

**Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav geoinformačních technologií**



Hydrologické modelování v prostředí GIS
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Martin Klimánek, PhD.

Vypracoval:
Bc. Vojtěch Hromek

Brno 2010

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Hydrologické modelování v prostředí GIS“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury. Diplomová práce je školním dílem a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana LDF MU v Brně.

V Brně dne.....

podpis diplomanta.....

PODĚKOVÁNÍ

Velice děkuji vedoucímu práce Ing. Martinu Klimánkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracovávání diplomové práce a také za poskytnutí digitálního modelu terénu pro účely této práce.

ABSTRAKT

Diplomová práce na téma „Hydrologické modelování v prostředí GIS“ se zabývá možnostmi hydrologických analýz ve třech vybraných programech (IDRISI, ArcGIS a DEMETERR) a následně praktickým provedením hydrologických analýz na území Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny.

Pro hydrologické modelování je nezbytný hydrologicky korektní digitální model terénu (DMT), který byl poskytnut Ústavem geoinformačních technologií Mendelovy univerzity.

V případové studii je vytvořena vlastní aplikace napsaná v programovacím jazyce C#. Aplikace s názvem DIFF-GIS slouží hlavně k porovnávání rastrových výstupů (na úrovni jednotlivých pixelů) převedených do textového formátu ESRI ASCII. Obsahuje však také nástroje na analýzu těchto souborů a následnou vizualizaci výstupů. V práci je popsáno jak grafické uživatelské prostředí a jednotlivé nástroje, tak možnosti praktického využití těchto nástrojů včetně prezentace výsledků.

Klíčová slova: digitální model terénu (DMT), hydrologické modelování, geografický informační systém (GIS), ArcGIS, IDRISI, DEMETERR, DIFF-GIS

ABSTRACT

The aim of presented diploma thesis „Hydrological modeling in GIS“ is a review of possibilities in three choosen programs (IDRISI, ArcGIS and DEMETERR) and also practical implementation of hydrological analyses in the area of Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny.

For hydrological modeling is necessary hydrologically correct digital terrain model (DTM), which was given by Ústav geoinformčních technologií Mendelovy Univerzity.

In the case study is made own application written in programming language C#. Application called DIFF-GIS is mainly used to compare raster outputs (at each pixel) converted to text format ESRI ASCII. It also contains tools for analysing these files and visualization of outputs. In thesis is written about graphic user interface, each tool, and also opportunities of practical utilization all of these tools including presentation of results.

Keywords: digital terrain model (DTM), hydrological modeling, geographic information system (GIS), ArcGIS, IDRISI, DEMETERR, DIFF-GIS

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE.....	10
3	DIGITÁLNÍ MODELY TERÉNU.....	11
	3.1 Zdrojová data	11
	3.1.1 Terénní měření.....	12
	3.1.2 Dálkový průzkum Země	12
	3.1.3 Digitální geoprostorová data.....	14
4	TVORBA DMT.....	15
	4.1 Datové reprezentace	15
	4.1.1 Rastrový model.....	15
	4.1.2 Nepravidelná trojúhelníková síť (TIN).....	15
	4.2 Srovnání rastrových modelů a TIN	16
	4.3 Interpolace.....	17
	4.3.1 Lineární interpolace	18
	4.3.2 Inverse Distance Weighted (IDW)	18
	4.3.3 Krigování	18
	4.3.4 Topo To Raster	19
	4.3.5 Spline	19
5	HYDROLOGICKÉ MODELOVÁNÍ	20
	5.1 Hydrologické informační systémy	20
	5.2 Odstranění bezodtokových depresí	21
	5.4 Akumulace odtoku	22
	5.5 Řády toků	22
6	PŘEHLED EXISTUJÍCÍCH SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ.....	23
	6.1 ArcGIS 9.3	23
	6.1.1 Přehled nástrojů pro hydrologické modelování.....	23
	6.2 IDRISI Taiga	24
	6.2.1 Přehled nástrojů pro hydrologické modelování	24
	6.3 DEMETERR	25
	6.3.1 Datová struktura vrstev	25
	6.3.2 Přehled nástrojů pro hydrologické modelování	26

7	STUDIE OPENSOURCE APLIKACE.....	28
	7.1 Přehled nástrojů.....	29
	7.1.1 COMPARE.....	30
	7.1.2 THRESHOLD.....	32
	7.1.3 SLOPE.....	33
	7.1.4 OVERLAY.....	34
	7.1.5 AREA.....	35
8	EXPERIMENTÁLNÍ LOKALITA.....	36
	8.1 Klimatické poměry.....	36
	8.2 Orografické a hydrologické poměry.....	37
	8.3 Geologické poměry.....	38
	8.4 Pedologické poměry.....	38
	8.5 Přírodní lesní oblasti.....	39
	8.6 Lesní vegetační stupně.....	39
	8.7 Dřevinná skladba.....	41
9	PRAKTICKÉ PROVEDENÍ HYDROLOGICKÝCH ANALÝZ.....	42
	9.1 Vstupní data.....	42
	9.2 Geomorfologické analýzy.....	44
	9.3 Hydrologické analýzy.....	46
	9.4 DIFF-GIS.....	49
10	DISKUZE.....	52
11	ZÁVĚR.....	55
12	SUMMARY.....	57
13	LITERATURA.....	59
	PŘÍLOHY.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62
	SEZNAM ZKRATEK.....	63
	OBSAH PŘILOŽENÉHO CD.....	64

1 ÚVOD

Geografické informační systémy se v posledních letech dostávají do popředí zájmu nejen odborných institucí. Jejich využití zahrnuje mnoho oborů lidské činnosti, od ochrany a tvorby krajiny či zemědělství až po veřejnou správu. Mezi hlavní možnosti GIS patří získávání, ukládání, analýza a vizualizace dat, která mají prostorový vztah k povrchu Země. Tyto data jsou ukládána do strukturovaných geodatabází, nad kterými je postavena aplikační logika zpřístupňující je člověku.

Možnosti integrace GIS a hydrologického modelování jsou v propojení geoprostorových dat a informací o vodních zdrojích v budování komplexních hydrologických informačních systémů nejen pro správce vodních toků a vědecké pracovníky.

Diplomová práce se zabývá srovnáním možností hydrologického modelování ve třech softwarových nástrojích a následně praktickým zpracováním hydrologických analýz ve vybraném GIS. Jsou zde představeny možnosti komerčních systémů ArcGIS verze 9.3 a IDRISI Taiga a také programu DEMETERR, který vyvinul Ing. Vojtěch Barták z České zemědělské univerzity v Praze.

Nejdůležitějším faktorem pro zpracování hydrologických analýz v prostředí GIS je digitální model terénu. Jeho výslednou přesnost nejvíce ovlivňuje kvalita zdrojových dat, ale také následná volba interpolačního algoritmu. Nezbytné je také odstranění bezodtokových depresí, které mohou vzniknout např. chybami ve zdrojových datech nebo chybami při interpolaci výškových dat.

Budoucnost využití GIS bude hlavně v možnostech automatizovaných systémů s vysokou provozní spolehlivostí, tzn. že data budou muset být přístupná kdekoli a kdykoli. Tuto možnost již nabízejí webové aplikace a služby, které však ještě nejsou plně automatizované a vyžadují zásahy člověka. Velký potenciál by mohly mít analytické služby serverových aplikací, které umožní včasné varování před přírodními pohromami nejen hydrologického charakteru.

2 CÍL PRÁCE

Diplomová práce si klade za cíl srovnat možnosti hydrologického modelování ve vybraných softwarových nástrojích a následně prakticky provést hydrologické analýzy na vybrané experimentální lokalitě. Možnosti hydrologického modelování byly testovány a porovnávány v komerčních nástrojích ArcGIS verze 9.3 a IDRISI Taiga a ve volně dostupném, avšak nepříliš rozšířeném programu DEMETERR.

Literární přehled se zabývá tvorbou a srovnáním jednotlivých datových reprezentací digitálních modelů terénu a základními typy interpolací, dále potom možnostmi hydrologických nástrojů v jednotlivých software.

Experimentální lokalitou pro hydrologické modelování byl zvolen Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny. Hydrologicky korektní digitální model terénu celé oblasti poskytl Ústav geoinformačních technologií Mendelovy univerzity. Na lokalitě byly také popsány orografické, klimatologické a hydrologické charakteristiky.

Z celého ŠLP byly pro účely hydrologického modelování vybrány pouze celá povodí, na kterých byly následně provedeny kvalitativní a kvantitativní analýzy a predikce, např. akumulace a směr odtoku, sklonitost a expozice území či zastoupení jednotlivých ploch v landuse.

Samostatnou kapitolou diplomové práce je autorem vytvořená aplikace. Hlavním důvodem pro vytvoření vlastního nástroje byla potřeba přesně vizuálně porovnat výstupy nejen hydrologických analýz z ArcGIS a IDRISI. Aplikace má intuitivní grafické uživatelské prostředí a obsahuje několik nástrojů pro editaci a analýzu výstupů z uvedených komerčních software a dále tvorbu vlastních rastrových vrstev.

V diskuzi jsou nakonec zhodnoceny výsledky provedených analýz a okomentovány jejich možnosti praktického uplatnění včetně možností automatizace hydrologických analýz a predikcí.

3 DIGITÁLNÍ MODELY TERÉNU

Digitální model terénu (DMT) je topografický model nebo počítačová reprezentace zemského povrchu bez vegetace či budov uložený v binárním souboru jako soubor třídimenzionálních souřadnic x , y , z . Tato reprezentace umožňuje softwarovým aplikacím analyzovat či zkoumat různé jevy závislé na výškové členitosti krajiny.

Digitální výškový model (DEM) patří mezi nejpoužívanější zdroj dat o tvaru zemského povrchu. DEM je rastrová reprezentace souvislé plochy zemského povrchu a data slouží jako vstup pro kvantifikaci jeho vlastností. Přesnost údajů je určena především rozlišením (velikostí hrany pixelu). Může ji však také ovlivnit druh čísla pro určení výšky – s desetinnou čárkou nebo bez ní.

Chyby v DEM jsou obvykle ve formě terénních depresí. Jsou to oblasti obklopené vyššími hodnotami výšky z . Tyto chyby by měly být odstraněny před samotným použitím hydrologických analýz.



Obr.3.1 Rastrová reprezentace digitálního výškového modelu povrchu (ArcGIS, 2010)

Podle Klimánka (2008) lze většinu **terénní plochy** charakterizovat jako funkci polohopisných souřadnic x , y . Těm lze totiž vždy přiřadit pouze jednu výškovou složku z .

3.1 Zdrojová data

Zdroje dat mají velký vliv na kvalitu DMT. Nejčastějšími způsoby sběru dat jsou pozemní měření a dálkový průzkum Země. Lze také zdigitalizovat existující mapové podklady, či použít existující digitální data.

3.1.1 Terénní měření

I) geodetická měření

Velmi pracná, ale přesná metoda spočívá v zaměření jednotlivých bodů polygonových pořadů včetně nadmořské výšky. Pro tyto účely se nejčastěji používají totální stanice, které spolu s geodetickým softwarem značně zefektivňují práci.

II) GPS

Globální družicový polohový systém je služba umožňující pomocí družic určit polohu uživatelů s přesností až na desítky centimetrů kdekoliv na Zemi. Přesnost určení polohy je ovlivněna mnoha faktory, například počtem viditelných družic, typem přijímače, vlivem ionosféry či troposféry, chybou hodin na přijímači nebo přesností hodin na družicích.

