený úsek (Obr. 13), tak v podobě tabulárních výstupů. HEC-RAS nabízí i aplikaci, která umožňuje jednotlivé grafické výsledky projíždět animacemi. Tento software nabízí mnoho možností prezentace daných výsledků, ale k dosažení přesnějších výsledků, tzn. vytvoření hranic rozlivu a výpočtu výšek hladin v daném území, je nutné data získaná z HEC-RAS vyhodnotit post-processingem znovu v prostředí GIS, resp. v ArcGIS 10, extenzi HEC-GeoRAS 10.



Obr. 13: Namodelovaná povodňová vlna v prostředí softwaru HEC-RAS

Post-processing v programu ArcGIS 10 (HEC-GeoRAS)

Prvním krokem byla konverze výsledkového souboru s koncovkou *.sdf uloženého softwarem HEC-RAS do formátu *.XML pomocí ikony **Import RAS SDF File** na panelu nástrojů extenze HEC-GeoRAS. Dále je nutné volbou **RAS Mapping → Layer Setup** nastavit název nového datového rámce vytvořeného v prostředí ArcMap, cestu k dříve vytvořenému DSM ve formě gridu, cestu k xml souboru a adresář do kterého se budou ukládat pozdější úpravy. Po tomto nastavení vrstev se v novém datovém rámci objeví vrstvy *River*, *XSCutLines*, *BoundingPolygon* (vytvořená vrstva softwarem HEC-RAS, která zobrazuje polygon maximálního rozlivu vypočítaného na jednotlivých profilech) a vrstvu *DSM*. Všechny tyto vrstvy jsou nezbytné k vytvoření rastrové *plochy hladiny*, která je nutná k vytvoření polygonu *hranic rozlivu* (ve vektorovém formátu), a k výpočtu *hloubek (výšky vody)* v zaplaveném území (v rastrovém formátu).

Plocha hladiny byla vytvořena volbou: **RAS Mapping → Inundation Mapping → Water Surface Generation**. Takto vznikne vrstva plochy hladiny ve formě TINu, ale jelikož je DSM grid musel být vytvořený TIN převeden opět na raster o velikosti pixlu stejném jako u DSM (1×1 m) pomocí funkce **3D Analyst Tools → Conversion → From TIN → TIN to Raster**. Poté byla vytvořena výše zmíněná vrstva rozlivu a hloubky pomocí: **RAS Mapping → Inundation Mapping → Floodplain Delineation Using Raster**. Takto vznikly dvě nové vrstvy. Vrstva obsahující vektorová data s polygony ohraničujícími záplavové území a rastrová vrstva s hodnotami hloubek vody v záplavovém území.

7 VÝSLEDKY

Hlavním výsledkem bakalářské práce je namodelovaná povodňová vlna způsobená postupnou úplnou destrukcí vodního díla Moravská Třebová, která je znázorněna jak pomocí mapových výstupů, tak pomocí parametrů uvedených v grafech a tabulkách. V této kapitole jsou shrnuty parametry této povodňové vlny a hodnocení zaplaveného území s navazujícími informacemi z oblasti ochrany obyvatelstva.

7.1 Parametry povodňové vlny

Při modelování povodňové vlny s postupným a úplným protržením hrazení s počátkem sufoze ve výšce 357,20 m n. m. byl stanoven počátek poruchy na smyšlené datum 1. 3. 2012 v čase 8:00 (viz kap. 6.2). Po zadání tohoto data vychází (z dat predikovaných průtoků poskytnutých Povodím Moravy s. p.) protržení hrazení vodního díla Moravská Třebová na 9:30, tedy 1 h a 30 min po začátku poruchy. Kulminační průtok při této poruše je u spodní výpusti tohoto VD $141 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Na profilech se staničením 37.5290, 36.3990, 35.6230 a 32.9380 (Obr. 14) je ukázán průběh namodelované povodňové vlny (kulminace, čas kulminace, doba zpoždění a hydrogram těchto příčných profilů). Tyto profily byly vybrány po konzultaci se zástupci Povodí Moravy s. p. na základě jejich polohy: 37.5290 (profil pod čerpací stanicí pohonných hmot v Moravské Třebové), 36.3990 (profil nad silničním mostem v Moravské Třebové), 35.6230 (profil nad křížením obchvatu pod Moravskou Třebovou) a 32.9380 (profil nad silničním mostem v Linharticích) a zvoleny jako dostatečně charakterizující tuto zvláštní povodeň.



Obr. 14: Lokace profilů se staničením 37.5290, 36.3990, 35.6230 a 32.9380

V Příloze 4 jsou zobrazeny tyto čtyři profily s časovou řadou vypočítaných průtoků programem HEC-RAS s krokem 5 min. Z této přílohy lze vyjádřit kulminaci, čas této kulminace, od začátku poruchy, resp. protržení hráze VD Moravská Třebová:

- Profil se staničením 37.5290:
 - Kulminace: $105,801 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
 - Čas kulminace: 9:55
 - Od začátku poruchy (8:00): 1 h 55 min
 - Od protržení hráze (9:30): 25 min
- Profil se staničením 36.3990:
 - Kulminace: $86,309 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
 - Čas kulminace: 10:35
 - Od začátku poruchy (8:00): 2 h 35 min
 - Od protržení hráze (9:30): 1 h 5 min
- Profil se staničením 35.6230:
 - Kulminace: $85,45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
 - Čas kulminace: 10:55
 - Od začátku poruchy (8:00): 2 h 55 min
 - Od protržení hráze (9:30): 1 h 25 min
- Profil se staničením 32.9380:
 - Kulminace: $75,484 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
 - Čas kulminace: 11:50
 - Od začátku poruchy (8:00): 3 h 50 min
 - Od protržení hráze (9:30): 2 h 20 min

K těmto výše zmíněným profilům byly vytvořeny i hydrogramy:

- Profil se staničením 37.5290 (Obr. 15):



Obr. 15: Hydrograf profilu se staničením 37.5290

- Profil se staničením 36.3990 (Obr. 16):



Obr. 16: Hydrograf profilu se staničením 36.3990

- Profil se staničením 35.6230 (Obr. 17):



