

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
katedra Aplikované geoinformatiky a kartografie



MODELOVÁNÍ POVODNÍ POMOCÍ SOFTWARE ARCGIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Lucie ŠOURKOVÁ

Vedoucí práce: Mgr. Přemysl Štych

Praha 2006

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury.

V Praze, dne 1. 9. 2006

Lucie Šourková
.....

Lucie Šourková

Děkuji svému školiteli Mgr. Přemyslu Štychovi za rady při vedení mé bakalářské práce.

Děkuji Českému úřadu zeměměřickému a katastrálnímu a Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutá data.

ABSTRAKT

Modelování povodní se stává, vzhledem k současné klimatické situaci, velmi využívané. Existuje řada specializovaných softwarů, které zvládají velmi složité hydrologické a hydraulické výpočty. Bakalářská práce Modelování povodní pomocí softwaru ArcGIS se zabývá modelací povodní v softwaru, který není přímo určen pro hydrologii.

Cílem práce je nalézt možnosti modelování povodní v prostředí softwaru ArcGIS a kriticky je zhodnotit. Nalezené možnosti jsou teoreticky vysvětleny a prakticky vyzkoušeny na modelovém povodí Losinského potoka. K práci je využíván software ArcGIS 9.0 s extenzemi Spatial Analyst, 3D Analyst a ArcHydro. Dále jsou nastíněny způsoby modelování v pokročilejších softwarech, které ze softwaru ArcGIS vycházejí – MIKE 11, HEC-HMS a HEC-RAS.

Mimo počítačového modelování se práce zaměřuje také na problematiku povodní obecně a podrobněji charakterizuje modelové povodí, k čemuž byl také využit software ArcGIS.

Ke konci jsou shrnuty a představeny dosažené výsledky a posouzena vhodnost zvolených postupů.

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Školní rok: 2005/2006

Zadání bakalářské práce

pro Lucii ŠOURKOVOU

obor Geografie a kartografie

Název tématu: Monitoring a predikce povodní pomocí nástrojů GIS

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce na téma Monitoring a predikce povodní pomocí nástrojů GIS je vytvoření digitálního modelu terénu určitého povodí a v něm vymodelování povodňového stavu. Hlavními proměnnými bude tvar a sklon reliéfu, množství srážek spadlých v povodí a typ povrchu. Následně se vymezí zóny povodňového ohrožení. Zároveň bude posouzena vhodnost použití jednotlivých nástrojů při hodnocení této problematiky.

Rozsah grafických prací: 5

Rozsah průvodní zprávy: 30 – 50

Seznam odborné literatury:

MAIDMENT, D., DJOKIC, D. (2000): *Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems*. ESRI Press, Redlands, 216 str.

PATERA, A., VÁŠKA, J., ZEŽULAK, J. (ed.) (2002): *Povodně: prognózy, vodní toky a krajina*. Sborník výsledků výzkumu dosažených v rámci grantového projektu č. 103/99/1470 „Extrémní hydrologické jevy v povodích“. ČVUT v Praze – F. stavební, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 436 str.

ZEILER, M. (1999): *Modelling Our World*. ESRI Press, Redlands, 199 s.

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Přemysl ŠTYCH

Konzultant bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 19. 10. 2005

Termín odevzdání bakalářské práce: 1.9. 2006

.....
Vedoucí bakalářské práce

.....
Vedoucí katedry

V Praze dne 31.10. 2005

OBSAH

1 ÚVOD	8
2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	10
2.1 Problematika povodní	10
2.1.1 Klasifikace povodní	10
2.1.2 Vliv fyzicko-geografických prvků	11
2.1.3 Vymezení záplavových území	12
2.2 Modelování povodní v GIS	14
2.2.1 Vstupní data do modelů	14
2.2.1.1 Rastrový model	14
2.2.1.2 TINový model	15
2.2.2 Vymezení povodí	17
2.2.3 Hydrologické modely	17
2.2.3.1 MIKE 11	18
2.2.3.2 HEC-HMS	19
2.2.3.3 HEC-RAS	19
3 FYZICKO-GEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	21
3.1 Lokalizace	21
3.2 Geologická stavba a povrch	21
3.3 Půdy	22
3.4 Podnebí	22
3.5 Vegetace	22
3.6 Vodstvo	23
4 POUŽITÁ DATA A METODIKA	25
4.1 Použitá data	25
4.2 Metodika	25
4.2.1 Vytvoření DTM	25
4.2.2 Vymezení povodí	26
4.2.2.1 Ověření správnosti DTM	26
4.2.2.2 Směr odtoku	27
4.2.2.3 Akumulovaný odtok	27
4.2.2.4 Říční síť	28
4.2.2.5 Povodí	28
4.2.3 Výpočet důležitých fyzicko-geografických charakteristik	29
4.2.4 Srážky	29
4.2.5 Vliv krajinného pokryvu	30
4.2.6 Nalezení míst rozlivu	30
5 VÝSLEDKY	32
6 ZÁVĚR	35
POUŽITÁ LITERATURA	36
SEZNAM OBRÁZKŮ	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	40
SEZNAM PŘÍLOH	41

1 ÚVOD

Povodně stále častěji zasahují do našeho života. V letošním roce již dvakrát vystoupily řeky z břehů. Dvě katastrofální povodně v letech 1997 a 2002 způsobily v Česku mnohamiliardové škody a vyžádali si i několik lidských životů. Během roku častokrát ve zpravodajství slyšíme, že intenzivnější lokální srážka způsobila zaplavení zahrad a sklepů. Součástí předpovědi počasí se stala i povodňová služba.

Můžeme najít několik příčin, proč se povodně vyskytují čteněji.

- Globální změna klimatu. Dosud sice není prokázána, ale její simulace ukázala na možné důsledky v hydrologii, zejména možnost zvýšených průtoků a prohlubování extrémů.
- Stále intenzivnější zasahování (obhospodařování) do krajiny. Odlesněná krajina pojme mnohem menší množství srážek, voda rychle steče po povrchu do vodních toků, rychle odteče do nížin, kde se mohou vytvořit povodňové vlny. S tím souvisí i zrušení přirozených záplavových území v údolních nivách způsobené regulací toků.

Řada organizací a autorů stanovila body, díky kterým se můžeme některým povodňovým situacím vyhnout. Uvedu několik z nich:

- zpomalovat odtok vody z krajiny, tzn. vodu v krajině co nejvíce zdržovat (díky vhodné vegetaci),
- zlepšit schopnost půdy vsakovat vodu, pomocí kontrolovaných zatopování údolních niv spolu s poznáním přírodních procesů a principu funkčnosti údolních niv,
- zákaz výstavby v zátopovém území,
- odstranit či zlepšit současné překážky odtoku (kapacita mostních profilů a lávek, ploty, ohrady ...),
- zahrnout do územních plánů dostatečný prostor jak pro průchodnost řek, tak i planiny, jako rezervy pro zvýšení kapacity říčního koryta.

Všechny tyto body předpokládají, že budeme znát, kudy voda poteče. Pokud nechceme čekat, až nám to ukáže sama povodeň, vhodným způsobem vymezení záplavového území je počítačové modelování.

Cílem mé bakalářské práce je nalézt možnosti modelování povodní v prostředí softwaru ArcGIS a kriticky je zhodnotit. Nalezené možnosti funkčně popíši a prakticky je vyzkouším

na modelovém povodí Losinského potoka. K dosažení výsledku bych chtěla splnit několik dílčích cílů:

- vytvořit digitální model terénu (DTM),
- vymežit hranice povodí,
- vypočítat odtok z jednotlivých subpovodí,
- zohlednit při odtoku typ plochy (vegetační kryt, zastavěné plochy ...),
- modelově zvýšit hladinu a zjistit místa rozlivu,
- najít ohrožené budovy.

Dále bych chtěla nastínit modelování v pokročilejších softwarech. Mimo počítačové tematiky se budu věnovat i problematice povodní obecně a budu charakterizovat vybrané modelové povodí z hlediska fyzické geografie.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V této kapitole bych chtěla vysvětlit základní pojmy z problematiky povodní a obecně popsat modelování povodní v GIS, především se zaměřením na vstupní data, a nastínit možnosti hydrologického modelování v pokročilejších softwarech.

Tato kapitola vychází především z práce s literaturou. Povodním se věnuje poměrně dost literárních zdrojů, především v souvislosti s nedávnými povodněmi v Česku v letech 1997 a 2002. Na téma modelování povodní se zdrojů vyskytuje méně a přímo na téma modelování pomocí GIS se jich najde jen několik a z velké části jsou psány pouze v anglickém jazyce.

2.1 Problematika povodní

Pro téma povodní bez počítačové modelace, tedy jejich klasifikace a ovlivnění fyzicko-geografickými charakteristikami jsou užitečné zejména Patera, Váška, Zezulak (2002) a celostátní seminář Lesy a povodně (2003).

Patera (2002) klasifikuje jednotlivé druhy povodní. Dále se na několika místech věnuje vlivu krajiny na odtok. Popsány jsou vlivy morfologických a pedologických charakteristik, vliv využití území a vliv rozložení srážkových úhrnů v území. Poměrně zajímavé a přínosné je statistické vyjádření těchto vlivů pomocí korelace.

Protože využití krajiny je jedním z významných vlivů, tomuto tématu se věnuje celostátní seminář Lesy a povodně (2003). Zabývá se však pouze lesními ekosystémy. Přesto vztah lesních ekosystémů a povodní popisuje z mnoha úhlů pohledu.

Vymezením záplavového území se zabývá Špatka (2005), který upravuje Vyhlášku Ministerstva životního prostředí č. 236/2002 Sb.

2.1.1 Klasifikace povodní

Povodeň, jak ji stanovuje Nařízení vlády č. 100/99 Sb., o ochraně před povodněmi, je „přechodné výrazné zvýšení hladiny vodního toku nebo jiných povrchových vod, při kterém hrozí vylití vody z koryta nebo voda již zaplavuje území a může způsobit škody; povodní je i stav, kdy voda z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo odtok vody je nedostatečný (např. ledovou zácpou)“. (Ministerstvo zemědělství 2000)

Povodně rozlišujeme podle způsobu jejich vzniku na 5 typů:

- povodně způsobené táním sněhové pokrývky
Vyskytují se především na podhorských vodních tocích nebo v nížinách na větších tocích.

- letní či zimní povodně způsobené déletrvajících regionálními srážkami
Při tomto typu povodní je dosaženo vysokých srážkových úhrnů. Důsledky se objeví na středních a dolních tocích.
- letní povodně z krátkodobých srážek (velké intenzity)
Na malém území spadnou v krátkém časovém úseku desítky milimetrů srážek, často překročí i 100 mm. Ke katastrofálním důsledkům dochází ve vějířovitých povodích a v zemědělsky využívaných povodích.
- zimní (ledové) povodně
Způsobuje je nahromadění ledových ker v korytě.
- zvláštní povodně
Samostatně k nim dochází jen velmi zřídka, např. při protržení hrází. Mohou doprovázet některý ze srážkových typů.

2.1.2 Vliv fyzicko-geografických prvků

Povodeň je charakterizována kulminačním průtokem, objemem a tvarem. Rozsah povodně je ovlivněn:

1. množstvím atmosférických srážek,
2. morfologickými charakteristikami (např. sklon svahů),
3. pedologickými, hydrologickými a hydrogeologickými charakteristikami,
4. využitím území (land-use).

ad1. Atmosférické srážky jsou pochopitelně hlavním činitelem vzniku povodní. Voda z tající sněhové pokrývky a vydatných dešťových srážek bývá nejčastěji příčinou povodní. Nejen samotný úhrn srážek, ale i existence předchozích srážek ovlivňuje maximální specifický odtok.

ad2. Typ reliéfu má významný vliv na vznik a průběh povodně. Při rozdělení reliéfu do jedenácti typů bylo zjištěno, že největší vliv na povrchový odtok má reliéf hornatin (nejvyšší kategorie), naproti tomu reliéf pahorkatin má nejmenší vliv. (Kříž, Žaloudík 2002)

Korelační koeficient podle Kříže a Žaloudíka (2002) pro vztah specifického odtoku a sklonu povodí ($r = 0,56$) ukazuje na nejvyšší těsnost ze všech fyzickogeografických podmínek, které mohou ovlivňovat odtok z povodí. Další morfologické charakteristiky jako tvar povodí ($r = 0,46$), délka údolí toků ($r = 0,34$) a typ reliéfu ($r = 0,33$) mají také určitý význam.

ad3. Významným retenčním prvkem krajiny, který dočasně zadržuje vodu, je půda. Podle Soukupa a Hrádka (1999) se retenční vodní kapacita půdy pohybuje mezi 120 l/m^3 pro písčité půdy a 360 l/m^3 pro jílovité půdy.