Typy měření (Wikipedia, 2010):

- Kódová – spolehlivá a nejčastěji používaná. Na základě časových značek a známé pozice vysílačů a družic. Je tak možné spočítat polohu a čas v místě přijímače.
- Fázová – vysoká přesnost, ale časově náročná. Používá se především v geodetických aplikacích. Vychází z principu měření jednotlivých fází harmonických vln zdroje a jejich změn. Využívá se několik matematických metod. Nutnost odstranit všechny systematické chyby, např. chyby hodin či troposférickou refrakci.
- Dopplerovská – pracuje na principu zjišťování změny frekvence pohybujícího se zdroje či příjemce signálu. Na základě údajů z jedné družice lze vypočítat relativní polohu ve dvojrozměrném prostoru. Pro určení výšky je třeba údajů z více družic.

3.1.2 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) je moderní metoda získávání informací o objektech a jevech na povrchu planety Země bez nutnosti fyzického kontaktu. Klimánek (2006) ji rozděluje na tři základní kategorie:

3.1.2.1 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je vědní obor, který se zabývá zpracováním informací na fotografických snímcích. K analýze zemského povrchu je třeba dvojice leteckých či družicových snímků s překryvem 60 – 80 %. Před snímkováním je nutno nejdříve

provést signalizaci bodů a následně snímky georeferencovat (signalizace bodů v terénu, které se geodeticky doměřují). Přesnost měření závisí na rozlišení snímku a přesnosti georeferencování.

3.1.2.2 Radarové snímání

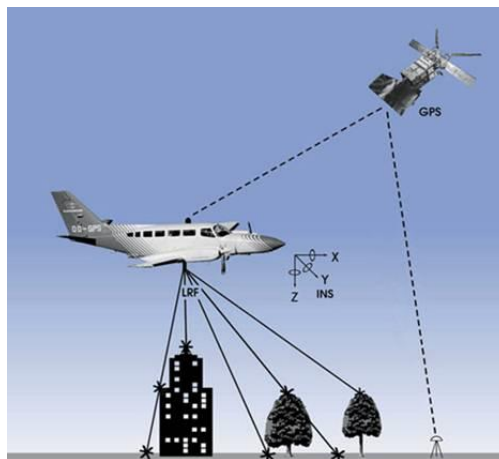
Pro práci s DMT jsou nejvýznamnější dvě metody:

- a) *Radarová interferometrie* – princip je založen na získávání radarového echa stejného místa z různých poloh zdroje, čímž dochází k rozdílu fází radarového signálu (KLIMÁNEK, 2006). Výsledná výška se potom vypočte z rozdílu dvou fází radarových signálů získaných z různých pozic.
- b) *Radarová altimetrie* – princip je založen na skutečnosti, že radarové měření měří současně také vzdálenost. Signál je zaznamenán jako časový interval mezi vysláním a přijetím signálu a také jeho modifikace povrchem.

3.1.2.3 Laserové snímání

Princip snímání spočívá v analýze svazku laserových paprsků vysílaných z nosiče. V okamžiku vyslání paprsku ze zdroje se zároveň zaznamená jeho poloha v prostoru. Následně se změří délka odraženého paprsku. Vyzářovací úhel může být až 25°. Velikost snímané plochy závisí na výšce zdroje nad touto plochou.

Následné zpracování získaných dat klade vysoké nároky na výpočetní techniku, protože získaných dat je při vysokém rozlišení velké množství.



Obr. 3.2 Princip laserového snímání (EUROSENSE, 2010)

3.1.3 Digitální geoprostorová data

Nejdostupnější data pro tvorbu DMT jsou u nás v databázích Základní báze geografických dat a Oblastních plánů rozvoje lesů.

3.1.3.1 Základní báze geografických dat (ZABAGED)

Správce dat je Český úřad zeměměřičský a katastrální. Digitální topografický model území ČR je odvozen ze Základní mapy České republiky 1:100000 v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání. Tvorba báze byla dokončena na celém území České republiky. ZABAGED má charakter GIS, obsahuje rastrovou i vektorovou složku a atributy obsahující rozšířené informace o objektech. Objektů je zde 106 typů strukturovaných do 60 grafických vrstev. Popisné informace k objektům jsou připojeny v externích souborech MPD. Nevýhoda Základní báze je, že v místě singularit chybí údaj výškopisu, což je důsledek chybějícího výškového atributu v analogové mapě (KLIMÁNEK, 2006). Koncem roku 2005 byla dokončena první celoplošná fotogrammetrická aktualizace.

3.1.3.2 Oblastní plány rozvoje lesů (OPRL)

OPRL definují zásady hospodaření v lesích podle přírodních lesních oblastí ČR. Jsou legislativně zakotveny v lesním zákoně č. 289/1995 Sb a vyhlášce Mze č. 83/1996 Sb. o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů. Obsahují souhrnné údaje o stavu lesů, potřebách plnění funkcí lesů jako veřejného zájmu a doporučení o způsobech hospodaření v ekosystémovém pojetí. Vycházejí z principu trvale udržitelného obhospodařování lesů a vytvářejí předpoklady pro minimalizaci střetu mezi celospolečenskými zájmy a zájmy jednotlivých vlastníků lesů.

Textová část obsahuje např. kategorizaci veřejných zájmů, přehled překryvu účelovosti lesů, priority funkcí lesa, střety zájmů, rozbor přírodních podmínek a ohrožení imisemi či dalšími škodlivými činiteli nebo údaje o stavu lesa.

Digitální a analogové mapy v měřítku 1:10000 - 50000 obsahují např. přehledovou mapu lesních oblastí, typologickou mapu, mapu lesních vegetačních stupňů a mapu funkčního potenciálu lesů, dopravní mapu nebo mapu územního systému ekologické stability (ÚSES) (ÚHÚL, 2010). Přesnost dat v OPRL je však problematická, neboť mapy mají vrstevnicový interval 20 m a ten může být podle Klimánka (2008) pro interpolaci DMT nedostatečný.

4 TVORBA DMT

Zemský povrch se nejčastěji popisuje pomocí rastrových modelů nebo triangulační sítě. Datové reprezentace se volí s ohledem na její možnosti, rastrové modely například nemohou popsat singularitu terénu.

4.1 Datové reprezentace

Modelování terénu je značně obtížné, v místě singularit jsou nespojitě funkce či jejich derivace. Ve směru x , y je terén značně rozsáhlý, ale ve směru z je poměrně malý rozsah hodnot.

4.1.1 Rastrový model

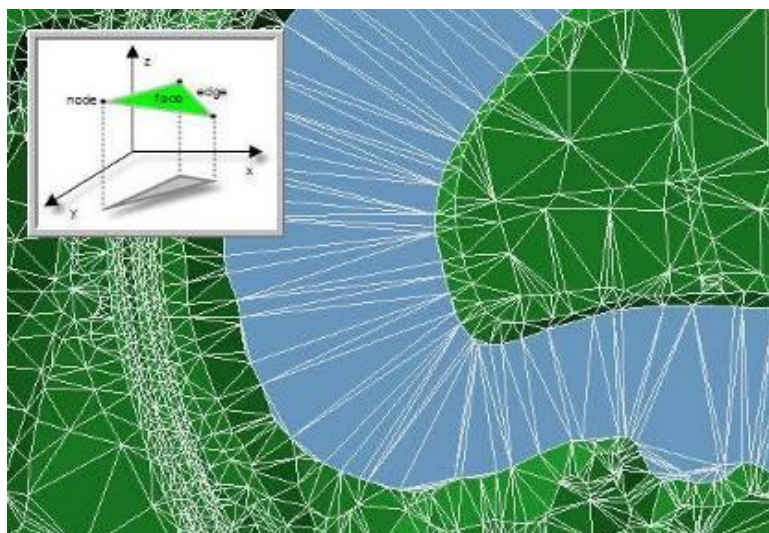
Požizování rastrových dat je většinou jednodušší. Mezi hlavní způsoby patří skenování mapových podkladů nebo vyhodnocování leteckých či družicových snímků. Přesnost závisí na hustotě rastru udávané v dpi (počet bodů na palec) a je určena velikostí hrany pixelu. Vyšší rozlišení rastru ale znamená větší velikost souboru.

Rastrový datový model rozděluje terén na pravidelné čtverce předem dané velikosti. Body mají mezi sebou konstantní rozestupy. Terén je vyjádřen jako funkce dvou proměnných x, y . Souřadnice výšky jsou popsány rovnicí $z = f(x, y)$ a každý bod může mít pouze jednu souřadnici.

4.1.2 Nepravidelná trojúhelníková síť (TIN)

TIN je tvořen vektorovým popisem polyedrického modelu. Z množiny nepravidelně rozložených bodů vytváří tvarově optimalizovanou síť nepravidelných trojúhelníků, které tvoří terénní plošky. Plošky mají společnou maximálně jednu hranu. Mezi jednotlivými trojúhelníky jsou topologické vazby. Síť trojúhelníku je vytvořena použitím různých triangulačních algoritmů.

Do polyedrického modelu lze také přidat tzv. povinné hrany, které zlepšují jeho aproximační vlastnosti.



Obr. 4.1 TIN reprezentace digitálního modelu terénu (ArcGIS, 2010)

4.2 Srovnání rastrových modelů a TIN

Výhodou rastrových modelů je jednoduchá struktura ukládání dat a následná možnost zpracování: výpočetní operace pomocí rastrové mapové algebry v případě více vrstev umožňují dobře provádět analýzy mezi jednotlivými vrstvami (slučování, průniky, rozdíly).

Nevýhodou rastrových modelů je, že nemohou popsat některé speciální útvary, např. převisy či jeskyně a dále nemožnost přesného zachycení pozice liniových objektů, které nejsou rovnoběžné s hranami rastrové sítě. Zbytečně jsou také definovány body na rovných plochách, z čehož plyne vysoká náročnost na objem dat.

Polyedrický model při vhodné volbě bodů aproximuje terén lépe než model rastrový. Může mít také různou hustotu bodů: větší počet na jednotku plochy v místech, kde je terén členitější a menší počet u málo členitého terénu.



Obr. 4.2 DMT vytvořený metodou nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) se zobrazením říční sítě - ŠLP ML Křtiny

Klimánek (2006) srovnává reprezentace DMT podle čtyř základních kritérií:

- a) *Aproximace povrchu* – velmi variabilní u rastrových modelů (závisí na typu prostorové orientace dat), špatně modifikovatelná u TIN (plochy trojúhelníků jsou nejčastěji považovány za rovinné)
- b) *Geomorfologie* – u rastrových modelu je relativně obtížné zavedení zlomových linií, u TIN se definují jako povinné hrany trojúhelníkové sítě
- c) *Vstupní data* – přesnost u rastrových modelů závisí na velikosti hrany pixelu, u TIN na hustotě trojúhelníkové sítě
- d) *Použitelnost* – struktura modelu TIN je jednodušší než rastrová reprezentace, algoritmy výpočtů v topologickém modelu jsou však složitější

4.3 Interpolace

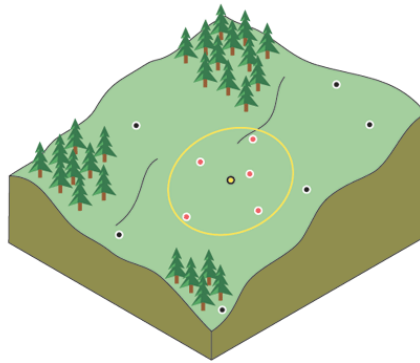
V tvorbě DMT se interpolace používá k výpočtu hodnot v místech, kde nebyly měřeny. Nejjednodušší aproximací povrchu je lineární interpolace, která ale nedokáže postihnout variabilitu v průběhu terénu. Lepší výsledky poskytují nelineární interpolace, např. IDW, Krigování nebo Spline.

