

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Václav Kohout

Modelování záplavových území na dolním úseku Kocáby s využitím GIS

Diplomová práce

Praha 2006

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lenka Uhlířová

Prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci s názvem „Modelování záplavových území na dolním úseku Kocáby s využitím GIS“ jsem vypracoval samostatně. Použité literární zdroje a prameny uvádím v příloženém seznamu literatury a pramenů.

V Praze, dne 1. září 2006

.....
Václav Kohout

Děkuji Ing. Lence Uhlířové za vedení diplomové práce, cenné rady a připomínky. Dále děkuji svým blízkým, kteří mě při vypracování práce podporovali.

Obsah

	str.
1. Úvod	7
2. Cíl diplomové práce	8
3. Úvod do problematiky	10
3.1. Rešerše literatury	12
3.2. Vybrané klíčové pojmy	17
4. Kocába a její povodí	20
4.1. Geomorfologie	21
4.2. Geologie	22
4.3. Podnebí	23
4.4. Půdy	24
4.5. Biogeografie a krajina	24
4.6. Hydrografie a hydrologie	26
4.7. Člověk a Kocába	29
4.8. Modelovaná oblast	31
5. Metodika	34
6. Postup práce	37
6.1. Data využitá v práci	37
6.2. Stručný popis postupu a využití softwaru	38
6.2.1. Výměnné soubory ArcGIS <-> HEC – RAS	38
6.3. Úprava vstupních dat a tvorba geodatabáze (Personal Geodatabase)	41
6.4. Příprava dat na výpočet a provedení výpočtu	47
6.5. Zpracování výsledků výpočtu a tvorba map	51
7. Výsledky práce	53
8. Diskuze	56
9. Závěr	60
10. Seznam literatury a pramenů	62
10.1. Literatura	62
10.2. Elektronické prameny	66
10.3. Ostatní prameny	66
11. Seznam zkratk	68
12. Seznam tabulek, grafů a map	69

13. Seznam příloh	70
13.1. Vázané přílohy	70
13.2. Přílohy na DVD	70
14. Abstrakt	72
15. Abstract	73

1. Úvod

Mapování záplavových území a modelování povodní je velmi zajímavou problematikou. Činnost člověka vždy souvisela s vodou a vodními toky. Člověk se naučil toky využívat k nejrůznějším účelům a v současnosti je na nich značně závislý. Extrémní jevy na tocích, jako jsou období sucha nebo povodně, způsobují lidstvu velké škody. To vše vede k neustále se zvyšujícímu zájmu o studium vodních toků a extrémních jevů na nich. Tento zájem byl v České republice ještě umocněn několika velmi rozsáhlými a ničivými povodněmi na našem území v posledním desetiletí.

Škody způsobené povodněmi mohou být obrovské a snaha těmto škodám předcházet a zabránit je přirozená. K tomu je potřeba toky a jevy probíhající v nich vědecky popsat a pochopit. Jedním ze základů studia vodních toků je znalost záplavových území. Rozsah záplavových území i hloubka vody v nich se mění podle množství protékající vody. Vědět, jak vypadají záplavová území při různých průtocích (n – letých povodních), je velmi užitečné. Jednou z metod, jak určit záplavové území, je jejich modelování. Proces tvorby modelů je složitý a často je nutné přijmout určitá zjednodušení. Výsledky modelování ovlivňuje velké množství faktorů a vždy obsahují nějaké nepřesnosti. Cílem je tyto nepřesnosti minimalizovat a přiblížit se co nejvíce k reálnému stavu. K vytváření povodňových modelů lze velmi úspěšně využívat informační technologie. V současnosti se modelování pomocí informačních technologií velmi dynamicky rozvíjí a je předmětem vědeckého studia.

2. Cíl diplomové práce

Základním cílem práce je vytvoření čtyř modelů různě intenzivních povodní na dolním toku říčky Kocáby. Hodnoty průtoků (m^3/s) v jednotlivých modelech budou odpovídat průtokům při pětileté, desetileté, padesátileté a stoleté povodni. Pro každý z nich bude vytvořen samostatný model. Výsledkem modelování budou informace o prostorovém rozsahu záplavových území a o hloubkových poměrech v těchto záplavových územích. Tyto informace budou zpracovány do podoby map. Základním výsledkem bude tedy soubor map obsahující čtyři mapy záplavových území a čtyři mapy hloubkových poměrů v záplavových územích. V zadání práce je uveden ještě další dílčí cíl – prostorové rozložení rychlostí proudění. Tento dílčí cíl byl opuštěn, protože dosud nebyla uvolněna nová verze používaného softwaru, která by tvorbu prostorového rozložení rychlostí proudění podporovala.

Důležitou součástí práce bude rovněž porovnání prostorového rozsahu vymodelovaných záplavových území s podklady dostupnými pro danou oblast. Tím lze ověřit kvalitu výsledků a také jak jsou pro tento účel vhodná využitá data, použité metody a postupy zpracování. Je však třeba brát v úvahu, že podklady vytvořené v minulosti nemusí odrážet současný stav. Na toku a v jeho okolí se mohly odehrát změny přímo ovlivňující rozsah a průběh povodně. Takovými podstatnými změnami mohou být například úpravy koryta toku, výstavba vodních staveb jako jsou stupně, jezy, mosty apod. a důležitým faktorem jsou i změny land use. V místech těchto změn pak lze při porovnání očekávat větší odchylky.

Vytvořené mapy by měly podávat kvalitní celkovou představu o rozsahu zaplaveného území během povodně. Výsledky by měly být použitelné například při rozhodování o rozsahu evakuace před příchodem povodně.

Snahou bude dosáhnout takto přesných výsledků s využitím relativně dobře dostupných dat a softwarového vybavení tak, aby náklady na pořízení modelů nebyly vysoké. Právě náklady limitují vznik povodňových modelů například pro menší města či sdružení obcí. Základním datovým vstupem budou data (polohopis i výškopis) ze Základní báze geografických dat (ZABAGED). Výškopis ZABAGED je tvořen plánem vrstevnic s intervalem dva metry, v rovinných částech s intervalem jeden metr. Je otázkou, zda je to dostatečné pro účely modelu. Základní hypotézou této práce je, že data ZABAGED jsou pro účely tohoto modelování vhodná (tedy včetně intervalu vrstevnic) a že vytvořené modely budou dobře odpovídat skutečnému stavu při jednotlivých průtocích. Pořízení dat ZABAGED je z hlediska nákladů jistě výhodné v porovnání s případným velmi rozsáhlým měřením a

mapováním v terénu. Hydraulické výpočty budou prováděny ve zdarma distribuovaném softwaru HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System). Samotné zpracování dat i výstupů bude prováděno v prostředí geografického informačního systému (GIS). Propojení GIS a softwaru pro hydraulické výpočty bude uskutečněno pomocí nadstaveb GIS šířených rovněž zdarma a výměnných souborů.

3. Úvod do problematiky

Hydrologická modelování mají již poměrně dlouhou historii. Tento obor se začal rozvíjet v 60. letech 20. století. Více než dvacet let se vyvíjel v podstatě odděleně od ostatních podobných oborů. Až v závěru 80. let se objevují první snahy o integraci (Sui, Maggio, 1999). Hydrologické modely jsou obecně náročné na geografická data, například na reprezentaci terénu. GIS poskytuje mnoho užitečných nástrojů pro správu, zpracování a prezentaci dat. Z těchto důvodů se hydrologické modely začaly hojně integrovat s GIS. Zároveň rozvoj GIS směřoval ke zvyšování jejich analytických schopností v různých oborech, hydrologické modelování nevyjímaje. V současnosti tedy můžeme pozorovat silné tendence propojovat hydrologické modelování a GIS. Tímto spojením je možné využívat přínosů obou těchto oborů a dalo by se říci, že toto spojení je výhodné jak pro hydrologické modelování a jeho rozvoj, tak pro GIS.

Hydrologické modely můžeme obecně dělit podle jejich vlastností. Klasifikace modelů může být například založena na časových vlastnostech nebo prostorových vlastnostech (Deursen, 1995).

Podle časových vlastností můžeme modely rozdělit na stálé (statické, ustálené) a nestálé (dynamické, neustálené). Stálé modely popisují stav (situaci) systému jako rovnováhu vzniklou z dlouhodobě konstantních podmínek. Obecně tedy čas v těchto modelech nevystupuje a stav je závislý na vstupních veličinách a parametrech. Nestálé (dynamické) modely popisují reakci systému na měnící se (dynamické) podmínky. Čas je ve výpočetních algoritmech jednou z důležitých proměnných a výsledky mohou být interpretovány jako stav systému v určitém časovém bodě. Obecně v těchto modelech vystupují vstupní veličiny závislé na čase, parametry závislé na čase a čas (Deursen, 1995).

Na základě prostorových vlastností můžeme modely dělit podle počtu dimenzí. Existují modely bez dimenze (0D), které nevyjadřují žádnou prostorovou variabilitu. Modely s jednou dimenzí (1D) jsou využívány pro simulaci procesů podél jedné prostorové osy. Tyto modely jsou v hydrologickém modelování často využívány. Procesy podél linie (osy) mohou být popsány pomocí funkce vzdálenosti od dané linie. Modely se dvěma dimenzemi (2D) jsou využívány pro simulaci procesů v ploše. Pracují tedy s polohou na ploše. S polohou v prostoru pracují modely se třemi dimenzemi (3D). Některé prostorové (3D) procesy se dají

zjednodušit použitím několika vrstev se dvěma dimenzemi a toto zjednodušení je někdy nazýváno 2.5D model (Deursen, 1995).

Modely je možné dělit i podle úloh, které mají vykonávat. Gupta (2001) rozlišuje modely statistické na výpočet frekvence záplav, hydraulické ustáleného proudění, hydraulické neustáleného proudění a modely zabývající se regulací pomocí nádrží.

Integraci environmentálních modelů a GIS je možné také třídit, a to podle její intenzity. Sui a Maggio (1999) dělí integraci na volná (loose) a těsná (tight) spojení. Deursen (1995) dělí tato spojení na nízkoúrovňová (low level), střední (medium level) a vysokoúrovňová (high level). Nejjednodušším přístupem je použití odděleného modelu a GIS a výměnných souborů (Deursen, 1995). Tento postup je velmi často využíván a skládá se z následujících kroků:

- vstup prostorových dat do prostředí GIS
- úprava dat v prostředí GIS
- konverze dat do tvaru, který je „čitelný“ pro model, a jejich export
- spuštění modelu (výpočty)
- přenesení výsledků zpět do prostředí GIS
- analýza výsledků
- tvorba map, grafů a dalších výstupů

Tento způsob integrace je nízkoúrovňový (volný). Opačným přístupem je vysoká integrace v podobě zabudovaných obecných modulů, které jsou ovšem velmi náročné na vývoj. Hlavními výhodami nízkoúrovňových (volných) spojení je jejich snadnější vyvíjení a využívání již existujících programů – pro uživatele dobře známých a spolehlivých. Mezi hlavní nevýhody se řadí vyšší náročnost na práci a čas při tvorbě modelu, malá flexibilita, náchylnost k chybám (uživatel je nucen provádět více kroků) a problémy s přechody (modifikace konverzních programů) na nové verze GIS i softwaru pro modelování (Deursen, 1995).

Platforem pro hydrologické modelování je mnoho. Některé využívají volnější spojení, jiné těsnější, některé umožňují jen modely stálé, jiné i dynamické. Nejnámějšími a také nejpoužívanějšími jsou jednodimenzionální MIKE 11, ISIS a HEC – RAS a

dvojdímenzionální TELEMAC – 2D. Zde je nutné upozornit, že dvojdímenzionální modely nemusí podávat lepší výsledky než modely jednodímenzionální. Záleží vždy na konkrétních úlohách. Úplně nejrozšířenějším modelem je pravděpodobně model HEC – RAS, což je způsobeno jeho snadnou dostupností.

Snadná dostupnost a zároveň nesporná kvalita modelu HEC – RAS jsou důvody, kvůli kterým bude v této práci využit právě tento model. HEC – RAS umožňuje ovládat celou síť řečišť, všechny druhy ustáleného proudění a všechny typy překážek v záplavovém území (Gupta, 2001). HEC – RAS je kompaktním hydrologickým modelem a má široké možnosti uplatnění.

3.1. Rešerše literatury

Při zpracování této práce je nutné obeznámit se s dostatečným množstvím poznatků z oblasti hydrauliky, hydrologie, kartografie, geoinformatiky a použitého softwarového vybavení. Základním zdrojem těchto poznatků jsou knižní publikace, vědecké zprávy, články, manuály a doprovodné texty podobných projektů a modelových úloh. Rychlý rozvoj oborů, které souvisejí se zpracováním práce, je příčinou nedostatku ucelených publikací. Z tohoto důvodu mají velký význam především vědecké články ze zahraničních žurnálů, dále zprávy a texty o konkrétních úlohách, manuály použitého softwarového vybavení a také několik internetových stránek.

Literatura zabývající se hydraulikou a hydrologií

Poznanky z hydrauliky jsou uceleně a dobře zpracovány v několika českých vysokoškolských skriptech. Významné je dílo Krešla (2001). Autor k hydraulice přistupuje z pohledu zemědělského a lesního hospodářství, ale přesto je toto dílo velmi dobře využitelné pro studium hydrauliky obecně. Publikace přináší popis a výklad základních pojmů a seznamuje čtenáře se základními teoriemi a fyzikálními principy hydrostatiky a hydrodynamiky.

Naprostu obecně přistupuje k hydraulice Rybníkář (1994). Podobně jako Krešl (2001) velmi dobře rozpracovává problematiku pohybu vody v otevřených korytech. Samostatně se

věnuje ustálenému rovnoměrnému pohybu, ustálenému nerovnoměrnému pohybu i neustálenému pohybu kapalin.

Důležitým zdrojem poznatků z oblasti hydrauliky je rovněž skriptum Mareše (1997), které se věnuje především problematice úprav toků. V této oblasti je vůbec nejvýznamnější publikací u nás. Velice dobře rozpracovává hydraulické ztráty a podrobně se věnuje drsnostním vlastnostem různých povrchů a jejich vlivu na proudění vody.

Kratochvíl a kol. (1991) přistupuje k hydraulice také z obecného pohledu, ale soustřeďuje se především na proudění ustálené. Neustálenému proudění se autoři věnují jen okrajově.

Poznatky z oblasti hydrologie je možné načerpat rovněž z vysokoškolských skript. Za zmínku stojí především dvě publikace Kemela (1994, 2000). Tato díla se podrobně a uceleně věnují hydrologii. Nalezneme zde výklad základních pojmů a popis hydrologických pracovních metod. Velmi rozsáhlá část (pro tuto práci stěžejní) je věnována odtoku povrchových vod.

Ze zahraniční literatury je velmi významná publikace Gupty (2001). Tato rozsáhlá práce se zabývá hydraulikou i hydrologií. Poskytuje podrobný a souhrnný přehled všech důležitých poznatků v současnosti známých a využívaných v těchto disciplínách.

Texty zabývající se modelováním povodní

V oblasti modelování povodní je velký nedostatek souhrnných textů, které by uceleněji pokrývaly danou problematiku. Proto jsou významnými zdroji informací hlavně vědecké články, zprávy a doprovodné texty podobných projektů.

Pro základní orientaci v problematice dynamických modelů a GIS je vhodná publikace Deursena (1995). Autor se zde zabývá obecnými otázkami hydrologického modelování, počítačových simulací (modelů) a environmentálních studií.

Možnosti modelování povodní souhrnně mapuje článek autorů Boughtona a Droopa (2003). Autoři předkládají přehled povodňových modelů vyvíjených v různých oblastech světa. Kladou důraz na rozdílnost těchto modelů v různých oblastech způsobenou odlišnostmi v geografických podmínkách.

Porovnáním a hodnocením tří různých povodňových modelů se zabývají ve svém článku autoři Horritt a Bates (2002). Srovnávají modely HEC – RAS, LISFLOOD-FP a TELEMAC-2D na modelovém území řeky Severn ve Velké Británii. V článku jsou popsány algoritmy hydraulických výpočtů, které jednotlivé modely používají. Velmi zajímavé je srovnání výsledků modelování v jednotlivých modelech a porovnání těchto výsledků se skutečným stavem při povodních, který byl odvozen pomocí dálkového průzkumu Země (DPZ). Autoři v závěru článku hodnotí jako nejvhodnější pro danou úlohu model HEC – RAS.

Modelováním v HEC – RAS se zabývá mnoho autorů z celého světa. V této rešerši uvedu jen některé vědecké články zabývající se touto problematikou, které jsou z mého pohledu významné. Velmi inspirativní je článek, jehož autory jsou Colby a kol. (2000). Zabývá se modelováním povodně způsobené hurikánem Floyd v USA pomocí modelu HEC – RAS a GIS. Autoři popisují postup celého modelování a použité metody a velkou pozornost věnují také hodnocení výsledků, které porovnávají s leteckými snímky zasažených oblastí.

Podobným projektem se zabývají i Cenderelli a Wohl (2001). Podrobně popisují modelování povodní v oblasti Mount Everestu v Nepálu pomocí HEC – RAS. Pozoruhodný je způsob určování koeficientů drsnosti a hodnocení jejich vlivů na výsledek modelování.

Zajímavý je projekt amerických autorů Maingihlo a Marshe (2002) zabývající se dopady výstavby přehrady na řece Tana v Keni. Pro modelování hloubek a rychlostí proudění využili model HEC – RAS a toto modelování včetně metod ve svém článku prezentují.

Za zmínku stojí ještě článek, jehož autory jsou Merritt a Wohl (2003), a článek, jehož autory jsou Springer a kol. (2003). Obě práce se zabývají modelováním v prostředí HEC – RAS a velkou pozornost věnují problematice koeficientů drsnosti.

Specifickým problémem je propojování hydrologických modelů (např. HEC – RAS) s GIS. Touto problematikou se zabývají autoři Sui a Maggio (1999). Ve svém článku podávají přehled obecných problémů při propojování hydrologických modelů s GIS a také rozdělují různé způsoby tohoto propojování do skupin. U těchto skupin uvádějí výhody a nevýhody jejich použití. Propojováním hydrologických modelů s GIS se okrajově zabývají i Sinnakaudan a kol. (2003). Ve svém článku popisují modelování povodňových rizik na řece Pari v Malajsii.