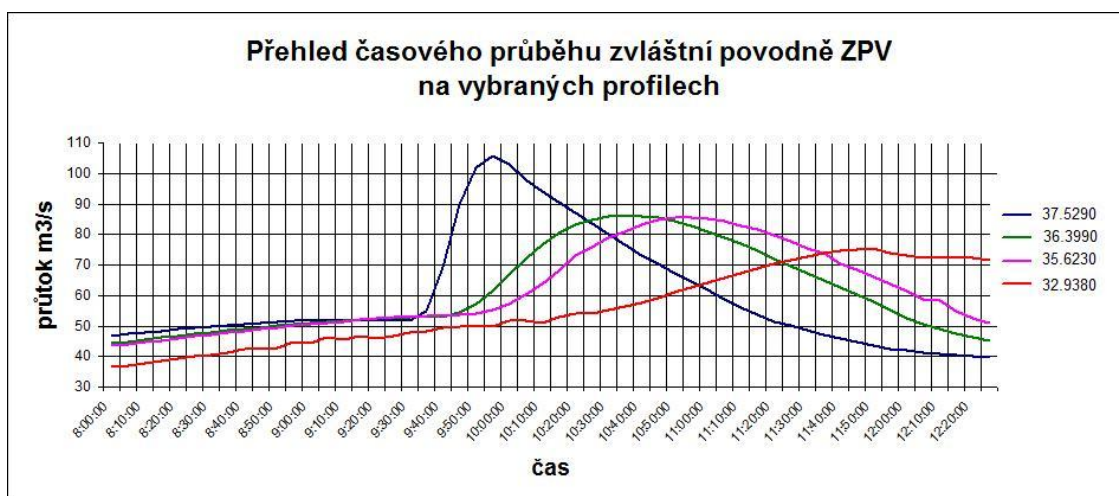
Obr. 17: Hydrograf profilu se staničením 35.6230

- Profil se staničením 32.9380 (Obr. 18):



Obr. 18: Hydrograf profilu se staničením 32.9380

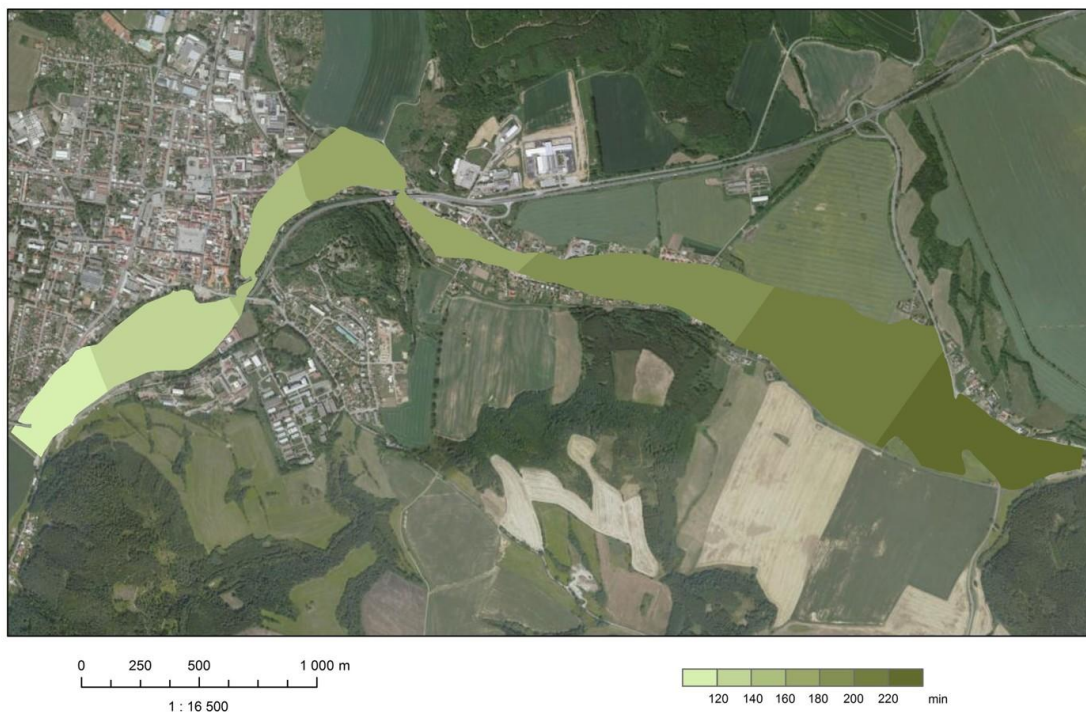
- Přehled časového průběhu ZPV na čtyřech vybraných profilech (Obr. 19):



Obr. 19: Hydrograf výše zmíněných

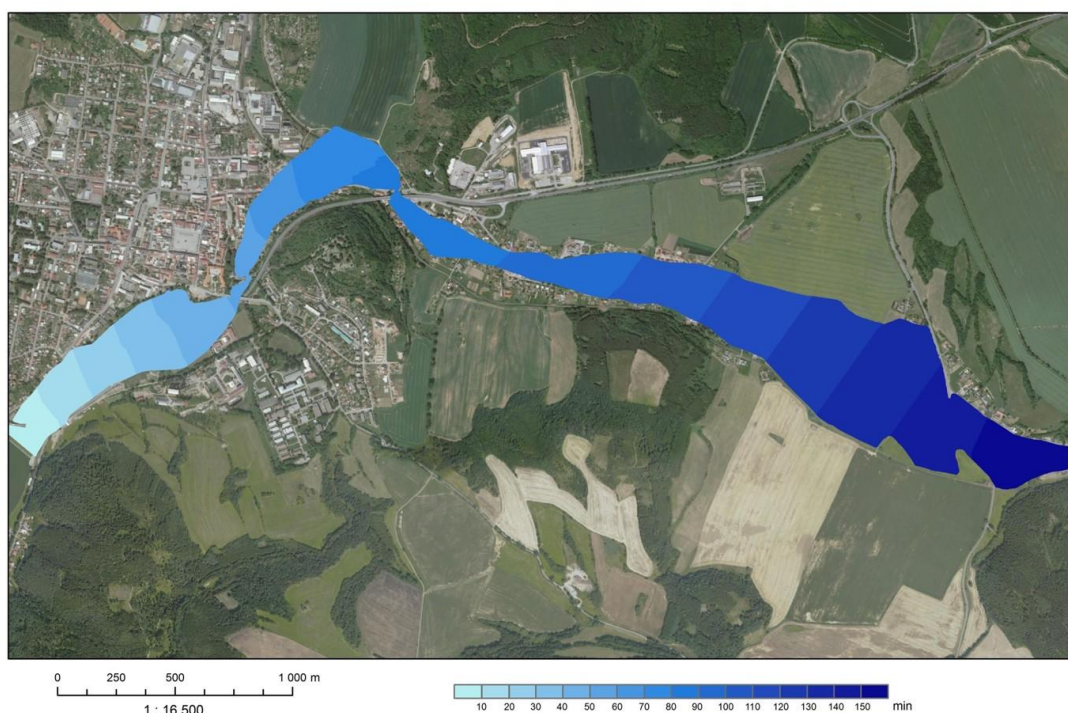
Z tabulek časové řady průtoků a hydrogramů jednotlivých příčných profilů lze vytvořit mapy zpoždění kulminačních průtoků od počátku poruchy (Obr. 20) VD Moravská Třebová, které je stanoveno na 1. 3. 2012, 8:00, nebo zpoždění těchto kulminačních průtoků od protržení hrazení (Obr. 21) tohoto vodního díla, které je stanoveno na 9:30.