Hydrogeologické poměry, především z hlediska propustnosti hornin, mají na specifický odtok menší vliv ($r = 0,24$). (Kříž, Žaloudík 2002)

ad4. Uspořádání a podíl orné půdy, zatravněných ploch (luk a pastvin) a dřevinné vegetace (lesy a rozptýlená zeleň, sady a zahrady) na ploše povodí patří mezi nejdůležitější prvky místního povrchového odtoku. Z nich nejpodstatnější vliv má podíl orné půdy ($r = 0,43$), nižší závislost je u podílu zatravněných ploch ($r = 0,28$) a podílu dřevinné vegetace ($r = 0,21$). (Kříž, Žaloudík 2002)

Značným spotřebitelem srážkové vody jsou lesní ekosystémy. Přitom rozdíly mezi transpirací jehličnanů a listnáčů jsou minimální (Kantor, Šach 2002). Přesto les není neomezeným příjemcem srážek a enormní srážkové úhrny není schopen udržet. Retenční kapacita lesního ekosystému je závislá na půdních poměrech a pohybuje se v rozmezí 50 - 150 mm srážek. (Bíba 2002)

Břehové porosty, vedle toho, že mohou ovlivnit vysoké průtoky mechanicky (tvoří zátaras), mají i podstatnou energetickou funkci – výdej vody transpirací. Vegetace, která je adaptována na zatopení, je schopna transpirovat více než půda nebo vodní hladina. Při slunečném počasí vypaří porosty nasycené vodou cca 5 mm ($= 5 \text{ l z m}^2 = 50 \text{ m}^3 \text{ z ha}$) vody za den (Pokorný, Bodlák, Lhotský 2002). Dlouhodobé zaplavení snášejí dobře vrby a osiky, duby a jasany.

2.1.3 Vymezení záplavových území

Základním požadavkem pro vymezení záplavových území je znalost výškopisné situace v terénu podél vodních toků. Kromě státních mapových podkladů je další poměrně přesnou metodou pro popsání reliéfu území letecké snímkování. Po vyhodnocení leteckých měřických snímků lze vytvořit digitální model terénu. Ten pak dovoluje matematické modelování průběhu povodní.

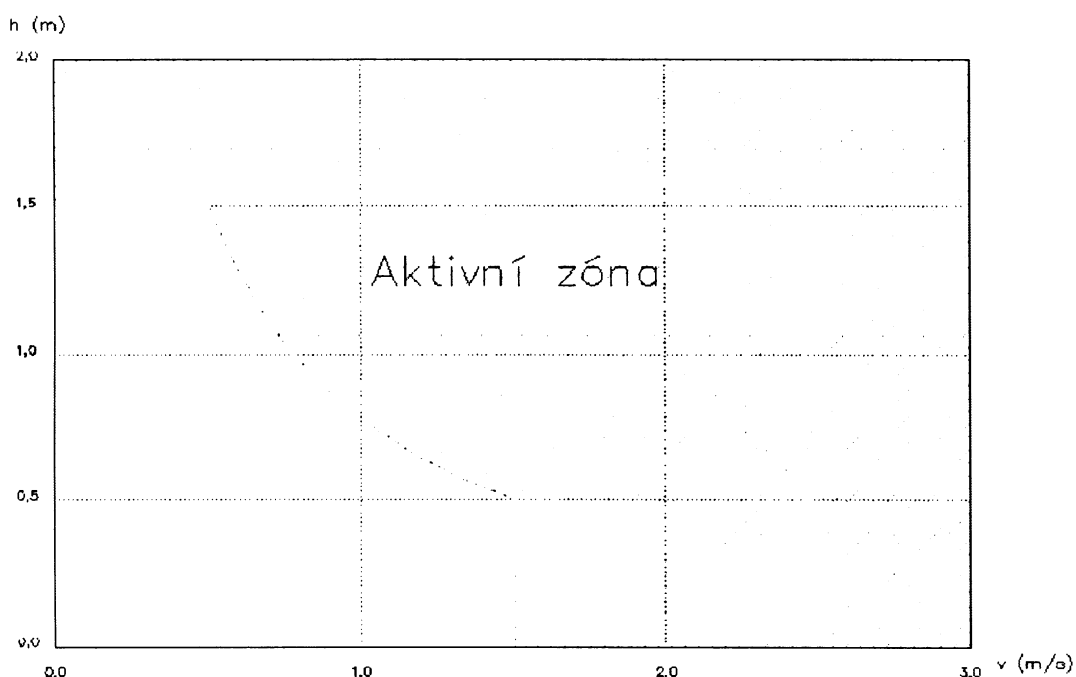
V rámci záplavových území je hlavním typem aktivní zóna záplavového území (AZZU). Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 236/2002 Sb., „o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území“ definuje AZZU jako „území v zastavěných územích obcí a v územích určených k zástavbě podle územních plánů, jež při povodni odvádí rozhodující část celkového průtoku, a tak bezprostředně ohrožuje život, zdraví a majetek lidí“. Záplavové území mimo AZZU je během povodně také zaplaveno, ale nepodílí se podstatně na celkovém průtoku. Přesto se může stát lokální oblastí zvýšeného rizika, především lokálním zvýšením hloubek nebo rychlostí, a tím zde mohou být ohroženy životy a majetek. (Špatka 2005)

Proto Špatka (2005) vytvořil metodiku stanovení aktivní zóny záplavového území, kde AZZU vymezuje jako tu část záplavového území, která „provádí rozhodující část povodňových průtoků a bezprostředně ohrožuje život, zdraví a majetek lidí“. Aktivní zóna je určena průtokem stoleté vody Q_{100} .

Výpočet oblasti AZZU je řešen jednorozměrným (1D) matematickým modelem pro jednoduché tvary údolí, případně modelem 1D+ pro komplikované a složené údolní profily, s následným stanovením rozdělení svislicových rychlostí po příčném profilu. AZZU je stanovena podle hloubky a rychlosti proudění podle dvou doporučených grafů:

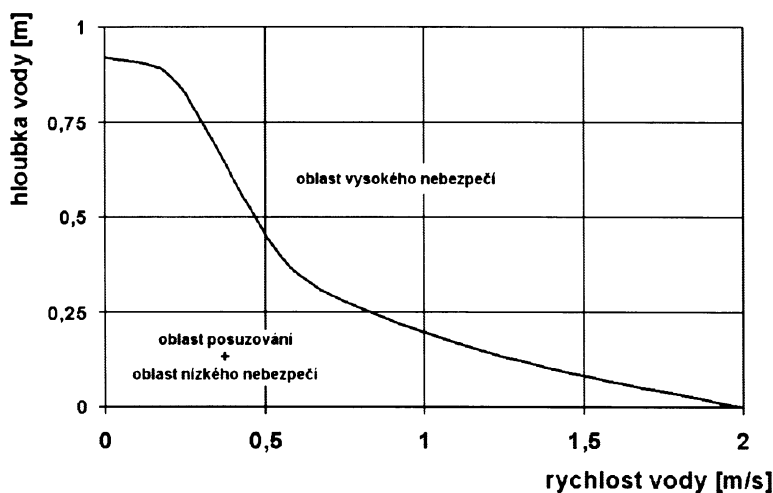
- pro záplavová území běžného významu – podle Finka a Bewicka viz obr. č. 1,
- pro záplavová území vysokého významu – podle metodiky Ministerstva vnitra USA obr. č. 2.

Obr. č. 1: Stanovení aktivní zóny záplavového území v závislosti na hloubce a rychlosti proudění podle Finka a Bewicka.



zdroj: Špatka (2005)

Obr. č. 2: Stanovení aktivních zón záplavového území podle metodiky ministerstva vnitra USA.



zdroj: Špatka (2005)

2.2 Modelování povodní v GIS

2.2.1 Vstupní data do modelů

Významnou roli v rozmístění a proudění vody v krajině hraje reliéf. Vedle měření v terénu a ručního zhodnocení z topografických map je možnost pracovat s digitálním modelem terénu. Nejenže znázorňuje terén, ale lze ho využít i pro další prostorové analýzy mezi nimiž je podstatné vymezení rozvodnic.

Nejprve bych chtěla vyjasnit názvosloví, které se týká digitálních modelů terénu. Budu používat anglickou zkratku DTM (digital terrain model), která je asi nejpoužívanější. DTM vyjadřuje digitální model zemského povrchu bez budov a bez vegetace. České názvosloví zde zatím není ustálené a DTM se do češtiny překládá jako digitální model terénu (DMT) i digitální model reliéfu (DMR). Někdy bývá DTM zaměňován s DEM (digital elevation model), který znázorňuje i objekty na zemském povrchu. DEM je také jiný název pro DSM (digital surface model).

Prvním krokem při modelaci povodní je tedy vytvoření DTM. Tématem DTM se zabývá Zeiler (1999). Podrobně seznamuje s různými druhy modelů, popisuje jejich výhody i nevýhody a jejich použití. Popis doplňují názorné obrázky. Zvláště se zaměřuje na porovnání rastrového a TINového modelu. Pro identifikaci povodí a hydrologické analýzy záplavových zón upřednostňuje rastrový model, pro odtokové studie pro územní rozvoj navrhuje TINový model.

Podobně Maidment a Djokic (2000) naznačují možnost práce s oběma modely. Rastrový model používají pro pohyb vody v povodí – tj. vymezení povodí toku či odtokového území pro daný bod. Pokud ale je cílem zjistit chování vody v korytě řeky, je výhodnější použít TINový model. Ten totiž lépe a podrobněji vystihuje dno řeky a přilehlé břehy.

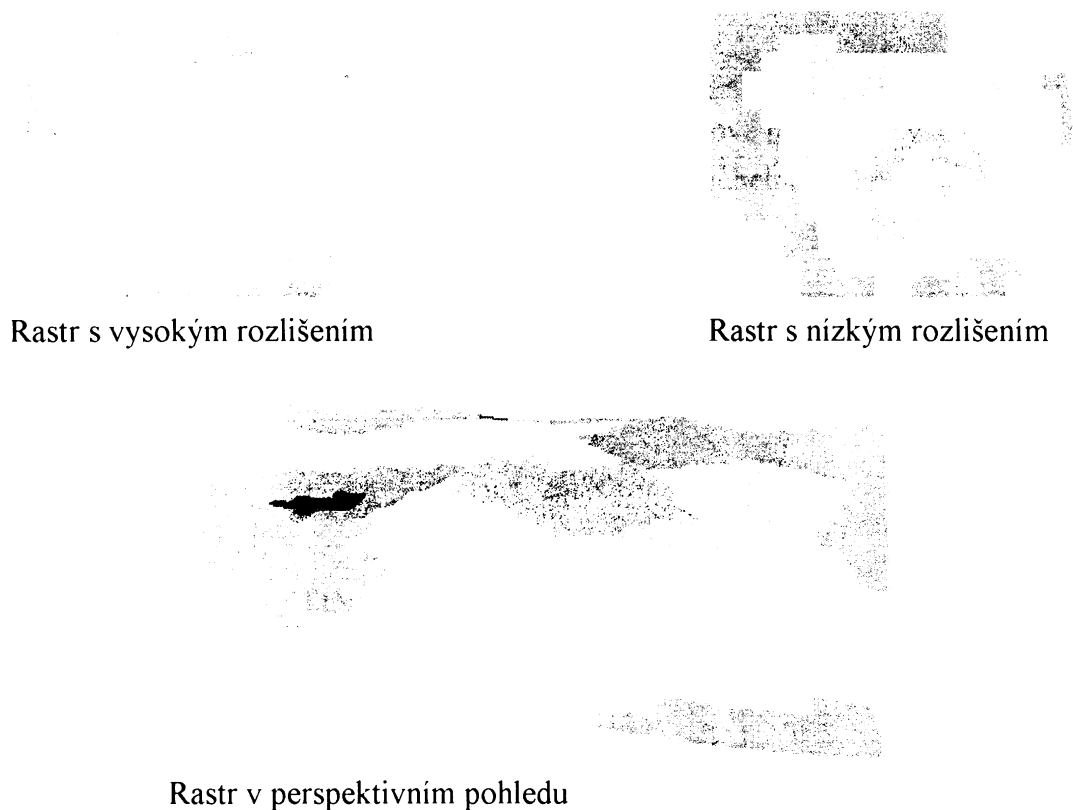
Digitální model terénu vyjadřuje reliéf krajiny pomocí matematicko-číselných vztahů. Reliéf může být reprezentován polygony uspořádanými do sítě buď pravidelně (např. grid) nebo nepravidelně (např. TIN). Běžně se používají dva druhy DTM – rastrový a TINový.

2.2.1.1 Rastrový model

V rastrovém modelu je povrch znázorněn pomocí pravidelné mřížky čtverců (grid). V každé buňce rastru je uložena jeho výška, která je vyjádřena barvou. Geometrická přesnost a podrobnost modelu závisí na velikosti buněk rastru. Čím menší jsou jednotlivé buňky, tím větší je geometrická přesnost modelu. Nelze ovšem lokalizovat prvky s větší přesností než je velikost buňky. Rastrový model je jednoduchý na pochopení jeho struktury a na následné

zpracování a operace v něm prováděné probíhají relativně rychle. Nevýhodou je velký datový objem a zbytečně moc údajů na plochách, kde je průběh reliéfu pravidelný.

Obr. č. 3: Rastrový model

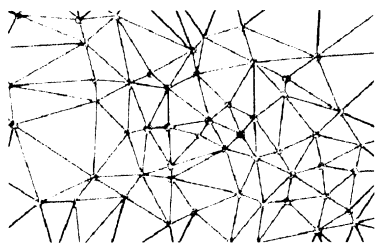


zdroj: manuál 3D Analyst

2.2.1.2 TINový model

TINový model je sestaven z trojúhelníkové sítě. Informace o výšce obsahují uzlové body, které jsou pospojovány hranami. Tvar a velikost trojúhelníků, tvořených uzly a hranami, jsou závislé na členitosti terénu. Uzlové body jsou po terénu rozmístěny nepravidelně, a tak oblasti s členitějším reliéfem jsou vykresleny podrobněji a s více detaily, plošší oblasti mají rozlišení nižší a jsou pokryty velkými trojúhelníky. K výhodám TINového modelu patří menší objem uložených dat a možnost vypočítat výšku terénu pro libovolný bod. Ale struktura modelu a postup jeho zpracování je poměrně složitá.