Hydrologickým modelováním v jiných prostředích než je HEC – RAS se rovněž zabývá mnoho autorů. K nejrozšířenějším modelům patří modely LISFLOOD-FP, MIKE, ISIS a TELEMAC-2D. Ukázkou modelování v jiném prostředí tedy může být například projekt zpracovaný pomocí modelu LISFLOOD-FP, jehož autory jsou Bates a Roo (2000).

Budoucí vývoj modelování a předpovídání povodní bude pravděpodobně směřovat k řešení úloh v reálném čase pomocí GIS nástrojů a prostředí internetu. Snahou bude vyvíjet aplikace pro rychlé určování hrozeb a odhadování škod. Touto problematikou se zabývají Al-Sabhan a kol. (2003). Zatím je vývoj takových modelů v počátcích, a proto se autoři zaměřili především na pojmenování největších problémů a nedostatků jednotlivých softwarů v této oblasti.

Kartografická a geoinformaická literatura

Oblast teoretické i praktické kartografie je v české literatuře poměrně dobře pokryta. Významná je rozsáhlá práce Hojovce a kol. (1987), která souhrnně pokrývá problematiku klasické kartografie v rovině teoretické i užití. Autor neopomíná ani kartografii historickou a věnuje se i národní kartografické tvorbě u nás.

Podobným způsobem se kartografii věnuje ve své publikaci i Čapek a kol. (1992). Práce poskytuje stručnější, ale komplexní přehled problematiky a je důležitým zdrojem pro novější autory.

Pro zpracování této práce je důležitá především kartografie tematická. Základní a velmi podstatnou práci z oblasti tematické kartografie je skriptum Voženílka (2001). Skriptum se věnuje základním pravidlům tvorby a využití tematických map a shrnuje nejdůležitější zásady tematické kartografie. Podobným dílem je práce Kaňoka (1999), která se soustřeďuje také jen na kartografii tematickou.

Tematické kartografii se věnuje i Veverka (1995), který k ní přistupuje obecněji. Jeho skriptum pokrývá problematiku celé kartografie a tematické kartografii se věnuje jen v několika kapitolách.

Za zmínku stojí určitě i starší publikace Murdycha (1988), který celou práci věnuje tematické kartografii. Důraz klade na vyjadřovací metody tematické kartografie a jejich využití pro jednotlivé druhy tematických map.

Oblast počítačové kartografie a využití GIS v porovnání s kartografií klasickou je literaturou obecně pokryta hůře. Je to způsobeno především velmi rychlým rozvojem v této

oblasti. Důležitou publikací je práce Voženílkova (1998), jež se zabývá především teoretickou stránkou GIS a jejich základní strukturou.

Využitím trojrozměrných zobrazovacích kartografických metod v hydrologickém modelování se zabývají Drogue a kol. (2002).

Literatura zabývající se softwarovými nástroji a programy

Zdrojem informací o použitém softwarovém vybavení jsou manuály a další výukové materiály k jednotlivým programům. Tyto texty zpravidla poskytují sami tvůrci a distributoři jednotlivých programů. Obvykle jsou šířeny spolu se samotným softwarem v digitálních verzích. Při zpracovávání práce budou použity především programy od firmy ESRI (ArcGIS 9.0) a program HEC – RAS.

K programu HEC – RAS jsou standardně k dispozici tři balíky manuálů a dalších pomocných textů. Nejdůležitějším je samotný manuál s názvem HEC – RAS User's manual. Další manuály mají název Hydraulic Reference Manual a Applications Guide. Velká část práce bude zpracována také pomocí nadstavby pro ArcGIS zvané HEC – GeoRAS, která zajišťuje propojení mezi GIS (ArcGIS 9.0) a HEC – RAS. K této nadstavbě je k dispozici manuál s názvem HEC – GeoRAS User's manual, který je při práci v této extenzi takřka nepostradatelný. Při práci ve všech použitých programech je rovněž možné získat některé informace v zabudovaných nápovědách (help). Program HEC – RAS a příbuzný software spolu se zmiňovanými učebními texty je možné získat na internetové adrese <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-hecras.html>.

Texty o zájmovém území

Při zpracování této práce je velmi důležité seznámit se se zájmovým územím. Nepostradatelným zdrojem informací v této oblasti je dílo Culka a kol. (1996). Autoři se zabývají biogeografickým členěním České republiky. Z publikace je možné načerpat mnoho informací o každém bioregionu zejména z oblasti biogeografie a dále z oblastí geologie, geomorfologie, podnebí, pedologie a celkového stavu krajiny.

Velmi užitečným zdrojem informací o zájmovém území byl turistický průvodce autora Riedla a kol. (1964) a dále několik vodáckých průvodců autorů Kohoutka a kol. (1987), Jandáka a Dostála (1970) a Nováka a kol. (1961).

Vlček a kol. (1984) je autorem zeměpisného lexikonu zaměřeného na vodní toky. Ve své publikaci přináší velmi podrobný přehled toků a nádrží na území České republiky a jeho dílo obsahuje mnoho cenných údajů o menších tocích a jejich povodí.

Základní informace o zpracovávaném území či jeho částech je možné získat také z magisterských prací Dundy (1999), Pavlíčkové (1998) a Suché (1997).

V závěru literární rešerše nelze opomenout některé důležité internetové stránky. Asi nejvýznamnějším zdrojem tohoto typu jsou stránky Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) <<http://www.cuzk.cz>>. Zde je k dispozici mnoho potřebných informací zejména o vstupních datech. V práci budou využity i informace z internetových stránek Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) <<http://www.chmu.cz>> a stránek Povodí Vltavy, státního podniku (PVL) <<http://www.pvl.cz>>.

3.2. Vybrané klíčové pojmy

„**Vodní tok** je koryto s vodou, která odtéká z povodí, a to trvale nebo po delší část roku.“ (Kemel 1994, s. 10).

„**Střednice koryta** je vyrovnaná čára, která je osou půdorysného obrazu koryta.“ (Kemel 1994, s. 65).

„Pod **průtokem** v hydrologii rozumíme objem vody, který proteče daným průtočným průřezem za jednotku doby, tj. za sekundu.“ (Kemel 2000, s. 133). Průtok se obvykle značí Q a vyjadřuje v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

„**Příčný profil** (též příčný řez) je řez korytem, vedený zpravidla kolmo na střednici toku.“ (Kemel 2000, s. 126).

„Plocha příčného profilu nahoře omezená hladinou vody je **průtočný průřez**.“ (Kemel 2000, s. 126).

„**Stupeň drsnosti n** (též koeficient drsnosti n) vyjadřuje svou hodnotou celkové odpory proti proudění v celém úseku uvažovaného toku.“ (Kemel 2000, s. 162). Postihnout

tyto celkové odpory proti pohybu je často z mnohých příčin velmi obtížné. Volba stupně drsnosti z tabulek podle strohé slovní charakteristiky stavu koryta a proudění v něm je v podstatě odhadem a problém odhadu komplikuje ještě ta skutečnost, že stupeň drsnosti je v daném úseku obecně proměnlivý a závisí na mnoha faktorech (Kemel, 2000).

Vysvětlení pojmu „**stoletá povodeň**“: Podle platné názvoslovné normy vyjadřují tzv. **N-leté** hodnoty průměrnou dobu opakování nějakého hydrologického jevu. V případě povodní jde o posouzení extrémnosti kulminačního průtoku. Hodnoty se zjišťují analýzou dlouhodobých časových řad pozorování. 100 letá povodeň je taková povodeň, jejíž kulminační průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen 1 krát za 100 let. Jde o statistickou charakteristiku, nikoli predikční. Tudíž neplatí, že v případě výskytu 100 leté vody se další povodeň této velikosti či vyšší vyskytne až za 100 let. K tomu připomínáme, že neplatí lineární úměra mezi jednotlivými hodnotami N-letých vod. Čili hodnota 100-leté povodně není dvojnásobkem 50-leté povodně, hodnota 500 leté povodně není 5násobkem 100-leté povodně a podobně. (<http://www.chmu.cz/hydro/pov02/100_voda.htm>, 2005)

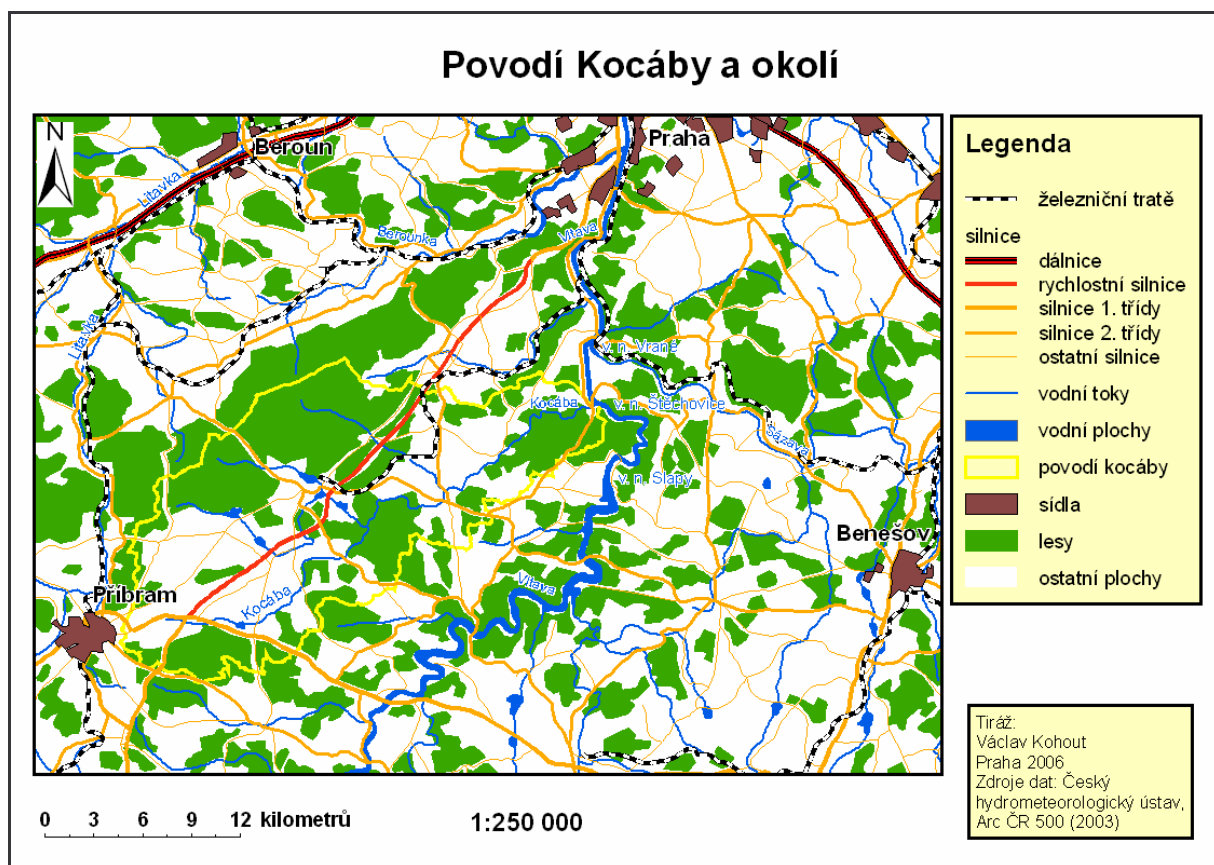
„Pro uplatnění **GIS** v geografii je možné přijmout následující definici: **GIS** je organizovaný počítačově založený systém hardwaru, softwaru a geografických informací vyvinutý ke vstupu, správě, analytickému zpracování a prezentaci prostorových dat s důrazem na jejich prostorové analýzy.“ (Voženílek 1998, s. 7).

„Digitální modely reliéfu (DMR, **digitální model terénu – DMT**, Digital Elevations Model – DEM) jsou datové struktury a pro ně speciálně sestavené programy pro prezentaci zemského povrchu v jejich trojrozměrné podstatě. Reprezentují hypsometrické poměry georeliéfu, jsou vhodné pro shromažďování dat o zemském povrchu a jsou vhodné k provádění povrchových analýz.“ (Voženílek 1998, s. 15 - 16).

ZABAGED – Základní báze geografických dat ZABAGED[®] je digitální topografický model území České republiky odvozený z mapového obrazu Základní mapy České republiky 1:10 000 v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému baltském – po vyrovnání. Správcem a poskytovatelem dat ZABAGED[®] je Zeměměřičský úřad. ZABAGED[®] má charakter GIS integrujícího prostorovou složku vektorové grafiky s topografickými relacemi objektů a složku atributovou obsahující popisy a další informace o objektech. Obsah ZABAGED[®] tvoří 106 typů objektů strukturovaných v databázi do 60

grafických vrstev vektorových (DGN) souborů. Doplnkové informace resp. identifikátory některých typů objektů (vodstvo, komunikace) jsou přebírány z databází jejich odborných správců. Výškopisná složka vybavená vektorovým souborem vrstevnic umožňuje vytvářet účelově digitální model terénu. ZABAGED[®] je tvořena a provozována v grafickém prostředí MicroStation a GIS prostředí MGE (Intergraph) využívající relační databázi ORACLE. Prostorově organizačními jednotkami ZABAGED[®] jsou mapové listy 1:10 000 v kladu listů Základních map středních měřítek České republiky. (<http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?TYPPRAC=ZU&PRARESKOD=30&MENUID=10050&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED>, 2005)

Mapa 4.2: Povodí Kocáby a okolí



4.1. Geomorfologie

Povodí Kocáby se podle geomorfologického členění Demka (1987) rozkládá ve dvou subprovinciích – Českomoravská a Poberounská soustava. Ve střední a dolní části povodí se nachází Dobříšská pahorkatina, která je plošně největším podcelkem povodí. Jihovýchodní okraj povodí náleží k Březnické pahorkatině. Západní část povodí vyplňují Hřebeny, Brdy a

Příbramská pahorkatina (bráno od severu k jihu). Přesné geomorfologické členění je znázorněno v následujícím přehledu:

Česká vysočina - provincie

II Českomoravská soustava

II A Středočeská pahorkatina

II A – 1 Benešovská pahorkatina

II A – 1 A Dobříšská pahorkatina

II A – 1 B Březnická pahorkatina

V Poberounská soustava

V A Brdská podsoustava

V A – 5 Brdská vrchovina

V A – 5 A Brdy

V A – 5 B Hřebeny

V A – 5 C Příbramská pahorkatina

Nejvyšší místa povodí se nacházejí na rozvodí s povodím Litavky v oblasti Brdských Hřebenů. Vrcholy zde přesahují nadmořskou výšku 630 metrů. Průměrná výška povodí je 419 metrů nad mořem (Dunda, 1999). Střední část povodí má plochý charakter. V dolní části jsou Kocába a její přítoky silně zaříznuté do poměrně hlubokých skalnatých údolí s velkými členitostmi. Také průměrný sklon je v dolním úseku Kocáby největší, což není obvyklé.

4.2. Geologie

Geologická stavba povodí Kocáby je poměrně pestrá. Nachází se zde barrandienské svrchní proterozoikum, středočeský pluton a barrandienské spodní paleozoikum.

Barrandienské proterozoikum je plošně největší a rozkládá se v severozápadní polovině povodí. Jsou pro něj typické klastické sedimenty jako droby, prachovce, jílovce a dále také břidlice, slepence, tufy a tufity (Mísař a kol., 1983).

Středočeský pluton se nalézá v jihovýchodní části povodí. Jsou pro něj typická gabra, diority a granodiority, méně pak granity. Běžným minerálem je též amfibol. Středočeským plutonem je obklopeno tzv. jílovské pásmo, které se řadí k barrandienskému proterozoiku.

Jedná se o silně metamorfovanou vulkanickou zónu, se zastoupením ultrabazitů, bazaltů, andezitů a ryolitů (Mísař a kol., 1983).

Ostrůvkovitě (zejména v západní a jižní části) se v povodí vyskytují horniny barrandienského paleozoika. Nejčastěji se jedná o slepence, méně často o břidlice, droby a pískovce (Dunda, 1999).

4.3. Podnebí

Pro klimatické členění byla využita práce Quitta (1971). Tento autor rozlišuje tři základní klimatické oblasti (teplou T, mírně teplou MT a chladnou CH), které se dále dělí na několik podoblastí označenými čísly. Podoblasti s nižšími čísly jsou chladnější a vlhčí než podoblasti s čísly vyššími.

Centrální a největší část povodí se řadí k podoblasti MT 11. Tato podoblast je ze západu, jihu a východu obklopena podoblastí MT 10, což souvisí s rostoucí nadmořskou výškou. V severní části povodí se nachází rozsahem malá podoblast T2, jediná z teplých oblastí. Ve východní části postupně roste nadmořská výška (Podbrdsko a Brdy) a nalézáme zde podoblasti MT 7 a MT 5.

Charakteristika uvedených podoblastí:

„MT 5 – normální až krátké léto, mírné až mírně chladné, suché až mírně suché, přechodné období normální až dlouhé, s mírným jarem a mírným podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s normální až krátkodobou sněhovou pokrývkou.“ (Quitt 1971, s. 12).

„MT 7 – normálně dlouhé, mírné, mírně suché léto, přechodné období je krátké, s mírným jarem a mírně teplým podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně teplá, suchá až mírně suchá a krátkým trváním sněhové pokrývky.“ (Quitt 1971, s. 12).

„MT 10 – dlouhé léto, teplé a mírně suché, krátké přechodné období s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, krátká zima mírně teplá a velmi suchá, s krátkým trváním sněhové pokrývky.“ (Quitt 1971, s. 13).

„MT 11 – dlouhé léto, teplé a suché, přechodné období krátké s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, zima je krátká, mírně teplá a velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky.“ (Quitt 1971, s. 13).

„T 2 – dlouhé léto, teplé a suché, velmi krátké přechodné období s teplým až mírně teplým jarem i podzimem, krátkou, mírně teplou, suchou až velmi suchou zimou, s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky.“ (Quitt 1971, s. 13).

Při ústí Kocáby je klima z celého povodí nejteplejší a nejsušší. Poměrně rozsáhlá oblast v dolní polovině povodí leží ve srážkovém stínu Brd. Směrem proti proudu toku se klima ochlazuje a přibývá srážek (Dunda, 1999). Nejbohatší na srážky je jihovýchodní část povodí, kde pramení Kocába a některé její významné přítoky. Nejvodnějším měsícem je červen, nejsušším únor. Průměrná roční teplota vzduchu je 7 – 8° C (Dunda, 1999). V říčních kaňonech je podnebí silně lokálně ovlivněno například inverzemi a vlivem odlišných expozic svahů (Culek a kol., 1996).