4.3.1 Lineární interpolace

Nejjednodušší interpolace, kdy je mezi třemi body vytvořen trojúhelník a výška mezilehlých bodů je odečtena z této plochy.

4.3.2 Inverse Distance Weighted (IDW)

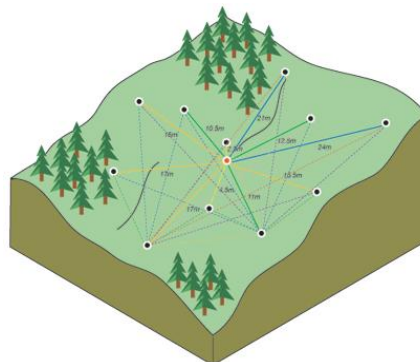
Statistická metoda používaná pro výpočet hodnoty v definovaném bodě z okolních bodů. Pro tyto hodnoty je specifikována váha jako inverzní hodnota vzdálenosti od hledaného bodu. Lze ovlivnit úroveň vyhlazení, definováním počtu bodů v okolí a maximální přípustnou vzdáleností bodu. (ArcGIS, 2010)



Obr. 4.3 *Princip interpolace IDW (ArcGIS, 2010)*

4.3.3 Krigování

Geostatistická metoda, která vytváří pravděpodobný průběh terénu ze sady rozptýlených bodů. Váhy jsou definovány na základě vzdáleností a zároveň je stanovován odhad pravděpodobnosti hodnoty v každém bodě. Výška terénu však nemusí být rovna výšce na měřených bodech. (ArcGIS, 2010)



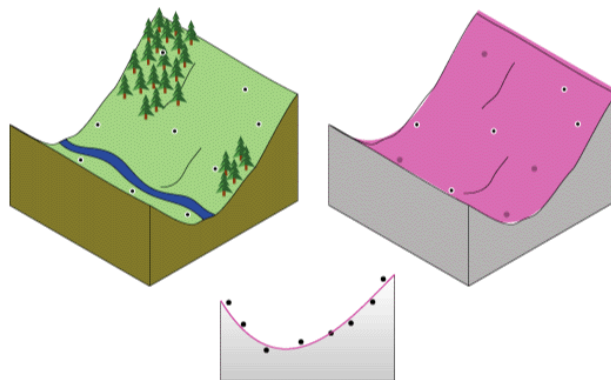
Obr. 4.4 *Princip interpolace krigováním (ArcGIS, 2010)*

4.3.4 Topo To Raster

Interpolační metoda speciálně určená pro vytvoření hydrologicky korektního DMT. Metoda je optimalizována pro efektivní výpočet lokálních interpolačních metod jako např. IDW bez ztráty kontinuity povrchu jako globální interpolační metody (krigování či spline). (ArcGIS, 2010)

4.3.5 Spline

Je hledáno minimální zakřivení plochy nejčastěji pomocí kubických funkcí. Terén musí přesně procházet měřenými body. Povrch je interpolován po částech a vytvářejí se hladké povrchy. Míra aproximace je dána stanovením tolerance a počtem iterací. (Klimánek, 2006)



Obr. 4.5 *Princip interpolace spline funkcemi (ArcGIS, 2010)*

5 HYDROLOGICKÉ MODELOVÁNÍ

Voda v přírodě a zemský povrch na sebe vzájemně působí. Tvar zemského povrchu řídí tok vody krajinou, naopak erozivní síla vody pomalu přetváří zemský povrch. Řeky se zařezávají do krajiny a odvádí erodované sedimenty. Dešťové srážky dopadají na zemský povrch, vsakují se do půdy, vypařují se nebo odtékají do potoků a řek. Vodní tok nese mikroorganismy, rozpuštěné chemické látky a usazeniny. Všechny tyto parametry určují její kvalitu.

Hydrologické simulační modely poskytují informace o proudění vod, kvalitě řek, potoků, či jezer. Geografické informační systémy podporují hydrologické modelování a analýzy, popisují fyzické prostředí, kterým voda protéká. GIS mohou být podle Maidmenta (2002) používány pro různé typy nejen hydrologického modelování a analýz:

- Správa dat – řízení a zpracování prostorových dat (manipulace, data storage, data mining)
- Modelování zemského povrchu – povodí, říční koryta
- Vizualizace – zobrazení dat před analýzou pro ověření základních informací nebo po analýze jako vyhodnocení výsledků
- Charakteristické vlastnosti povodí a říční sítě
- Vytváření mapových rozhraní – sdílení dat mezi různými GIS aplikacemi

5.1 Hydrologické informační systémy

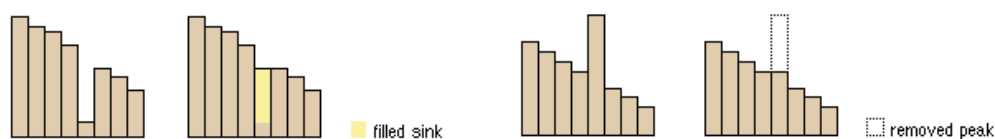
Neustálý vývoj GIS s sebou přináší nové možnosti integrace GIS a hydrologického modelování. Informace o vodních zdrojích se získávají měřeními na monitorovacích místech. S nástupem GIS se propojují geoprostorová data s informacemi o vodních zdrojích (například říční sítě, povrchový odtok, odvodnění nebo umístění monitorovacích stanic). **Hydrologický informační systém** může být podle Maidmenta (2002) definován jako strukturovaná relační databáze geografických a časových údajů, vodních zdrojů v kombinaci s nástroji pro zpracování informací, které podporují hydrologické analýzy, modelování a rozhodování. Lze je provést několika způsoby: v tabulkových editorech, vlastních rutinách napsaných např. ve Visual Basic nebo jiných programovacích a skriptovacích jazycích, a nebo pomocí nezávislých hydrologických modelů.

Co odlišuje hydrologické informační systémy od předchozích přístupů? Jsou to především inženýrská data obsažená v jasně strukturovaných relačních databázích. Velkou výhodou je potom konzistence jednotlivých hydrologických modelů, jejich údržba, správa a v neposlední řadě jednodušší aktualizace. (ArcGIS, 2010)

5.2 Odstranění bezodtokových depresí

Bezodtoková oblast (sink) je místo v DEM, které může vést k chybnému určení směrů či akumulace odtoku (STIBALOVÁ, 2009). Chyba může vzniknout při vytváření DEM, např. nízkým rozlišením vstupních dat, ale také může jít o přirozené přírodní útvary, např. převisy či jeskyně.

Pro vytvoření hydrologicky korektního DEM je nutné tyto deprese odstranit. Typy bezodtokových depresí jsou na obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Bezodtokové deprese (ArcGIS, 2010)

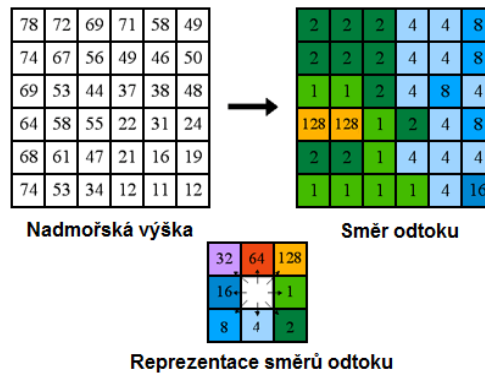
5.3 Směr odtoku

Směr odtoku určuje, jakým směrem při simulaci povrchového odtoku odtéká voda z dané buňky.

Nejpoužívanější algoritmus pro simulaci směru odtoku je jednosměrný SFD8 (*Single Flow 8-Direction*), tzn. že každé buňce je přiřazen směr odtoku pouze do jedné buňky, a to ve směru největšího spádu. Pro každou buňku DEM jsou spočítány jednotlivé sklony do všech osmi směrů podle vztahu 5.3.1.

$$S_i = \frac{z - z_i}{D(z, z_i)}, \quad (5.3.1)$$

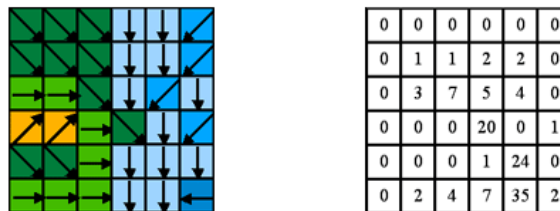
kde S_i je sklon ve směru i -tého souseda, z je elevace příslušné středové buňky, z_i je elevace i -tého souseda a $D(z, z_i)$ je horizontální vzdálenost od středu dané buňky do středu jejího i -tého souseda (Barták, 2008). Když jsou nalezeny buňky s nejvyšším sklonem, buňce je přiřazena hodnota reprezentující daný směr (obrázek 5.2).



Obr. 5.2 Princip určení směru odtoku

5.4 Akumulace odtoku

Akumulace odtoku je dána součtem hodnot buněk, které přispívají do dané buňky. Vstupním rastrem je rastr směrů odtoku. Na obrázku 5.3 je znázorněn princip metody akumulace odtoku.



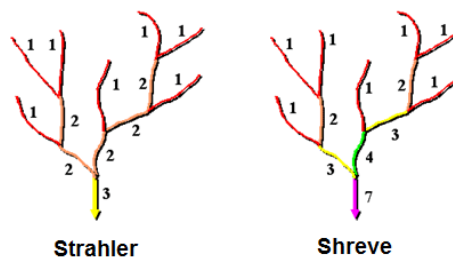
Obr. 5.3 Princip akumulace odtoku (ArcGIS, 2010)

5.5 Řády toků

Funkce určení řádů toků přiřazuje číselné pořadí každé větvi říční sítě. Nejpoužívanější metody jsou dle Strahlera a Shreve (obrázek 5.4).

V metodě STRAHLER má následující větev řád o jeden vyšší, než je vyšší řád z předchozích dvou větví.

V metodě SHREVE má následující větev řád daný součtem řádů předchozích dvou větví. (ArcGIS, 2010)



Obr. 5.4 Metody pro určení řádu toků (ArcGIS, 2010)

6 PŘEHLED EXISTUJÍCÍCH SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ

V této kapitole jsou uvedeny možnosti hydrologických analýz vybraných softwarových nástrojů.

6.1 ArcGIS 9.3

V roce 1969 vznikla v Kalifornii firma ESRI, která je v současnosti světovým lídrem na poli GIS. Software ArcGIS je tvořen čtyřmi částmi:

- ArcMap, který slouží pro mapování a vizualizace
- ArcCatalog pro správu a editování dat
- ArcScene pro 3D vizualizace
- ArcGlobe pro 3D vizualizace zobrazené na zemském povrchu

ArcGIS obsahuje nástroje pro zpracování rastrových i vektorových dat, geografické analýzy, mapování, editace dat či vizualizaci.