Obr. č. 4: TINový model



Uzlové body a hrany TINu



Uzlové body, hrany a trojúhelníkové plochy



TIN v perspektivním pohledu

zdroj: manuál 3D Analyst

Tab. č. 1: Porovnání rastrové a TINové reprezentace terénu

	rastr	TIN
Přesnost modelu povrchu	Přesnost rastru je limitována velikostí buňky. Pro dosažení větší přesnosti, musí být povrch znovu vygenerován s větším rozlišením.	TIN vytváří povrch prostřednictvím bodu se známou hodnotou. Jejich hustota se mění v závislosti na složitosti georeliéfu. TIN můžeme dále zpřesňovat dodáváním nových prvků (bodů, linií, polygonu), do již vytvořeného povrchu.
Výstižnost terénních prvků	V rastrové prezentaci je vyjádření z hodnot prováděno pravidelnou mřížkou. Lokalizace např. vrcholů, jezer a hřbetů nemůže být přesnější než je rozlišení rastru.	TIN je určen k zachycení terénních prvků jako toky, hřebeny a vrcholy. Tyto prvky jsou přesně uspořádány a svahové nespojitosti jako hřbety jsou modelovány pomocí zlomových linií.
Analýzy povrchu	Prostorové souvislosti Blížkost Rozptyl Nejvýhodnější trasy	Výpočet výšek, svažitosti a orientace Odvození vrstevnic z terénu Výpočet objemu Výškové profily Analýza dohlednosti
Aplikace	Tvorba povrchu v malých měřítcích Modelování šíření znečištění Identifikace povodí Hydrologické analýzy záplavových zón	Volumetrické výpočty pro plánování výstavby komunikací Odtokové studie pro územní rozvoj Vytvoření podrobných vrstevnic Perspektivní znázornění budov

zdroj: Zeiler (1999)

2.2.2 Vymezení povodí

Jedlička, Mentlik (2002) využívá pro vymezení povodí modul vytvořený v programovacím jazyce Avenue pro ArcView GIS 3.1 a dále standartní funkce ArcView GIS 3.1 používá pro výpočet základních morfometrických charakteristik (hypsometrie, sklony a expozice svahů).

Vymezením povodí a různými funkcemi v povodí se nejpodrobněji zabývá Loesch (2000). Postup je sice popsán v prostředí ArcView 3.1, ale většina funkcí je shodná s funkcemi nástavby ArcHydro pro ArcGIS 9.0. V seznámení s jednotlivými funkcemi pro vymezení povodí je přesně vystižena jejich podstata. Protože tento materiál je z workshopu, obsahuje i velmi podrobný postup.

Podobně se této problematice věnuje Schäuble (2003), také v prostředí ArcView 3.x. Definice některých funkcí jsou dostatečně výstižné. Několikrát jsou zde porovnávány výstupy vzniklé z různě kvalitních vstupů.

Maidment a Djokic (2000) tuto problematiku samozřejmě také popisují, ale pouze jako postup tvorby a její nastínění a nezachází podrobněji do detailů.

Práci s nástavbou ArcHydro pochopitelně nejlépe vysvětluje manuál Arc Hydro Tools – Tutorial, kde je postup práce popsán krok za krokem. Teorie k jednotlivým funkcím se nachází v nápovědě k této nástavbě.

Vymezením povodí se budu podrobněji věnovat v kapitole 4 Použitá data a metodika, při popisu postupu vymezování povodí v mém modelovém území.

2.2.3 Hydrologické modely

Protože pro náročnější hydrologické modelování, především proudění vody, je ArcGIS i s nástavbou ArcHydro nedostatečný, byly vyvinuty komplexní modely, které ovšem ArcGIS a ArcHydro využívají pro tvorbu vstupních dat. V Hydrologic Engineering Center (HEC) byly vyvinuty dva softwary: HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) a HEC-RAS (River Analysis System). Pro export a import dat z a do ArcGIS jsou určeny extenze HEC-GeoHMS a HEC-GeoRAS.

V návaznosti na prostředí ArcView byl vytvořen software MIKE 11, který je jednodušší na užívání a srozumitelnější. Zde pro import a export dat existuje MIKE 11-GIS.

Alkema (2004) nastiňuje, jak mohou být GISy a dálkový průzkum Země (DPZ) využity k odhadování povodňového nebezpečí. Stanovení dopadu povodní se podle něj provádí ve dvou krocích – 1D a 2D povodňových modelech. GIS používá pro získání 7 indikátorů, které charakterizují povodeň.

Numerický model MIKE 11 upřednostňuje pro vymezení povodňových území Willems (2004) i Muller, Rungoe.

Internetové stránky Hydrologic Engineering Center poskytují informace o softwarech HEC-HMS a HEC-RAS. Popisují zde jejich základní principy a funkce.

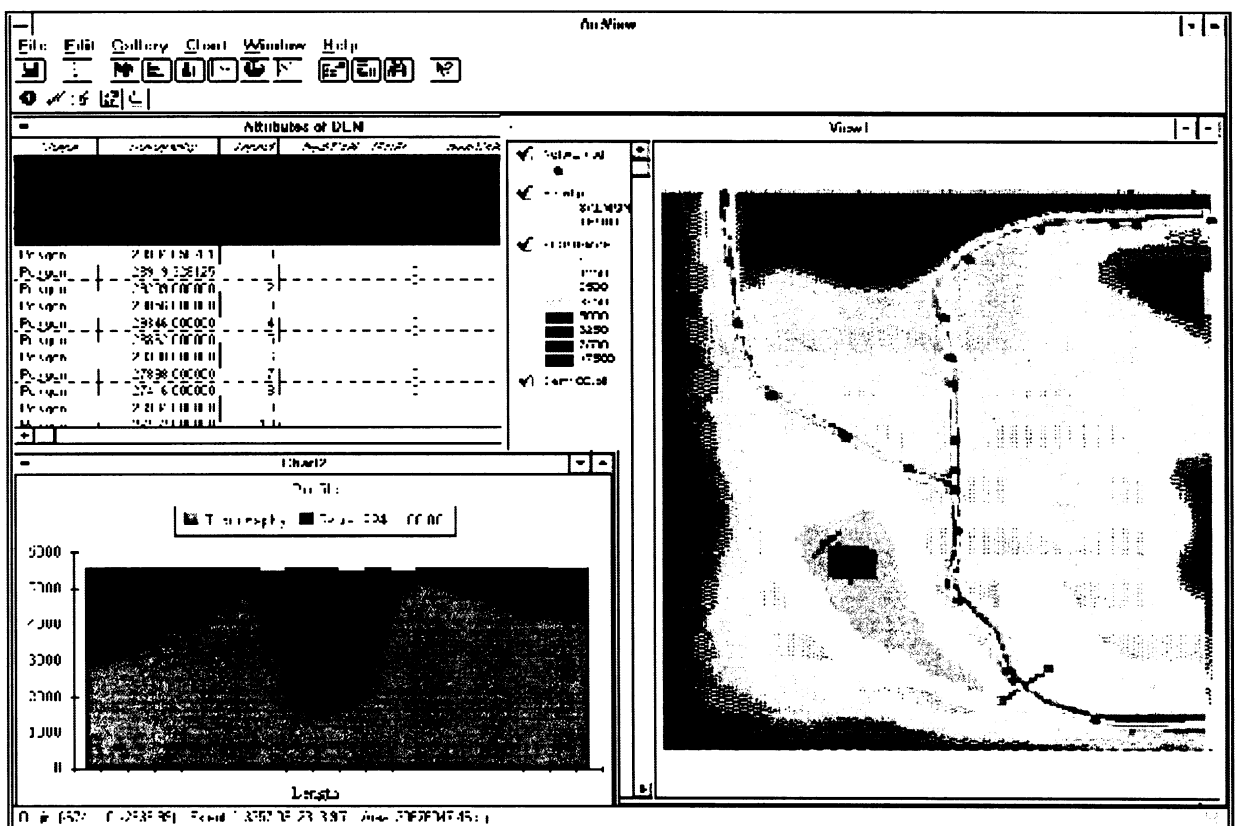
S postupem práce s modely HEC-HMS a HEC-RAS poměrně podrobně seznamují Maidment a Djokic (2000), neboť tito autoři jsou výzkumní pracovníci Hydrologic Engineering Center (HEC).

2.2.3.1 MIKE 11

MIKE 11 je numerický modelační systém pro řeky a ústí řek. Simuluje proudění, kvalitu vody a transport sedimentů v ústích, řekách, kanálech a dalších vodních tělesech. Původně byl vytvořen pro tvorbu 2D a 3D modelů vodní hladiny a map záplavových území. Je možné generovat hranice záplavových území pro různé povodňové scénáře, např. situace s nebo bez povodňových hrází. Obsahuje základní moduly pro hydrologii, hydrodynamiku, transport sedimentů a kvalitu vody. Princip povodňového mapování pracuje na principu porovnávání digitálního modelu hladiny vody s DTM.

MIKE 11 je spojovací článek mezi povodňovými modely a GISy. Důležitou spojkou mezi MIKE 11 a GIS je Branch Route System (BRS). BRS je síť, která prvky modelu MIKE 11 znázorňuje jako větve (branches) a vztažné body (h-points). Všechny výsledky je možné importovat do ArcView.

Obr. č. 5: Výstup modelu MIKE 11 – povodňová mapa a profil koryta řeky



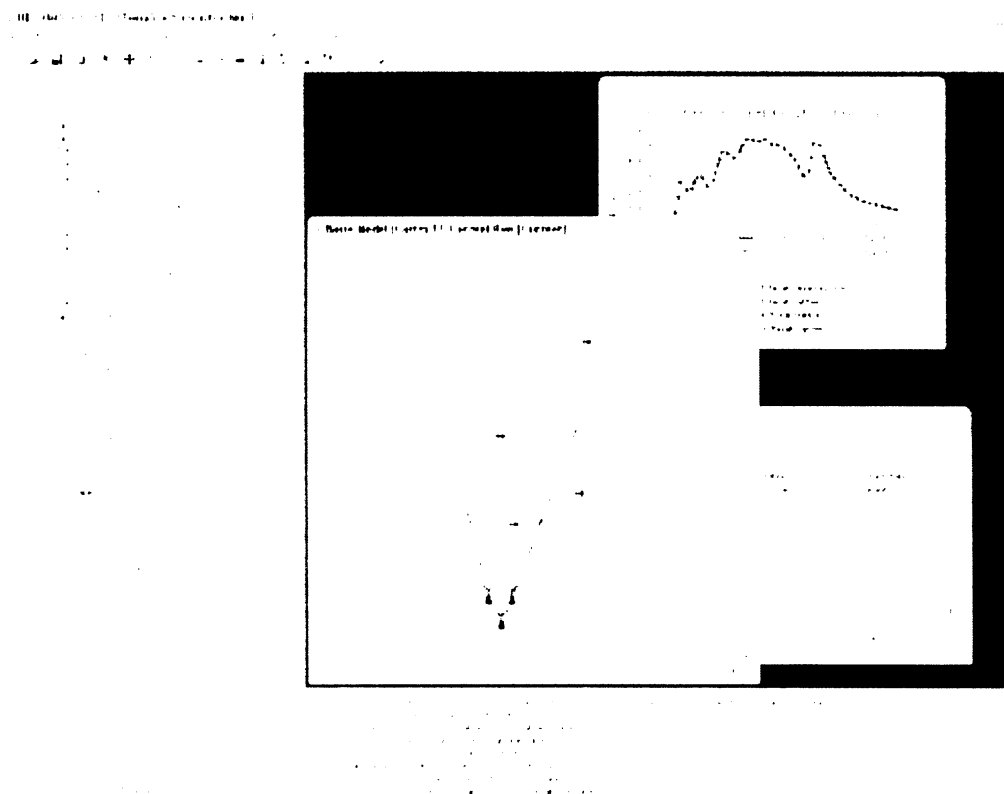
zdroj: Muller, Rungoe

2.2.3.2 HEC-HMS

HEC-HMS byl vytvořen k simulaci srážko-odtokového procesu v povodí. K tomu je nutné velké množství vstupních dat, především o terénu, vymezení povodí, data o využití území, půdních typech, srážková data a další. Výsledkem jsou hydrogramy, které znázorňují průběh odtoku vody v závislosti na množství srážek a dalších vstupních charakteristikách.

Model sestává ze dvou základních částí: model povodí a srážkový model. Model povodí popisuje vlastnosti povodí. Lze určit množství infiltrovaných srážek, množství srážek v povrchovém odtoku i roli srážek v podpovrchovém odtoku. Je možné počítat i v prostředí nádrží a jezer. Srážkový model obsahuje analýzy srážek, hodnocení evapotranspirace a hodnocení tání sněhové pokrývky. Simulace tedy kombinuje data z modelu povodí a srážkového modelu v určitém časovém rozmezí.