4.4. Půdy

Typickým půdním typem, který se v povodí nachází, jsou kambizemě. V nižších polohách jsou to typické kambizemě a ve vyšší částech kyselé typické kambizemě (Culek a kol., 1996). V údolích podél vodních toků se vyskytují gleje typické a fluvizemě typické. V plochých úsecích se vyskytují primární pseudogleje, hnědozemě a ojediněle i rankery (Dunda, 1999).

4.5. Biogeografie a krajina

Pro biogeografické členění byla použita práce Culka a kol. (1996). Povodí Kocáby spadá převážně do slapského bioregionu. Nejvíce je zde rozšířen 3. dubovo-bukový a 4. bukový vegetační stupeň. Plošně převažujícím typem potenciální vegetace jsou kyselé doubravy. V oblasti Hřebenů, která se od zbytku povodí nejvíce odlišuje, jsou charakteristické dubohabřiny. Z jehličnatých dřevin je v lesích nejvíce zastoupen smrk, borovice a modřín, z listnatých pak dub, habr, bříza a buk (Culek a kol., 1996).

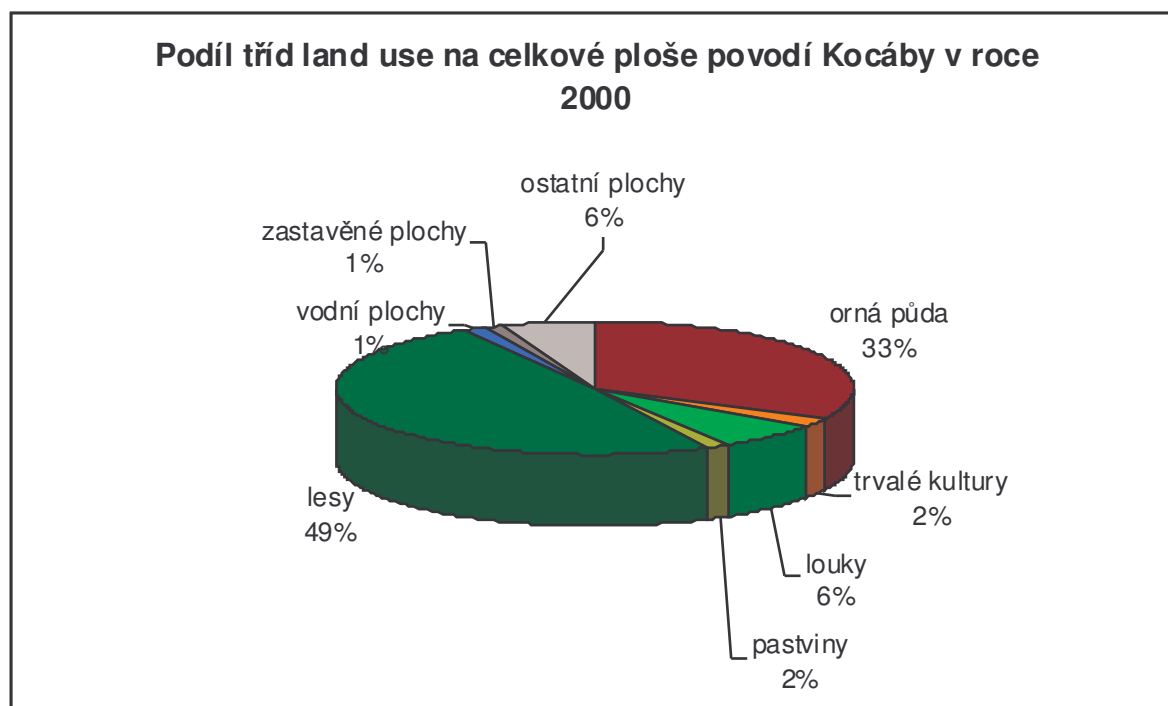
Centrální část povodí je silně využívána zemědělstvím. K rozsáhlému odlesnění oblasti došlo v 10. až 13. století. Na Dobříšsku se nalézá větší počet spíše menších rybníků (Culek a kol., 1996).

Pro povodí nejsou k dispozici informace o podílu jednotlivých tříd land use. Lze však využít data za katastrální území vztahující se k roku 2000. Hranice katastrálních území

nekopírují přesně tvar povodí, ale tomuto tvaru se blíží. Sečtením rozloh jednotlivých tříd ze všech katastrů v povodí je možné získat (s jistou odchylkou) představu o využití ploch v celém povodí. Podíl tříd na celkové ploše povodí znázorňuje graf 4.1.

Vysoké zastoupení lesa má obecně stabilizující vliv na odtok vody. V povodí Kocáby pokrývají lesy téměř polovinu všech ploch. Orná půda zabírá přibližně třetinu ploch. Ta naopak stabilizaci odtoku nepřispívá, protože urychluje odtok vody a má oproti lesu malou akumulační schopnost. Přestože jsou lesní porosty v povodí vysoce zastoupeny jejich vliv je slabý. Kocába je charakteristická svou vyšší rozkolísaností a nestálostí. Je to způsobeno tím, že rozsáhlé lesní plochy leží na severním a jižním okraji povodí a také podél dolního úseku Kocáby. Jižní okraj povodí a dolní úsek Kocáby leží ve srážkovém stínu Brd. Naopak centrální části povodí jsou značně odlesněné a plochy jsou intenzivně využívány k zemědělským účelům. To platí také pro jihozápadní část povodí, která má největší srážkové úhrny. To vše snižuje pozitivní vliv lesů na odtok a způsobuje rozkolísanost toků.

Graf 4.1: Podíl tříd land use na celkové ploše povodí Kocáby v roce 2000



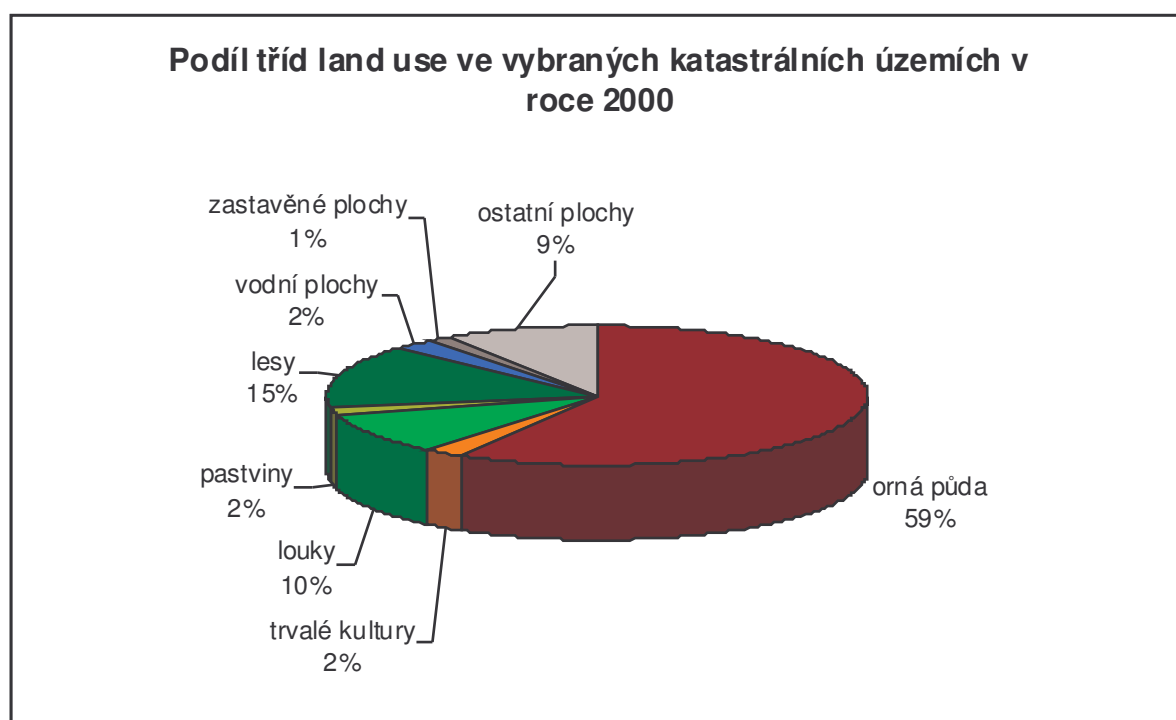
Zdroj: LUCC databáze PŘF UK Praha

Podíl tříd land use ve vybraných katastrálních územích (celkem 23 k.ú.) ležících v centrální a jihozápadní části povodí zobrazuje graf 4.2. Mezi grafy 4.1 a 4.2 jsou patrné značné rozdíly. Ve vybraných katastrech je enormní podíl orné půdy (59 %). Tyto plochy

naprosto dominují. Louky jsou také více zastoupeny než v grafu 4.1. Lesy pokrývají pouhých 15 % ploch. Je zřejmé, že ve vybraných katastrech je akumulční schopnost krajiny velmi omezená a že odtok povrchových vod je značně urychlen. Vezmeme-li v úvahu, že tyto plochy mají zároveň největší srážkové úhrny, lze tím vysvětlit zmíněnou rozkolísanost Kocáby. Zemědělské hospodaření a další vlivy člověka mají v povodí Kocáby značně negativní vliv na odtok.

Za zmínku stojí ještě poměrně vysoký podíl vodních ploch ve vybraných katastrech (2%), který je zapříčiněn výskytem většího množství rybníků.

Graf 4.2: Podíl tříd land use ve vybraných katastrálních územích v roce 2000



Zdroj: LUCC databáze PřF UK Praha

4.6. Hydrografie a hydrologie

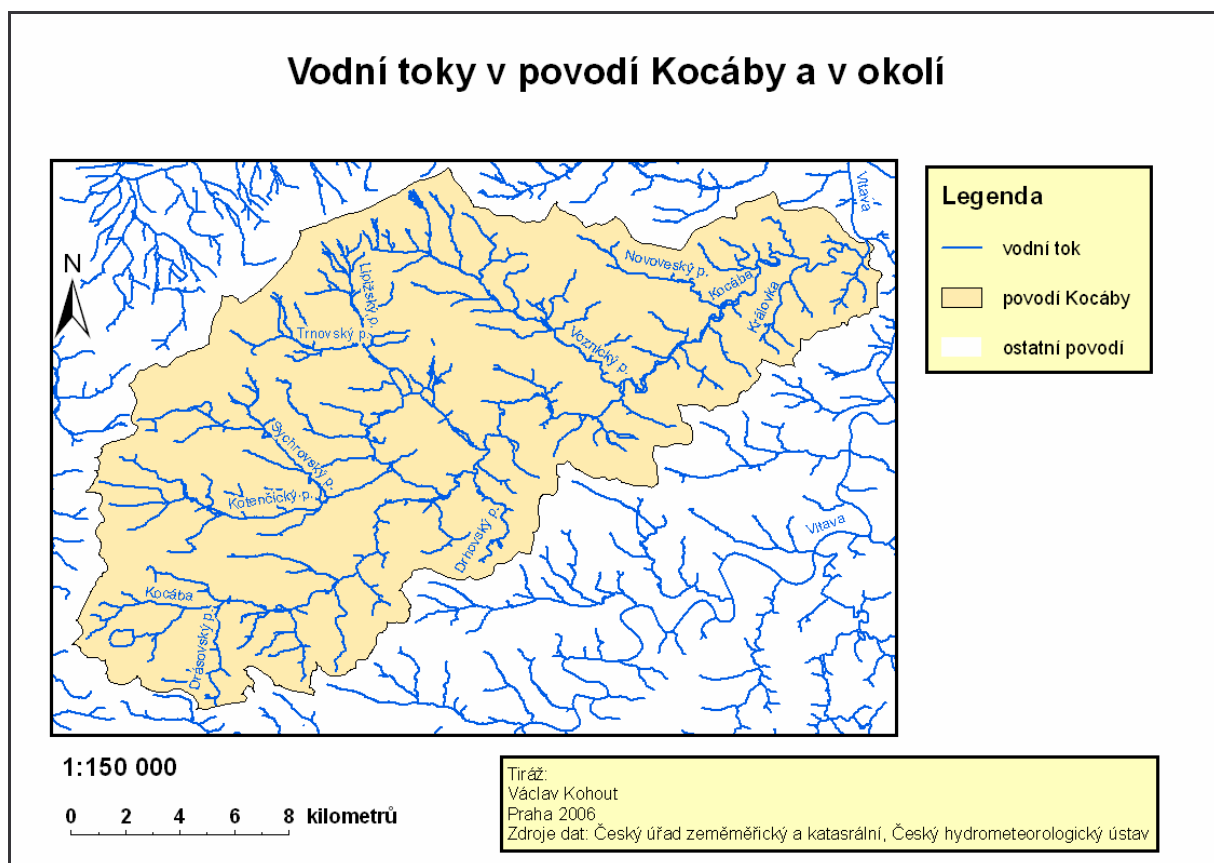
V úvodu této části je třeba upozornit na nejednotnost označování přítoků Kocáby v různých publikacích a mapách. V obci Obořiště se nachází soutok Kotenčického a Sychrovského potoka. Mezi autory je rozpor, který z těchto toků je tokem hlavním a který vedlejším. Podle Vlčka (1984) je hlavním tokem Sychrovský potok, naopak Kohoutek a kol. (1987) považuje za hlavní tok Kotenčický potok. Problémem tedy je, jak nazývat potok (levý

přítok Kocáby) pod tímto soutokem. V této práci se přikloním k názoru Kohoutka (1987) a za hlavní tok bude považován Koteňčický potok.

Říční síť povodí Kocáby (znázorněna v mapě 4.3) je asymetrická, což je dáno především geologickou stavbou. Levostranné přítoky jsou delší a celkově mnohem lépe vyvinuté než přítoky pravostranné. K nejvýznamnějším levostranným přítokům Kocáby patří Koteňčický potok, který odvádí vody i z potoka Sychrovského, Trnovského a Lipišského, dále Voznický a Novoveský potok. Je zajímavé, že Koteňčický potok je při soutoku s Kocábou podle některých charakteristik hlavním tokem. Jeho povodí je větší a také lépe vyvinuté (Komínková, 2001). V ostatních charakteristikách (například délka hlavního toku) jsou oba toky velmi vyrovnané.

Pravostranné přítoky jsou naopak velmi krátké a nevyvinuté. Nejvýznamnějšími z nich jsou Drásovský a Drhovský potok.

Mapa 4.3: Vodní toky v povodí Kocáby a v okolí



Hustota říční sítě je nejvyšší na úpatí Hřebenů a vysoká je rovněž v oblasti při ústí Kocáby. V těchto oblastech se nacházejí i největší průměrné sklony toků. Naopak nejnižší průměrné sklony toků se nacházejí ve střední části povodí.

Vybrané hydrografické charakteristiky Kocáby a jejích dvou nejvýznamnějších přítoků (Kotenčického a Voznického potoka) jsou uvedeny v tabulce 4.1. Hustota říční sítě povodí Kocáby je vzhledem k jeho charakteru spíše nižší. Dílčí povodí větších přítoků Kocáby mají vějířovitý tvar, ale povodí celé Kocáby má tvar protáhlý.

Tabulka 4.1: Hydrografické charakteristiky Kocáby, Kotenčického potoka a Voznického potoka

	Kocába	Kotenčický potok	Voznický potok
plocha povodí [km ²]	313,05	109,17	41,73
délka toku [km]	47,54	19,75	13,00
hustota říční sítě [km/km ²]	0,95	0,86	1,15
tvar povodí	0,14	0,28	0,25
průměrný sklon toku [‰]	7,19	9,62	18,62
koeficient křivolakosti	0,67	0,65	0,83
koeficient Graveliův	1,58	1,35	1,39
průměrný sklon povodí [‰]	83,0	60,2	83,9

Zdroj: Dunda (1999)

Hustota říční sítě je poměr mezi celkovou délkou toků zkoumaného území k ploše území (Kemel, 2000).

Tvar povodí udává poměr plochy povodí k délce hlavního toku umocněné na druhou. Je-li hodnota menší než 0,18 (pro povodí nad 50 km²), jedná se o povodí protáhlé, je-li hodnota větší než 0,2, jedná se o povodí vějířovité. Povodí dosahující hodnot 0,18 až 0,2 se řadí do přechodného typu (Dunda, 1999).

Průměrný sklon toku je poměr rozdílu nadmořských výšek pramene a nejnižšího místa povodí k délce toku (Dunda, 1999).

Koeficient křivolakosti (též stupeň vývinu toku) je poměr délky spojnice počátečního a koncového profilu daného toku k jeho skutečné délce (Kemel, 2000).

Koeficient Graveliův je poměr délky rozvodní čáry k délce obvodu kruhu stejné plochy jako má povodí (Dunda, 1999).

Průměrný sklon povodí lze vypočítat podle vzorce $I_0 = (\Delta h \cdot \sum l) / P$ kde Δh je výškový krok vrstevnic, $\sum l$ je součet délek vrstevnic a P je celková plocha povodí (Kemel, 2000).

Hydrologická měření v povodí Kocáby mají poměrně krátkou historii. Jediná limnigrafická stanice je umístěna v obci Štěchovice, tedy v blízkosti ústí Kocáby do Vltavy. Tato stanice byla zřízena až v roce 1984, tudíž je pro některé hydrologické výpočty k dispozici zatím jen malé množství měření.

Průměrný dlouhodobý roční průtok v této stanici má hodnotu $0,574 \text{ m}^3/\text{s}$ (podle dat ČHMÚ). Z toho vyplývá (víme-li, že plocha povodí je 313 km^2) průměrná odtoková výška povodí, která činí 58 mm za rok, což je v našich podmínkách poměrně nízká hodnota. **Odtoková výška** je tloušťka vrstvy (zpravidla vyjádřená v mm), kterou by daný objem vytvořil na ploše odpovídající půdorysnému průmětu povodí (Kemel, 2000). Z uvedeného lze získat i průměrný roční specifický odtok, který činí $1,837 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. **Specifický odtok** je objem vody v průměru odteklý z plošné jednotky povodí za jednotku času a je často udáván v $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Kemel, 2000). Dlouhodobý roční průměr srážek je 613 mm (ČHMÚ).