Základní verze může být rozšířena o množství extenzí. K nejdůležitějším patří Spatial Analyst obsahující nástroje pro hydrologické modelování či 3D Analyst obsahující nástroje pro editaci, vizualizaci a analýzu prostorových dat. (ESRI, 2010)

6.1.1 Přehled nástrojů pro hydrologické modelování

I. Basin

Nástroj provede vylišení základních povodí.

II. Fill

Nástroj odstraňuje deprese v DEM. Používá se před spuštěním dalších hydrologických analýz.

III. Flow Accumulation

Nástroj vytvoří rastr akumulovaného odtoku.

IV. Flow Direction

Určení směru odtoku pro každou buňku rastru.

V. Flow Length

Nástroj vypočítá délku toku nebo říční síť.

VI. Sink

Nástroj nalezne v DEM bezodtokové deprese.

VII. Stream Order

Určí řády toků dle Strahlera nebo Shreve.

VIII. Watershed

Určí počet přispívajících buněk do dalších buněk s nižší nadmořskou výškou. (ArcGIS, 2010)

6.2 IDRISI Taiga

IDRISI je GIS na zpracování obrazu a poskytuje více než 250 modulů pro analýzu a zobrazení digitálních prostorových informací. Obsahuje nástroje pro územní plánování, podporu rozhodování, analýzu rizik, prostorové modelování a analýzu povrchu. Výhodou softwaru je , že se všechny funkce standartně dodávají v jedinném balíku a uživatel nemusí dokupovat další rozšíření.

Komplexní grafické rozhraní poskytuje práci s rastrovými i vektorovými mapovými vrstvami.

6.2.1 Přehled nástrojů pro hydrologické modelování

I. Odstranění depresí (PIT REMOVAL)

Nástroj odstraňuje deprese v DEM. Používá se před spuštěním dalších hydrologických analýz.

II. Určení směrů odtoku (FLOW)

Ve výsledném rastru je vidět, jakým směrem z každého pixelu odtéká voda.

III. Povrchový akumulovaný odtok (RUNOFF)

Nástroj počítá povrchový akumulovaný odtok srážkových jednotek na pixel. Analýzu lze upřesnit přidáním rastrů, které obsahují v každém pixelu množství srážek, které na něj dopadnou, propustnost povrchu, dobu trvání srážky či počáteční hodnotu absorpce povrchu.

IV. Determinace povodí (WATERSHED)

Uživatel si může vybrat ze dvou možností: automatický výpočet pro celý rastrový model nebo uživatelské nastavení velikosti povodí. Deprese ve vstupním DEM jsou automaticky detekovány a vyplněny před vymezením povodí. (ClarkLabs, 2010)

6.3 DEMETERR

Program DEMETERR (Digital Elevation Models – Elementary TERRain analysis) vytvořil Vojtěch Barták ve vývojovém prostředí Lazarus, který používá programovací jazyk ObjectFreePascal. Pro jednotlivé úlohy je k dispozici výběr z většího množství algoritmů, přičemž struktura programu umožňuje postupné použití více algoritmů a snadné porovnání výsledků (Barták, 2008). Struktura programu je zobrazena na obrázku 6.3.1.

6.3.1 Datová struktura vrstev

Výstupem z jednotlivých úloh jsou vrstvy, které lze následně zobrazit či použít jako vstupní data do dalších úloh. Program pracuje se čtyřmi typy vrstev:

- *Podkladová vrstva (background)*

Obsahuje matici reálných čísel, v níž jsou uloženy charakteristiky vrstvy. Matice má stejné rozměry jako DEM, každá hodnota reprezentuje průměrnou hodnotu pro celou buňku. Každá vrstva obsahuje také seznam plošin, které mají být zobrazovány a také základní informace o vrstvě (původ, barevnou škálu).

OriginalDEM – uloženy načtené hodnoty elevací původního DEM, jméno a cesta k souboru, celkový počet buněk, rozlišení, minimální a maximální elevace, počet depresí a plošin

SinklessDEM – uložena matice s nadmořskými výškami, zde však upravené hodnoty odstraněním depresí a plošin, dále informace o použitém algoritmu, celkové a maximální změně elevace a počtu zbývajících plošin. Lze vytvořit více vrstev použitím různých algoritmů.

Ostatní – Aspect, DispersalAreas, HorizontalCurvature, VerticalCurvature, Slopes, ContributingAreas, SpecificAreas a TopographicIndex. V matici uloženy hodnoty příslušné charakteristiky. Dále jsou připojeny informace o použitém algoritmu a o vstupní vrstvě.

- *Vrstva směrů odtoku (flow directions)*

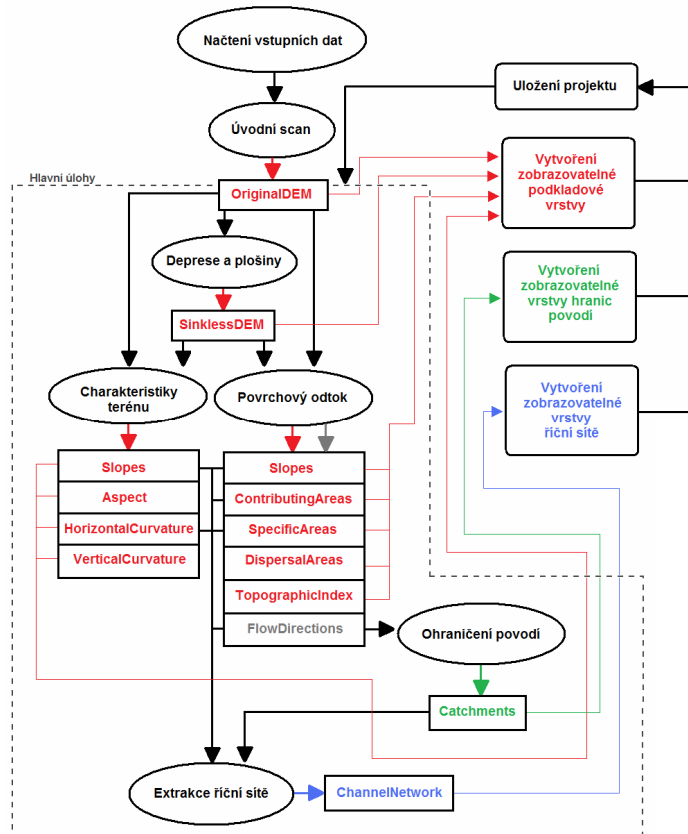
V každé buňce je uložen seznam všech směrů, do nichž buňka odtéká. Soubor obsahuje také informace o použitém algoritmu a název vstupní vrstvy.

- *Vrstva hranic povodí (catchment boundaries)*

Uloženy informace o hranicích povodí extrahovaných zvolenou metodou. Obsahuje také informaci o počtu povodí.

- *Vrstva říční sítě (channel network)*

Uložen seznam buněk patřících do říční sítě uspořádaný podle Stahlerových řádů jednotlivých úseků říční stě. Obsahuje také prahovou hodnotu, pomocí níž byla síť extrahována.



Obr. 6.3.1 Základní struktura programu, založená na vytváření zobrazitelných vrstev, použitelných pro další úlohy. Červeně jsou vyznačeny vrstvy zobrazitelné jako podkladové („Background Layers“), zeleně vrstvy hranic povodí a modře vrstvy říčních sítí. (Barták, 2008)

6.3.2 Přehled nástrojů pro hydrologické modelování

Nejprve je nutné provést úvodní scan, ve kterém se provede shromáždění základních informací o načteném DEM a nalezení a vytvoření seznamu plošin a depresí.

I. Ošetření depresí a plošin (Sinks and flats)

Nástroj odstraňuje deprese a vytváří tak DEM vhodný pro simulaci povrchového odtoku. Při zvolení doplňkové možnosti „Preliminary Depitting“ jsou odstraněny všechny deprese velikosti jedné buňky. Metoda SDI a PEM4PIT řeší plošiny společně s depresemi.

II. Charakteristiky terénu (Terrain attributes)

Počítá základní charakteristiky terénu – sklon (Slopes), expozici (Aspect), horizontální a vertikální křivost (Horizontal, Vertical curvature).

III. Simulace povrchového odtoku (Overland flow)

Nástroj simuluje povrchový odtok. Každé buňce je přiřazen jeden či více směrů odtoku do sousedních buněk a jejich váhy. Zároveň proběhne simulace akumulace odtoku, která se uloží do vrstvy Contributing Areas. Při zaškrtnutí možnosti Channel Handling je třeba zvolit prahovou hodnotu. U buněk, které ji dosáhly či překročily je odtok veden pouze ve směru nejvyššího spádu. Volba Automated Search se pak snaží automaticky odhadnout tuto hodnotu, simulace topografického indexu je však provedena stokrát za sebou a výpočet tak může být při větším DEM dosti dlouhý.

IV. Topografický index (Topographic index)

Vstupními vrstvami jsou Specific Areas a Slopes, nástroj pak na základě těchto vrstev jejich vydělením a zlogaritmováním vytvoří vrstvu Topographic Index.

V. Ohrničení povodí (Catchment delineation)

Úloha vykreslí hranice povodí v uzavřeném profilu (libovolný počet buněk nebo celý model). Metoda Border Outlets automaticky vyhledá všechny uzavřené profily, které leží na okraji DEM. V metodě User Defined Outlets zadává uživatel polohu buněk uzavřených profilů ručně.

VI. Extrakce říční sítě (Channel network)

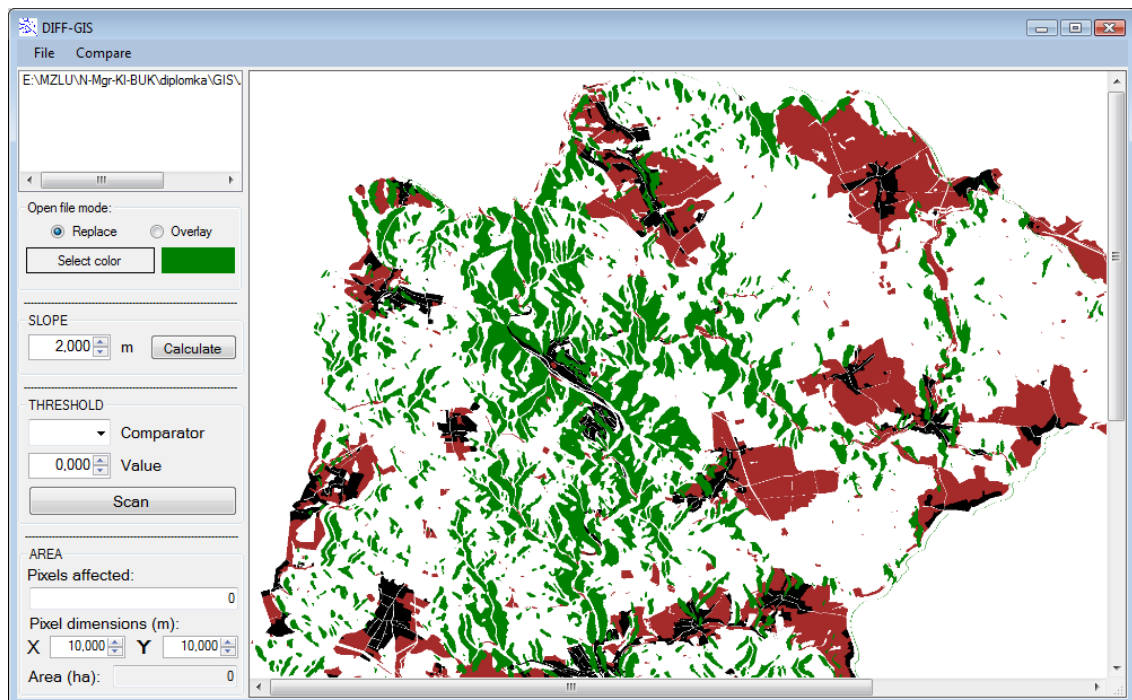
Úloha se snaží o automatizovaný odhad polohy vodních toků. Uživatel má možnost vybrat ze čtyř metod určení prahové hodnoty (Threshold). (Barták, 2008)

7 STUDIE OPENSOURCE APLIKACE

Hlavním důvodem pro tvorbu vlastního software bylo porovnání výstupů především hydrologických analýz z ArcGIS, IDRISI a DEMETERR.