Obr. č. 6: Výstup modelu HEC-HMS – říční síť a hydrogram



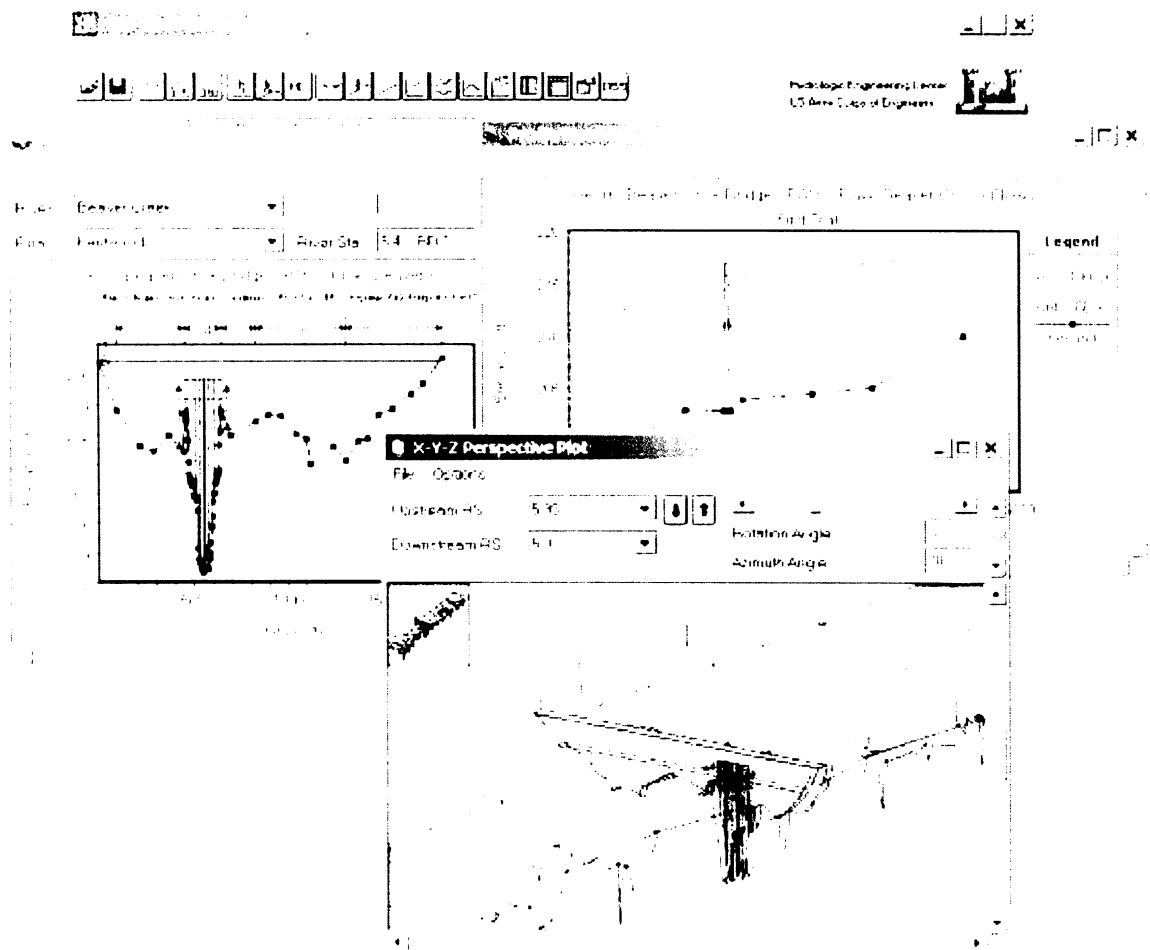
zdroj: Hydrologic Engineering Center

2.2.3.3 HEC-RAS

HEC-RAS pracuje s výstupy z modelu HEC-HMS. Vytváří hydraulické analýzy, které modelují výšku vodní hladiny pro stálý i proměnlivý průtok. Požadovaná vstupní data jsou DTM, proudnice a linie středu toku, navíc mohou vstupovat i břehové čáry, využití území,

objekty ovlivňující proudění v řece a jiné. Výsledkem jsou 2D a 3D grafy příčných profilů, říční sítě, výšky vodní hladiny a další. Všechny tyto výstupy jsou zároveň i v tabulkové podobě.

Obr. č. 7: Výstupy modelu HEC-RAS



zdroj: Hydrologic Engineering Center

3 FYZICKO-GEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

V této kapitole bych chtěla charakterizovat modelové území převážně z fyzicko-geografického hlediska. Popíšu jeho povrch, podnebí, půdy, vegetaci spolu s využitím krajiny, ale hlavně se zaměřím na hydrologické charakteristiky území.

3.1 Lokalizace

Povodí Losinského potoka patří do povodí řeky Sázavy a je jeho pravostranným přítokem. Nachází se v okrese Kutná Hora.

Obr. č. 8: Lokalizace modelového území



zdroj: autor

3.2 Geologická stavba a povrch

Sledované území patří mezi nejstarší části Českého masivu, které vznikly již před začátkem prvohor a jsou součástí tzv. moldanubické kry. Moldanubikum je krystalinikum tvořené hlubinně metamorfovanými horninami, mezi kterými převažují pararuly, granulity, serpentinity a svory.

Losinský potok protéká dvěma geomorfologickými celky:

1. Většina toku se nachází v Hornosázavské pahorkatině – celku Českomoravské vrchoviny.
2. Malá část dolního toku leží ve Vlašimské pahorkatině, což je celek Středočeské pahorkatiny.

Nejvyšším bodem povodí je vrchol Kopaniny s nadmořskou výškou 552,1 m n. m.

3.3 Půdy

V povodí Losinského potoka najdeme tři hlavní typy půd a podle nich můžeme vymežit i tři oblasti:

- pseudogleje s hnědými půdami oglejenými
Tento půdní typ se nachází na horním toku v pramenné oblasti. Je to půda s převlhčenými povrchovými horizonty, což způsobuje mimo jiné nedostatek vzduchu v půdě. Zrnitostně se jedná o těžší hlinitou půdu.
- hnědé půdy kyselé
Půdní typ střední části je typickým zástupcem nadmořské výšky oblasti – to je 400 – 600 m n. m. Má poměrně mělký humusový horizont, pod kterým probíhá vnitropůdní zvětrávání. Zrnitostí odpovídá středně těžkým půdám.
- hnědé půdy se surovými hlinami
Dolní část toku se typem půdy podobá předchozí části. Na rozdíl od předešlé obsahuje větší množství skeletu.

3.4 Podnebí

Popisované území je v rámci Česka přiřazováno k okrsku mírně teplému, mírně vlhkému, pahorkatinnému. Průměrná roční teplota dosahuje 6 – 8 °C, průměrná červencová teplota 16 - 18 °C a průměrná lednová teplota -3 °C. Průměrný roční úhrn srážek činí 450 – 500 mm, přičemž srážky jsou rovnoměrně rozloženy během roku.

3.5 Vegetace

Podle rekonstrukční mapy vegetačních poměrů rostly v minulosti v povodí Losinského potoka převážně acidofilní a jedlové doubravy.

Průměrná lesnatost celého povodí činí 40 %. Zatímco k soutoku s Nespeřickým potokem dosahuje lesnatost až 80 %, od Vlkovického potoka po ústí je lesnatost povodí jen 30 %.

Z mapy krajinného pokryvu (viz Příloha č. 3) je patrné, že největší část povodí zaujímá nezavlažovaná orná půda a jehličnaté lesy. Obě tyto kategorie převažují i v jednotlivých povodích. Výjimku tvoří Zderadinský potok, kde podstatnou část povodí tvoří namísto jehličnatých lesů zemědělské oblasti s původní vegetací.

3.6 Vodstvo

Povodí Losinského potoka zaujímá plochu 40,52 km². Losinský potok pramení v rozsáhlém lesním komplexu v severovýchodní části povodí v nadmořské výšce 527 m n. m. Do Sázavy ústí u Kácova ve výšce 309 m n. m. Délka údolí hlavního toku je 14,2 km.

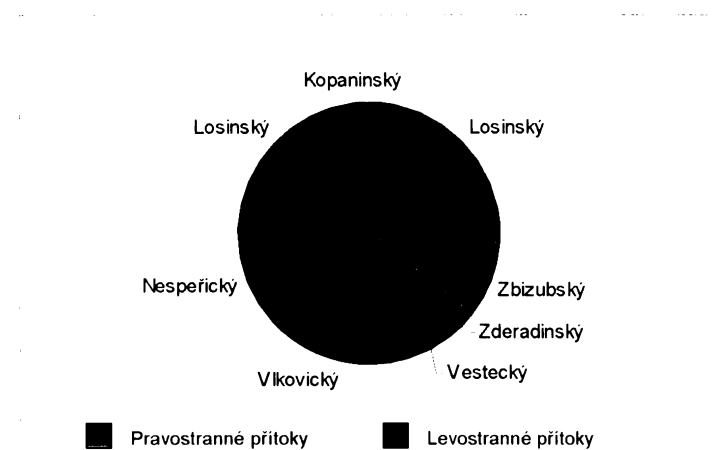
Říční síť je asymetrická – z pravé strany přijímá 4 přítoky, z levé pouze 1 a mnohem menší než jsou pravostranné. Pravostranné přítoky jsou: Nesperický potok, Vlkovický potok, do kterého vtéká Vestecký potok, dále Zderadinský potok a Zbizubský potok. Levostranným přítokem je pouze Kopaninský potok, který je ovšem tak malý, že jsem s ním vlastní modelování neprováděla.

Tab. č. 2: Plocha povodí

potok	plocha (km ²)
Zbizubský	3,72
Zderadinský	1,54
Vestecký	2,45
Vlkovický	7,18
Nesperický	5,21
Kopaninský	0,71
Losinský	40,52

zdroj: autor

Graf č. 1: Vývoj povodí



zdroj: Tab. č.2

Hustota říční sítě vyjadřuje podíl celkové délky toků a plochy povodí podle vzorce $r = \frac{\sum L}{P}$. V případě Losinského potoka leží na ploše 40,52 km² 34,05 km vodních toků a hustota říční sítě tedy je 0,84 km toku na 1 km².

Gravelliův koeficient hodnotí tvar povodí vyjádřením míry jeho kruhovosti. Porovnává délku rozvodnice s obvodem kruhu o stejné ploše jako má sledované povodí. $K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P\pi}}$

Pokud se výsledek rovná 1, povodí má přesně tvar kruhu, čím je výsledek vyšší, tím méně se povodí podobá kruhu. Gravelliův koeficient pro Losinský potok odpovídá hodnotě 1,84.

Charakteristika povodí vyjadřuje pomocí poměru plochy povodí a čtverce délky hlavního toku tvar povodí. $\alpha = \frac{P}{L^2}$ Pro povodí do 50 km² $\alpha = 0,2$ znamená, že povodí má protáhlý tvar.

Koeficient souměrnosti porovnává plochy levé a pravé části povodí. Pokud je koeficient souměrnosti nulový, povodí je zcela souměrné, pokud se rovná jedné, hlavní tok z jedné strany nemá žádné přítoky. $K_S = \frac{|P_p - P_l|}{P}$ V našem případě $K_S = 0,52$, z čehož se dá usuzovat určitá nevyrovnanost levé a pravé strany, která byla zřejmá již z grafu vývoje povodí.

Spád povodí se dá přibližně vyjádřit jako poměr převýšení a odmocniny plochy povodí. $I = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}}$ Výsledek je v promilích a znamená o kolik metrů klesne povodí na 1 km. Nejvyšší sklon mají povodí krátkých potoků Kopaninský a Zderadinský. Nejmenší sklon má Losinský potok, který teče hluboko zaříznutým údolím téměř po rovině.

Tab. č. 3: Sklonitost jednotlivých povodí

potok	sklon (‰)
Zbizubský	45,92
Zderadinský	97,28
Vestecký	44,11
Vlkovický	25,21
Nespeřický	25,73
Kopaninský	98,49
Losinský	5,38

zdroj: autor

4 POUŽITÁ DATA A METODIKA

V této kapitole popíšu data, se kterými jsem pracovala, a hlavně postup mé práce.

4.1 Použitá data

Ke své práci jsem použila data, která mi poskytl Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK) a Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

Český úřad zeměměřický a katastrální mi poskytl polohopis a výškopis ze Základní báze geografických dat (ZABAGED) a ortofotosnímky. ZABAGED je digitální topografický model území ČR odvozený z mapového obrazu Základní mapy České republiky 1:10 000 v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému baltském - po vyrovnání. Základní interval vrstevnic je 2 m.

Z ČHMÚ jsem získala data o srážkách ze stanic Bahno, Bohdaneč, Ledečko a Řendějov za měsíc červenec roku 2004.

Data o krajinném pokryvu jsem získala z IMS serveru Cenia, který má adresu <http://geoportal.cenia.cz>.

4.2 Metodika

4.2.1 Vytvoření DTM

Pro vytvoření DTM jsou potřeba vektorová data s informací o nadmořské výšce. Výškopisná data ze ZABAGEDU ve formátu .dgn sice tuto informaci nesou, ale nejde s ní pracovat. Proto je nejprve nutné převést data .dgn do formátu .shp. A protože moje modelové území sestává z více mapových listů, zároveň s převodem do shapefile, převedu všechny mapové listy do jednoho. K tomu slouží funkce Append.

V ArcCatalogu jsem si založila nový shapefile. Zvolila jsem typ vrstvy (polyline), vhodný souřadný systém (v tomto případě S-JTSK Krovak EastNorth) a zaškrtnula, že nový shapefile bude obsahovat zetovou souřadnici. Pomocí funkce Append, kterou jsem si našla v aplikaci ArcToolbox, jsem převedla .dgn data do .shp. Jako vstupní vrstvy jsem zvolila všechna výškopisná data .dgn polyline, výstupní vrstvou je jeden nově vytvořený shapefile.