Časové zpoždění kulminačního průtoku od počátku poruchy VD Moravská Třebová



Obr. 20: Časové zpoždění kulminačního průtoku v minutách od začátku poruchy VD Moravská Třebová

Časové zpoždění kulminačního průtoku od protržení VD Moravská Třebová

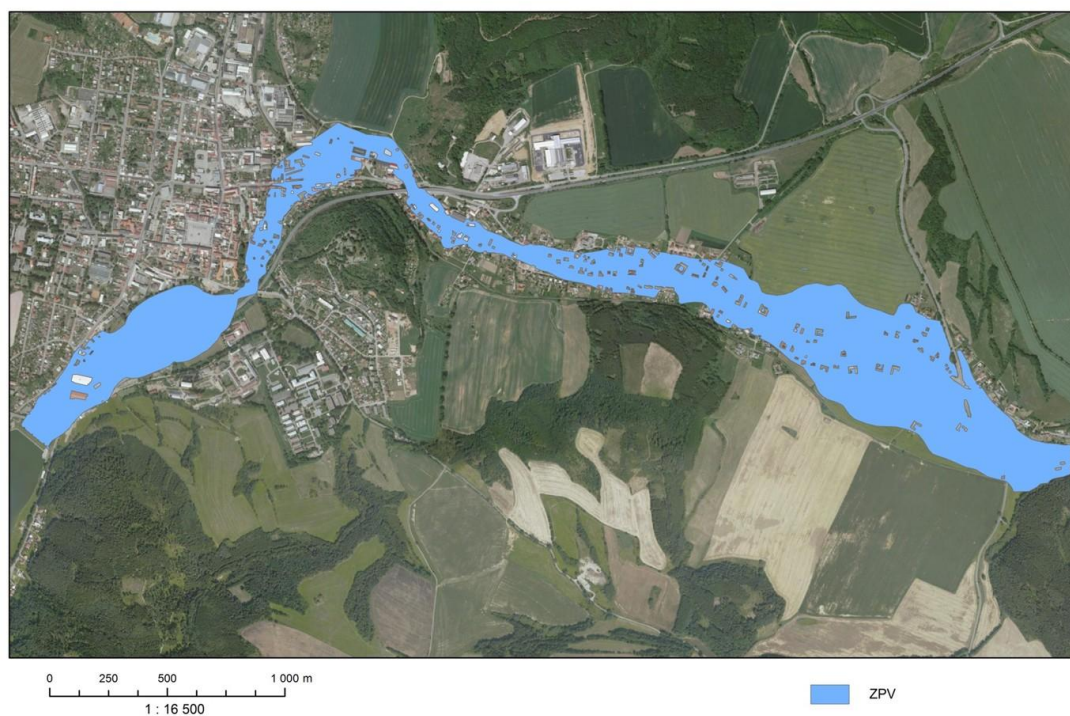


Obr. 21: Časové zpoždění kulminačního průtoku v minutách od protržení VD Moravská Třebová

Z jednotlivých grafů průběhu a map časového zpoždění kulminačních průtoků je vidět, že se vzrůstající vzdáleností od VD Moravská Třebová se snižuje kulminační průtok. Dále tento průtok nastává později s nárůstem této vzdálenosti a také pomaleji se tato voda vylitá z břehů vrací zpět do koryta řeky, např.: na profilu se staničením 37.5290, který se nachází pod čerpací stanicí v Moravské Třebové, dochází ke kulminaci v 9:55, tj. 1h a 55 min po zjištění poruchy na daném VD, kde před poruchou se průtok pohyboval na tomto profilu kolem hodnoty $47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a zpět k těmto hodnotám se vrátil kolem 11:45, tj. necelé dvě hodiny od kulminačního průtoku. Z toho vyplývá, že opadnutí zvláštní povodně dále od vodního díla, např.: v Linharticích, či dalších obcích nacházejících se na vodním toku Třebůvka, může trvat i několik desítek hodin, ale kulminační průtok už nebude mít takovou rychlost, tudíž dopad na tyto obce bude menší nežli obce blízké vodnímu dílu.