Po pečlivém prostudování dokumentace a porovnání možností všech tří zmiňovaných softwarových nástrojů vytvořil autor opensource aplikaci rozšiřovanou pod názvem DIFF-GIS.

Aplikace je šířena pod licencí GNU General Public Licence (GPL) s otevřeným zdrojovým kódem – Open Source (Open Source Initiative, 2010). DIF-GIS byl vyvinut v programovacím jazyce C# ve vývojovém prostředí Visual Studio 2008 Express Edition, které je zdarma ke stažení na <http://www.microsoft.com/express/>. Pro běh programů vytvořených na platformě .NET je nutné mít nainstalovaný .NET FRAMEWORK 3.5 Service Pack 1, který je zdarma ke stažení na stránkách společnosti Microsoft (Microsoft, 2010). Windows XP a novější již mají .NET FRAMEWORK nainstalovaný a aplikace by tak měla bez problémů běžet na většině počítačů i bez nutnosti dodatečné instalace .NET FRAMEWORK.



Obr. 7.1 Aplikace DIFF-GIS

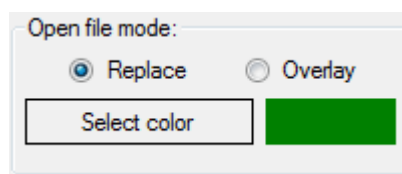
7.1 Přehled nástrojů

DIFF-GIS obsahuje pět nástrojů pro tvorbu, editaci a analýzu rastrových obrazů. Data jsou načítána ze souborů ve formátu ESRI ASCII, což jsou textové soubory obsahující matici čísel reprezentující hodnoty jednotlivých pixelů. Hodnoty mohou být ve formě celých i desetinných čísel.

Libovolný rastrový soubor s hodnotami všech buněk se převede do textového formátu v ArcGIS pomocí nástroje Raster to ASCII. Je také možné převést do rastru soubory shapefile (formát .shp) nástrojem Feature to Raster. Plošné objekty ve vektorovém formátu musí být nejprve převedeny do rastru nástrojem Polygon to raster (Polyline to raster pro liniové objekty) a poté opět použít Raster to ASCII. Pokud obsahuje vrstva více atributů, je nutné při konverzi vybrat jeden, protože matice čísel v ASCII souboru může obsahovat pouze jednu hodnotu pro každou buňku. Například ve vrstvě vylišených povodí jsou hodnoty reprezentující číslo povodí, výměru či část povodí (0 pro celé povodí v rámci ŠLP, 1 pro neúplné), uživatel pro export do ASCII vybere pouze jednu.

Před samotným otevřením ASCII souboru, které se provede kliknutím na nabídku „File -> Open ASCII” může uživatel vybrat barvu aktuálně otevřené vrstvy a vybrat možnost otevření. Jako výchozí hodnota je zatržena “Replace” (Nahradit), která nahradí původně zobrazený obázek. Druhou možností je zatržení přepínače “Overlay”, který umožňuje navzájem kombinovat jednotlivé vrstvy (Obrázek 7.2).

V programu si uživatel může pro účely prohlížení otevřít také již existující BMP soubor v nabídce „File -> Open raster”. Možnost v nabídce „File -> Save as bitmap” uloží aktuálně zobrazená data do formátu BMP.



Obr. 7.2 Volby otevírání ASCII souboru

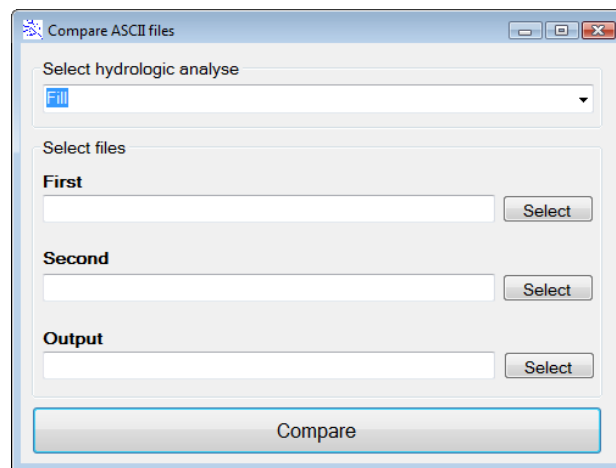
Algoritmus konverze textového ASCII souboru do bitmapy, která je následně zobrazena v aplikaci, prochází jednotlivé pixely. Proměnná *PixelValue* obsahuje hodnotu aktuálního pixelu, které je podle odpovídající podmínky přiřazena odpovídající

barva. Pokud je hodnota pixelu větší než nula, pixelu je přiřazena barva vybraná uživatelem, pokud je hodnota rovna -1, je pixelu přiřazena černá barva (hodnotu -1 ukládá nástroj COMPARE, viz kapitola 7.1.1).

```
for (int x = 0; x < PixelValuesList.Count; x++)
{
    decimal PixelValue =
        Convert.ToDecimal(PixelValuesList[x].Replace('.', ','));
    if (x < Raster.Width
        && y < Raster.Height)
    {
        if (PixelValue > 0)
        {
            Raster.SetPixel(x, y, CurentColor);
            PixelsAffected++;
        }
        else if (PixelValue != 0
            && PixelValue == -1)
        {
            Raster.SetPixel(x, y, Color.Black);
            PixelsAffected++;
        }
    }
}
```

7.1.1 COMPARE

Nástroj je přístupný v nabídce „Compare -> ASCII Files“. Porovnává výstupy z ArcGIS a IDRISI ze tří hydrologických analýz: vyplňování depresí, směry odtoku a akumulace odtoku. Výstupy hydrologických analýz z programu DEMETERR nelze s komerčními softwary porovnat, protože má pro jednotlivé analýzy odlišné formáty výstupu.



Obr. 7.3 *Nástroj COMPARE*

Algoritmus porovnávání prochází výstupy z ArcGIS a IDRISI převedené do ASCII souborů po jednotlivých buňkách. V případě analýz Fill a Flow Accumulation mohou při porovnávání hodnot buněk nastat tři případy: pokud je hodnota ArcGIS větší

než IDRISI, zapíše do výsledného ASCII hodnotu 1. V opačném případě zapíše -1.

Pokud oba soubory na téže buňce obsahují nuly nebo se rovnají, zapíše se nula.

```
for (int i = 0; i < FirstFileList.Count; i++)
{
    float FirstValue = float.Parse(FirstFileList[i]);
    float SecondValue = float.Parse(SecondFileList[i]);

    if (comboBox1.SelectedIndex == 1)
    {
        if (StreamOperations.IsSameFlowDir(FirstValue,
            SecondValue))
            PointsOnLine.Add(1);
        else
            PointsOnLine.Add(0);
    }
    else
    {
        if (FirstValue != 0
            && SecondValue != 0
            && FirstValue > SecondValue)
            PointsOnLine.Add(1);
        else if (FirstValue != 0
            && SecondValue != 0
            && FirstValue < SecondValue)
            PointsOnLine.Add(-1);
        else
            PointsOnLine.Add(0);
    }
}
```



Obr. 7.4 Srovnání reprezentací směrů odtoku v ArcGIS a IDRISI

Algoritmus porovnání směrů odtoku respektuje odlišné reprezentace v ArcGIS a IDRISI (Obrázek 7.4). Funkce *IsSameFlowDir* vrátí v případě shodného směru odtoku hodnotu *true*, která je v textovém souboru uložena jako hodnota 1, v případě různého směru odtoku vrátí *false*, která je uložena jako hodnota 0.

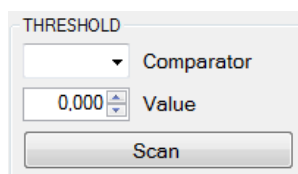
```
public static bool IsSameFlowDir(float ArcGISValue, float IDRISIValue)
{
    if ((ArcGISValue == 1 && IDRISIValue == 90)
        || (ArcGISValue == 2 && IDRISIValue == 135)
        || (ArcGISValue == 4 && IDRISIValue == 180)
        || (ArcGISValue == 8 && IDRISIValue == 225)
        || (ArcGISValue == 16 && IDRISIValue == 270)
        || (ArcGISValue == 32 && IDRISIValue == 15)
        || (ArcGISValue == 64 && IDRISIValue == 360)
        || (ArcGISValue == 128 && IDRISIValue == 45))
        return true;

    return false;
}
```

Pro nástroj COMPARE se dá nalézt i další využití, než jen ve třech zmiňovaných hydrologických analýzách. Je také možnost porovnat jiné analýzy, např. geomorfologické (vylišení vrstevnic, expozice) či jednotlivé druhy interpolací.

7.1.2 THRESHOLD

Nástroj vyprahuje raster podle zvolené hodnoty. Uživatel nejprve vybere znak porovnání a zadá do pole Value požadovanou hodnotu (Obrázek 7.5). Nástroj může mít využití v mnoha oblastech. Například hledání míst v DMT s určitou nadmořskou výškou, extrakce požadovaného druhu ploch z landuse, výběr povodí podle výměry či názvu, extrakce lesních vegetačních stupňů, hledání míst se stejnými směry odtoku, expozicí či sklonitostí.



Obr. 7.5 Nástroj THRESHOLD

Algoritmus nástroje THRESHOLD prochází jednotlivé buňky v souboru. Pokud vyhovuje podmínka daná uživatelem, je hodnota výsledné buňky nastavena na 1, jinak na 0. Proměnná *Comparator* reprezentuje porovnávací znak vybraný uživatelem pro vyprahování zvolené vrstvy. V proměnné *ThresholdValue* je uložena hodnota zadaná uživatelem a v proměnné *PixelValue* hodnota aktuálního pixelu. Obě hodnoty jsou následně porovnávány.

```
for (int i = 0; i < PixelValuesList.Count; i++)
{
    float PixelValue = float.Parse(PixelValuesList[i]);
    switch (Comparator)
    {
        case 0:
        {
            if (PixelValue > ThresholdValue)
            {
                PixelValue = 1;
                PixelsAffected++;
            }
            else
                PixelValue = 0;
            break;
        }
    }
}
```

```

case 1:
{
    if (PixelValue < ThresholdValue
        && PixelValue != 0)
    {
        PixelValue = 1;
        PixelsAffected++;
    }
    else
        PixelValue = 0;
    break;
}
case 2:
{
    if (PixelValue >= ThresholdValue)
    {
        PixelValue = 1;
        PixelsAffected++;
    }
    else
        PixelValue = 0;
    break;
}
case 3:
{
    if (PixelValue <= ThresholdValue
        && PixelValue != 0)
    {
        PixelValue = 1;
        PixelsAffected++;
    }
    else
        PixelValue = 0;
    break;
}
case 4:
{
    if (PixelValue == ThresholdValue)
    {
        PixelValue = 1;
        PixelsAffected++;
    }
    else
        PixelValue = 0;
    break;
}
default:
{
    PixelValue = 0;
    break;
}
}
}

```

7.1.3 SLOPE

Nástroj porovnává hodnoty nadmořských výšek sousedních buněk. Pokud je jejich rozdíl větší než hodnota zadaná uživatelem (Obrázek 7.6), je do výsledného souboru uložena hodnota aktuálního pixelu. Pokud podmínka nevyhovuje, je uložena 0.