Nástrojem 3D Analyst jsem vytvořila TINový model. Nejprve jsem TIN vytvořila pomocí Create TIN a následně ho upravila podle vrstevnic funkcí Edit TIN.

Protože pro většinu následujících prací je vyžadován rastrový formát, převedla jsem si TIN do rastru. K tomu slouží v 3D Analystu funkce Convert – TIN to Raster. Jako atribut pro převod jsem použila Elevation a velikost pixelu jsem upravila podle ZIV (zde 2 m).

4.2.2 Vymezení povodí

Povodí a rozvodnice jsou základem pro většinu hydrologických analýz. Základním požadavkem pro další analytické a modelační funkce je existence DTM. Jeho různými, na sebe navazujícími, prostorovými analýzami se nakonec dosáhne vymezení povodí.

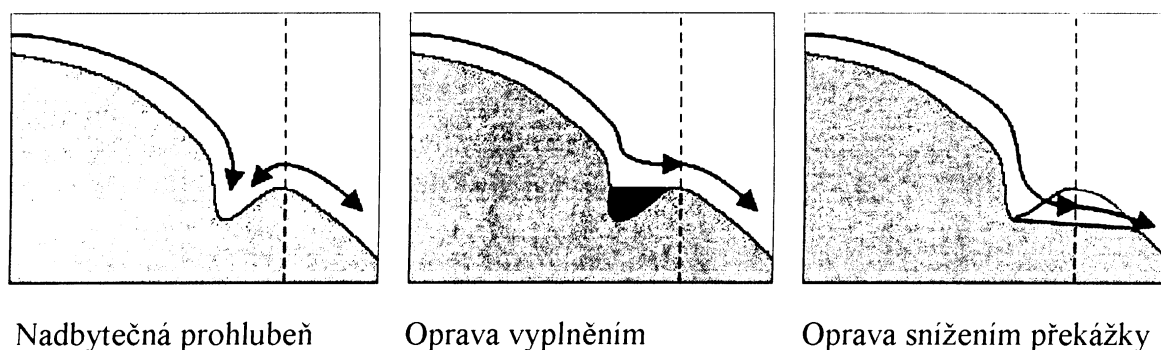
Povodí jsem vymezovala pomocí nástroje ArcHydro. Tento nástroj není ve standartním vybavení programu ArcGIS 9.0, ale je volně stažitelný z internetu. Nástroj ArcHydro je vytvořen tak, že jednotlivé úkony na sebe navazují a jsou seřazeny podle pořadí, ve kterém mají být vykonány.

4.2.2.1 Ověření správnosti DTM

Prvním krokem je ověření přesnosti DTM pomocí DEM Reconditioning (AGREE). Vstupními daty je DTM a shapefile řeky.shp, který jsem získala ze ZABAGEDU. Tím se vytvořil rastr, který znázorňoval chyby DTM.

DTM mají totiž většinou menší chyby jako vytvoření reliéfových prohlubní a plochých území, ke kterému může dojít během interpolace DTM. Neexistující reliéfové prohlubně mohou přerušit tok vody a tím způsobí nepřesný výsledek hydrologických výpočtů. K odstranění těchto chyb slouží nástroj obnova reliéfu a vyplnění prohlubní. Funkce obnova reliéfu najde pomocí DTM a lineárního prvku řeky chyby v reliéfu. Všechny hydrologicky správná území se označí jako NoData, přebytečné prohlubně dostanou vlastní číslo. Následně jsou odstraněny jejich vyplněním funkcí Fill Sinks.

Obr. č. 9: Chyby DTM a jejich vyřešení

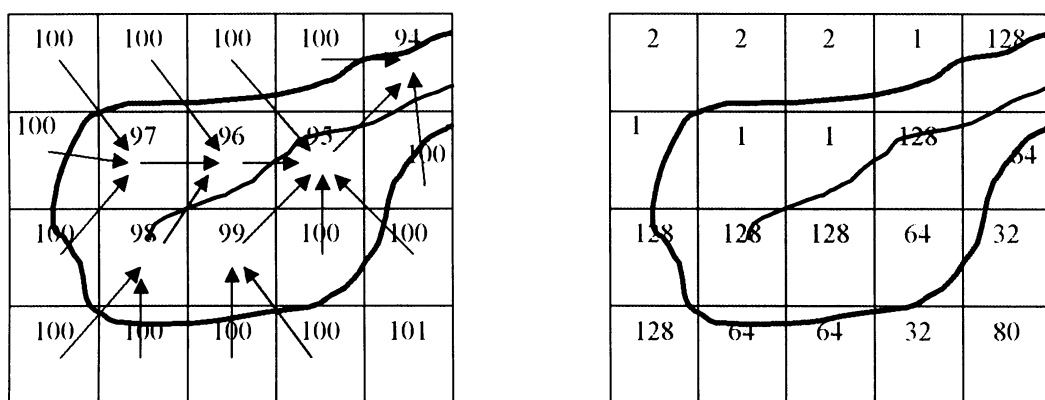


zdroj: Schäuble 2003

4.2.2.2 Směr odtoku

Opravený DTM jsem vložila do funkce Flow direction. Z DTM bez neskutečných prohlubní se vytvoří rastr, který znázorňuje směry toku. Každá buňka dostane celé číslo od 1 do 255 podle směru odtoku, kde 1 představuje východ, 2 jihovýchod, 4 jih, 8 jihozápad, 16 západ, 32 severozápad, 64 sever a 128 severovýchod, 255 rovina. Odtok z buňky je veden nejkratší cestou po spádnicí. Směr odtoku se řídí podle několika pravidel. Směr odtoku je určen jednou z osmi sousedních buněk, která má nejmenší hodnotu ze všech osmi a zároveň je menší než hodnota vstupní buňky. Jestliže všechny sousední buňky mají stejnou hodnotu, odtok není definován (roviny a jezera).

Obr. č. 10: Funkce směr odtoku



Původní rastr s nadmořskými výškami

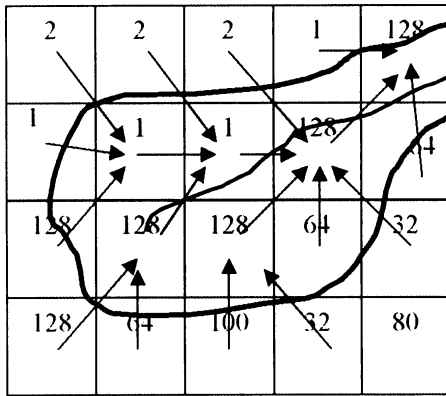
Rastr směru odtoku

zdroj: Loesch 2000

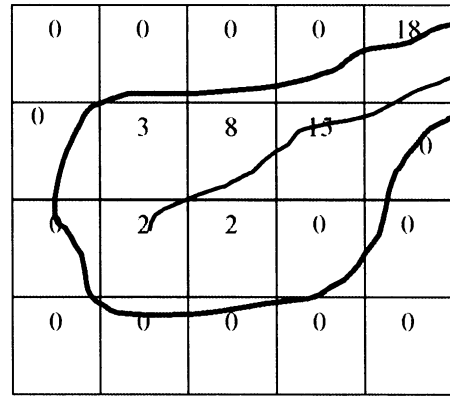
4.2.2.3 Akumulovaný odtok

Rastr směru odtoku jsem použila pro akumulování odtoku (funkce Flow accumulation). Každá buňka znovu dostane novou hodnotu podle celkového (naakumulovaného) počtu buněk, které do ní vstupují z hlediska směru odtoku. Buňky s vysokým počtem vstupujících buněk mohou tvořit koryto toku. Z tohoto rastru můžeme zjistit, kterou oblastí teče více vody než jinými.

Obr. č. 11: Funkce akumulovaný odtok



Rastr směru odtoku



Rastr akumulovaného odtoku

zdroj: Loesch 2000

4.2.2.4 Říční síť

Z akumulovaného odtoku jsem vytvořila funkci Stream definition rastr, který znázorňoval pouze toky. Buňkám toku je přiřazena hodnota 1, ostatní buňky jsou prázdné. K tomu je nutné definovat prahovou hodnotu. Toky se vytvoří pouze z buněk, jejichž hodnota nahromaděného odtoku je vyšší než prahová hodnota. Doporučená prahová hodnota je 1 % z maximálního akumulovaného odtoku. Z menší než doporučené prahové hodnoty vznikne hustší říční síť a následně větší počet vymezených povodí a naopak. Nejvhodnější prahovou hodnotu pro mé povodí jsem zjistila z rastru akumulovaného odtoku tak, že jsem identifikovala hodnotu buněk, které se přibližně shodovaly s vektorem řeky.shp v pramenných oblastech. Nejvhodnější prahová hodnota byla 40460.

Říční síť je možné rozdělit na jednotlivé toky, kdy všechny buňky v jednom toku mají stejnou hodnotu a tato hodnota daný tok jednoznačně identifikuje. Nově vygenerovanou říční síť jsem tedy funkcí Stream segmentation rozděbila na jednotlivé toky.

Říční síť vypočítaná z akumulovaného odtoku ovšem vždy neodpovídá skutečné říční síti. Toky totiž často nevedou údolnicí a po ideální linii odtoku, ale koryto řeky je změněno činností člověka.

4.2.2.5 Povodí

Dále jsem každému toku pomocí Catchment Grid Delineation přiřadila jeho vlastní odtokové území a tento rastr jsem převedla do vektorového tvaru funkcí Catchment Polygon Processing. Nový rastr je tvořen buňkami s hodnotou příslušnosti k určitému povodí. Tato hodnota se vypočítá z rastru směru odtoku a jednotlivých toků. Pro další výpočty se rastr vymezených povodí převádí do vektorové podoby jako polygony. Podobně se do vektorového tvaru převádí i jednotlivé toky a každý vektor toku má hodnotu povodí, ke kterému patří. Podobně jsem přeměnila do vektoru i jednotlivé toky, funkcí Drainage Line Processing.

Takto byla hotová povodí pro všechny toky v území vymezeném použitými snímky ZABAGEDU. Abych získala vymezené povodí pouze mého zájmového území, bylo nutné definovat ústí hlavního toku. To jsem definovala funkcí Point Delineation (tento bod se může umístit do libovolného místa toku, nejen do ústí). Potom jsem funkcí Batch Watershed Delineation vymezila hlavní povodí. To jsem opakovala pro všechny přítoky hlavního toku a nakonec jsem vymezila subpovodí funkcí Batch Subwatershed Delineation. Všechny takto vytvořené oblasti jsou ve vektorovém tvaru.

Protože nyní jsem už přesně znala území mého povodí, mohla jsem DTM oříznout do požadovaného tvaru. To jsem udělala funkcí Extract by mask, kde jsem za masku zvolila polygon s vymezeným povodím.

4.2.3 Výpočet důležitých fyzicko-geografických charakteristik

Plocha jednotlivých povodí se vypočítala automaticky při vymezení těchto povodí. Tu jsem využila pro většinu hydrologických výpočtů uvedených v kapitole 3.6. Vodstvo.

Nadmořské výšky jsem získala z DTM. Svažitosť jsem vypočítala funkcí Slope a výsledek jsem rozdělila do intervalů podle standardní klasifikace svahů. Další charakteristiku, expozici svahů, jsem vytvořila další funkcí Spatial Analyst, a to Aspect.

Pro všechny tyto charakteristiky a navíc krajinný pokryv jsem získala statistiky na jednotlivá povodí pomocí funkce Zonal Stats as Table.

Využila jsem i možnost vytvoření profilu. To umožňuje 3D Analyst, kdy nejdříve nástrojem Interpolate line jsem v DTM definovala linii, jejíž profil jsem chtěla získat (vodní tok), a pak jsem funkcí Create graph vytvořila podélný profil.

4.2.4 Srážky

Důležitým faktorem vzniku povodní jsou srážky. Pouhá hodnota v milimetrech na metr čtvereční ale nepostačuje k zjištění množství vody v povodí. Více vypovídá celkové množství vody, které spadne na povodí.

K dispozici jsem měla 4 srážkoměrné stanice, které obklopují moje modelové povodí, a to Bahno, Bohdaneč, Leděčko a Řendějov. Data z těchto stanic jsem interpolovala. Jako interpolační metodu jsem použila interpolaci IDW (Inverse distance weighted). Tato interpolace je založena na principu váženého průměru. Hodnota každé buňky je vypočtena z hodnot bodů ležících v určené vzdálenosti od středu. Získala jsem rastrovou vrstvu srážek nad celým povodím.

K zjištění množství vody spadlé na jednotlivá subpovodí jsem využila funkci Zonal Statistics as Table. Pomocí této funkce se spočítá průměr, minimum, maximum, interval, suma, standardní odchylka, rozptyl, modus a medián z jedné rastrové vrstvy nad územím

definovaným druhou vrstvou (rastrovou nebo vektorovou). Z těchto statistických hodnot jsem potřebovala průměrné denní srážky na jednotlivá povodí.

Vynásobením průměrných srážek s povrchem subpovodí se získá celkový objem srážek. V nově vzniklé atributové tabulce jsem si vytvořila nové pole a pomocí Calculate Values, kam jsem zadala vzorec [srážky (v metrech) · plocha povodí], se vypočítal objem spadlých srážek v m³.

4.2.5 Vliv krajinného pokryvu

Všechny spadlé srážky ale nedotečou do vodních toků, kde by mohly způsobit povodně. Určitý vliv na odtok má typ povrchu, zda jde o vegetaci, zastavěnou plochu či ornou půdu. Korelační koeficienty vlivu typu plochy na odtok jsem uváděla již v kapitole 2.1.2. Vliv fyzicko-geografických prvků.