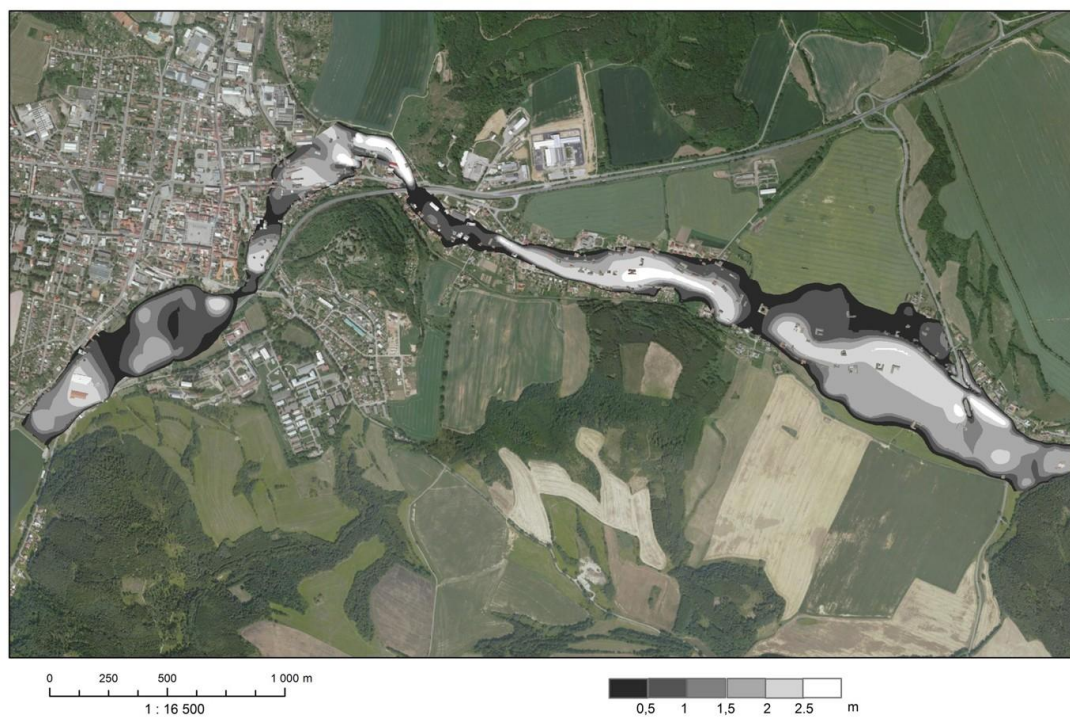
Jak již bylo popsáno v kap. 6.3, byl také vytvořen ke znázornění této povodňové vlny polygon znázorňující záplavové území (Obr. 22) při kulminačním průtoku na jednotlivých profilech (tzn. maximální možné zaplavené území) a také rastrová data s hodnotami hloubek vody v záplavovém území (Obr. 23). Pomocí těchto dvou vrstev probíhalo následné hodnocení zaplavených obcí Moravská Třebová a Linhartice.

Zaplavené území při destrukci VD Moravská Třebová



Obr. 22: Záplavové území ZPV způsobené destrukcí VD Moravská Třebová

Výšky hladiny při kulminačních průtocích



Obr. 23: Výška hladiny nad povrchem při kulminaci po destrukci VD Moravská Třebová

7.2 Hodnocení zaplavené oblasti

Při zvláštní povodni způsobené destrukcí vodního díla Moravská Třebová bude zaplaveno v katastrálním území Moravská Třebová a Linhartice asi 1,062 km² (106,20 ha) plochy. Zastoupení jednotlivých druhů využití půdy v katastrálním území Moravská Třebová a Linhartice při zvláštní povodni způsobené destrukcí vodního díla dle rozlohy v zaplaveném území (analýza probíhala nad daty ZABAGED®):

- Trvalý travní porost.....42,22 ha
- Zahrady.....24,03 ha
- Orná půda.....15,62 ha
- Ostatní plocha v sídlech.....10,79 ha
- Průmyslové areály.....3,72 ha
- Okrasné zahrady a parky.....2,00 ha
- Ostatní plocha (vodní plocha, skládky, hřiště.....).....7,82 ha

Vymezené záplavové území při destrukci vodní nádrže Moravská Třebová s jednotlivými druhy využití půdy v katastrálním území Moravská Třebová a Linhartice je zobrazeno v Příloze 5.

7.2.1 Objekty v záplavovém území

V katastrálním území Moravská Třebová leží v záplavové oblasti zvláštní povodně způsobené destrukcí vodního díla 95 budov (bloků budov) z celkového počtu asi 2000 budov či bloků budov, což není ani 5 % těchto objektů. V katastrálním území Linhartice je tento podíl mnohem větší. Zde leží v záplavové oblasti z celkového počtu 244 budov (bloků budov) celých 119 těchto objektů. Podíl těchto objektů v záplavovém území je necelých 49 %. Z celkového počtu zaplavených objektů je 14 průmyslových. Všechny tyto průmyslové objekty se nacházejí na pomezí obou katastrálních území, kde se rozkládá centrum lehké a střední průmyslové výroby.

Ve městě Moravská Třebová se v záplavovém území nachází ulice Anenské údolí, Brněnská, Dvorní, Gorazdova, Horní, Jateční, Jevíčská, Mlýnská, Nové Sady, Olomoucká, Piaristická, Rybní a Vodní, což jsou dohromady ulice o délce 2,62 km. V Tab. 13 jsou uvedeny všechny zaplavené ulice v Moravské Třebové s celkovou délkou ulice a délkami těchto ulic v jednotlivých výškách hladin.

Na těchto ulicích se z významných objektů nachází pouze obchodní dům Lidl, a to v blízkosti hráze vodního díla, na ulici Brněnská, který bude zaplaven i s přilehlým parkovištěm, na kterém se nejvyšší dosažená výška bude pohybovat kolem 2 m. Dále bude zaplaveno víceúčelové sportovní hřiště na ulici Jevíčská.

Tab. 13: Délky ulic k jednotlivým výškám hladin v Moravské Třebové

Ulice	Délka v zaplaveném území [m]	Délka ulic [m] v jednotlivých výškách hladin [m]				
		0,5 a méně	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5
Anenské údolí	67,8	67,8	0	0	0	0
Brněnská	474,5	96	50,5	103	225	0
Dvorní	257,6	8,1	159	22,8	62,4	4,7
Gorazdova	140,6	22	38,6	21,9	35,1	23
Horní	178,6	38	23,1	12,5	105	0
Jateční	269,6	0	0	109,6	160	0
Jevíčská	138,5	46,1	73	7,7	11,7	0
Mlýnská	101,3	10,2	27,3	17,4	46,4	0
Nové Sady	56,8	38,7	18,1	0	0	0
Olomoucká	392,1	73,7	41,2	21,6	112,3	143,3
Piaristická	259,3	56,6	48,9	22,3	67,5	64
Rybní	90,4	0	28,4	14,9	47,1	0
Vodní	187,6	34,3	27,1	27,5	74,1	24,6

V obci Linhartice nemají ulice názvy, ale v záplavovém území se nalézají 6,14 km těchto ulic. V procentuálním zastoupení k jednotlivým kulminačním výškám: 2 % (2,5 m a více), 21,1 % (2-2,5 m), 19 % (1,5-2 m), 9 % (1-1,5 m), 29,8 % (0,5-1 m) a 20,1 % (0-0,5 m). V záplavovém území se na adrese Linhartice 116 nachází i základní a mateřská škola, což je velmi významný objekt z hlediska případné evakuace obyvatelstva, u kterého bude nejvyšší dosažená výška hladiny 1,5 m. Stejně jako ve městě Moravská Třebová se také v zaplavené oblasti nachází sportovní fotbalové hřiště.