Obr. 7.6 Nástroj SLOPE

V proměnné *nudPrevyseni.Value* je uložena hodnota zadaná uživatelem, v proměnné *rozdil* je uložen rozdíl nadmořských výšek aktuální a další buňky.

```
for (int i = 0; i < PixelValuesList.Count - 1; i++)
{
    float VyskaPixelu = float.Parse(PixelValuesList[i]);
    float VyskaDalsihoPixelu = float.Parse(PixelValuesList[i + 1]);
    decimal rozdil = Convert.ToDecimal((VyskaPixelu -
        VyskaDalsihoPixelu).ToString().Replace("-", ""));
    if (rozdil > nudPrevyseni.Value)
    {
        PointsOnLine.Add(VyskaPixelu);
        PixelsAffected++;
    }
    else
        PointsOnLine.Add(0);
}
```

7.1.4 OVERLAY

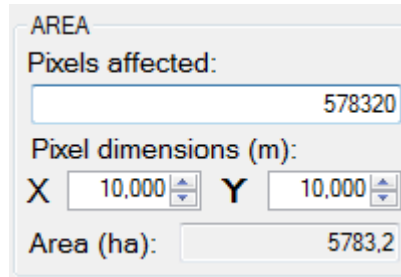
Překrývání vrstev je jedním ze základních funkcí všech GIS. Umožňuje vizuálně analyzovat či porovnávat jednotlivé vrstvy. Pro zobrazení překryvů více vrstev je nutné před otevřením ASCII souboru zatrhnout přepínač Overlay, případně vybrat jinou barvu nově přidané vrstvy (Obrázek 7.2).

Algoritmus nástroje OVERLAY prochází jednotlivé pixely nově přidaného rastru uloženém v proměnné *Raster*. Nenulové hodnoty jednotlivých pixelů se přidávají k původnímu rastru uloženém v proměnné *Oldraster*. Vzniknou tak překryvy zvolených vrstev a výsledný rastr obsahující tyto vrstvy se poté zobrazí v aplikaci. Je samozřejmě možné kombinovat více rastrových vrstev.

```
Bitmap OldRaster = Bitmap.FromFile(TempImg) as Bitmap;
for (int i = 0; i < OldRaster.Height; i++)
    for (int j = 0; j < OldRaster.Width; j++) {
        if (i < Raster.Height
            && j < Raster.Width)
        {
            Color c = Raster.GetPixel(i, j);
            if (c.R.ToString() != "0"
                || c.G.ToString() != "0"
                || c.B.ToString() != "0")
                OldRaster.SetPixel(i, j, CurentColor);
        }
        else
            break;
    }
PictureBox.Image = OldRaster;
```

7.1.5 AREA

Nástroj AREA automaticky počítá rozlohu v hektarech nově vzniklého území. Pro správný výpočet rozlohy je nutné zadat velikost hrany pixelu v metrech.



Obr. 7.7 Nástroj AREA

Algoritmus výpočtu vynásobí počet pixelů (proměnná *PixelsCount*) délkou x-ové a y-ové hrany pixelu a výslednou hodnotu převede z metrů čtverečních na hektary.

```
decimal X = numericUpDownX.Value;  
decimal Y = numericUpDownY.Value;  
decimal PixelsCount = Convert.ToDecimal(tbPixelsAffected.Text);  
decimal area = (PixelsCount * X * Y) / 10000;  
tbAreaResult.Text = area.ToString();
```

8 EXPERIMENTÁLNÍ LOKALITA

Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny je účelovým zařízením Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně. Jeho rozloha je 10 492 ha, lesní pozemky se rozkládají na 10 273 ha.



Obr. 8.1 Přehledová mapa ŠLP Masarykův les Křtiny (© Seznam.cz)

8.1 Klimatické poměry

Území LHC ŠLP Masarykův les Křtiny náleží do teplé a mírně teplé klimatické oblasti. Do teplé klimatické oblasti, okrsku A3 – teplého, mírně suchého, s mírnou zimou patří lesnický úsek Rajhrad a Sokolnice, okrajové části Hádecké plošiny a Řečkovicko. Převážná část LHC náleží do mírně teplé oblasti, okrsku B2 – mírně teplého, mírně suchého, převážně s mírnou zimou, s lednovou teplotou nad $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zahrnuje zbytek Hádecké plošiny a všechny nižší polohy ŠLP Křtiny – převážnou část polesí Vranov, ke Svitavě přiléhající části polesí Habruvka, Babicko. Vyšší polohy s výškou cca od 500 m n.m. na S-SV části LHC či inverzní polohy hlubokých údolí a žlebů zaujímá okrsek B5 – mírně teplý, mírně vlhký, vrchovinný.

Podnebí je značně modifikováno členitým terénem, místní klima vykazuje ostré rozdíly na malých vzdálenostech – hojné jsou teplotní inverze a naopak extrémně suché

teplé polohy na jižních svazích.. Jižní okraj má velmi teplé podnebí umocněné jižní orientací svahů (Hády).

Průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 6,6 °C – 8,1 °C (v samostatných částech Rajhrad a Sokolnice 8,6 °C – 9 °C) se střední hodnotou 7,5 °C, průměrný roční úhrn srážek činí 600 mm s rozmezím 528 – 685 mm. Délka období s průměrnou denní teplotou vzduchu 5 °C činí 210 – 220 dní, 10 °C 150 – 160 dní a 15 °C 80 dní. (LHP ŠLP ML Křtiny, 2003 – 2012)

8.2 Orografické a hydrologické poměry

Dle orografického třídění je území LHC ŠLP ML Křtiny převážně součástí Dražanské vrchoviny, odloučené části bažantnice Rajhrad a obora Sokolnice náleží k Jihomoravským úvalům, části Dyjsko-svratecký úval, která patří do provincie Západní Karpaty. Na západě se LHC dotýká Bobravská vrchovina svou částí Řečkovicko-Kuřimský prolom. Dražanská vrchovina patří do provincie Česká vysočina, Českomoravské soustavy, podsoustavy Brněnská vrchovina. Do území LHC zasahují všechny tři součásti Dražanské vrchoviny – Adamovská vrchovina, Moravský kras a Konická vrchovina.

Údolí Svitavy je hluboké téměř 300 m, ostatní údolí 100 až 200 m. Na Svitavě je vyvinut údolní fenomén, který spolu s pestrým geologickým podkladem a členitým reliéfem silně zvyšuje celkovou biodiverzitu.

Nejnižším bodem je koryto Svitavy v Brně s výškou asi 200 m, nejvyšší kótou je plochý vrchol Proklost v Konické vrchovině s nadmořskou výškou 574 m n.m. Typická výška území na západě činí 250 – 500 m, v Moravském krasu 300 – 530 m a mimo kaňony 400 – 530 m a ve východní části v Konické vrchovině 380 – 570 m. Nadmořská výška odloučených komplexů v Dyjsko-svrateckém úvalu je u bažantnice Rajhrad 187 – 189 m, v oboře Sokolnice se pohybuje v rozmezí 200 – 208 m.

Území je odvodňováno převážně Svitavou, západní část Ponávkou, severovýchodní okraj Rakovcem. Samostatné části Sokolnice a Rajhrad leží na aluviích Zlatého potoka a Svatky. Všechny uvedené toky patří do povodí Dyje, úmoří Černého moře (Morava, Dunaj).

Členitost území LHC se naopak projevuje ve vysokém zastoupení erozně uzavřených celků, které zaujímají 32 % plochy LHC. Svahy nad 40 % se vždy považují za výrazně ohrožené erozí. Při sledování stanovišť s odvozeným kritickým sklonem

svahu (živné půdy 32 %, kyselé půdy 30 % a vysýchavé půdy 28 %) byly na plochách bezprostředně po ukončení těžby a soustředování dříví zjištěny projevy rýžkové eroze. Rychle však dochází k přirozenému zatravnění a postupnému náletu dřevin. Eroze se stabilizuje a nebo je její projev zanedbatelný. (LHP ŠLP ML Křtiny, 2003 – 2012)

8.3 Geologické poměry

Na geologické stavbě území se účastní jako hlavní brněnský pluton, devon Moravského krasu a kulm Konické vrchoviny. Adamovská vrchovina je budována především brněnským masivem, tj. hlavně amfibolickými granodiority, místy i diority a diabasy. Tento tzv. brněnský pluton je přítomen na Z části a je převládající v JV části LHC. Okrajově na SZ lesní trati Krutí vystupují i devonské křemité slepence a jílovce od zóny Babího lomu. (LHP ŠLP ML Křtiny, 2003 – 2012)

8.4 Pedologické poměry

Půdy na extrémních stanovištích zastupují syrozem (litozem s hloubkou půdy do 10 cm, regozem nad 10 cm) a především ranker. Syrozem je iniciální půda s vysokým obsahem skeletu, se slabě vyvinutým humusovým horizontem. Úrodnost půdy je velmi nízká. Ranker je půda s vysokým obsahem skeletu (více jak 50%), s dobře vyvinutým humusovým horizontem. Humusem bohatá jemnozem zčásti vyplňuje prostory mezi kameny a balvany.

Půdy na exponovaných stanovištích patří často k subtypům na přechodu mezi rankerem a kambizemí.

Půdy střídavě vlhké jsou časté na plochých bázích svahů a plošinách, většinou na svahových hlínách se zhoršenou propustností pro vodu. Srážková voda v období dešťů a jarního tání sněhu způsobuje přechodné zamokření porostní půdy.

Půdy lužní jsou vázány na údolní nivy větších potoků a řek, které tvořily v době záplav aluviální akumulaci materiálu. Fluvizem (naplavená půda) je bohatá humusem a živinami. Půdy s trvale zvýšenou hladinou podzemní vody tvoří přechod ke glejům. Úrodnost půdy je zamokřením výrazně snížena.

Značná pestrost půdních typů odráží geologické podloží, geomorfologické členění i lesní vegetační stupňovitost.

Na skalnatých stanovištích se vyskytují různé subtypy litozemí a rankerů. K méně zastoupeným půdním typům patří gleje a fluvizemě v okolí vodních toků. Dvě

samostatné části u Sokolnic a Rajhradu pokrývají fluvizem kambická oglejená, arenická na hrůdech a pseudoglejová. (LHP ŠLP ML Křtiny, 2003 – 2012)

8.5 Přírodní lesní oblasti

LHC ŠLP Masarykův les Křtiny náleží do přírodních lesních oblastí 30 – Dražanská vrchovina a 35 – Jihomoravské úvaly. Dražanská vrchovina zaujímá celý lesní komplex severně od Brna (98,6 % celkové plochy pozemků určených k plnění funkcí lesa), samostatné části bažantnice Rajhrad a obora Sokolnice se nacházejí v PLO 35 – Jihomoravské úvaly (1,4 % celkové plochy plochy pozemků určených k plnění funkcí lesa).