Pro tuto část jsem použila vrstvu projektu Corine land cover, který mapoval krajinný pokryv celé České republiky, a získala jsem ho ze serveru Cenia. Funkcí Clip jsem si z celé republiky vyřízla pouze území mého povodí. Vyříznuté území jsem převedla do rastrové podoby a tento rastr jsem funkcí Reclasify reklasifikovala podle korelačních koeficientů.

Potom jsem použila funkci Raster calculator. Funkce Raster Calculator umožňuje matematické výpočty s rastry a výsledek zároveň graficky znázorní. Do Raster calculator jsem vložila vzorec: srážky – [srážky · (1 - reklasifikovaný vegetační kryt)] (Kříž, Žaloudík 2002). Tím jsem vypočítala množství vody, které skutečně odteče z 1 m², tedy zmenšené o srážky, které se vsáknou nebo zůstanou na vegetaci. Výsledné množství vody odtékající např. z lesa je tedy menší než z orné půdy.

4.2.6 Nalezení míst rozlivu

V tomto bodě jsem se inspirovala Jedličkou (2006). Abych mohla najít místa rozlivu, musela jsem si nejdříve rozdělit toky na body. To lze učinit v editačním prostředí. Pomocí funkce Divide jsem nejprve rozmístila na zvoleném toku body po 20 m a následně jsem funkcí Split tok rozdělila (podle procent délky toku) na stejně dlouhé úseky. Funkcí Feature to Point se uprostřed jednotlivých úseků toku vytvoří body.

Tyto body však nenesou informaci o nadmořské výšce. Tu jsem získala z DTM funkcí Extract Values to Point. Zde je důležité zvolit připojení atributu s nadmořskou výškou. Nově vytvořené body už představují dno toku. Hladinu lze zvedat zvyšováním nadmořské výšky. V atributové tabulce jsem si přidala nový sloupec pro zvýšenou hladinu a funkcí Calculate Values jsem k sloupci s nadmořskou výškou přičetla požadovanou výšku (+1 m, +1,5 m, +2 m).

Body se zvýšenou hladinou jsem interpolovala. Za interpolační metodu jsem zvolila IDW (Inverse Distance Weighted) a průběh interpolace do 250 m od bodu. Tento rastr

znázorňující interpolovaný pás kolem řeky představuje rovinu rozlévající se vody. Abych zjistila, kde voda může volně proudit a kde jí zabrání terén, musela jsem porovnat rovinu terénu a vody. K tomu slouží funkce Cut / Fill. DTM jsem určila jako terén „před“ a interpolovaný rastr jako terén „po“. Vznikl nový rastr, který znázorňuje přírůstky a úbytky mezi oběma rovinami. V mém případě přírůstek znamená místa rozlivu vody.

Při záplavách nejvíce obyvatele zajímá, zda budou zaplaveny i jejich obydlí. Rastr rozlivu řeky jsem si převedla do vektoru pomocí funkce Raster to feature. Z toho vektoru jsem vybrala pouze tu část s rozlivem a k tomuto výběru přidala výběr budov, které leží v zátopovém území. To jsem provedla pro všechny stupně zvýšení hladiny – 1 m, 1,5 m a 2 m.

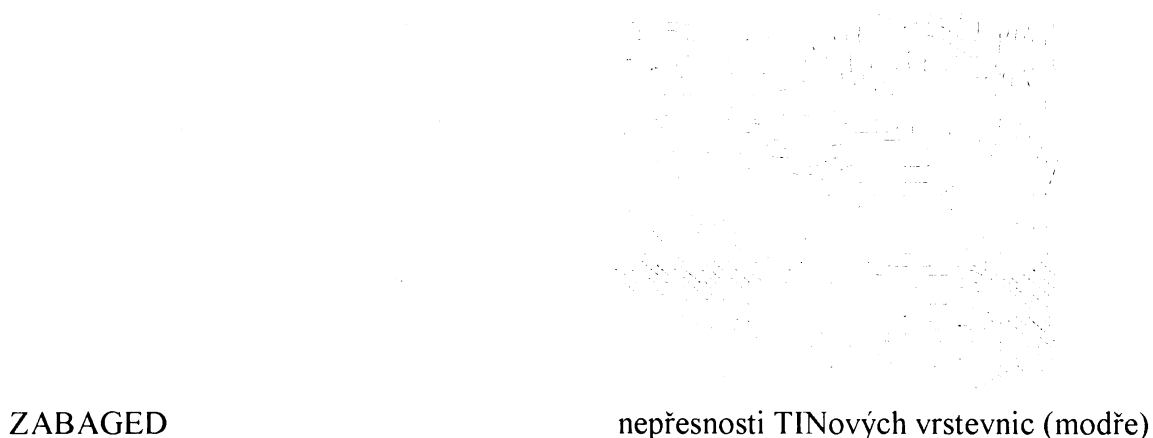
5 VÝSLEDKY

V této kapitole se pokusím shrnout a okomentovat výsledky, kterých jsem dosáhla v praktické části.

Prvním výsledkem, který jsem získala, byl DTM. Z vrstevnic ZABAGEDu jsem nejprve vytvořila TINový model a z něho následně rastrový model, který jsem potřebovala pro další analýzy.

TIN ovšem úplně přesně neodpovídá vrstevnicím ze ZABAGEDU. Zjistila jsem to díky tomu, že jsem TIN převedla do vrstevnic. V místech, kde je ZABAGED přerušen, si TIN křivku dokreslil. Ve vrcholových částech je TIN také značně nepřesný. To je způsobeno tím, že k tvorbě TINu nebyly využity body vrcholů. Tyto chyby jsou však v mojí práci nevýznamné.

Obr. č. 12: Rozdíl původních vrstevnic a vrstevnic z TINu

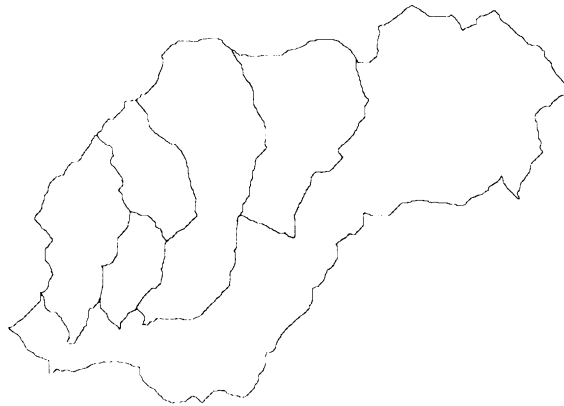


zdroj: ZABAGED, autor

Samozřejmě by bylo mnohem vhodnější vytvořit DTM přímo z vrstevnic funkcí Topo to Rastr. Různými konverzemi a převody totiž vznikají chyby. Touto přímou cestou se mi to ovšem nepodařilo, protože vrstevnice ZABAGEDU jsou uloženy jako 3D shapefile a při použití funkce Topo to Rastr vznikne DTM, který ovšem vůbec neodpovídá skutečnému reliéfu.

Potom jsem vymezila hranice mnou sledovaného povodí. Tomu předcházelo vytvoření rastrů směru odtoku, akumulovaného odtoku, říční sítě a odvodňovaných území. Po definování závěrových bodů odtoku se vytvořila vektorová vrstva hlavního povodí s jednotlivými subpovodími.

Obr. č. 13: Vymezené povodí



zdroj: autor

Jak je vidět z obrázku č. 13, jeden tok (Kopaninský potok) nemá vlastní povodí. Je to způsobeno tím, že akumulovaný odtok v těchto místech byl nižší než akumulovaný odtok v místech, která jsem nechtěla zavádět jako vodní tok. Proto jsem raději zvýšila prahovou hodnotu pro vymezení vodního toku a tím byl Kopaninský potok vynechán.

Po vymezení povodí jsem mohla DTM oříznout přesně podle hranice povodí. Následovaly prostorové analýzy fyzicko-geografických prvků, které jsem využila ve 3. kapitole.

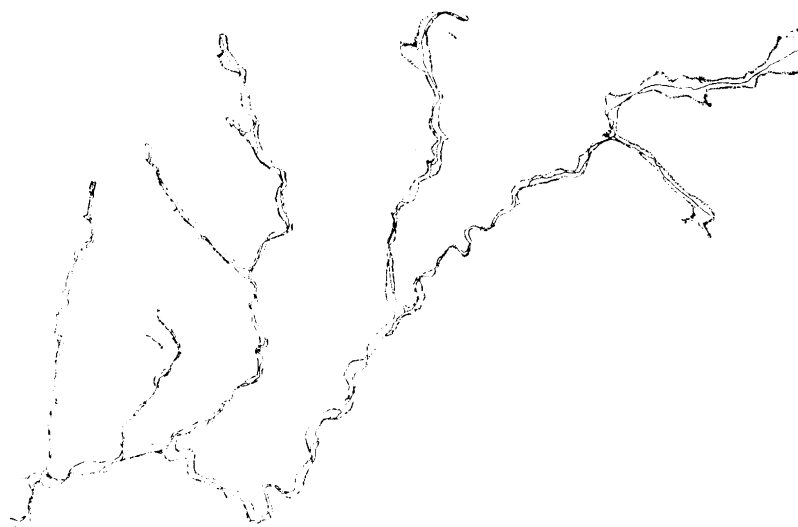
Průměrné srážkové úhrny ze srážkoměrných stanic jsem interpovala na celé území. Rozložení stanic bohužel není úplně ideální, ani jedna neleží v povodí, a tak se množství spadlých srážek může lišit od skutečnosti.

Spojením rastru srážek s vektorem povodí jsem vypočítala statistiku srážek pro subpovodí a dále jsem v atributové tabulce vypočítala množství vody, které spadlo na subpovodí (viz. Příloha č. 4).

Spadlé srážky jsem zmenšila o část v závislosti na krajinném pokryvu a z toho vytvořila rastr se zmenšeným množstvím srážek.

Nakonec jsem zvýšila hladinu toku a našla místa rozlivu. Potom jsem vybrala budovy, které budou zatopené (viz Příloha č.5).

Obr. č. 14: Zápлавové území



zdroj: autor

Vzhledem ke vstupním datům však není tento postup příliš přesný. Ze ZABAGEDU neznám tvar koryta řeky a výšku břehu, a tak můžu získat vylití z břehů i v místech, kde by v reálném případě nebyl možný. Na některých místech došlo k zaplavení i mimo řeku. Také v pramenných oblastech určitě nedojde k tak velkému rozlivu. Terén je zde sice povětšinou rovinný, ale nikdy by zde nedošlo k tak velkému výzdvihu hladiny. K přesnějšímu vymezení by bylo nutné znát, kolik vody teče v jednotlivých částech toku. Také by bylo užitečné zjistit kolik srážek zvýší hladinu a k jakému zvýšení dojde. Tyto funkce však mnou používaný software neumožňuje.

6 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo najít nástroje pro modelování povodní v prostředí ArcGIS. Tomu jsem se věnovala jak teoreticky, tak prakticky. Vedle těchto hlavních kapitol jsem navíc popsala problematiku povodní obecně a charakterizovala jsem i modelové povodí, na kterém byla praktická část zkoušena.

V praktické části jsem postupovala v krocích: DTM, vymezení povodí, interpolace srážek, výpočet množství spadlé vody, ovlivnění srážek krajinným pokryvem, zvýšení hladiny a nalezení míst rozlivu a výběr zatopených budov. K tomu jsem využívala software ArcGIS s extenzemi Spatial Analyst, 3D Analyst a ArcHydro.

Zjistila jsem, že software ArcGIS lze dokonale využít k přípravě vstupních dat – DTM, vymezení povodí a srážkový rastr.

Pro vymezení povodí se dá použít jak nástroj Spatial Analystu Hydrology tak i extenze ArcHydro. Pro tento úkol považuji ArcHydro vhodnější, což je pochopitelné z jeho specializace. ArcHydro je přehlednější a jednodušší na práci než nástroj Hydrology. V případě absence ArcHydro ovšem Hydrology dovede jeho základní funkce nahradit.

Naproti tomu v případě výpočtu fyzicko-geografických charakteristik území je Spatial Analyst zcela vhodný.

K pokročilejším analýzám ovšem ArcGIS ani s extenzí ArcHydro nedostačuje. Někdy je ještě možné najít alternativní, mnohdy však složitější, možnost (např. pro zvýšení hladiny), v jiných případech ovšem nelze ani to. Proto je vhodnější použít některý ze specializovaných softwarů, které danou problematiku vyřeší pro uživatele jednodušeji a nejspíš i přesněji. Pokročilejší analýzy řešené specializovanými softwary (HEC-HMS a HEC-RAS) ale vyžadují mnohem větší množství vstupních dat.

Svou práci tedy nechápu jako nalezení nových způsobů, ale spíše jako seznámení s možnostmi programu a jejich praktické ovládnutí.

POUŽITÁ LITERATURA

ALKEMA, D.: *RS And GIS Applications In Flood Forecasting*. National Workshop on Flood Disaster Management . Space Inputs, 3-4 June, 2004, NRSA, Hyderabad, India [http://www.itc.nl – 18.5.2006]

Arc Hydro Tools Tutorial. Version 1.1 Beta 2. (2003) ESRI [http://www.esri.com – 16.4.2006]

BÍBA, M. (2002): *Dlouhodobý lesnicko-hydrologický výzkum v lesních povodích*. In: Lesy a povodně

BRATT, S., BOOTH, B. (2000): *Using ArcGIS 3D Analyst*. ESRI Press, Redlands, 212 str.