V této bakalářské práci jsou odlišeny ulice a komunikace z důvodu lepší přehlednosti komunikační sítě, a také z důvodu, že na některých důležitých ulicích v hodnocených obcích Moravská Třebová a Linhartice se nenachází silniční síť.

Ohrožující objekty v záplavovém území

Na katastrálním území Moravská Třebová se nachází několik těchto objektů. Na adrese Jateční 1522/7 se nachází skládka odpadů. Na stejné ulici se nachází i rozvodna elektrické energie. Oba objekty budou při kulminační vlně zaplaveny do výšky 1 až 2 m. Mezi nejdůležitější ohrožující objekty (viz Kap. 3.3) patří čerpací stanice. V Moravské Třebové se v blízkosti hráze stejnojmenného vodního díla nalézají hned tři čerpací stanice pohonných hmot nebo zkapalněného ropného plynu, z toho dvě přímo v záplavové zóně zvláštní povodně. Podrobné informace o těchto ohrožujících objektech v podobě čerpacích stanic jsou zobrazeny v Tab. 14.

V katastrálním území Linhartice se nachází v záplavovém území, na adrese Linhartice 106, také čistírna odpadních vod se dvěma usazovacími nádržemi, na které bude kulminační hladina dosahovat výšky 1,5-2 m.

Tab. 14: Ohrožující objekty s možností technologické havárie – požár, exploze, destrukce (zdroj: HZS Pardubického kraje) doplněné o informaci udávající výšku kulminační hladiny (zdroj: autor)

Objekt	Obec	Ulice	Č.p.	Ohrožující faktor	Množství	Výška kulminační hladiny [m]
Čerpací stanice OMV ČR s.r.o.	Moravská Třebová	Dvorní	20	PHM (pohonné hmoty)	100 t	1,5-2
Čerpací stanice ORALL	Moravská Třebová	Dvorní	13	PHM (pohonné hmoty)	23 t	0-0,5
Čerpací stanice ORALL	Moravská Třebová	Dvorní	13	LPG (zkapalněný ropný plyn)	2,5 t	0-0,5

7.2.2 Komunikace

Komunikace jsou velmi důležitou složkou dopravní infrastruktury. Zaplaveným územím neprochází žádná dálnice či rychlostní komunikace. Nejvýznamnější tah, který bude v obci Moravská Třebová částečně neprůjezdný, je silnice 1. třídy číslo 35. Tato silnice vede z hraničního přechodu Hrádek nad Nisou přes Liberec, Turnov, Jičín, Litomyšl, Moravskou Třebovou, Mohelnici, Olomouc, Valašské Meziříčí až po Makov, hraniční přechod se Slovenskou republikou. Délka této komunikace je 333,1 km, z čehož je 52,6 km rychlostních. Na území Moravské Třebové je zaplavením ohroženo 1169,21 m této komunikace 1.

Ze silnic 2. třídy budou zaplaveny silnice číslo 368 a 371 a z komunikací 3. třídy silnice číslo 3711 a 38625. Dále bude neprůjezdný kruhový objezd spojující silnici 1. třídy číslo 35 a silnici 2. třídy číslo 368, kde výška kulminační vlny bude dosahovat 1,5 m, další výšky kulminační vlny k délce jednotlivých komunikací jsou uvedeny v Tab. 15. V záplavovém území bude se také nalézat mnoho udržovaných i neudržovaných cest místního významu. Délky jednotlivých komunikací dle třídy silnice ohrožené zaplavením spolu s intenzitou dopravy na těchto tazích (vycházející z celostátního sčítání dopravy ŘSD - Ředitelství silnic a dálnic ČR z roku 2010) jsou uvedeny v Tab. 16.

Tab. 15: Délka zaplavených silnic k výškám kulminačních hladin

Třída silnice	Číslo silnice	Délka silnice [m] v jednotlivých výškách hladin [m]				
		0,5 a méně	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5
1.	35	224,8	348,9	98,3	414,2	83
2.	371	57	39	93,3	137,6	63,1
2.	368	70,39	52,3	64	164,7	0
3.	3711	630	614,3	415	359,5	580,5
3.	36825	25,2	50,9	0	0	0

Tab. 16: Délky silnic v území ohrožené zaplavením dle třídy a intenzity dopravy (zdroj údajů o intenzitě dopravy: Sčítání dopravy 2010 dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>)

Třída silnice	Číslo silnice	Intenzita dopravy [vozů/24h]	Délka zaplaveného úseku [m]
1.	35	10208	1169,21
2.	371	1464	389,95
2.	368	6453	351,39
3.	3711	2688	2599,25
3.	36825	nehodnoceno	76,08

Intenzita dopravy je důležitá z hlediska krizového řízení, kdy na základě této intenzity budou plánované objízdné trasy pro jednotlivé komunikace.

Katastrálním územím Moravská Třebová a Linhartice prochází jedna jednokolejová železniční trať s číselným označením 262 spojující Mladějov na Moravě a Chornici, ze které bude zaplaveno necelých 569 m (300 m v obci Linhartice a 269 ve městě Moravská Třebová) této tratě. Tato trať bude neprůjezdná, protože výška hladiny při kulminaci bude dosahovat až 2 m na některých částech této železniční komunikace.

7.2.3 Ochrana obyvatelstva

Varování obyvatelstva

Varování obyvatelstva bude probíhat dle postupů a prostředků uvedených v Kap. 3.1. Konfliktem v této oblasti je fakt, že se místo obsluhy obecního rozhlasu pro obec Linhartice, čímž je obecní úřad, nachází v záplavové oblasti, kde při kulminačním průtoku bude výška vody dosahovat až 1,5 m.