Podle regionálně fyto geografického členění náleží LHC ŠLP Masarykův les Křtiny do fyto geografické oblasti Mezofytikum. Podél Ponávky se ve vegetaci projevuje vliv fyto geografické oblasti Termofytika.

Území LHC je řazeno podle biogeografického členění ČR (*Culek, 1995*) do biogeografické podprovincie hercynské a zasahuje do biogeografických regionů 1.24 Brněnského, 1.25 Macošského a 1.52 Dražanského. Samostatné části Rajhrad a Sokolnice patří do biogeografické podprovincie severopanonské a biogeografického regionu 4.5 Dyjsko – moravského. (LHP ŠLP ML Křtiny, 2003 – 2012)

8.6 Lesní vegetační stupně

Lesní vegetační stupně vyjadřují vztahy mezi klimatem a biocenózou, podávají přehled o pestrosti lesních společenstev. LHC ŠLP Křtiny se nachází v 1. až 5. lesním vegetačním stupni (LVS).

Společenstva 1. dubového LVS se vyskytují převážně v J části LHC. Kromě odloučených částí v přírodní lesní oblasti Jihomoravské úvaly je jejich výskyt pouze fragmentální, bez větších souvislých ploch. Zaujímají stanoviště na teplých jižních vysýchavých svazích. Vystupují do nadmořské výšky 400 m, na teplém vápencovém podloží i výše. Převažuje řada živná, následují řada lužní, exponovaná, extrémní a kyselá.

Souvislé zastoupení v J a střední části LHC na plošinách asi do 400 m n.m. mají společenstva 2. bukodubového LVS, která na jižních svazích vystupují do nadmořských výšek i přes 450 m.

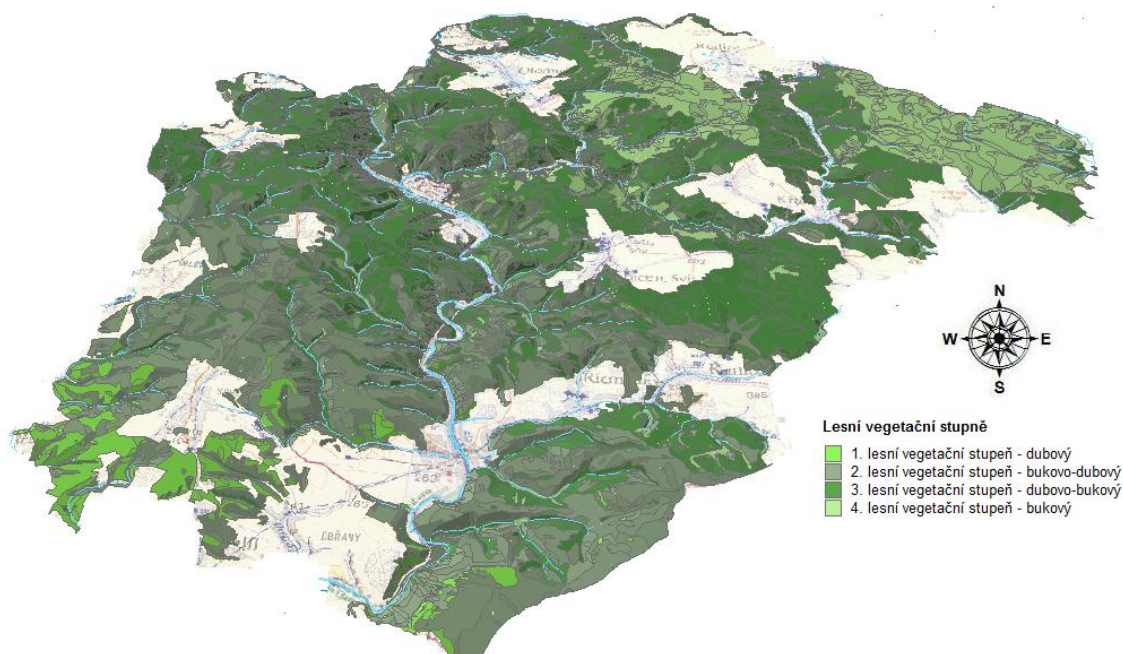
Výrazně převládají společenstva 3. dubobukového LVS, který se vyskytuje v polohách cca 300 – 500 m n.m. převážně na plošinách kolem 400 – 450 m n.m. v severní polovině území LHC. V nižších nadmořských výškách do 400 m n.m. zaujímá stinné polohy, výše k nadmořské výšce cca 500 m vystupuje na poloslunných expozicích. Převažují stanoviště živné řady, významně je zastoupena exponovaná řada, méně pak řada kyselá a extrémní.

Na plošinách a přilehlých severních svazích ve výškách zpravidla nad 500 m n.m. a na podmáčených stanovištích dominuje 4. bukový LVS. Nachází se i uvnitř ploch 3. LVS na severních expozicích a v inverzních polohách při údolních dnech.

Jen ojediněle je zaznamenán výskyt 5. jedlobukového LVS na podmáčené řadě v SV části LHC. (LHP ŠLP ML Křtiny, 2003 – 2012)

Tab. 8.1 Zastoupení lesních vegetačních stupňů v ŠLP ML Křtiny

Lesní vegetační stupeň	Porostní půda	
	ha	%
1.	329,22	3,34
2.	2787,09	28,25
3.	5122,83	51,92
4.	1626,10	16,48
5.	1,01	0,01
Celkem	9866,25	100,00



Obr. 8.2 Lesní vegetační stupně (ŠLP ML Křtiny)

8.7 Dřevinná skladba

V současné dřevinné skladbě jsou jehličnaté dřeviny zastoupeny 44,17 % a listnaté dřeviny 55,83 %. Hlavními jehličnatými dřevinami jsou smrk (22,84 %), borovice (9,64 %) a modřín (9,01 %). Z listnatých dřevin převažuje buk (29,2 %) a dub (14,49 %). Cílová druhová skladba směřuje ke snížení zastoupení jehličnatých dřevin na 33,74 % a zvýšení listnatých dřevin na 66,26 %. Z jehličnatých dřevin se plánuje nejvýraznější snížení zastoupení smrku o 5,25 % a borovice o 4,78 %. Z listnatých dřevin bude usilováno především o zvýšení zastoupení dubu o 12,04 % a buku o 4,42 %. Celková zásoba lesních porostů je 2,59 mil m³ b. k., z toho jehličnatá 1,38 mil m³ b. k., tj. 53,15 % a listnatá 1,21 mil m³ b. k., což je 46,85 %. Zásoba na 1 ha je 266 m³ b. k. Na celkové zásobě se nejvíce podílí buk (29,1 %), smrk (28,3 %) a modřín (12,5 %). (Illková, 2009)

9 PRAKTICKÉ PROVEDENÍ HYDROLOGICKÝCH ANALÝZ

Na základě studia problematiky GIS a porovnání možností jednotlivých softwarových nástrojů byl na praktické provedení hydrologických analýz vybrán program ArcGIS verze 9.3 americké firmy ESRI, který nabízí nejvíce nástrojů pro analýzu DMT.

9.1 Vstupní data

Pro praktickou aplikaci bylo vybráno území Školního lesního podniku Křtiny u Brna. Jedná se o účelové zařízení MU v Brně, které zajišťuje běžnou lesní výrobu a slouží Fakultě lesnické a dřevařské k zajišťování pedagogických, výzkumných, poloprovozních a ověřovacích úkolů. Zařízení vzniklo roku 1923 a dnes ŠLP Křtiny obhospodařuje celkem 10 273 ha pozemků určených k plnění funkcí lesa. Lesní komplex leží severovýchodně od Brna, leží v něm několik obcí a zemědělských pozemků. Je členěn hlubokými údolními řeky Svitavy a Křtinského potoka a četnými bočními údolními a hlubokými žleby.

Z této oblasti byla zajištěna i potřebná data. Konkrétně digitální vektorový výškopis z Digitálního modelu území 1:25 000 (DMÚ25), jehož autorem je Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce. Dalším datovým zdrojem byly digitální rastry Základní vodohospodářské mapy 1:50 000 (ZVM), které jsou ve správě Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka v Praze.

Pro vytvoření DMT byla použita data DMÚ25. Jedná se o vojenský výškopis srovnatelný s daty ZABAGED, ovšem s výhodou všech souvislých linií. Byla tedy digitalizována i místa, kterými nelze normálně vést vrstevnice. Výškopis pak sice v daném místě nevystihuje přesně terén, ale pro některé algoritmy prostorové interpolace dat je tento předpoklad nezbytný. Vrstevnicový interval těchto dat je 5 m. (Klimánek, Douda, 2009)

DMT byl vytvořen nástrojem Topo to raster, který je podle Klimánka (2008) specificky navržen pro vytvoření hydrologicky korektního DMT. Základní podmínka pro provedení kvalitativních analýz je odstranění bezodtokových depresí. Ty byly odstraněny nástrojem Fill.

S DMT byly na praktické provedení hydrologických analýz poskytnuty ústavem geoinformačních technologií také další vrstvy obsahující atributové tabulky s informacemi o jednotlivých vrstvách:

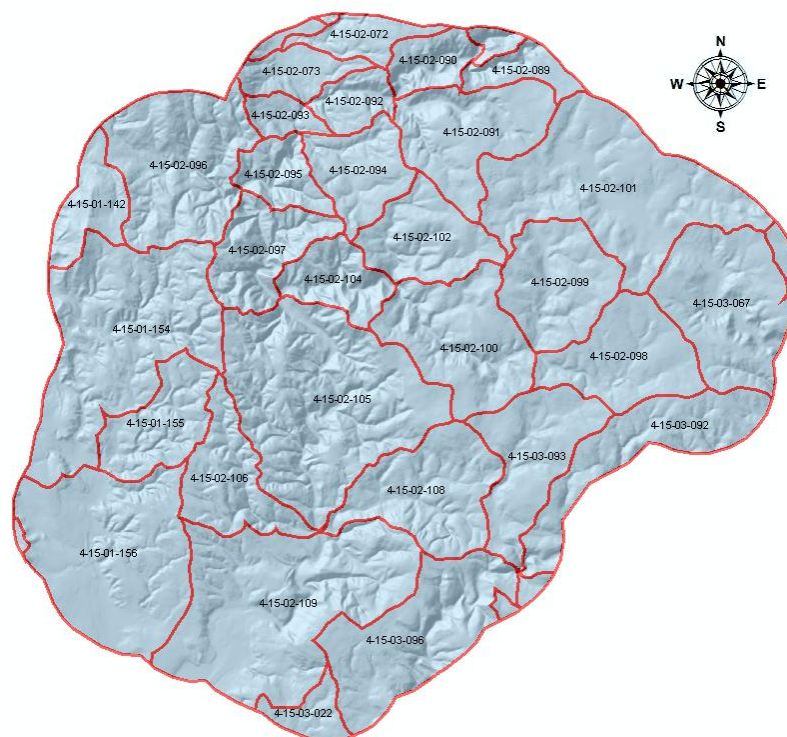
landuse – druh pozemku, rozloha, druh porostu či porostní skupina

vodní toky – délka či název jednotlivých vodních toků

vodní plochy – číslo povodí

lesní vegetační stupně – výměra či druh

povodí – čísla jednotlivých povodí, názvy a jejich výměra



Obr. 9.1 Přehled vylišených povodí dle ZVM50 (KLIMÁNEK, DOUDA, 2006)

Z geomorfologických analýz byly provedeny expozice a sklonitost území. Z kvalitativních hydrologických analýz bylo provedeno určení směrů odtoku, řády odtoku a délka akumulovaného odtoku a z kvantitativních analýz akumulace odtoku. Všechny uvedené analýzy obsahuje nadstavba Spatial analyst.