BRAVENÝ, L. A kol (2006): *Funkční nástroje ArcGIS 9.1*. Učební text pro školení v rámci projektu CITT. Česká kosmická kancelář, Praha, 65 str.

BUCHTELE, J. (2002): *Úvod k metodám a modelům hydrologických předpovědí*. In: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina

DAVID, V. a kol. (2002): *Strukturovaný přístup k odhadu produkce povrchového odtoku z území*. In: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina

DOSTÁL, T., VÁŠKA, J., VRÁNA, K. (2002): *Posuzování účinnosti a funkčnosti akumulčních a retenčních prvků v krajině za povodní*. In: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina

Hydrologic Engineering Center [http://www.hec.usace.army.mil – 14.7.2006]

Hydrologické poměry ČSSR, 1970

JEDLIČKA, J. (2006): *Využití ArcGIS pro modelování a monitoring povodní*. Bakalářská práce

JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. (2002): *Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS*. Sborník GEOINFORMATIKA z XX. sjezdu ČGS. [http://www.pef.zcu.cz - 21.4.2006]

KANTOR, P., ŠACH, F. (2002): *Účinnost lesních ekosystémů při tlumení povodní*. In: Lesy a povodně

KŘÍŽ, H, ŽALOUĐÍK, J. (2002): *Vliv geografických podmínek na maximální povodňové průtoky*. In: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina

Lesy a povodně: celostátní seminář 25. června 2003 Praha. Kostelec n. Č. Lesy, Lesnická práce, 80 str.

LOESCH, T. N. (2000): *Watershed Modeling Using ArcView*. Minnesota GIS/LIS Consortium [<http://www.dnr.state.mn.us> – 16.4.2006]

MAIDMENT, D., DJOKIC, D. (2000): *Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems*. ESRI Press, Redlands, 216 str.

MAREŠOVÁ, E. (?): *Povodně*. ČVUT Praha, 81 str.

MULLER, H.G., RUNGOE, M.: *Integrating Floodplain Management And Numerical Modelling, Using ArcView*. [<http://gis.esri.com> – 20.5.2006]

PATERA, A., KAŠPÁREK, L. (2002): *Klasifikace povodní*. In: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina

PATERA, A., VÁŠKA, J., ZEZULAK, J. (ed.) (2002): *Povodně: prognózy, vodní toky a krajina*. Sborník výsledků výzkumu dosažených v rámci grantového projektu č. 103/99/1470 „Extrémní hydrologické jevy v povodích“. ČVUT v Praze – F. stavební, Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 436 str.

POKORNÝ, J., BODLÁK, L., LHOTSKÝ, R. (2002): *Působení břehových porostů na vysoké průtoky vod*. In: Lesy a povodně

Sborník z konference: *Mokřady, povodně a biodiverzita v Evropě*. Ústí nad Labem, 2000, 25 str.

SCHÄUBLE, H. (2003): *HydroTools 1.0 for ArcView 3.x*. [<http://www.terracs.de> – 16.4.2006]

ŠPATKA, J. (2005): *Metodika stanovení aktivní zóny záplavového území*. [<http://www.mze.cz> – 20.5.2006]

VOŽENÍLEK, V. (2001): *Integrace GPS GIS v geomorfologickém výzkumu*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 185 str.

WILLEMS, P. (2004): *River Flood Modelling*. [<http://www.kueluven.ac.be> – 30.4.2006]

ZEILER, M. (1999): *Modelling Our World*. ESRI Press, Redlands, 199 s.

ŽALOUĐÍK, J.(2002): *Využití dálkového průzkumu Země a GIS při prostorové analýze krajinné struktury povodí*. In: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Stanovení aktivní zóny záplavového území v závislosti na hloubce a rychlosti proudění podle Finka a Bewicka.....	13
Obrázek č. 2: Stanovení aktivních zón záplavového území podle metodiky ministerstva vnitra USA.....	13
Obrázek č. 3: Rastrový model	15
Obrázek č. 4: TINový model	16
Obrázek č. 5: Výstup modelu MIKE 11 – povodňová mapa a profil koryta řeky.....	18
Obrázek č. 6: Výstup modelu HEC-HMS – říční síť a hydrograf	19
Obrázek č. 7: Výstupy modelu HEC-RAS	20
Obrázek č. 8: Lokalizace modelového území.....	21
Obrázek č. 9: Chyby DTM a jejich vyřešení	26
Obrázek č. 10: Funkce směr odtoku.....	27
Obrázek č. 11: Funkce akumulovaný odtok.....	28
Obrázek č. 12: Rozdíl původních vrstevnic a vrstevnic z TINu.....	32
Obrázek č. 13: Vymezené povodí.....	33
Obrázek č. 14: Záplavové území	34

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AZZU - Aktivní zóna záplavového území
BRS - Branch Route System
ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální
DEM – Digital Elevation Model
DMT – Digitální model terénu
DMR – Digitální model reliéfu
DPZ – Dálkový průzkum země
DSM – Digital Surface Model
DTM – Digital Terrain Model
GIS – Geografické informační systémy
HEC – Hydrologic Engineering Center
HEC–HMS – Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
HEC–RAS - Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
IDW - Inverse Distance Weighted
TIN – Trianguled Irregular Network
ZABAGED – Základní báze geografických dat
ZIV – základní interval vrstevnic

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Digitální model terénu

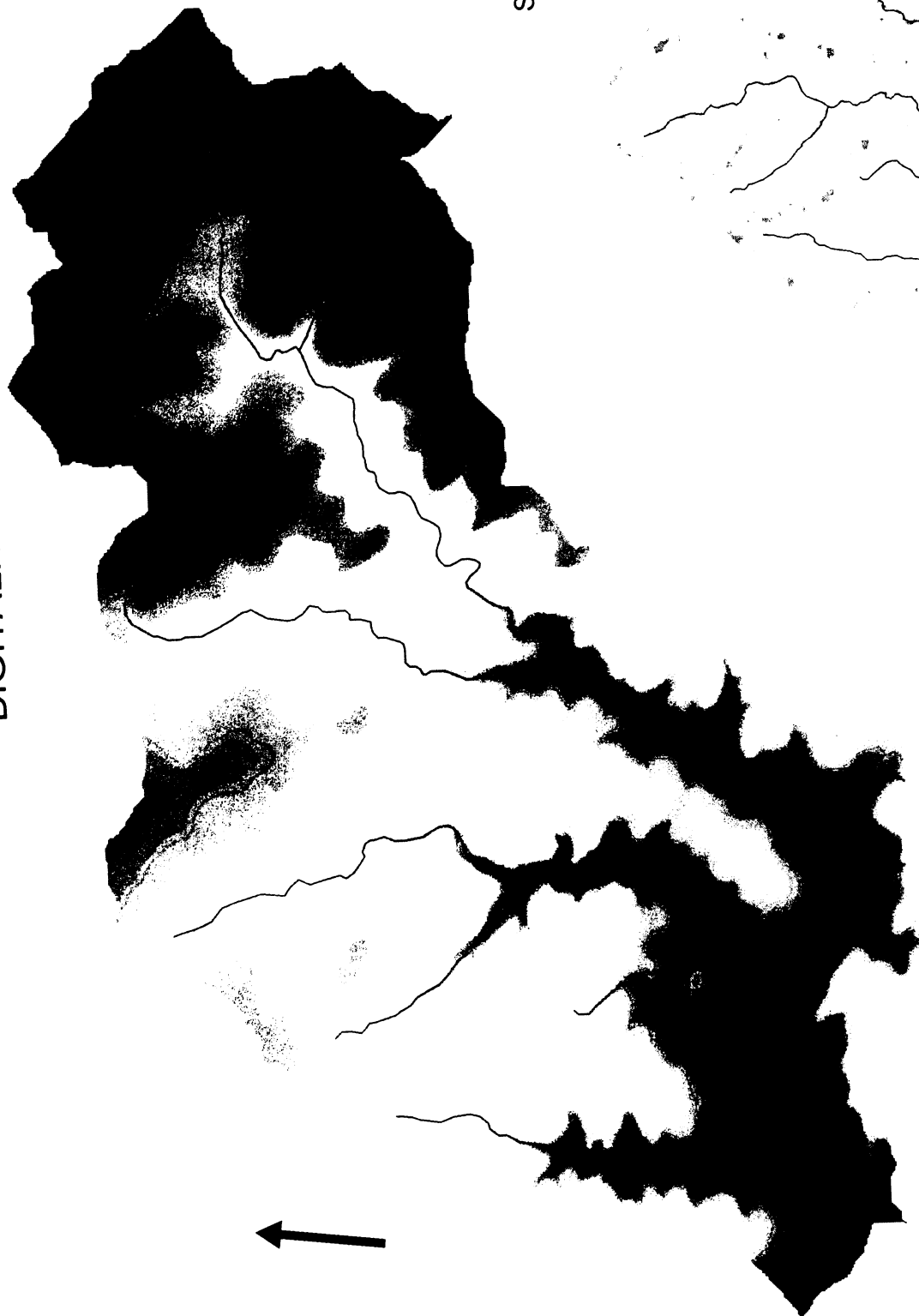
Příloha č. 2: Povodí Losinského potoka

Příloha č. 3: Krajinný pokryv podle Corine land cover

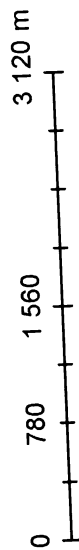
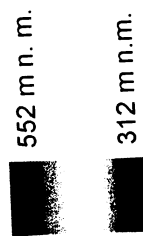
Příloha č. 4: Úhrn srážek

Příloha č. 5: Modelové zvýšení hladiny

DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU

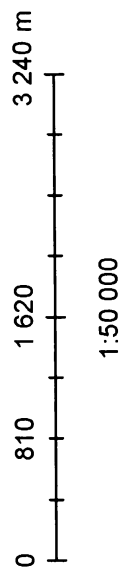
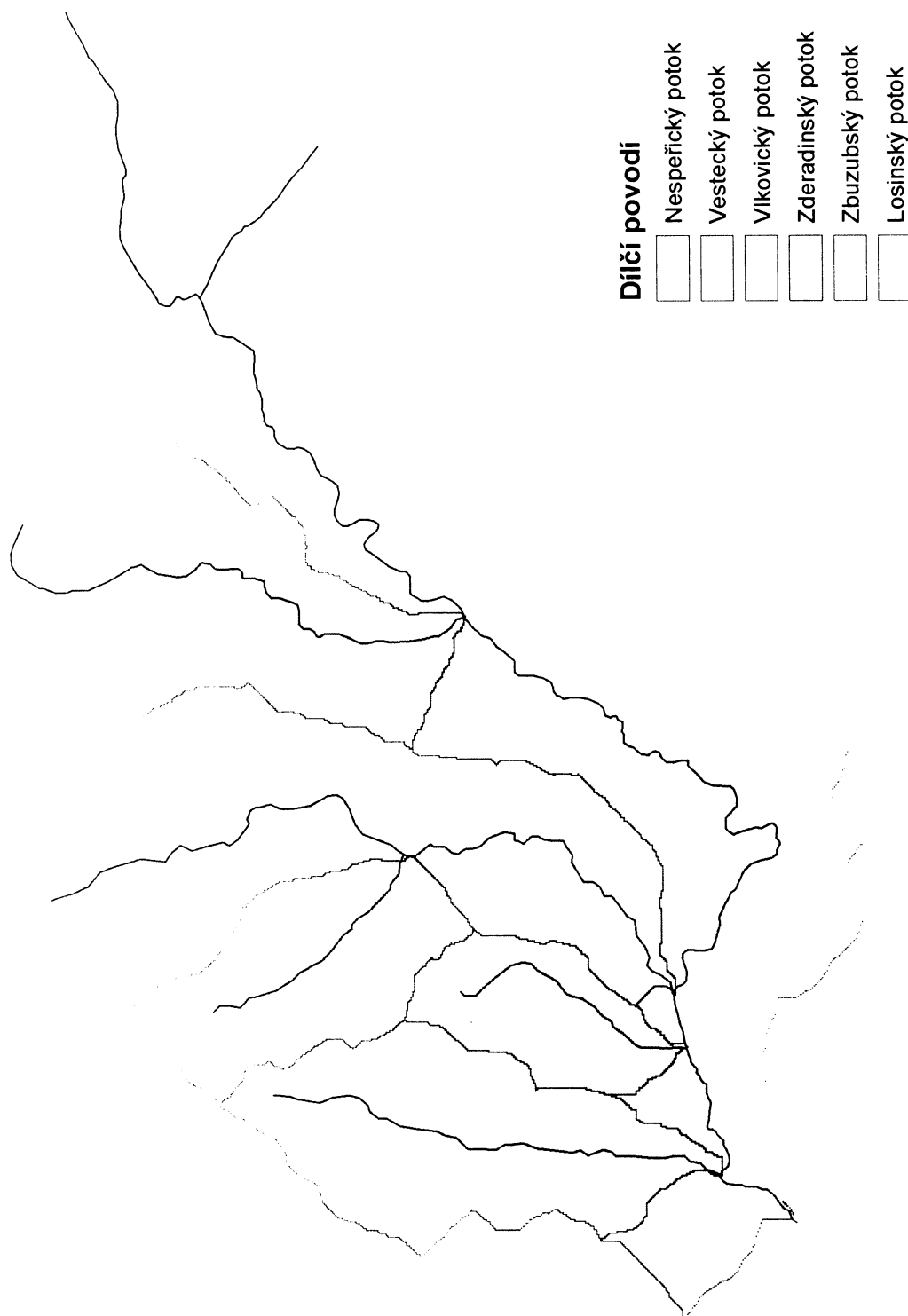