Evakuace obyvatelstva

Evakuace obyvatelstva patří k hlavním preventivním opatřením při hrozící popř. probíhající zvláštní povodni. Po konzultaci se zástupci Hasičského záchranného sboru a po analýze rozsahu zvláštní povodně se došlo k závěru, že při protržení vodního díla Moravská Třebová je nutné evakuovat z města Moravská Třebová přibližně 50 osob z celkového počtu asi 11 000 obyvatel a přibližně 60 osob žijících v Linharticích z celkového počtu 633 osob. Tyto osoby jsou evakuovány převážně z rodinných domů nacházejících se v blízkosti vodního toku Třebůvka. Data o počtu obyvatel nebylo možné získat na úrovni budov, nebo ulic (kolik obyvatel se vztahuje k číslu popisnému), protože tato data vede pouze Český statistický úřad a zákonem je svázán o jejich neposkytování. K těmto datům mají přístup pouze důležité složky státní správy. Z tohoto důvodu nelze tento počet obyvatel v bakalářské práci metodicky podložit, a proto je stanoven pouze celkově. Tento počet byl poskytnut HZS Pardubického kraje po konzultaci výsledných parametrů namodelované povodňové vlny způsobené postupnou úplnou destrukcí vodní nádrže Moravská Třebová.

Evakuované obyvatelstvo, které nevyužije vlastních prostředků dopravy a ubytování u příbuzných, či známých v nezaplavené oblasti, bude sváženo do evakuačního střediska v Moravské Třebové (viz Tab. 8) po evakuačních trasách silnic a místních komunikací, které se nenacházejí v záplavové oblasti.

Výsledky bakalářské práce byly předloženy zástupcům HZS Olomouckého kraje a mohly by být zapracovány do povodňových plánů HZS a zobrazeny na jejich informačních systémech (mapových serverech). Dále by výsledky mohli sloužit ke krizovému řízení zasažených obcí Moravská Třebová a Linhartice, nebo mohou být zapracovány do krizového plánu kraje. Grafické výsledky mohou být využity státním podnikem Povodí Moravy, jelikož dosud nemají k této zvláštní povodni zpracované žádné mapové výstupy

8 DISKUZE

Hlavním cílem bakalářské práce bylo namodelování povodňové vlny při destrukci vybrané vodní nádrže pomocí modelu HEC-HMS. Původní zadání softwaru pro zpracování bakalářské práce nebylo možné použít, protože tento model slouží pouze k modelování přímého povrchového odtoku, který se vytváří přepočtem srážkových dat. Pro zpracování bakalářské práce byl tedy použit vhodnější model HEC-RAS patřící mezi hydrodynamické modely.

Jedinou nevýhodou softwaru HEC-RAS je nutnost poměrně velmi přesných vstupních dat. Jelikož byla geometrická data použita z výškopisných dat ZABAGED®, která jsou rozmístěná ve čtvercové síti s krokem 10 m, není možné přesně zachytit geometrické vlastnosti koryta řeky. Proto byla tato data doplněna geodeticky zaměřenými příčnými profily daného koryta. Na zvoleném úseku je jich státním podnikem Povodí Moravy zaměřeno 67 spolu s 11 dalšími mosty. Ideální by bylo těchto příčných profilů mít více, ale měření vlastních příčných profilů na řece Třebůvka bylo zamítnuto kvůli velké časové náročnosti a získání přesného DSM nebylo možné.

Software HEC-RAS disponuje mnohem širšími možnostmi výpočtů a nastavení než bylo využito při řešení této bakalářské práce. Např. možnost řešení stromových říčních sítí, která by mohla zpřesnit namodelovanou záplavovou vlnu hlavně v obci Linhartice, nad kterou ústí do řeky Třebůvky levostranný přítok (Kunčický potok), ale pro tento tok nejsou na Povodí Moravy, s.p. dostupné příčné profily a přesná hydrologická data, bez nichž nelze spustit výpočet. Dále má tento program také široký rozsah možností nastavení při umisťování staveb (mostů, jezů...) na daném toku, u kterých lze zadat přesné umístění a rozměry mostních pilířů, materiál ze kterého jsou vyrobeny a mnoho dalších parametrů. Při získání těchto dat by bylo možné zpřesnit výsledek modelování povodňové vlny způsobené destrukcí VD Moravská Třebová.

Při řešení bakalářské práce byla zadávána vždy jen horní okrajová podmínka (při ustáleném i neustáleném proudění), která byla získána od státního podniku povodí Moravy, ale dolní okrajová podmínka byla pouze vypočítána na základě známých parametrů. Při modelování neustáleného proudění by bylo ideální, kdyby horní i spodní okrajová podmínka byla časová řada průtoků, což by lépe vystihlo průběh modelované povodně.

Výpočet výšky hladiny nad povrchem při kulminaci byl také stanoven z vytvořeného DSM z výškopisných dat ZABAGED® doplněných o výšky budov. Tato data, jak již bylo výše uvedeno, jsou zaměřena ve čtvercové síti 10×10 m, čímž se naskytuje nejasnost průběhu skutečných výšek mezi zaměřenými body.

K dílčím pracím také patřilo stanovení počtu obyvatel potřebných k evakuaci. Tato data nebylo možné získat na úrovni domů, či ulic, jelikož je vlastní pouze Český statistický úřad a zákonem je svázán o jejich neposkytování. K těmto datům mají přístup pouze důležité složky státní správy.

9 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo namodelování povodňové vlny při destrukci vybrané vodní nádrže a její zobrazení v mapě s následným hodnocením zaplaveného území spolu s informacemi z oblasti ochrany obyvatelstva. K dílčím cílům patřilo získání a příprava dat, popř. informací potřebných pro naplnění hydrodynamického modelu HEC-RAS.

V první, teoretické části se bakalářská práce zabývá ochranou obyvatelstva, extrémními hydrologickými jevy se zaměřením na zvláštní povodeň, hydrologickými modely s jejich rozdělením a možnostmi modelování ustáleného a neustáleného proudění v korytě. Ve druhé části, té praktické se práce věnuje přípravě dat pro modelování povodňové vlny při destrukci vybrané vodní nádrže, kterou byla po konzultaci se zástupci státního podniku Povodí Moravy a HZS Olomouckého a Pardubického kraje zvolena vodní nádrž Moravská Třebová a následně samotné modelaci v hydrodynamickém 1D softwaru HEC-RAS. Tento software řeší geometrii toku metodou po úsecích a neustálené proudění v korytě pomocí Saint-Venantových rovnic. Po namodelování povodňové vlny se práce zabývá hodnocením zaplaveného území ve městě Moravská Třebová a obci Linhartice spolu s hodnocením z hlediska ochrany obyvatelstva ve zmíněném městě a obci.