Podle dostupných měření a různých zpětných odvození je možné Kocábu označit za říčku s velkou roční rozkolísaností (Dunda, 1999). Průměrné roční průtoky se v jednotlivých letech značně liší. Je pravděpodobné, že tento stav je do značné míry způsoben činností člověka, zejména pak nešetrnými úpravami toků a zemědělstvím. Maximální průtoky během roku se nejčastěji vyskytují v období od března do července a minimální průtoky v období od září do listopadu. Absolutního maxima (od roku 1984, kdy se začalo s měřením) bylo dosaženo v roce 1995, kdy průtok dosahoval hodnoty $114 \text{ m}^3/\text{s}$, což je více jak stoletá voda (ČHMÚ).

4.7. Člověk a Kocába

První vlivy člověka na území podél Kocáby a jejích přítoků se datují do 10. století, kdy začíná rozsáhlejší odlesňování krajiny. Tento proces trvá několik set let. V 15. století začíná v povodí Kocáby historie rýžování a těžby zlata. Zlato zde bylo dobýváno s větší či menší intenzitou až do 19. století. Současně byly toky hojně využívány k plavení dřeva. Ve 20. století se v oblasti Příbramska těžil uran. Výsypky z dolů mají dnes negativní vliv v podobě znečištění Kocáby a jejích přítoků těžkými kovy (Komínková, 2001).

Už ve středověku se na některých tocích začaly budovat menší rybníky. Rybníkářství má v povodí Kocáby dlouhou tradici. Drtivá většina rybníků a nádrží byla vystavěna do poloviny 19. století. Přehled největších rybníků uvádí tabulka 4.2. Do tohoto období byla provedena také rozsáhlá meliorace řečišť. Údolí Kocáby bylo také silně ovlivněno stavbou náhonů pro mlýny a hamry, kterých zde bylo poměrně velké množství. Stopy po těchto náhonech jsou patrné dodnes (Dunda, 1999).

Tabulka 4.2: Rybníky v povodí Kocáby s plochou nad 7 ha.

Název rybníka	Plocha [ha]	Objem [tis. m ³]	Hloubka u hráze [m]
Prostřední	7,2	75	2,3
Homolka	11,5	100	2,4
Drhovský	9,0	45	1,9
Hluboký	8,8	180	4,5
Vackův	18,0	250	3,5
Sychrovský	18,0	200	6,5
Nový	21,0	210	6,0
Svatopolský	15,1	130	3,0
Papež	14,0	140	—
Koryto	8,0	120	8,5
Starohuťský	36,0	942	6,0
Strž	17,9	170	3,5

Zdroj: Dunda (1999); — údaj není znám.

V 60. – 70. letech 20. století se na tocích prováděly rozsáhlé úpravy. Toky byly z různých náhonů a podobných systémů vráceny do údolnice. Tato koryta byla hloubena a takřka úplně napřímena. Současně byly na horních tocích meliorovány široké pásy půdy a získané plochy se začaly využívat pro zemědělství. Všechny tyto změny a zásahy měly velmi negativní dopad na odtok povrchových vod. Ekologická funkce vodního toku a příbřežní zóny byla v zemědělsky využívaných oblastech degradována na funkci pouhého odvodňovacího kanálu (Dunda, 1999).

V roce 1981 proběhla na Kocábě mimořádná povodeň. Byla způsobena silnými a vytrvalými srážkami nad povodím a umocněna protržením přeplněného rybníka Strž, jehož hráz nevydržela tlak vody. Tato povodeň dosahovala dle odhadů (měření nebyla na Kocábě ještě prováděna) hodnot mezi dvousetletou a pětisetletou vodou! Kulminální průtok přesáhl

podle zpětných výpočtů hodnotu $150 \text{ m}^3/\text{s}$ (Dunda, 1999). Povodeň způsobila velmi rozsáhlé škody v celém údolí od města Nový Knín po obec Štěchovice ležící na soutoku s Vltavou. V této oblasti se nalézají několik poměrně rozsáhlých rekreačních a chatových osad, jejichž historie sahá až do období první republiky. Tyto osady jsou povodněmi značně ohroženy a v roce 1981 byly silně zasaženy.

4.8. Modelovaná oblast

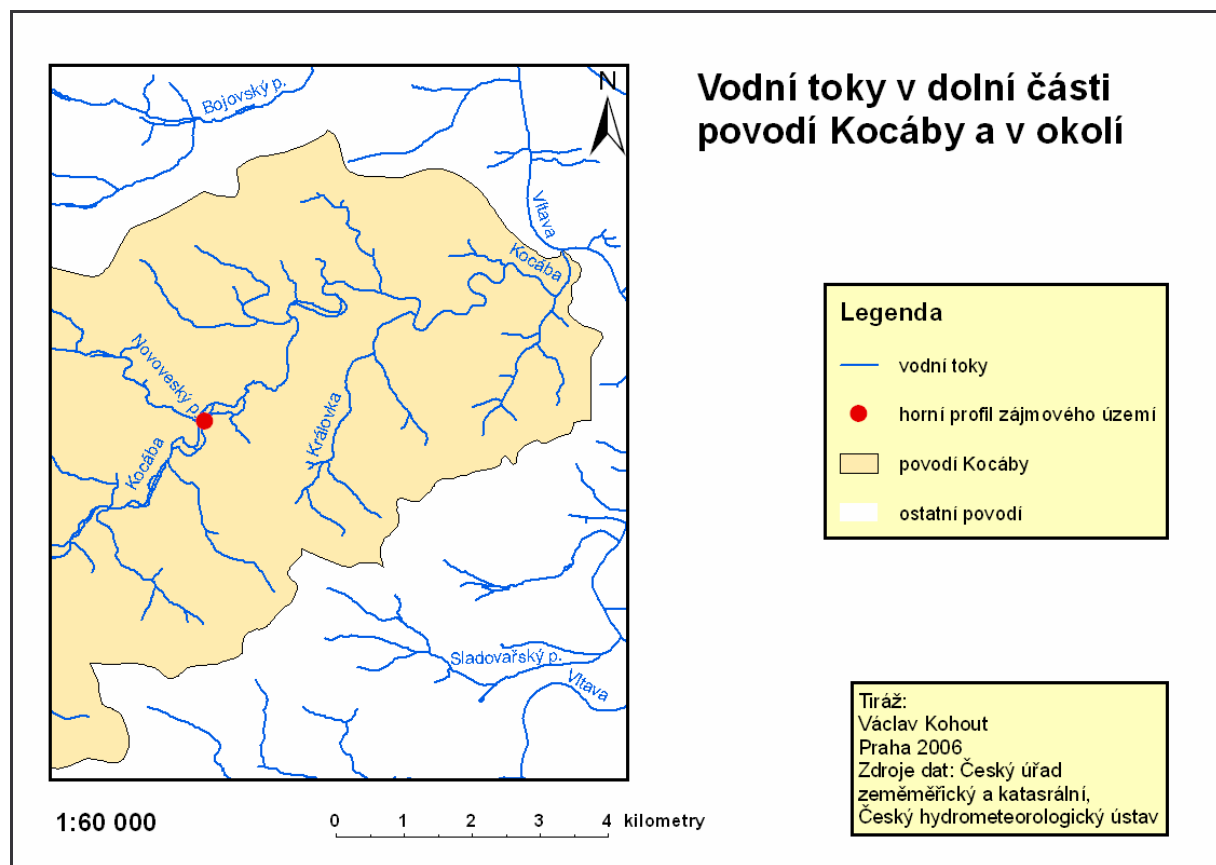
V této práci budou modelována záplavová území na dolním toku řeky Kocáby. Toto území je ohraničeno profilem na 11. říčním kilometru Kocáby (horní hranice) a ústím říčky do Vltavy (dolní hranice). Zájmovou oblast znázorňuje mapa 4.4.

Horní hraniční profil je umístěn těsně pod soutokem Kocáby s Novoveským potokem (v některých pramenech je tento tok označován názvem Makyta či Seněšnický potok). Tento soutok se nalézají v těsné blízkosti obce Malá Lečice. Novoveský potok je jeden z významnějších přítoků Kocáby, který může ovlivnit průtok při povodňových stavech. Proto zájmové území začíná až po jeho soutoku s Kocábou.

Z hlediska modelování záplavových území je dolní úsek toku poměrně rozmanitý a zajímavý. Pod Malou Lečicí je údolí poměrně otevřené a na jeho dně se rozkládají místy značně rozsáhlá inundační území. Říčka zde často meandruje. Směrem po proudu toku se údolí více zařezává a postupně prohlubuje. Nejhlubší a nejvíce zaříznuté je v úseku před obcí Štěchovice. Výškové poměry v dolním úseku Kocáby znázorňuje mapa 4.5.

Tok je od Malé Lečice po okraj Štěchovic ovlivněn člověkem do střední míry. Některé části toku jsou v podstatě přirozené, naopak v některých částech jsou břehy upraveny nebo přímo uměle vybudovány. Nenacházejí se zde žádné větší mosty a také říčních stupňů je zde málo. Naopak velmi časté jsou drobné lávky pro pěší živelně konstruované místními chataři a také brody, které umožňují překonání Kocáby automobily. Chatových osad je zde několik a jsou poměrně rozsáhlé. K největším a nejznámějším patří osady Askalona, Dashwood, Rewaston, Havran, Leusiana, Maják či Kansas.

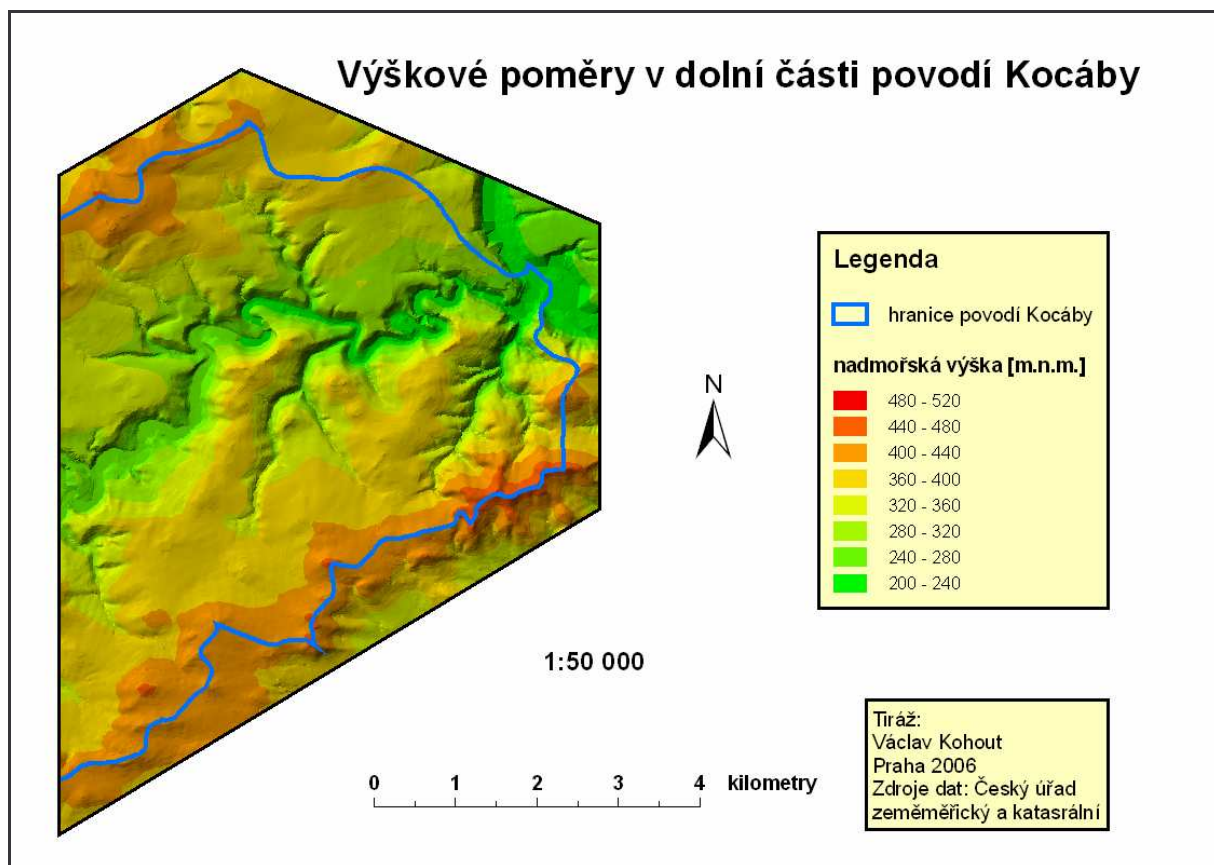
Mapa 4.4: Vodní toky v dolní části povodí Kocáby a v okolí



V obci Štěchovice se údolí rozevívá a plynule navazuje na údolí Vltavy. Tok Kocáby je zde velmi silně ovlivněn člověkem. Nacházejí se zde tři říční stupně, tři silniční mosty a celé koryto je umělé. Břehy jsou z velké části vybetonovány do podoby vysokých zdí. Místa jsou tyto zdi vytaženy nad úroveň okolního terénu a tvoří tak v podstatě protipovodňové hráze. Lze tedy říci, že tato část toku (přibližně 1 km) má zcela odlišný charakter než zbytek modelovaného úseku.

Obec Štěchovice má dlouhodobé problémy s povodněmi a stoprocentně účinná ochrana proti nim není technicky možná. Obec není možné chránit především proti větším povodním na Vltavě. Proti povodním na Kocábě jsou Štěchovice do určité míry chráněny již zmíněnými stavbami. Pomocí modelování v této práci bude možné ohodnotit účinnost těchto staveb a kvalitu protipovodňové ochrany.

Mapa 4.5: Výškové poměry v dolní části povodí Kocáby



Příloha 12 (D) na přiloženém DVD obsahuje turistickou mapu zájmové oblasti v měřítku 1 : 50 000. Některé fotografie (např. limnigrafické stanice) pořízené při terénním průzkumu lze nalézt v příloze 13 (D) na přiloženém DVD.

5. Metodika

Úkolem práce je vytvořit modely záplavových území pro různé hodnoty průtoku. Cílem je tedy zjistit stav při časově ustálených podmínkách proudění. Proto bude pohyb vody v korytech popsán jako ustálený nerovnoměrný (plynule se měnící) pohyb. Průběhy hladin při takovémto druhu pohybu lze efektivně řešit metodou po úsecích.

Sledovaná část toku se rozdělí na dílčí úseky, které jsou pak postupně jeden po druhém řešeny. V těchto úsecích by změny profilů měly probíhat rovnoměrně – rozšiřovat se či zužovat. Také sklon dna v daném úseku by měl být stálý. Při výpočtu se vychází ze známé hloubky v jednom z profilů, která je určena okrajovými podmínkami. Řešením rovnic je možné získat hloubku v druhém profilu. Tato právě vypočítaná hloubka je pak použita jako okrajová podmínka při řešení následujícího úseku. Tímto způsobem se postupuje až k vyřešení celé sledované části toku.

Základem řešení metodou po úsecích je energetická rovnice vycházející z Bernoulliho rovnice, která má tvar:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \cdot V_2^2 \cdot (2g)^{-1} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \cdot V_1^2 \cdot (2g)^{-1} + h_e \quad (1)$$

kde:	Y_1, Y_2	je výška vodní hladiny nade dnem v profilech 1 a 2
	Z_1, Z_2	je výška dna koryta nad srovnávací rovinou v profilech 1 a 2
	V_1, V_2	je průměrná rychlost v profilech 1 a 2
	α_1, α_2	je součinitel nazývaný Coriolisovo číslo; vyjadřuje poměr skutečné kinetické energetické výšky k této výšce vyjádřené ze střední průřezové rychlosti
	g	je gravitační zrychlení
	h_e	ztráta mezi profily 1 a 2

Ztráta h_e mezi dvěma profily se skládá ze ztrát třením a z místních ztrát způsobených rozšířením či zúžením koryta. Celkovou ztrátu h_e lze tedy vypočítat jako součet ztráty třením s místními ztrátami:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot [(\alpha_2 \cdot V_2^2 \cdot (2g)^{-1}) - (\alpha_1 \cdot V_1^2 \cdot (2g)^{-1})] \quad (2)$$

kde: L je délka úseku
 \bar{S}_f je střední hodnota sklonu čáry energie
 C ztrátový koeficient rozšíření či zúžení

Celkový průtok v určitém profilu lze vypočítat jako součet průtoků v hlavním kanále a v levé a pravé mimobřežní oblasti (inundaci). Tyto oblasti mimo břehy je možné ještě dále dělit na části, pro které je průtok vypočítáván samostatně. Dílčí části jsou vymezeny na základě změn koeficientů drsnosti n – v místech, kde se koeficient drsnosti n mění, je vedena hranice. Výpočet průtoků v dílčích částech se provádí podle vzorců (s využitím Manningova vzorce pro výpočet rychlostního součinitele):

$$Q = K \cdot \bar{S}_f^{1/2} \quad (3)$$

$$K = 1 / n \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (4)$$

kde: Q je průtok
 K je průtokový modul průřezu
 n je koeficient drsnosti
 A je plocha průřezu
 R je hydraulický poloměr

Změny koeficientů drsnosti se mohou vyskytovat i v hlavním kanále. Pokud se tyto změny vyskytnou, lze pro hlavní kanál vypočítat takzvaný složený koeficient drsnosti:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \quad (5)$$

kde: n_c je složený koeficient drsnosti
 P je omočený obvod celého hlavního kanálu
 P_i je omočený obvod části i
 n_i je koeficient drsnosti části i

Celkový průtok v profilu je pak získán součtem všech průtoků dílčích částí profilu.

Postup řešení v jednom úseku (mezi dvěma profily) je možné rozdělit do několika kroků:

1. nejprve se odhadne výška hladiny v druhém profilu (tam, kde ji neznáme a chceme zjistit)
2. z výšky se odvodí další veličiny, jako plocha průřezu, rychlost, průtokový modul průřezu, střední hodnota sklonu čáry energie apod.
3. řeší se rovnice 2
4. řeší se rovnice 1
5. porovnají se výsledky a opakováním celé procedury se postupně sblíží

Širší přehled poznatků z hydrodynamiky je možné čerpat z prací Rybníkáře (1994) a Krešla (2001) a také z manuálu Hydraulic Reference Manual (2002) k softwaru HEC – RAS.

6. Postup práce

Zpracování práce lze rozdělit do několika postupných kroků, které plně odpovídají jednotlivým fázím projektu tak, jak byly skutečně realizovány. Samotnému postupu práce předchází ještě podkapitola o vstupních datech.

6.1. Data využitá v práci

Data využitá v této práci lze rozdělit do dvou základních skupin. První skupinu tvoří geografická data popisující terén a objekty na něm. Druhou skupinu tvoří hydrologická data, která popisují dynamické vlastnosti toků.