Svažitost



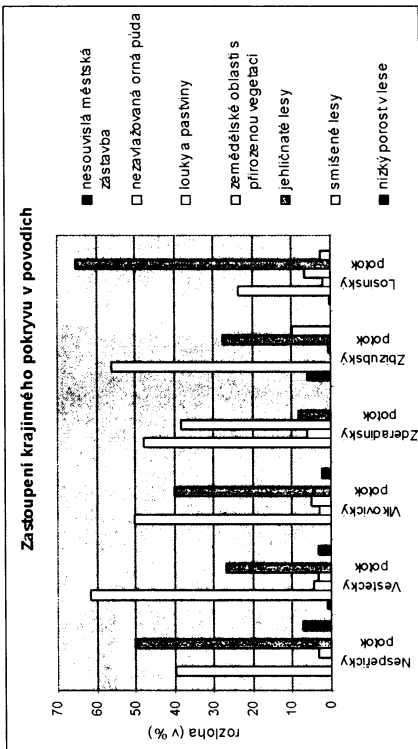
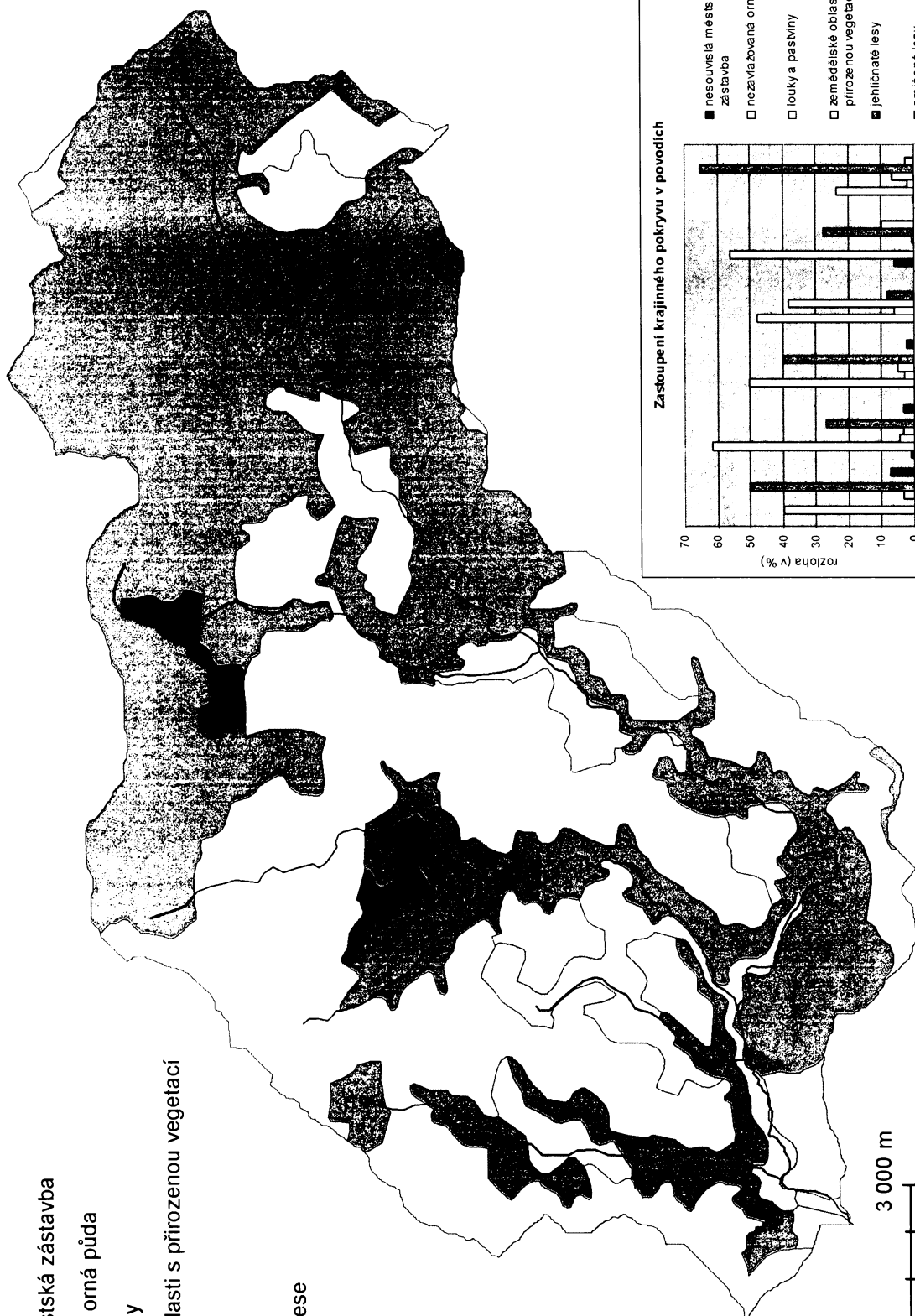
1:50 000

POVODI LOSINSKEHO POTOKA

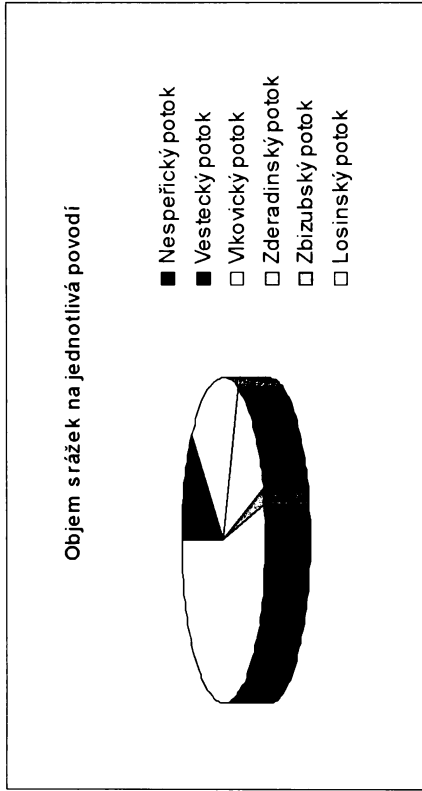


KRAJINNÝ POKRYV PODLE CORINE LAND COVER

- 1.1.2. Nesouvislá městská zástavba
- 2.1.1. Nezavlažovaná orná půda
- 2.3.1. Louky a pastviny
- 2.4.3. Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací
- 3.1.2. Jehličnaté lesy
- 3.1.3. Smíšené lesy
- 3.2.4. Nízký porost v lese
- řeky



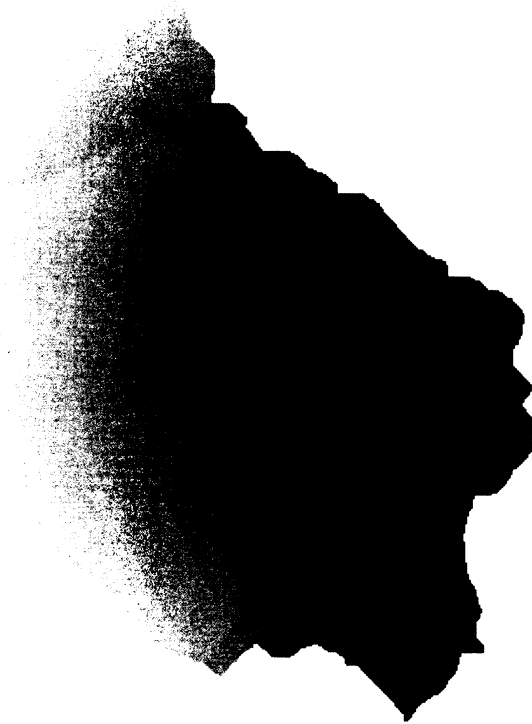
UHRN SRAZEK



Ledečko

Bahno

Množství srážek v závislosti na vegetačním krytu



Řendějov

● srážkoměrná stanice

Úhrn srážek

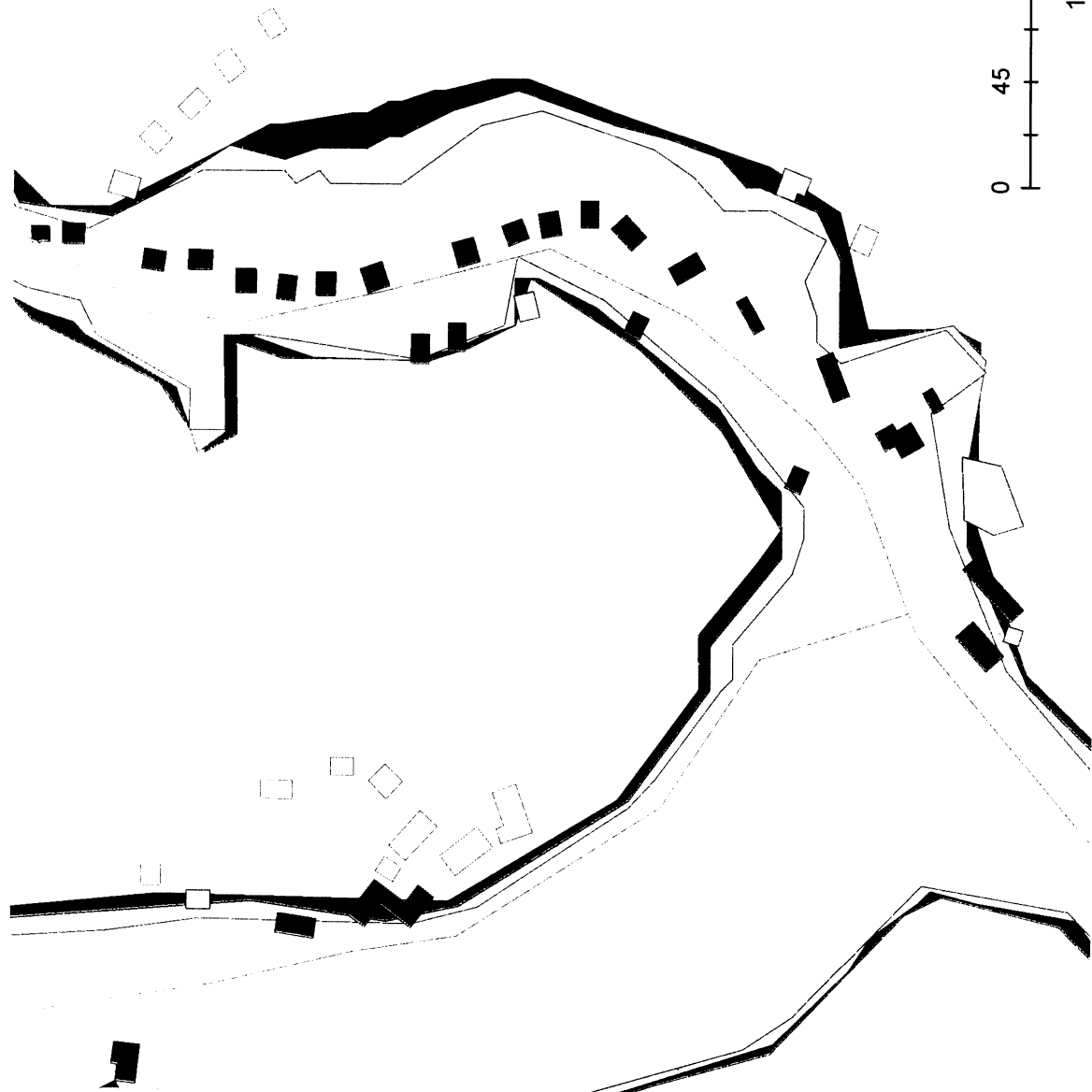
19,7 mm

14,6 mm

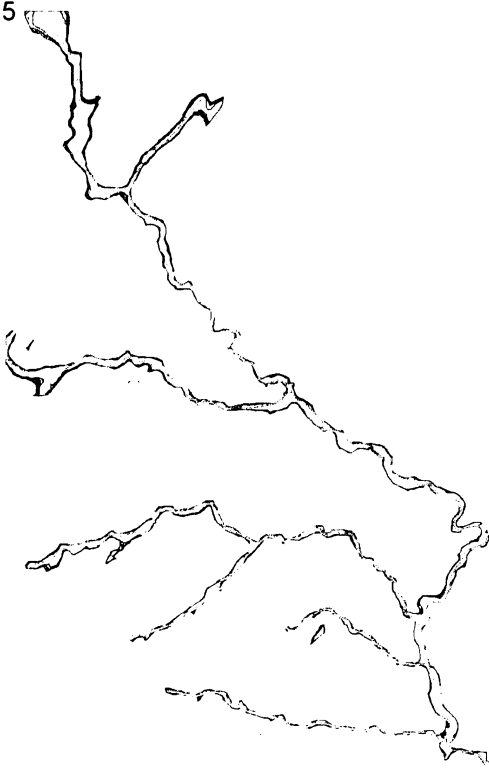
Bohdaneč

MODELOVÉ ZVÝŠENÍ HLADINY

Detail zaplaveného území



Rozlíti řeky v celém povodí



Příloha č.5

Záplavová území při zvýšení hladiny o



Budovy ohrožené při zvýšení hladiny o