Hlavním výsledkem této práce je tedy namodelovaná povodňová vlna způsobená postupnou úplnou destrukcí vodního díla Moravská Třebová spolu s parametry (kulminace, hydrogramy...) charakterizující tuto povodňovou vlnu, které jsou poukázány na vybraných příčných profilech pomocí výše zmíněných hydrogramů, času kulminace od začátku poruchy a protržení VD Moravská Třebová a časové řadě průtoků. Na základě tohoto modelování vznikla vektorová vrstva ohraničující záplavové území a rastrová vrstva obsahující data s hodnotami hloubek vody v záplavovém území.

Dalším výsledkem je vyhodnocení zaplavené oblasti z hlediska využití půdy v daném území, uliční sítě spolu s hloubkami vody na jednotlivých ulicích ve městě Moravská Třebová a obci Linhartice a také byl na základě vrstvy záplavového území stanoven počet zaplavených budov, či bloků budov a průmyslových objektů. Dále byla hodnocena komunikační síť, ze které bude ve vymezeném území zaplaveno více než 4,5 km silnic I. II. a III. třídy a více než 500 m železniční tratě číslo 262. K těmto silnicím a železnici byla také určena výška hladiny při kulminačním průtoku způsobeném úplnou destrukcí VD Moravská Třebová. Území je také zhodnoceno z hlediska ochrany obyvatelstva, přičemž z významných objektů se v záplavovém území nachází Základní a mateřská škola Linhartice a obchodní dům Lidl Moravská Třebová a z ohrožujících objektů např. dvě čerpací stanice, skládka odpadu a rozvodna elektrické energie ve městě Moravská Třebová a v obci Linhartice čistírna odpadních vod. Pro záplavovou oblast byl taktéž stanoven počet obyvatel potřebných k evakuaci.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Publikace

- BECKER, A. a SERBAN, P. *Hydrological models for water – resources system design and operation. Operational Hydrology Report No. 34.* Geneva, WMO, 1990.
- BEVEN, K. J. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer.* Chichester: John Wiley & Sons, 2001, 360 s.
- BLÖSCHL, G., a GRAYSON, R. *Flächendetaillierte Niederschlag-Abfluss Modellierung.* In: *Weiner Mitteilungen.* Wien: Technische Universität Wien, 2002.
- BRUNNER, G. W. *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual Version 4.1.* Davis: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 2010.
- CASÁKOVÁ, K. *Juniorstav 2005: 7. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí : sborník : Brno, 2.2.2005. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2005. 216 s. ISBN 80-214-2830-9. Diplomová práce. VUT Brno.*
- CLARKE, R.T. *Mathematical models in hydrology: Irrigation and Drainage paper No. 19.* Rome: FAO, 1973.
- ČERMÁKOVÁ, L. *Modelování n-letých průtoků vodního toku Dědiny pomocí softwaru HEC-RAS.* Brno, 2011, 74 s.
- DAŇHELKA, J. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 80-866-9048-2.*
- DAŇHELKA, J. *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Vyd. 1. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2003, 196 s. ISBN 80-866-9003-2.*
- DEMEK, J. a kolektiv. *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny.* Brno: Academia, 1987. 584 s.
- DYHOUSE, G., J. HATCHETT a J. BENN. *Floodplain modeling using HEC-RAS.* 1st ed. Waterbury, CT: Haestad Press, c2003, 696 s. ISBN 09-714-1410-6.
- JANDORA, J. V. STARA a M. STARÝ. *Hydraulika a hydrologie.* Brno: CERM, 2011, 186 s. ISBN 978-80-7204-739-0.
- JENÍČEK, M., NĚMEČKOVÁ, S. (2007): Využití GIS v hydrologických a hydrodynamických modelech. In: *Extrémní hydrologické jevy v povodích. Sborník příspěvků z Workshopy Adolfa Patery 2007 13.11.2007.* Praha a Bratislava, s. 89-98. ISBN 978-80-01-03960-1.
- KLIMÁNEK, M. *Digitální modely terénu. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006, 85 s. ISBN 978-80-7157-982-32008.*
- KOL. AUTORŮ: *Hydrologické poměry ČSSR: díl I.-III. 1 vyd., Praha, Hydrometeorologický ústav, 1965 – 1970.*
- MAIDMENT, D. *Hydrologic and Hydraulic: modeling support with geographic information systems.* 1st ed. Redlands, Calif.: ESRI Press, 2000. ISBN 18-791-0280-3.
- MIDDLEBROOK, T. A. *Earth Dam Practice in the United States, ASCE 118, 1953, 697-722 s*

- *Posudek bezpečnosti vodního díla za povodí - vodní dílo Moravská Třebová: Parametry zvláštních povodní.* Brno, 2000.
- PRUCHA, R. H. *Development and Application of an Integrated Hydrologic Model.* Anchorage: The Wilderness Society, 2012.
- *Průběh zvláštní povodně v Třebůvce pod VD Moravská Třebová.* Brno, 2011.
- SOVINA, J. *Simulační modelování vodohospodářských soustav.* Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování, 2010, 101 s. ISBN 978-80-213-2044-4.
- ŠOBR, M., JENÍČEK, M., VOČADLOVÁ, K. (2008): Dam breach reconstruction of the Blažňov pond caused by extreme hydrological event. *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, 43 (1-2), 105-114.
- XIONG, Y. A Dam Break Analysis Using HEC-RAS. *Journal of Water Resource and Protection*. 2011, roč. 03, č. 06, s. 370-379. ISSN 1945-3094. DOI: 10.4236/jwarp.2011.36047.
- VOŽENÍLEK, V.: *Diplomové práce z geoinformatiky.* Olomouc, Vydavatelství Univerzity Palackého, 2002, 61 s. ISBN 80-244-0469-9.
- VOŽENÍLEK, V. *Geografické informační systémy.* 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1998, 173 s. ISBN 80-706-7802-X.