Základním zdrojem geografických dat byla databáze ZABAGED. V té je obsažen polohopis i výškopis charakterizující území. Podobným zdrojem dat je i rastrová Základní mapa 1 : 10 000 (RZM), která je odvozena právě z databáze ZABAGED. RZM je složena ze čtverců 2 x 2 km, poskytována je ve formátu TIFF s rozlišením 400 dpi a využívá umístovací soubory typu TFW. Nepostradatelným zdrojem geografických dat byla i barevná ortofota pokrývající zájmové území. Ta jsou umístěna v kladu Státní mapy 1 : 5 000 (5 km²) a uložena ve formátu TIFF. Mají rozlišení 0,5 metru a jsou georeferencována po mapových listech v souřadnicovém systému S - JTSK pomocí textového souboru TFW. Všechny doposud zmíněné zdroje dat poskytl pro účely této práce ČÚZK.

V práci byla využita i geografická data popisující detailněji koryto řeky Kocáby v podobě příčných a podélných profilů toku. Tyto profily mi poskytlo v analogové podobě PVL. Příčné profily lze nalézt v příloze 10 (D) a podélné profily v příloze 9 (D) na přiloženém DVD.

Datové vrstvy obsahující polohové a popisné informace o tocích a rozvodnicích poskytl ČHMÚ.

Z hydrologických dat byly v práci využity hodnoty 5-letého, 10-letého, 50-letého a 100-letého průtoku vztahující se k limnigrafické stanici ve Štěchovicích. K těmto průtokům byl získán i vodní stav. Hydrologická data poskytl ČHMÚ.

6.2. Stručný popis postupu a využití softwaru

Vstupní data byla upravována a předzpracována v prostředí ArcMap 9.0 (ArcGIS 9.0). Na jejich základě byla vytvořena geodatabáze (Personal Geodatabase) obsahující většinu geografických dat potřebných pro vytvoření modelu. Tato geodatabáze byla pojmenována koc1.mdb (příloha 14 (D) na příloženém DVD) a byla vytvořena také v prostředí ArcMap pomocí speciální nadstavby HEC – GeoRAS 4.1 for ArcGIS 9. Data uložená v této databázi byla pomocí stejné nadstavby exportována do souboru formátu SDF. Tento soubor je výměnným souborem mezi softwary ArcMap a HEC – RAS. Detailní popis výměnných souborů je uveden v podkapitole 6.2.1.

Data z výměnného souboru byla načtena do prostředí HEC – RAS 3.1.3. Software HEC – RAS je navržen pro jednorozměrné hydraulické výpočty v přírodních i umělých korytech. Byl vyvinut v Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers a je volně ke stažení. V prostředí HEC – RAS byla načtená geografická data doplněna do kompletní podoby. Následně byla vložena hydrologická data (hodnoty průtoků) a také byly definovány okrajové podmínky. Z takto připravených dat byl proveden hydraulický výpočet. Jeho výsledky byly podrobně zkontrolovány a nakonec exportovány do výměnného souboru ve formátu SDF.

Výsledky výpočtu uložené ve výměnném souboru byly načteny zpět do prostředí ArcMap. Na jejich základě byly vytvořeny tematické vrstvy popisující rozsah záplavových území a hloubku vody v těchto územích. K tomuto zpracování byla opět hojně využívána nadstavba HEC – GeoRAS. Na závěr byly ze získaných tematických vrstev a vstupních dat vytvořeny výsledné mapy.

6.2.1. Výměnné soubory ArcGIS <-> HEC – RAS

Data zpracovaná a upravená pomocí nadstavby HEC – GeoRAS v prostředí ArcMap je nutné přemístit do prostředí HEC – RAS. K tomuto účelu se využívá importní soubor formátu SDF obsahující prostorová data. Tento soubor lze vytvořit pomocí nástroje Extract Gis data (nadstavba HEC – GeoRAS). Tento nástroj vytvoří dva soubory – jeden ve formátu XML a z něho pak druhý ve formátu SDF. XML soubor je navržen pro budoucí využití a software HEC – RAS používá jen soubor formátu SDF. Soubor SDF je textový ASCII soubor.

Po provedení výpočtů v prostředí HEC – RAS je nutné přemístit výsledky (data) zpět do prostředí ArcGIS, k čemuž se využívá exportní soubor opět ve formátu SDF. Ten lze vytvořit pomocí nástroje Export GIS Data. Formát SDF je ale pro nastavbu HEC – GeoRAS „nečitelný“, a proto je nutné vytvořit druhý exportní soubor ve formátu XML, který již „čitelný“ je. Tento druhý exportní soubor (XML) je získán použitím nástroje Import RAS SDF File (nastavba HEC – GeoRAS) z exportního souboru ve formátu SDF. V následujícím textu bude přiblížena struktura výměnných souborů formátu SDF.

Textový SDF soubor lze rozdělit do několika sekcí skládajících se ze záznamů, klíčových slov a hodnot. Sekce:

Header (Hlavička)

Sekce Header obsahuje pouze základní informace. Jedná se o typ a název DMT, název vrstvy představující střednici toků, počet úseků toků, název vrstvy představující příčné řezy, počet těchto řezů, souřadnicový systém, projekční pás, referenční údaje pro rovinné souřadnice, referenční údaje pro vertikální souřadnice, minimální a maximální hodnoty souřadnic objektů (maximální rozsah) a údaj o typu jednotkového systému. Některé tyto údaje jsou nepovinné a je možné je neuvádět. V exportním souboru z HEC – RAS je v této sekci ještě údaj o počtu modelovaných událostí (5letá, 10 letá apod.) a názvy těchto událostí.

River Network (Říční síť)

Tato sekce obsahuje záznamy o jednotlivých úsecích toků a o jejich krajních bodech. Krajiní body jsou definovány pomocí souřadnic x,y,z a id bodu. Jednotlivé úseky toků jsou popsány pomocí id toku, id úseku a počátečního a koncového bodu (id krajních bodů). Dále jsou zde uvedeny souřadnice bodů, které definují střednici toku mezi krajními body.

Cross Sections (Příčné řezy)

Sekce Cross Sections obsahuje záznamy o příčných řezech. Ke každému příčnému řezu je uvedeno id toku, id úseku toku, pozice řezu na úseku toku, pole prvků obsahující plošné souřadnice příčných řezů a pole prvků obsahující prostorové souřadnice příčných řezů. Tyto údaje jsou nezbytné. Ostatní údaje o příčných profilech jsou nepovinné. Jsou to například: názvy řezů, informace (zejména id objektů a souřadnice) o průsečících liniích řezů s liniemi představující břehy, hlavní směry proudění a protipovodňové hráze nebo informace o průsečících liniích řezů s polygony představujícími neprůtočné oblasti, zastavěné oblasti a

oblasti s určitými land use kategoriemi. Sekce Cross Sections je zpravidla značně obsáhlá. V exportním souboru z HEC – RAS jsou v této sekci uvedeny ještě výšky hladin při jednotlivých modelovaných událostech.

Bridge/Culverts (Mosty/propusti)

Tato sekce obsahuje záznamy o mostech a propustech. Povinnými údaji o těchto objektech jsou stejné údaje jako v sekci Cross Sections. Nepovinnými údaji jsou název mostu (propusti), vzdálenost k vrchnímu příčnému řezu a vrcholová šířka mostovky.

Inline Structures (Stavby na tocích)

Sekce Inline Structures obsahuje záznamy o jezích a podobných stavbách. Povinnými údaji o těchto objektech jsou opět stejné údaje jako v sekci Cross Sections. Nepovinnými údaji jsou název stavby, vzdálenost k vrchnímu příčnému řezu a vrcholová šířka stavby.

Lateral Structures (Boční stavby)

Tato sekce obsahuje záznamy o bočních stavbách (př. jezy přetékané bočně) podél toků. Struktura údajů o těchto objektech je shodná se strukturou údajů v sekci Inline Structures.

Storage Areas (Akumulační prostory)

Sekce Storage Areas obsahuje záznamy o akumulacích prostorů. Ke každému akumulacím prostoru je uvedeno jeho id a pole prvků obsahující plošné souřadnice polygonů akumulacích prostorů. Zahrnutý jsou rovněž údaje o objemech akumulacích prostorů při různých výškách hladin. Nepovinným údajem jsou prostorové souřadnice bodů reprezentujících tvar terénu v akumulacím prostoru.

Storage Area Connections (Spojení akumulacích prostorů)

Tato sekce obsahuje záznamy o spojení akumulacích prostorů. Ke každému spojení je uvedeno jeho id, id vrchního a spodního akumulacím prostoru, pole prvků obsahující plošné souřadnice spojení a pole prvků obsahující prostorové souřadnice přepadového profilu.

V předcházejícím textu byly již uvedeny některé rozdíly mezi importním a exportním souborem. Těchto rozdílů je více, přestože jsou si jinak soubory velmi podobné. Základní odlišnosti jsou například v tom, které údaje jsou povinné a které jen dobrovolné.

Druhou odlišností je možnost uvést v exportním souboru další záznamy v sekci Cross Sections. Jsou to záznamy o rychlostech proudění, o prostorovém rozložení těchto rychlostí a také záznamy o prostorových limitech vodní hladiny v daném řezu. Sekce Storage Areas je také mírně odlišná. Jsou v ní navíc uvedeny údaje o výšce vodní hladiny v akumulacích prostorech při jednotlivých událostech.

Exportní soubor obsahuje novou sekci **Bounds** (hranice, meze), která se v importním souboru nevyskytuje. V této sekci je uvedeno id jednotlivých událostí, pro které byla modelována výška hladiny, a prostorové souřadnice vrcholů polygonů, které reprezentují limity vodní hladiny.

6.3. Úprava vstupních dat a tvorba geodatabáze (Personal Geodatabase)

Pro práci s geografickými daty byl využit software ArcGIS, který poskytuje široké množství nástrojů pro správu, editaci, analytické zpracování a vizualizaci takovýchto dat. V tomto softwaru je možné přímo pracovat s datovými vrstvami, které obsahují informace o tocích a rozvodnicích (formát SHP), ortofoty i RZM. Jen data ZABAGED byla uložena ve formátu DGN, který není možné v ArcGIS využívat. Z tohoto důvodu bylo nutné data ZABAGED převést do jiného formátu.

Soubory DGN byly v prostředí MicroStation 95 exportovány do souborů DWG (CAD Feature Dataset). Z těchto nových souborů (DWG) byly v prostředí ArcMap vytvořeny datové sady typu Coverage, které ArcGIS běžně využívá.

Pro zpracování práce a kvalitu výsledků je velmi podstatný DMT. Základem pro jeho tvorbu byl výškopis ZABAGED, který je tvořen plánem vrstevnic s intervalem dva metry, v rovinných částech s intervalem jeden metr. Výškopis ZABAGED však neobsahuje žádné informace o tvaru koryta a terénu v těsné blízkosti vodního toku. Je zřejmé, že tvar koryta je při modelování povodní velmi důležitým faktorem. Informace o tvaru koryta a o terénu v těsné blízkosti vodního toku byly získány z příčných a podélných profilů (přílohy 10 (D) a 9 (D) na příloženém DVD). Ve sledovaném úseku toku bylo k dispozici 29 příčných profilů, ze kterých byla získána nadmořská výška dna a břehů. Mezi jednotlivými profily byla provedena interpolace těchto výšek v maximálním rozestupu 55 metrů tak, aby koryto bylo po celé délce úseku lépe reprezentováno. Do vrstvy vrstevnic byly doplněny nové linie představující hrany

koryta a byla jim přiřazena příslušná nadmořská výška získaná z příčných profilů či z interpolace. Tímto způsobem byla vrstva obohacena o nové vrstevnice popisující tvar terénu v místě toku a celkové výškové poměry v zájmovém území byly touto vrstvou již dobře reprezentovány.

Upravená vrstva obsahující vrstevnice byla použita pro vytvoření DMT ve formátu Triangulated Irregular Network (TIN) – nepravidelná trojúhelníková síť. K tomuto účelu byla použita nadstavba 3D Analyst. Všechna vstupní data byla v této fázi připravena a bylo možné přistoupit k tvorbě samotné geodatabáze.

Pro modelování v této práci je nezbytné použít větší množství geografických dat různých druhů. Je výhodné, aby tato geodata byla organizována a koncentrována v nějaké ucelené struktuře. K tomuto účelu se velmi hodí geodatabáze typu Personal Geodatabase. Pro tvorbu jednotlivých částí této geodatabáze byly využity nástroje a funkce ArcGIS a jeho nadstaveb, včetně speciální nadstavby HEC – GeoRAS. Tato nepříliš známá nadstavba rovněž plně podporuje struktury Personal Geodatabase.

Před samotným zahájením tvorby geodatabáze byl do projektu v prostředí ArcMap vložen připravený DMT v podobě TIN. Byl stanoven jednotný souřadnicový systém projektu S-JTSK, který se používá i pro data ZABAGED, RZM a ortofota.

Vytvářená geodatabáze byla pojmenována koc1.mdb (příloha 14 (D) na přiloženém DVD) a pomocí nástrojů nadstavby HEC – GeoRAS byla naplněna jednotlivými tematickými vrstvami. Tyto vrstvy byly vytvořeny (editovány pomocí nadstavby Editor) na základě polohopisu ZABAGED, podkladových map (RZM), ortofot a také terénního průzkumu. Tematické vrstvy a přidružené tabulky shrnuje a stručně charakterizuje následující přehled:

River (Stream centerline – střednice toku) – liniová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující střednice toků. Linie musí být orientovány po směru proudu. Každá linie musí mít unikátní kombinaci názvu toku a názvu části toku (např. Kocába dolní).

Banks (Bank Lines – linie břehů) – liniová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující břehy toků. Linie břehů tvoří hranici mezi hlavním kanálem (korytem) a zbytkem záplavového území (inundací).

Flowpaths (Flow Path Centerlines – hlavní směry proudění) – liniová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující hlavní směry proudění v hlavním kanále, v levé a pravé části záplavového

území. Linie musí být orientovány po směru proudu. Střední linie (pro hlavní kanál) je často totožná s linií střednice toku (vrstva River). Každou linii této vrstvy je nutné doplnit o informaci, zda se jedná o proudění v hlavním kanále, levé či pravé části záplavového území.

XSCutLines (XS Cut Lines – příčné profily) – liniová vrstva 2D (souřadnice x, y) reprezentující řezy terénu. Linie řezů musí být orientovány z levého břehu na pravý a musí být dostatečně dlouhé, aby sahaly na obou březích za hranici záplavového území. Linie by měly být vedeny pokud možno pravoúhle na směr toku (střednici toku – linie ve vrstvě River). Linie byly konstruovány v maximálním rozestupu 55 metrů (měřeno po střednici toku). Vytvořené řezy (celkem 261) byly doplněny o popisné informace – staničení, název toku, název části toku, polohu břehů a další. Pomocí nástroje Elevations (HEC - GeoRAS) byla z této vrstvy vytvořena nová vrstva XSCutLines3D.

XSCutLines3D – liniová vrstva 3D (souřadnice x, y, z) reprezentující řezy terénu. Je odvozena z předcházející vrstvy a obohacena o výškové souřadnice získané z DMT v podobě TIN.

Bridges (Bridges/Culverts – mosty a propusti) – liniová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující mosty případně propusti (v této databázi jen mosty). Tvorba této vrstvy je velmi podobná tvorbě vrstvy XSCutLines. Obdobné je také doplnění stejných popisných informací a též vytvoření vrstvy Bridges3D (opět pomocí nástroje Elevations).

Bridges3D – liniová vrstva 3D (souřadnice x, y, z) představující mosty a propusti. Je odvozena z předcházející vrstvy a obohacena o výškové souřadnice získané z DMT v podobě TIN.

IneffAreas (Ineffective Flow Areas – neprůtočné oblasti) – polygonová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující oblasti, ve kterých se může nalézat voda, ale její rychlost proudění se blíží nule. Jsou to tedy oblasti, které se nepodílí na odtoku vody. Z této vrstvy byla pomocí nástroje Positions (HEC – GeoRAS) vytvořena tabulka IneffectivePositions, která je také součástí geodatabáze.

IneffectivePositions – tabulka obsahující informace o neprůtočných oblastech získané na základě průsečíků polygonů vrstvy IneffAreas s liniemi řezů vrstvy XSCutLines. Tabulka

obsahuje i informace o výškovém rozměru neprůtočných oblastí, které je možné získat z DTM, nebo které uživatel manuálně vloží.

LandUse (Landuse Areas – využití ploch) – polygonová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující plochy s různým využitím. Tato vrstva byla vytvořena účelově pro použití při modelování povodní. To znamená, že neobsahuje tradiční třídy land use a nepoužívá klasickou klasifikaci. Tato vrstva slouží v modelu pouze pro určení koeficientů drsnosti n. Polygony tedy nemají sloužit ke klasifikaci land use, ale k charakterizaci ploch se stejným koeficientem drsnosti n. Pro modelování je důležité používat například více druhů „land use“ pro koryto toků, protože různé druhy koryt mají různou drsnost (tedy koeficient drsnosti n). Vrstvu LandUse lze tedy použít jen pro účely tohoto modelování.

Při tvorbě vrstvy bylo nutné zajistit to, aby se jednotlivé polygony nikde nepřekrývaly a zároveň mezi nimi nikde nebyly mezery. K tomuto účely byly využity funkce Intersect a Erase (obě ArcToolbox). Po vytvoření polygonové vrstvy byla editována atributová tabulka a do sloupce LUCode byly vloženy stanovené třídy „land use“. Pomocí nástroje Create LU-Manning Table byla vytvořena tabulka **LUManning**. Ta vznikla tak, že z atributové tabulky vrstvy LandUse byly vybrány všechny třídy „land use“ a každá třída byla do nové tabulky zapsána pouze jednou. Tabulka LUManning (viz tabulka 6.1) byla editována a do sloupce N_Value byly doplněny koeficienty drsnosti n pro jednotlivé třídy. Koeficienty byly určeny na základě rozsáhlé rešerše v odborné literatuře.

V dalším kroku posloužila vrstva LandUse a tabulka LUManning jako zdroj dat pro vytvoření tabulky **Manning**. Ta byla vytvořena použitím nástroje Extract N Values. Tento nástroj vypočítává průsečky linií řezů (vrstva XSCutLines) a stranami polygonů z vrstvy LandUse. Linie řezů jsou tak rozděleny na úseky s různými hodnotami koeficientu n. Tabulka Manning obsahuje výčet všech úseků ze všech řezů. K jednotlivým úsekům je doplněn jejich rozsah a hodnota koeficientu n.

Tabulka 6.1: LUManning tabulka s popisem tříd

OBJECTID	LUCode	N_Value	popis
1	les	2.000	les
2	louka	0.080	louka
3	zastavbahusta	0.130	území s hustou zástavbou, větší budovy, domy
4	pole	0.040	pole
5	korytozarostle	0.035	koryto se zpevněnými břehy kamenem na sucho s hustou březní vegetací
6	zastavbaridka	0.100	území s řídkou zástavbou, chaty
7	koryto	0.030	koryto se zpevněnými břehy kamenem na sucho středně zarostlé břehy
8	breh	0.015	volné plochy v těsné blízkosti koryta toků s minimem vegetace
9	korytohole	0.025	koryto se zpevněnými břehy kamenem na sucho bez vegetace na březích
10	lesik	0.150	mladý nízký les
11	silnice	0.015	asfaltové a betonové plochy
12	korytozedj	0.022	koryto s betonovou zdí na jednom břehu, druhý břeh zpevněný kamenem na sucho
13	korytozedd	0.015	koryto s betonovou zdí na obou březích

Zdroj: vlastní

Levees (Levee Alignment - hráze) – liniová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující ochranné hráze. Protipovodňové hráze se nalézají v nejspodnější části toku v obci Štěchovice. HEC – RAS však využívá vrstvu Levees nejen pro reprezentaci ochranných protipovodňových hrází. Velmi často se také využívá v případě, že kolem toku jsou břehy vyvýšené nad vzdálenější inundační území. K tomu, aby se tok rozlil do těchto území, musí hladina vystoupat nad úroveň vyvýšeného břehu. Jedná se tedy v podstatě o „hráz“, ačkoliv může být přirozeného původu a člověk ji za hráz ani nepovažuje.

Nadmořská výška ochranných hrází byla zadána pomocí nástroje Assign Levee Elevation. Tento nástroj vytvoří při prvním použití novou vrstvu LeveePoints.

LeveePoints (LeveePoints – body hrází) – bodová vrstva představující uživatelem vybrané body na liniích hrází. Pro tyto body uživatel zadává nadmořskou výšku. Liniím, které představovaly vyvýšená místa na březích, byla přiřazena nadmořská výška terénu v daném

místě získaná z DMT. Skutečným ochranným hrázím byly přiřazeny nadmořské výšky korun hrází. Vrstvy Levees a LeveePoints posloužily jako zdroj dat pro vytvoření vrstvy Levees3D. Ta byla vytvořena pomocí nástroje Profile Completion.

Levees3D – liniová vrstva 3D (souřadnice x, y, z) představující hráze. Obsahuje polohové souřadnice získané z vrstvy Levees a výškové souřadnice získané z vrstvy LeveePoints. Vrstva Levees3D byla využita pro vytvoření tabulky LeveePositions použitím nástroje Positions.

LeveePositions – tabulka obsahující informace o hrázích v jednotlivých příčných řezech. Nástroj Positions vypočítává průřezy mezi liniemi hrází a liniemi řezů a také vypočítává nadmořskou výšku hráze v tomto průřezu (interpolací z výšek zadaných uživatelem v nejbližších bodech). Polohu na řezu a nadmořskou výšku zapíše do této tabulky.

InlineStructures (Inline Structures – příčné stavby, jezy) – liniová vrstva 2D (souřadnice x, y) představující jezy. Tvorba této vrstvy je velmi podobná tvorbě vrstvy XSCutLines. Obdobné je také doplnění stejných popisných informací a též vytvoření vrstvy InlineStructures3D (pomocí nástroje Elevations).

InlineStructures3D – liniová vrstva 3D (souřadnice x, y, z) představující jezy. Je odvozena z předcházející vrstvy a obohacena o výškové souřadnice získané z DMT.

Nadstavba HEC – GeoRAS umožňuje vytvořit ještě vrstvy Blocked Obstructions (zastavěné oblasti), Lateral Structures (boční stavby), Storage Areas (akumulační prostory) a Storage Area Connections (spojení akumulacních prostorů). Tyto vrstvy však nebylo nutné vytvářet, protože ve sledovaném území se jevy odpovídající těmto vrstvám nenacházejí.

V této fázi zpracování byla celá geodatabáze připravena na vytvoření importního souboru. Aby nedošlo při generování souboru k nějaké záměně vrstev, byly v dialogu Layer Setup všechny vrstvy nastaveny do příslušných polí.

Generování importního souboru bylo provedeno spuštěním nástroje Extract GIS data. Soubor byl pojmenován vse.RASImport.sdf (příloha 15 (D) na přiloženém DVD).

6.4. Příprava dat na výpočet a provedení výpočtu

Software HEC – RAS se skládá z několika modulů. Z nich byly nejvíce využívány moduly Geometric Data editor, Steady Flow Data editor a Steady Flow Analysis.

V prvním kroku bylo nutné načíst připravená data z importního souboru. To bylo provedeno v modulu Geometric Data (nástroj Import Geometry Data). Z důvodů přehlednosti byla data načítána postupně – nejprve příčné profily, poté mosty a jezy. Editor Geometric Data je celý určen pro práci s geografickými daty. Příčné profily vytvořené v GIS obecně zpravidla obsahují nadměrný počet bodů reprezentujících tvar terénu. Vyskytují se i duplicity těchto bodů. HEC – RAS může pracovat maximálně s pěti sty terénními body v každém profilu. K odstranění nadbytečných a duplicitních bodů byl použit nástroj Cross Sections Points Filter, který je navržen tak, aby změna tvaru terénu byla minimální.

Ke kontrole profilů a případným drobným úpravám byl hojně využíván Graphical Cross Sections Editor. V něm si lze prohlédnout každý profil, tvar terénu, koeficienty drsnosti podél profilu, umístění hrází a jiných staveb, umístění neprůtočných oblastí apod. Podobné možnosti nabízí i Cross Section Data editor. Pro úpravy koeficientů drsnosti je možné využít tabulkový editor Manning's n or k Values a pro úpravy hrází tabulkový editor Levees.

Data o mostech importovaná z GIS nebyla zdaleka kompletní. Tvar terénu odpovídal, ale tvar konstrukce mostu nebylo možné z DMT odvodit. K editaci mostů (celkem 5) je v HEC – RAS vyvinut Bridge Culverts Data editor. V něm byla namodelována celá konstrukce mostu včetně mostovky. Ukázkou jednoho z vymodelovaných mostů znázorňuje příloha 11. Geometrické údaje o mostech byly získány z analogových příčných profilů (příloha 10 (D) na přiloženém DVD). Při některých událostech nelze vyloučit, že hladina vody vystoupá nad spodní úroveň mostovky, nebo dokonce nad celou konstrukci mostu. Z tohoto důvodu byly určeny hladiny, při nichž se běžný výpočet přepíná na výpočet tlakového proudění, nebo výpočet s vodou přepadající přes mostovku. Toto nastavení bylo provedeno v editorech Deck/Roadway Data Editor a Bridge Modeling Approach Editor.

V okolí mostů se zvyšují také místní ztráty, které jsou v HEC – RAS reprezentovány koeficienty kontrakce (zúžení) a expanze (rozšíření). Vzhledem k tomu, že všech pět mostů modelovaných ve sledovaném úseku zužovalo koryto toku jen minimálně, byly hodnoty těchto dvou koeficientů před a za mosty zvýšeny také minimálně. Standardně je pro proudění

v korytě nastaven koeficient kontrakce na hodnotu 0.1 a koeficient expanze na hodnotu 0.3. V okolí mostů byly tyto hodnoty opraveny na 0.15 a 0.4. Manuály HEC – RAS uvádějí typické hodnoty koeficientů v okolí mostů 0.3 a 0.5, které jsou ale vypočítány pro případy, kdy konstrukce mostů více zužují koryto a tím vytvářejí větší odpor proudění. Nastavení koeficientů kontrakce a expanze bylo provedeno pomocí tabulky Contraction/Expansion Coefficients.

V místech, kde mostní konstrukce zužuje koryto toku, se před a za mostem vytvářejí prostory, v nichž voda stojí a neproudí. Jedná se tedy o neprůtočné oblasti (Ineffective Flow Areas). Pro zavádění a úpravy těchto oblastí slouží v HEC – RAS již zmíněný Graphical Cross Sections Editor a také tabulkový editor Ineffective Flow Area Elevations.

Podobným způsobem jako mosty byly upraveny i jezy a stupně. K editaci jezů slouží v HEC – RAS editor Inline Structure Data, zejména jeho nástroj Inline Structure Weir Station Elevation Editor. V tomto prostředí bylo postupně definováno umístění a tvar všech šesti jezů, které se ve sledovaném úseku toku nacházejí.

V této fázi zpracování byla připravena již všechna potřebná geografická data.

Druhý zmiňovaný modul Steady Flow Data editor slouží k vložení hydrologických dat a definování tzv. okrajových podmínek (Boundary Conditions). Z důvodů větší přehlednosti byly modely od této fáze zpracovávány pro každou událost (5-letá, 10-letá, 50-letá a 100-letá voda) zvlášť. Postup zpracování je u všech událostí obdobný. V editoru Steady Flow Data byly vloženy pro jednotlivé události hodnoty průtoků na horním a dolním profilu. Přehled hodnot průtoků uvádí tabulka 6.2.

Tabulka 6.2: Hodnoty průtoků pro 5-letou, 10-letou, 50-letou a 100-letou povodeň

n - letost	průtok
x - letá	Q (m ³ /s)
5	34.2
10	46.3
50	81.4
100	100.0

Zdroj: ČHMÚ

V dialogovém okně Steady Flow Boundary Conditions byly pro všechny události zadány shodné okrajové podmínky. Z nabídky okrajových podmínek byla pro dolní i horní profil vybrána podmínka Normal Depth. Ta vyžaduje zadání sklonu energetické čáry, který může být nahrazen sklonem dna koryta (použito v tomto modelování) (Hydraulic Reference Manual 2002). Hodnota sklonu je na horním profilu 0.003 a na dolním profilu 0.001.

Třetí zmiňovaný modul Steady Flow Analysis slouží ke spuštění samotného hydraulického výpočtu. V záložce Options bylo nastaveno, aby byla v každém profilu vypočítána kritická výška. Jinak bylo nastavení ponecháno ve standardní (defaultní) podobě. V dialogovém okně modulu byl určen režim proudění na hodnotu „Mixed“ (smíšený režim). Tento režim pracuje jak s pohybem podkritickým (říčním, subcritical) tak nadkritickým (bystřinným, supercritical). Při přechodu z bystřinného pohybu do říčního dochází k hydraulickému jevu zvanému vodní skok (hydraulic jump). Krešl (2001) uvádí, že při tomto přechodu dochází k náhlému zvětšení hloubky proudu a velká rychlost bystřinného pohybu prudce přechází na malou rychlost říčního pohybu. To, zda dochází při jednotlivých událostech k vodnímu skoku, lze zjistit na základě výpočtu kritické hloubky. Pokud protne kritická hloubka hladinu, je třeba použít smíšený režim. Z tohoto důvodu byl proveden pokusný hydraulický výpočet a bylo zjištěno, že při všech sledovaných událostech k vodnímu skoku v některých místech dochází. Proto byl režim nastaven na hodnotu „Mixed“.

Jak uvádí Krešl (2001), kritická hloubka je hloubka, při níž daný průtok protéká v daném korytě při minimální energetické výšce průřezu. Kritickou hloubku lze stanovit jako hloubku při níž rovnice

$$E = h + \alpha \cdot v^2 \cdot (2g)^{-1} \quad (6)$$

dosahuje minima;

kde:	E	je energetická výška průřezu
	h	je hloubka
	α	je součinitel nazývaný Coriolisovo číslo
	v	je střední rychlost průřezu
	g	je gravitační zrychlení

Pokud v nějakém úseku toku dojde k vodnímu skoku, není energetická rovnice vycházející z Bernoulliho rovnice (hlavní výpočetní rovnice – viz kapitola 5. Metodika) pro výpočet dostačující. V takových úsecích je nutné použít tzv. rovnici prostého vodního skoku:

$$\beta \cdot Q^2 \cdot (g \cdot S_1)^{-1} + y_1 \cdot S_1 = \beta \cdot Q^2 \cdot (g \cdot S_2)^{-1} + y_2 \cdot S_2 \quad (7)$$

kde: Q je průtok
 β je Bousinesquovo číslo (též součinitel hybnosti) vyjadřující vliv nerovnoměrného rozdělení rychlosti v průřezu na hodnotu hybnosti
 S_1, S_2 jsou plochy jednotlivých průřezů
 y_1, y_2 jsou hloubky těžišť v jednotlivých průřezích
 g je gravitační zrychlení

Hydraulický výpočet byl spuštěn poklepnáním na tlačítko Compute. Výsledky výpočtu byly velmi detailně zkontrolovány. Při této kontrole byly využity hlavně editory Water Surface Profiles a Cross Sections a také už několikrát zmíněný Graphical Cross Sections Editor. Následně byly výsledky výpočtu exportovány pomocí nástroje Export GIS Data, který vytvořil exportní soubor ve formátu SDF. Exportní soubory lze nalézt v příloze 16 (D) na přiloženém DVD.

Kontrola výsledků byla prováděna i v prostředí ArcMap, do kterého byla data importována (podrobný popis zpracování výsledků je uveden v následující podkapitole 6.5.). Při kontrole bylo objeveno pro každou hodnotu průtoku několik chyb. Tyto chyby byly postupně odstraňovány pomocí změn dat v prostředí HEC – RAS a následným provedením nového výpočtu. Je zřejmé, že při různých průtocích se mění rozsah záplavového území a že některé části záplavového území se při různých průtocích „chovají“ odlišně. Neprůtočné oblasti při 5-leté vodě mohou být průtočné při větší vodě a podobně. Rovněž hráze, které představují vyvýšené břehy, byly dle potřeby vypínány a zapínány podle toho, zda voda v nějakém profilu přetekla. Tímto způsobem byly jednotlivé modely „vyladěny“. Změny dat - ladění se týkalo pouze dat o hrázích (Levees) a neprůtočných oblastech (Ineffective Flow Areas). Tento postup je pro zkvalitnění výsledků nezbytný a je přímo doporučený v manuálech k HEC – RAS. Tato fáze zpracování (ladění) modelu je velmi tvůrčí a je třeba provést až několik desítek výpočtů, než jsou všechny chyby odstraněny. V praxi to znamená mnohonásobné přeskakování z prostředí GIS do prostředí HEC – RAS a zpět.

Přílohy 9 a 10 zobrazují výstupy z programu HEC – RAS po provedení výpočtu. Příloha 9 obsahuje ukázkou jednoho z profilů se zákřesem průtočného průřezu při stoleté povodni. Příloha 10 znázorňuje perspektivní plán úseku Kocáby se zákřesem vodní hladiny při stoleté povodni.

6.5. Zpracování výsledků výpočtu a tvorba map

Exportní soubor vytvořený v HEC – RAS má formát SDF. Pomocí nástroje Import RAS SDF File (nastavba HEC-GeoRAS) byla data převedena do souboru XML. V následujícím kroku je nutné vyplnit dialog Layer Setup, ve kterém musí uživatel zadat název analýzy, exportní soubor (XML), DMT (stejný TIN jako při přípravě geodatabáze), pracovní adresář, název nové geodatabáze a velikost rastrové buňky. Velikost buňky byla nastavena na 3 mapové jednotky tedy na 3 metry. Spuštěním nástroje Read RAS GIS Export File byla načtena data z exportního souboru.

Uvedený nástroj v pracovním adresáři automaticky vytvořil novou geodatabázi (Personal Geodatabase), do které ukládá načtená data. Geodatabáze v tomto prvním kroku obsahuje vrstvy XS Cut Lines (řezy terénu), River2D (linie toků) a Bounding Polygon (hraniční polygon). V pracovním adresáři nástroj vytvořil i vrstvu dtmgrid (Raster Dataset). Ta představuje DMT v podobě grid odvozený z DMT v podobě TIN.

Použitím nástroje Water Surface Generation byl vytvořen digitální model hladiny v podobě TIN. Tato vrstva se automaticky uložila do pracovního adresáře pod názvem tp001. Nyní lze porovnat DMT s digitálním modelem hladiny a určit tak rozsah záplavového území. K tomuto účelu byl využit nástroj GRID Intersection, který uskuteční několik po sobě jdoucích úkonů. Nejprve vytvoří nový grid s názvem wsgridp001 (digitální model hladiny), který je odvozený z vrstvy tp001. Nyní nástroj porovná vrstvy dtmgrid a wsgridp001 a vypočítá výškový rozdíl mezi nimi. Z oblastí, kde je wsgridp001 výše než dtmgrid, vytvoří nástroj nový grid s názvem dp001. Ten je následně „ořezán“ (clip) vrstvou Bounding Polygon. Toto ořezání zajišťuje, že oblasti, které jsou pod úrovní hladiny, ale přesto v nich podle výpočtu nemá být voda, zůstanou „suché“. Tímto způsobem získaný grid (dp001) reprezentuje hloubku vody v každé části záplavového území a je tedy výsledkem celého modelování. V posledním kroku nástroj odvodí z tohoto gridu polygonovou vrstvu s názvem bp001, kterou uloží do geodatabáze. Tato vrstva reprezentuje jen hranici záplavového území a je tak druhým důležitým výsledkem modelování.

Z vrstvy bP001 byla vytvořena mapa záplavového území. Podklad mapy tvoří osm barevných ortofoto snímků doplněných popisem obcí a osad. Přes tyto snímky byla dána vrstva se záplavovým územím (bP001), které byla nastavena průhlednost tak, aby byl snímek čitelný i v záplavovém území. Následně byly do mapy doplněny všechny nezbytné prvky, jakými jsou název mapy, grafické a číselné měřítko, legenda, směrová růžice, tiráž. Hotová mapa byla exportována do formátu TIFF s rozlišením 400 dpi.

Obdobným způsobem byla vytvořena i mapa hloubek. Hlavní tematickou vrstvou zde byl grid (dp001), který reprezentuje hloubku v záplavovém území. Hloubky byly znázorněny pomocí stupnice odstínů modré barvy. Mapa byla opět exportována do formátu TIFF ve stejném rozlišení.

Pro každou modelovanou povodeň vznikla jedna geodatabáze obsahující popsané prvky. Tyto geodatabáze jsou uloženy na příloženém DVD v přílohách 17 (D) až 20 (D).