Internetové zdroje

- Ministerstvo vnitra. *Výkladový slovník krizového řízení a obrany státu* | archiv stránek mvcr.cz [online]. 2005 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/udalosti/slovník/index_odbor_info.html
- *Hydrologic Engineering Center: Home Page* [online]. 2011 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/>

Zákony a normy

- ZÁKON O INTEGROVANÉM ZÁCHRANNÉM SYSTÉMU A ZMĚNĚ NĚKTERÝCH ZÁKONŮ. In: 239/2000 Sb. 2000. Dostupné z: www.hzscr.cz/soubor/239-2000-pdf.aspx
- ZÁKON O VODÁCH A O ZMĚNĚ NĚKTERÝCH ZÁKONŮ (VODNÍ ZÁKON). In: 254/2001 Sb. 2001. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-254-2001-sb-o-vodach-a-o-zmene-nekterych-zakonu-vodni-zakon>
- ZÁKON O POŽÁRNÍ OCHRANĚ A SOUVISEJÍCÍ PŘEDPISY. In: 133/1985 Sb. 1985. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-133-1985-sb-a-souvisejici-predpisy>
- ČSN 75 0101. *Vodní hospodářství: Základní terminologie.* Hradec Králové: TECHNOR, 2003

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1: Lokalizace zájmového území s vymezením hranic povodí IV. stupně	10
Obr. 2: VD Moravská Třebová	13
Obr. 3: Rozdíl mezi DTM a DSM	30
Obr. 4: Extenze HEC-GeoRAS v uživatelském prostředí ArcGIS 10	31
Obr. 5, 6: Vrstvy potřebné k vytvoření RAS GIS Import File	32
Obr. 7: Ukázka importované geometrie říčního toku v programu HEC-RAS	34
Obr. 8: Editace příčných profilů pomocí tabulkové metody	34
Obr. 9: Příčný profil staničení 33.9850 před editací geometrie	35
Obr. 10: Příčný profil staničení 33.9850 po editaci geometrie	35
Obr. 11: Editace parametrů mostů	36
Obr. 12: Zadávání neustáleného odtoku pomocí časové řady průtoků	39
Obr. 13: Namodelovaná povodňová vlna v prostředí softwaru HEC-RAS	39
Obr. 14: Lokace profilů se staničením 37.5290, 36.3990, 35.6230 a 32.9380	41
Obr. 15: Hydrograf profilu se staničením 37.5290	42
Obr. 16: Hydrograf profilu se staničením 36.3990	43
Obr. 17: Hydrograf profilu se staničením 35.6230	43
Obr. 18: Hydrograf profilu se staničením 32.9380	43
Obr. 19: Hydrograf výše zmíněných.....	44
Obr. 20: Časové zpoždění kulminačního průtoku od začátku poruchy VD Moravská Třebová	44
Obr. 21: Časové zpoždění kulminačního průtoku od protržení VD Moravská Třebová	45
Obr. 22: Záplavové území ZPV způsobené destrukcí VD Moravská Třebová.....	46
Obr. 23: Výška hladiny nad povrchem při kulminaci po destrukci VD Moravská Třebová.....	46

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Hydrologická charakteristika vodních toků v zájmovém území.....	11
Tab. 2: Charakteristické hydrologické údaje zájmového území	11
Tab. 3: Charakteristické hydrologické údaje zájmového území	12
Tab. 4: Průměrný celkový průtok a extrémní průtoky na vodoměrné stanici Loštice	12
Tab. 5: Parametry VD Moravská Třebová.....	14
Tab. 6: Podrobné informace o siréně v Moravské Třebové.....	15
Tab. 7: Podrobné informace o rozhlasech v Moravské Třebové a Linharticích	16
Tab. 8: Evakuační střediska pro Moravskou Třebovou a Linhartice	16
Tab. 9: Podrobné informace o zdravotním centru v Moravské Třebové	17
Tab. 10: Seznam JPO v Moravské Třebové a Linharticích	18
Tab. 11: Kategorie staveb a k nim přiřazené výšky	30
Tab. 12: Zadané hodnoty mostů	37
Tab. 14: Ohrožující objekty s možností technologické havárie – požár, exploze, destrukce.....	49
Tab. 15: Délka zaplavených silnic k výškám kulminačních hladin.....	49
Tab. 16: Délky silnic v území ohrožené zaplavením dle třídy a intenzity dopravy	50

SUMMARY

The construction and operation of hydraulic structures is connected with a danger of a partial or total damage of the barrier, which can lead to the destruction of the structure and thus cause unusual flooding. Nowadays, it is not possible to eliminate those catastrophes; nevertheless, with the help of the current programmes used for modelling those extreme hydrological structures, it is possible to determine the magnitude of the unusual flood and thus establish the size of the area, which will be affected.

The goal of this thesis was to make a model of a flood wave after the destruction of a chosen reservoir. The first part of the thesis contains the description of extreme hydrological occurrences, with the focus on the unusual flood and hydrological models, which are further divided and the most famous ones are described. The next part consists of the preparation of data in the ArcGIS programme, extension HEC-geoRAS, for modelling flood waves after the destruction of a chosen reservoir, which is the Moravská Třebová reservoir. The software was changed, in respect to the assignment of this thesis, from the precipitation-drainage model HEC-HMS to the hydrodynamic model HEC – RAS, which was chosen for being more suitable for this particular kind of modelling and for its free availability. In the following part, the process of modelling on this hydrodynamic model is described, as well as the methods and parameters used. The thesis was created with the help of the national company Povodí Moravy and HZS of the Olomouc and Pardubice region.

The main result of this bachelor thesis is the modelled flood wave caused by the destruction of the Moravská Třebová reservoir, with the unusual flood area determined and followed by the evaluation of the flooded area with the respect to the protection of the inhabitants. This evaluation takes into consideration the town of Moravská Třebová and the Linhartice village. Other results are maps showing the flooded area, the different uses for the flooded soil, the flooding of important or dangerous objects, roads, streets and other information about the protection of the inhabitants.

The results of the bachelor thesis will be used as a reference for the flood plans of the HZS and will be shown on their information servers (map servers). Moreover, the results could also serve in the emergency control of the affected towns of Moravská Třebová and Linhartice, or they can be used in the region's emergency plan. The graphic results can be used by the national company Povodí Moravy, because they do not have any maps created for this unusual flood yet.