Postup uvedený v této podkapitole byl aplikován na všechny čtyři modelované události. Výsledkem je osm map – čtyři mapy záplavových území a čtyři mapy hloubkových poměrů. Mapy záplavových území jsou uloženy ve formátu TIFF v přílohách 1 (D) až 4 (D) na příloženém DVD a také zobrazeny ve vázaných přílohách 1 – 4. Mapy hloubkových poměrů jsou uloženy ve formátu TIFF v přílohách 5 (D) až 8 (D) na příloženém DVD a zobrazeny ve vázaných přílohách 5 – 8.

7. Výsledky práce

Výsledkem práce jsou modely pětileté, desetileté, padesátileté a stoleté povodně na dolním úseku Kocáby. Konečným výstupem modelování je soubor osmi map. Pro každý ze čtyř modelů byla vytvořena mapa záplavového území a mapa hloubkových poměrů v záplavovém území.

Model pětileté povodně (přílohy 1, 5, 1 (D) a 5 (D))

V horní části sledovaného úseku nevystupuje Kocába ze svých břehů. Pod 9. říčním kilometrem (ř. km) se řeka široce rozlévá do inundace na levém břehu. Dochází k zaplavení částí osad Askalona a Dashwood. Pod osadou Dashwood přechází tok z pravé strany údolí na levou a voda se zde rozlévá do pravé inundace. Níže po toku se nachází osada Rewaston, kde se řeka vrací zpět k pravé straně údolí. V Rewastonu se řeka vylévá přes levý břeh a tím opět ohrožuje některé objekty osady. Před osadou Havran (4,5 ř. km) dochází k rozlití vody mimo koryto do obou stran a nejnižší položené budovy na obou březích jsou opět zatopeny. Pod Havranem (3,8 ř. km) se řeka vrací zpět do koryta. Situace se mění před jezem v osadě Maják, kde voda opět opouští koryto a vylévá se tentokrát přes pravý břeh. Zaplavuje tím několik objektů. Po 150 m se voda vrací zpět do koryta a až po ústí do Vltavy už koryto neopouští. Obec Štěchovice je proti pětileté povodni plně ochráněna.

Inundační území jsou zaplavena mělce, většinou se hloubka vody pohybuje od 0 do 1 m. Výjimku tvoří úsek mezi 8. a 9. ř. km, kde hloubka vody mimo koryto místy přesahuje 2 m. Ve stejném úseku dosahuje hloubka vody v korytě hodnot přes 4 m. Podobnou výjimkou je také zátopa v osadě Maják. Zde je koryto řeky nad úrovní terénu na pravém břehu. Největší hloubky se proto vyskytují v pravé inundaci, kde přesahují 4 m.

Model desetileté povodně (přílohy 2, 6, 2 (D) a 6 (D))

Záplavové území desetileté povodně se v horní části sledovaného úseku toku značně liší od záplavového území pětileté povodně. Voda vystupuje z koryta hned na počátku úseku a zaplavuje především levou inundaci. Vyvýšený levý břeh často vyčnívá nad hladinu vody a vytváří tak ostrůvky. Na ř. km. 9,3 se řeka vrací do svého koryta. Po 300 m se znovu rozlévá. Záplavové území pod 9. ř. km až po soutok s Vltavou je téměř shodné se záplavovým územím

pětileté povodně. Dochází pouze k menšímu rozšíření záplavového území v oblastech, kde tok vystoupil z koryta již při pětileté povodni. K novému rozlítí mimo břehy nedochází. Nejvíce postiženy jsou opět části osad Askalona, Dashwood, Rewaston, Havran a Maják. Štěchovice jsou proti desetileté povodni chráněny.

Hloubka vody v inundačních územích se oproti pětileté povodni zvýšila jen nepatrně. Stále převažují hloubky do 1 m. Ke dvěma hlubokým oblastem záplavového území popsaným u pětileté povodně přibyla třetí. Ta se vytvořila v horní části sledovaného úseku v levé inundaci. Maximální hloubky zde přesahují 4 m.

Model padesátileté povodně (přílohy 3, 7, 3 (D) a 7 (D))

Záplavové území padesátileté povodně je v mnohých úsecích znatelně větší než záplavové území desetileté povodně. Značné rozdíly se nalézají v horní části sledovaného úseku, kde jsou nově zaplaveny rozsáhlé plochy v levé i pravé inundaci. Ostrůvky v místech vyvýšených břehů se zmenšily či úplně zmizely. Výrazně více jsou zasaženy osady Dashwood a Havran. Záplavové území se rozšířilo i v osadách Askalona, Rewaston a Maják. Nově jsou zasaženy některé chatové kolonie na levém břehu pod osadou Maják a zejména velké množství objektů po obou březích řeky v osadě Kansas. Zde se záplavové území značně rozšířilo téměř po celé délce této osady. Dramaticky se odlišuje záplavové území i v obci Štěchovice. Protipovodňové hráze zde sice nepřetekly, ale došlo k rozlítí toku do levé inundace asi 120 m před ústím řeky do Vltavy. Zde se již hráze nenacházejí. Ve sníženém terénu se voda dostala zpětně za hráze na levém břehu a vytvořila tak široký reservoár stojaté vody. Tím bylo zaplaveno několik větších budov. Situace by se dala zlepšit prodloužením hráze na levém břehu až do míst, kde došlo k vylití toku.

V nově zaplavených plochách je hloubka vody malá, zpravidla do 0,5 m. Nová místa s většími hloubkami se nevytvořila. Tři hluboké oblasti popisované u modelů pětileté a desetileté povodně se mírně zvětšily.

Model stoleté povodně (přílohy 4, 8, 4 (D) a 8 (D))

Záplavové území stoleté povodně se od počátku sledovaného úseku toku až po osadu Havran téměř neliší od záplavového území padesátileté povodně. Velmi významně jsou zasaženy osady Askalona, Dashwood, Rewaston i Havran. Pod osadou Havran se nalézají velký počet míst, ve kterých hladina nově vystoupala nad úroveň břehů. Tato místa se nalézají

například v osadě Leusiana. V osadách Maják a Kansas se záplavové území rozšířilo. Nejpodstatnější jsou však záplavy v obci Štěchovice. Hladina vody zde na mnoha místech převýšila koruny protipovodňových hrází a voda tak zaplavila rozsáhlé území obce. Na pravém břehu nedošlo k zaplavení žádných podstatných objektů. Voda zde může protékat přes louku do Vltavy. Na levém břehu došlo k zaplavení nových oblastí s hustou zástavbou. V těchto oblastech lze očekávat vůbec největší škody. Protipovodňové hráze nechrání Štěchovice proti stoleté povodni.

Hloubkové poměry se oproti padesátileté povodni příliš nezměnily. Na nově zaplavených plochách v obci Štěchovice převažují hloubky do 1 m. Nová místa s většími hloubkami se nevytvořila.

Na závěr je nutné upozornit, že Štěchovice jsou ohrožovány velkými vodami nejen z povodí Kocáby ale také Vltavy. Hladina stoleté povodně na Vltavě je na soutoku řek výše než hladina stoleté povodně na Kocábě. Ochránit Štěchovice před takovou povodní na Vltavě je nemožné. Na druhé straně lze některé vltavské povodňové vlny efektivně transformovat pomocí soustavy vodních děl a tím snížit výšku hladiny při kulminaci povodňové vlny.

8. Diskuze

Pro povodí Kocáby neexistují povodňové mapy pětileté, desetileté ani padesátileté povodně. Pro stoletou povodeň existuje povodňová mapa z roku 1988 (příloha 11 (D) na příloženém DVD). K této mapě ale není možné zjistit, pro jakou hodnotu průtoku byla sestavena. Rovněž není možné zjistit, jakou metodou bylo určeno záplavové území. Je možné, že k určení záplavového území byla použita jiná hodnota průtoku, protože v roce 1988 byla k dispozici limnigrafická měření ze stanice Štěchovice pouze za období 4 let! Není jisté ani to, zda vůbec byly záplavové čáry určeny pomocí průtoku. K dispozici nejsou ani žádné modely povodňových událostí na Kocábě. Z těchto důvodů je porovnání a hodnocení dosažených výsledků velmi obtížné.

Modelování bylo v této práci prováděno na základě postupného výpočtu nadmořských výšek hladin v 261 profilech rozmístěných po celém sledovaném úseku toku. Jeden z těchto profilů je umístěn přesně v místě, kde se nachází limnigrafická stanice Štěchovice. V tomto profilu lze porovnat vymodelovanou nadmořskou výšku hladiny s nadmořskou výškou hladiny odvozenou z vodního stavu (data poskytl ČHMÚ). Odvození bylo provedeno tak, že k nadmořské výšce nuly vodočtu (206,32 m. n. m.) byla přičtena hodnota vodního stavu pro daný průtok. Porovnání vymodelované hladiny s hladinou podle dat ČHMÚ znázorňuje tabulka 8.1.

Tabulka 8.1: Nadmořská výška hladin v limnigrafické stanici Štěchovice při jednotlivých událostech podle dat ČHMÚ a podle výsledků modelování.

n - letost	průtok	nadmořská výška hladiny podle ČHMÚ	nadmořská výška hladiny podle modelu	rozdíl výšek hladin
x - letá	Q (m ³ /s)	(m.n.m.)	(m.n.m.)	(cm)
5	34.2	207.78	207.72	6
10	46.3	207.97	207.97	0
50	81.4	208.47	208.57	10
100	100.0	208.71	208.86	15

Zdroj: ČHMÚ a vlastní

Při pětileté povodni je ve srovnávacím profilu vymodelovaná nadmořská výška hladiny o 6 cm níže, než výška odvozená z vodního stavu. Pro desetiletou povodeň jsou si

tyto výšky rovny. Při padesátileté a stoleté povodni jsou vymodelované nadmořské výšky hladiny o 10 respektive 15 cm výše než výšky odvozené z vodních stavů. Celkově se tedy vypracovaný model v tomto profilu značně blíží skutečnému stavu při jednotlivých velkých vodách. Rozdíly ve výškách hladin podle dat ČHMÚ a modelu jsou velmi malé a záplavová území určená z vymodelované výšky hladiny lze pokládat za věrohodná.

Vymodelované záplavové území stoleté povodně se velmi podobá záplavovému území zakreslenému v mapě z roku 1988 (příloha 11 (D) na příloženém DVD). Vyskytují se sice odchylky v šířce záplavového území, ale celkový rozsah záplav je obdobný. Největší rozdíly se nacházejí v osadách Leusiana, Maják a Kansas a v obci Štěchovice, kde je podle mapy zasaženo o něco více objektů než podle modelu.

Povodňové modely v této práci byly zpracovány v prostředí GIS softwaru (ArcGIS) a pro hydraulické výpočty byl též využit speciální program (HEC – RAS). Vytvořené modely lze podle dělení Deursena (1995) zařadit do kategorie jednodimenzionálních (zařazení podle prostorových charakteristik) ustálených (zařazení podle časových charakteristik) modelů. Podle dělení Gupty (2001) se jedná o modely hydraulické ustáleného proudění (zařazení podle úlohy, kterou mají vykonávat).

Spojení mezi ArcGIS a HEC – RAS bylo uskutečněno pomocí výměnných souborů. Sui a Maggio (1999) označují tuto integraci jako volnou (loose). To potvrzuje i Deursen (1995), který tuto integraci ve svém dělení označuje jako nízkourovňovou (low level). Za hlavní výhody tohoto typu spojení považuje Deursen (1995) jejich snadnější vyvíjení a také využívání již existujících programů, což je výhodné zejména pro uživatele. Mezi nevýhody řadí zejména vyšší náročnost na práci a čas při tvorbě modelu, nízkou flexibilitu, náchylnost k chybám a problémy s přechody na nové verze softwarů. Hlavní poznatky těchto autorů lze potvrdit. Způsob zpracování se skutečně řadí mezi jednodušší a méně náročné na znalosti uživatele, ale zároveň je pracný a náročný na čas. Je to způsobeno tím, že některé části zpracování se provádí vícekrát – například kontrola dat v geodatabázi, kontrola výsledků výpočtu apod. Velmi náročnou fází zpracování je také „ladění“ modelů, které vyžaduje mnohonásobné opakování kontrolních procesů. Přes uvedené nevýhody jsou, podle Sinnakaudana a kol. (2003), volná spojení propojující GIS a hydraulické modely pomocí výměnných souborů (často ve formátu ASCII) velmi oblíbené a užívané jak hydrology, tak hydraulickými inženýry.

Hydraulické výpočty v programu HEC – RAS jsou založené na obecných hydraulických rovnicích. Při výpočtech byla použita metoda po úsecích, která je pro tento typ

úloh velmi používaná, což potvrzují ve své práci i Maingi a Marsh (2002). Pro zpracování vstupních geografických dat a pro zpracování výsledků hydraulických výpočtů byl použit ArcGIS. Tento software poskytuje mnoho užitečných nástrojů pro správu, zpracování a reprezentaci dat. Spojení ArcGIS a HEC – RAS umožňuje využít výhody obou těchto softwarů a poměrně „jednoduše“ vytvořit povodňový model. Navržený postup je tedy podle mě pro daný účel ideální. Přestože se uvedený postup řadí mezi jednodušší, lze pomocí něho získat kvalitní výsledky. To ve své práci dokládají Horritt a Bates (2002), kteří na úseku řeky Severn porovnávají modely vytvořené pomocí různých softwarů.

Snahou této práce bylo vytvořit modely povodní na základě existujících dat a použitím relativně dobře dostupných prostředků tak, aby náklady na pořízení modelů nebyly vysoké. I z tohoto důvodu byl zvolen popsáný postup práce.

Hydraulické modelování je obecně velmi závislé na kvalitě topografických dat a DMT. Ve svých studiích se na tomto faktu shodují například Horritt a Bates (2002), Sui a Maggio (1999), Al-Sabhan a kol. (2003) a Bates a Roo (2000). Tento poznatek lze jednoznačně potvrdit i při zpracovávání této práce. Přesnost DMT rozhodujícím způsobem ovlivňuje kvalitu výsledků. Je to způsobeno tím, že z DMT jsou odvozeny příčné profily, které charakterizují tvar terénu, kudy proudí voda. Al-Sabhan a kol. (2003) tvrdí, že hydrologické analýzy jsou velmi často omezovány právě nedostatkem dat s adekvátní kvalitou. Malé chyby ve vymodelované výšce hladiny mohou v mělkých záplavových územích způsobit velké odchylky v rozsahu zátopy (Bates, Roo, 2000).

Základem pro vytvoření DMT v této práci byl výškopis ZABAGED. Tato práce ověřila, že data ZABAGED jsou vhodná pro tento druh modelování, a tím byla potvrzena hypotéza stanovená ve 2. kapitole. Velkou výhodou je i snadná dostupnost dat ZABAGED i z hlediska nákladů. Výškopis ZABAGED má ale i jednu značnou nevýhodu. Nejsou v něm zaneseny informace o tvaru koryt toků. Výškopisná data v podobě vrstevnic dobře reprezentují tvar údolí i inundačních území, ale koryta toků zcela chybí. Pro hydraulické výpočty v tocích je znalost tvaru koryta nezbytná. Z uvedeného vyplývá, že při použití dat ZABAGED pro hydraulická modelování je naprosto nezbytné doplnit do modelu prostorová data reprezentující koryta toků. Samotný výškopis ZABAGED je v tomto ohledu nedostačující a bez jeho doplnění není možné získat kvalitní výsledky. V této práci byly pro doplnění výškopisu využity příčné a podélné profily získané v analogové podobě od PVL (odkaz na přílohu). Pokud by data ZABAGED nebyla doplněna, výsledky by byly velmi nepřesné.

Podstatný vliv na kvalitu výsledků modelování mohou mít i koeficienty drsnosti n jednotlivých povrchů. Důležitým faktorem je i rozmístění ploch s jednotlivými koeficienty n . Tento poznatek uvádějí ve svých studiích Colby a kol. (2000) a Cenderelli a Wohl (2001). Podstatný vliv koeficientu drsnosti lze pozorovat i při modelování v této práci. V korytech toků s nižší drsností proudí voda rychleji než v korytech s vyšší drsností. Při stejném průřezu pak koryto s nižší drsností pojme větší průtok. Tendence k rozlité toku do inundace je tak nižší. Koeficienty drsnosti n je možné při modelování využívat také k „ladění“ modelů.

9. Závěr

Práce se zabývá hydraulickým modelováním povodňových událostí na dolním toku Kocáby. Ke zpracování využívá moderní informační technologie a soubory digitálních dat. Modelování bylo provedeno pro pětiletou, desetiletou, padesátiletou a stoletou povodeň. Z výsledků modelování byly vytvořeny mapy. Pro každou n – letou povodeň vznikla mapa záplavových území a mapa hloubkových poměrů v záplavových územích. Výsledkem práce je tak soubor osmi map. Domnívám se, že cíle práce stanovené v 2. kapitole byly beze zbytku splněny. Hodnocení kvality výsledků je obtížné, protože pro danou lokalitu nejsou k dispozici ucelené povodňové mapy ani povodňové modely, se kterými by bylo možné výsledky porovnat.

Snahou bylo dosáhnout stanovených cílů využitím relativně dobře dostupných dat a softwarového vybavení tak, aby náklady na pořízení modelů nebyly vysoké. Zpracování je založeno na propojení běžné GIS platformy (ArcGIS) a software pro hydraulické výpočty (HEC – RAS), který je distribuován zdarma. Použitá data (ZABAGED, RZM, ortofota apod.) jsou dobře dostupná a jejich pořízení je z hlediska nákladů jistě velmi výhodné v porovnání s případným velmi rozsáhlým terénním mapováním. Hlavním úskalím postupu je nutnost doplnit zmíněná geografická data o data reprezentující koryta toků. Informace o tvaru koryt nejsou ve zmíněných souborech dat obsaženy. Doplnění těchto dat je nezbytné a velmi důležité. Jejich pořízení může být nesnadné, má ale naprosto zásadní význam.

Práce ověřila, že navrhovaný způsob zpracování, založený na zmíněném softwaru a datech, lze pro tento druh modelování dobře využít. Současně je tento navržený a aplikovaný způsob zpracování obecný a lze ho využít na jakékoli zájmové území.

Výsledné mapové výstupy mohou sloužit jako zdroj informací o rozsahu záplavových území při jednotlivých povodňových událostech. Tyto informace mají mnoho využití. Mohou být podkladem pro určení evakuačních území před příchodem povodňové vlny. Lze je použít jako podklady pro úpravy toku nebo jako podklady pro návrhy staveb (mosty, stupně, ochranné hráze apod.). Mohou sloužit také k odhadování škod způsobených povodněmi a k určování hloubek vody v jednotlivých místech zaplaveného území apod.

Perspektivou do budoucnosti by mohla být studie zaměřená na široké hodnocení aplikovaného postupu zpracování. Studie by porovnávala výsledky dosažené metodikou popsanou v této práci s existujícími záplavovými mapami popřípadě jinými povodňovými modely, které by byly získány buď na základě terénního šetření při skutečných povodních,

nebo na základě jiného hydraulického modelování, a to v několika modelovaných územích. Porovnání provedené v této práci na základě získaných podkladů naznačuje, že vypracované modely dobře charakterizují skutečný stav při jednotlivých velkých vodách.

10. Seznam literatury a pramenů

10.1. Literatura

1. ACKERMAN, C. T. (2005): HEC – GeoRAS User’s Manual [počítačové soubory]. Version 4, Davis. Dostupné z <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas_downloads.html>.
2. AL-SABHAN, W., MULLIGAN, M., BLACKBURN, G. A. (2003): A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. Computers, Environmental and Urban Systems, Volume 27, Issue 1, s. 9 – 32. [cit. 2006-02-02]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
3. BATES, P. D., DE ROO, A. P. J. (2000): A simple raster-based model for flood inundation simulation. Journal of Hydrology, Volume 236, Issues 1-2, s. 54 – 77. [cit. 2006-02-21]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
4. BOUGHTON, W., DROOP, O. (2003): Continuous simulation for design flood estimation-a review. Environmental Modelling & Software, Volume 18, Issue 4, s. 309 – 318. [cit. 2006-02-01]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
5. BRUNNER, G. W. (2002a): HEC – RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual [počítačové soubory]. Version 3.1, Davis. Dostupné z <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-document.html>>.
6. BRUNNER, G. W. (2002b): HEC – RAS, River Analysis System User’s Manual [počítačové soubory]. Version 3.1, Davis. Dostupné z <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-document.html>>.
7. CARTER, G. S., SHANKAR, U. (1997): Creating rectangular bathymetry grids for environmental numerical modelling of gravel-bed rivers. Applied Mathematical Modelling, Volume 21, Issue 11, s. 699 – 708. [cit. 2006-01-17]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
8. CENDERELLI, D. A., WOHL, E. E. (2001): Peak discharge estimates of glacial- lake outburst floods and “normal“ climatic floods in the Mount Everest region, Nepal. Geomorphology, Volume 40, Issues 1-2, s. 57 – 90. [cit. 2006-02-01]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
9. COLBY, J. D., MULCAHY, K. A., WANG, Y. (2000): Modeling flooding extent from Hurricane Floyd in the coastal plains of North Carolina. Global Environmental Change

- Part B: Environmental Hazards, Volume 2, Issue 4, s. 157 – 168. [cit. 2006-02-01].
Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
10. CULEK, M. a kol. (1996): Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha, 347 s.
 11. ČAPEK, R. a kol. (1992): Geografická kartografie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 373 s.
 12. ČERMÁK, M. (1970): Aplikovaná hydrologie: povrchové vody. Hydrometeorologický ústav, Praha, 155 s.
 13. DEMEK, J. a kol. (1987): Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 s.
 14. DEURSEN, W. P. A. van (1995): Geographical Information Systems and Dynamic Models. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap/Faculteit Ruimtelijke wetenschappen Universiteit Utrecht, Utrecht, 206 s.
 15. DROGUE, G., PFISTER, L., LEVIANDIER, T., HUMBERT, J., HOFFMANN, L., EL IDRISSI, A., IFFLY, J.-F. (2002): Using 3D dynamic cartography and hydrological modelling for linear streamflow mapping. Computers & Geosciences, Volume 28, Issue 8, s. 981 – 994. [cit. 2006-02-21]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
 16. DUNDA, T. (1999): Antropogenní transformace říční sítě na horním toku Kocáby & analýza povodně na Kocábě v červenci 1981. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha.
 17. GUPTA, R. S. (2001): Hydrology and Hydraulic Systems, Second Edition. Waveland Press, Inc., Long Grove, Illinois, 867 s.
 18. HARDY, R. J., BATES, P. D., ANDERSON, M. G. (1999): The importance of spatial resolution in hydraulic models for floodplain environments. Journal of Hydrology, Volume 216, Issues 1-2, s. 124 – 136. [cit. 2006-02-02]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
 19. HOJOVEC, V. a kol. (1987): Kartografie : vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty. Geodetický a kartografický podnik, Praha, 660 s.
 20. HORRITT, M. S., BATES, P. D. (2002): Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. Journal of Hydrology, Volume 268, Issues 1-4, s. 87 – 99. [cit. 2006-02-01]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>
 21. CHARLTON, R. A. (1999): Initial stages in the development of a coupled hillslope hydrology-floodplain inundation model. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, Volume 24, Issues 1-2, s. 37 – 41. [cit. 2006-01-17]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.

22. JANDÁK, M., DOSTÁL, V. (1970): Československé řeky kilometrůž. Olympia, Praha, s. 128 – 129.
23. KAŇOK, J. (1999): Tematická kartografie. Ostravská univerzita, Ostrava, 318 s.
24. KEMEL, M. (1994): Hydrologie. České vysoké učení technické, Praha, 222 s.
25. KEMEL, M. (2000): Klimatologie, meteorologie, hydrologie. České vysoké učení technické, Praha, 289 s.
26. KOMÍNKOVÁ, D. (2001): Pollution of Aquatic Ecosystems by Heavy Metals – the Kocába and the Točnický Stream. PhD. Thesis. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Praha, s. 68 – 71.
27. KOHOUTEK, F., HOUSER, M., DAVÍDEK, B. (1987): Československé řeky kilometrůž. Olympia, Praha, s. 88 – 89.
28. KRATOCHVÍL, J. a kol. (1991): Hydraulika. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 148 s.
29. KREŠL, J. (2001): Hydraulika. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 66 s.
30. MAINGI, J. K., MARSH, S. E. (2002): Quantifying hydrologic impacts following dam construction along the Tana River, Kenya. Journal of Arid Environments, Volume 50, Issue 1, s. 53 – 79. [cit. 2006-02-01]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
31. MAREŠ, K. (1997): Úpravy toků Navrhování koryt. České vysoké učení technické, Praha, 210 s.
32. MERRITT, D. M., WOHL, E. E. (2003): Downstream hydraulic geometry and channel adjustment during a flood along an ephemeral, arid-region drainage. Geomorphology, Volume 52, Issues 3-4, s. 165 – 180. [cit. 2006-02-21]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>.
33. MÍSAŘ, Z. a kol. (1983): Geologie ČSSR I. Český masív. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 336 s.
34. MURDYCH, Z. (1988): Tematická kartografie : dočasná vysokoškolská učebnice. Ministerstvo školství ČSR, Praha, 248 s.
35. NOVÁK, V. a kol. (1961): Vodácký průvodce ČSSR, svazek 1, Povodí Vltavy, Otavy, Maše a Lužnice s přítoky. Sportovní a turistické nakladatelství, Praha, 204 s.
36. PAVLÍČKOVÁ, P. (1998): Hodnocení erozních podmínek v modelovém území Obořiště povodí Kocáby. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha.

37. QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa = Climatic regions of Czechoslovakia. Geografický ústav ČSAV, Brno, 82 s.
38. RIEDL, M. a kol. (1964): Turistický průvodce ČSSR, Střední Povltaví. Sportovní a turistické nakladatelství, Praha, 287 s.
39. RYBNÍKÁŘ, J. (1994): Hydraulika I. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 111 s.
40. SINNAKAUDAN, S. K., GHANI, A. A., AHMAD, M. S. S., ZAKARIA, N. A. (2003): Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport. Environmental Modelling & Software, Volume 18, Issue 2, s. 119 – 130. [cit. 2006-01-18]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com>.
41. SPRINGER, G. S., WOHL, E. E., FOSTER, J. A., BOYER, D. G. (2003): Testing for reach-scale adjustments of hydraulic variables to soluble and insoluble strata: Buckeye Creek and Greenbrier River, West Virginia. Geomorphology, Volume 56, Issues 1-2, s. 201 – 217. [cit. 2006-02-21]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com>.
42. SUCHÁ, K. (1997): Srážkové poměry v širší oblasti povodí řeky Kocáby. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra fyzické geografie a geoekologie. Praha.
43. SUI, D. Z., Maggio, R. C. (1999): Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 23, Issue 1, s. 33 – 51. [cit. 2006-02-01]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com>.
44. VEVERKA, B. (1995): Topografická a tematická kartografie. Vydavatelství ČVUT, Praha, 202 s.
45. VLČEK, V. a kol. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR, Vodní toky a nádrže. Academia, Praha, 316 s.
46. VOŽENÍLEK, V. (1998): Geografické informační systémy I. Pojetí, historie, základní komponenty. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, 173 s.
47. VOŽENÍLEK, V. (2001): Aplikovaná kartografie I: tematické mapy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 187 s.
48. VOŽENÍLEK, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 60 s.
49. WARNER, J. C., BRUNNER, G. W., WOLFE, B. C., PIPER, S. S. (2002): HEC – RAS, River Analysis System Applications Guide [počítačové soubory]. Version 3.1, Davis. Dostupné z <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-document.html>.

10.2. Elektronické prameny

1. ČHMÚ [online].
<<http://www.chmu.cz>> [cit. 2005-12-28].
2. ČHMÚ – stoletá voda [online].
<http://www.chmu.cz/hydro/pov02/100_voda.htm> [cit. 2005-12-28].
3. ČHMÚ - Oddělení povrchových vod [online].
<<http://www.chmu.cz/hydro/ov/index.html>> [cit. 2005-12-28].
4. ČHMÚ - Hlásná a předpovědní povodňová služba [online].
<http://hydro.chmi.cz/ips_ihc4/default.htm> [cit. 2005-12-28].
5. ČÚZK [online].
<<http://www.cuzk.cz>> [cit. 2005-11-23].
6. ČÚZK – ZABAGED [online].
<http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?TYPPRAC=ZU&PRARESKOD=30&MENUID=10050&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED> [cit. 2005-11-23].
7. PVL [online].
<<http://www.pvl.cz>> [cit. 2006-02-02].
8. US ARMY CORPS OF ENGINEERS – HEC – GeoRAS [online].
<<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas.html>> [cit. 2006-01-12].
9. US ARMY CORPS OF ENGINEERS – HEC – RAS [online].
<<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>> [cit. 2006-01-12].
10. US ARMY CORPS OF ENGINEERS – HEC – RAS – dokumenty [online].
<<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-document.html>> [cit. 2006-01-12].

10.3. Ostatní prameny

1. DIGITÁLNÍ ORTOFOTO ČESKÉ REPUBLIKY. Zeměměřický úřad, 2006.
2. HŘEBENY A SLAPSKÁ PŘEHRADA. Turistická mapa 1 : 50 000 (v edici Klubu českých turistů č. 38), Vojenský kartografický ústav, š. p., 2001.
3. LUCC [databáze]. PřF UK v Praze, 2006.

4. MON – PROJEKCE, TECHNICKO-PROVOZNÍ DOKUMENTACE POTOKA KOCÁBY, ř. km 0,0 – 26,45. Povodí Vltavy, státní podnik, závod Dolní Vltava, 1988. Vypracoval Ing. J. Buřita. Poznámka: Dokumentace obsahuje podélný profil, příčné profily a mapu se zákresem záplavového území stoleté povodně.
5. RASTROVÁ ZÁKLADNÍ MAPA 1 : 10 000. Zeměměřický úřad, 2006. Poznámka: Digitální rastrový kartografický model území z vektorového topografického modelu ZABAGED[®].

11. Seznam zkratek

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

CAD – Computers-Aided Design

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DGN – Design

DEM – Digital Elevations Model

DMR – digitální model reliéfu

DMT – digitální model terénu

DPZ – dálkový průzkum Země

DWG - Drawing

ESRI – Environmental Systems Research Institute

GIS – geografické informační systémy

HEC – RAS – Hydrologic Engineering Center – River Analysis System

k. ú. – katastrální území

LUCC - Land Use/Cover Changes

MDB – Microsoft Database

MGE – Modular GIS Environment

PřF UK – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

PVL – Povodí Vltavy, státní podnik

RZM – rastrová Základní mapa

ř. km – říční kilometr

SDF – Spatial Data File

SHP - Shapefile

S-JTSK – systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální

TFW – TIFF World

TIFF – Tagged Image File Format

TIN – Triangulated Irregular Network

WWW – World Wide Web

XML – Extensible Markup Language

ZABAGED – Základní báze geografických dat

12. Seznam tabulek, grafů a map

	str.
Mapa 4.1:	Poloha povodí Kocáby 20
Mapa 4.2:	Povodí Kocáby a okolí 21
Graf 4.1:	Podíl tříd land use na celkové ploše povodí Kocáby v roce 2000 25
Graf 4.2:	Podíl tříd land use ve vybraných katastrálních územích v roce 2000 26
Mapa 4.3:	Vodní toky v povodí Kocáby a v okolí 27
Tabulka 4.1:	Hydrografické charakteristiky Kocáby, Koteňického potoka a Voznického potoka 28
Tabulka 4.2:	Rybníky v povodí Kocáby s plochou nad 7 ha 30
Mapa 4.4:	Vodní toky v dolní části povodí Kocáby a v okolí 32
Mapa 4.5:	Výškové poměry v dolní části povodí Kocáby 33
Tabulka 6.1:	LUManning tabulka s popisem tříd 45
Tabulka 6.2:	Hodnoty průtoků pro 5-letou, 10-letou, 50-letou a 100-letou povodeň 48
Tabulka 8.1:	Nadmořská výška hladin v limnigrafické stanici Štěchovice při jednotlivých událostech podle dat ČHMÚ a podle výsledků modelování 56

13. Seznam příloh

13.1. Vázané přílohy

Příloha 1: Záplavové území pětileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 2: Záplavové území desetileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 3: Záplavové území padesátileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 4: Záplavové území stoleté povodně na dolní Kocábě

Příloha 5: Hloubkové poměry v záplavovém území pětileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 6: Hloubkové poměry v záplavovém území desetileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 7: Hloubkové poměry v záplavovém území padesátileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 8: Hloubkové poměry v záplavovém území stoleté povodně na dolní Kocábě

Příloha 9: Ukázka příčného profilu 1378,27 po výpočtu výšky hladiny stoleté povodně

Příloha 10: Perspektivní plán úseku Kocáby se zákresem hladiny při stoleté povodni

Příloha 11: Ukázka vymodelovaného mostu (silniční most Štěchovice, ř. km 0,0)

13.2. Přílohy na DVD

Příloha 1 (D) Záplavové území pětileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 2 (D) Záplavové území desetileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 3 (D) Záplavové území padesátileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 4 (D) Záplavové území stoleté povodně na dolní Kocábě

Příloha 5 (D) Hloubkové poměry v záplavovém území pětileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 6 (D) Hloubkové poměry v záplavovém území desetileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 7 (D) Hloubkové poměry v záplavovém území padesátileté povodně na dolní Kocábě

Příloha 8 (D) Hloubkové poměry v záplavovém území stoleté povodně na dolní Kocábě

Příloha 9 (D) Podélný profil

Příloha 10 (D) Příčné profily

Příloha 11 (D) Mapa se zákresem záplavového území stoleté povodně

Příloha 12 (D) Turistická mapa KČT

Příloha 13 (D) Fotogalerie

Příloha 14 (D) Geodatabáze koc1.mdb

Příloha 15 (D) Importní soubor

Příloha 16 (D) Exportní soubory

Příloha 17 (D) Geodatabáze pětiletá povodeň

Příloha 18 (D) Geodatabáze desetiletá povodeň

Příloha 19 (D) Geodatabáze padesátiletá povodeň

Příloha 20 (D) Geodatabáze stoletá povodeň

14. Abstrakt

Diplomová práce se zabývá modelováním povodní na dolním úseku říčky Kocáby. Sledovaný úsek řeky měří 10,7 kilometru, začíná pod obcí Malá Lečice a končí ústím Kocáby do Vltavy. Modelování bylo provedeno pro pětiletou, desetiletou, padesátiletou a stoletou povodeň. Cílem modelování bylo určit rozsah záplavových území a hloubky vody v těchto záplavových územích při jednotlivých povodňových událostech.

Pro modelování byla využita dobře dostupná data a softwarové vybavení tak, aby náklady na vytvoření modelů nebyly vysoké. Hlavním zdrojem geografických dat bylo dílo ZABAGED. Pro zpracování vstupních geografických dat a pro zpracování výsledků modelování byl využit ArcGIS 9.0. Hydraulické výpočty byly provedeny v HEC – RAS 3.1.3. Propojení ArcGIS a HEC – RAS bylo realizováno pomocí výměnných souborů. Z výsledků modelování byly vytvořeny mapové výstupy.

Práce prakticky ověřila možnosti navrženého postupu zpracování. Postup zpracování je obecný a lze ho aplikovat na libovolné zájmové území. Výsledné mapové výstupy mohou sloužit jako zdroj informací o rozsahu záplavových území při jednotlivých povodňových událostech. Tyto informace mají mnoho využití – například mohou být podkladem pro určení evakuačních území před příchodem povodňové vlny.

15. Abstract

The diploma thesis deals with the flood modelling in a downstream part of the river Kocába. Observed segment of the river measures 10,7 kilometres, starts below the village Malá Lečice and ends by the junction with river Vltava. The modelling was performed for 5 yr, 10 yr, 50 yr and 100 yr flood event. The goal of the modelling was to determine the extent of the floodplain and the depth of water in this floodplain during each individual flood event.

For the expenses of the model creation not to be very high, well accessible datasets and software equipment were used for the modelling. Main source of geographical data was ZABAGED database. ArcGIS 9.0 was used for the preparation and processing of the input data as well as for the processing of the results of modelling. The hydraulic computations were performed in software HEC – RAS 3.1.3. Connection between ArcGIS and HEC – RAS was realized using exchange files. The maps outputs were created from results of modelling.

The thesis practically verified possibility of the proposed workflow. Used workflow is general and is applicable on arbitrary area of interest. Maps outputs can serve as the source of information about the extent of floodplain during individual flood events. This information has a lot of applications – for example the information could be used as the basis for the determination of the areas for evacuation before the arrival of the flood wave.