Hydrologické a terénní analýzy byly prováděny pouze na povodích, jejichž celá plocha leží na ŠLP. Z atributové tabulky vylišených povodí byly nástrojem „Select by attributes“ vybrány pouze povodí, která mají celou svou plochu na území ŠLP (hodnota 0 ve sloupci CAST_POV). Následně byl podle nově vzniklé plochy ořezán i

DMT celého ŠLP nástrojem Conditional. Vektorové vrstvy landuse a říční sítě byly ořezány nástrojem Extract by mask.

Rozloha celého ŠLP je 10 492 ha. Ořezaná plocha celých povodí, na které bylo provedeno hydrologické a terénní modelování je 7117,7 ha, což je 69,29 %.

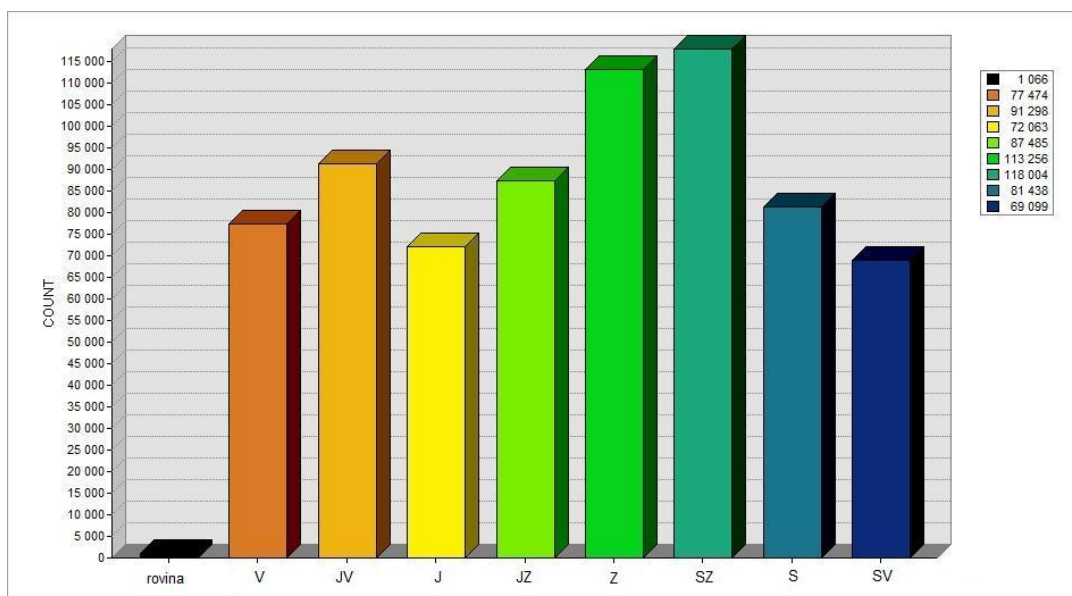
Na změnu počtu zobrazovaných tříd (reklasifikace) byl použit nástroj Reclassify, který podle různých kritérií rozdělí hodnoty do požadovaného počtu intervalů.

9.2 Geomorfologické analýzy

Obecné geomorfologické analýzy popisují tvary zemského terénu (SVOBODA, 2008). V ArcGIS se nacházejí v oddělení Surface.

Expozice

Expozice určuje orientaci svahů ke světovým stranám. Analýza byla provedena nástrojem Aspect. Expozice je měřena ve stupních v rozmezí 0°- 360°. Rovinné plochy jsou reprezentovány hodnotou -1.



Obr. 9.2 Graf expozice území

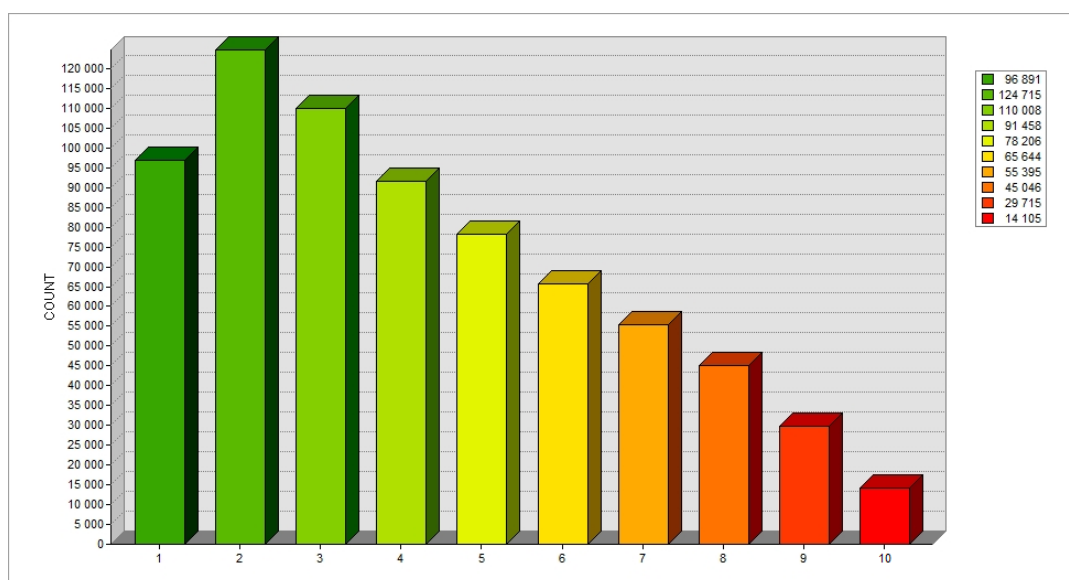
Z grafu expozice území vyplývá, že nejvíce území je orientováno na jih (15,89 %) a jihozápad (16,685 %). Je také patrné, že jsou expozice poměrně rovnoměrně rozděleny na všechny světové strany (viz příloha č. 5).

Tab. 9.1 *Expozice území*

Orientace	%
V	10,89
JV	12,84
J	10,13
JZ	12,30
Z	15,93
SZ	16,59
S	11,45
SV	9,72
rovina	0,15

Sklonitost

Nástroj Slope počítá největší rozdíl mezi dvěma sousedními buňkami. Sklonitost byla rozdělena nástrojem Reclassify do desíti intervalů pro možnosti detailnějšího porovnání. (Tab. 9.2)



Obr. 9.3 *Graf intervalů sklonitosti*

Z grafu intervalů sklonitosti je patrné, že nejvíce zastoupené jsou svahy se sklonem $3,65^\circ - 6,28^\circ$. Jak je patrné z obrázku 8.1 (lesní vegetační stupně), největší část území pokrývá lesní porost, kde je sklonitost území velmi variabilní a vyskytují se také území se sklony nad 30° . Největší sklony svahů jsou ve vyšších nadmořských polohách kolem bystřinných pramenišť potoků prvního řádu toku dle Strahlera (Příloha č.3), nejmenší pak v nížinných polohách. V příloze č. 1 (3D model DMT ŠLP ML Křtiny) je potom možné odhadnout sklonitost území vylíšených povodí, která je znázorněna v příloze č. 5.

Tab. 9.2 Sklonitost území

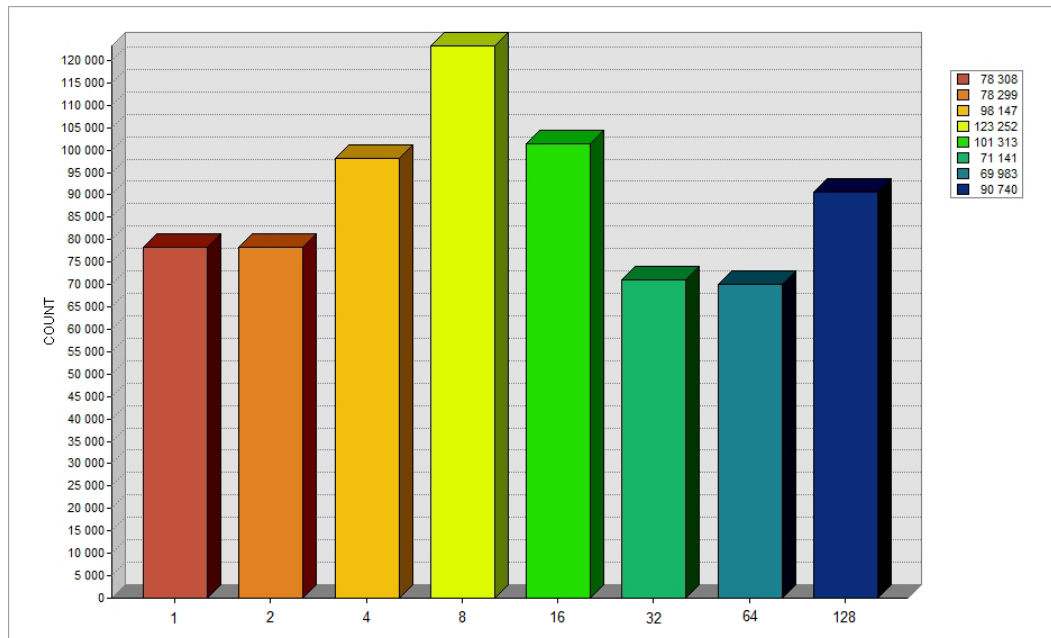
	Interval	%
1	0° - 3,65°	13,62
2	3,65° - 6,28°	17,54
3	6,28° - 9,03°	15,47
4	9,03° - 12,08°	12,86
5	12,08° - 15,41°	11,00
6	15,41° - 19,04°	9,23
7	19,04° - 22,97°	7,79
8	22,97° - 27,39°	6,33
9	27,39° - 32,80°	4,18
10	32,80° - 46,99°	1,98

9.3 Hydrologické analýzy

Hydrologické analýzy se v nadstavbě Spatial analyst nacházejí v sekci Hydrology. Výčet a popis vybraných analýz je v kapitole 6.1.1.

Směr odtoku

Směry odtoku se určí nástrojem Flow Direction. Vstupem do analýzy je DMT s odstraněnými terénními depresiemi.



Obr. 9.4 Graf směrů odtoku

Z grafu směrů odtoku je patrné, že nejvíce svahů je orientováno na jihozápad, což odpovídá výsledkům z analýzy expozice území. Směry odtoku pro všechna vylišená povodí jsou v příloze č. 2.

Tab. 9.3 *Směry odtoku*

	Směr odtoku	%
V	1	11,01
JV	2	11,01
J	4	13,80
JZ	8	17,33
Z	16	14,25
SZ	32	10,00
S	64	9,84
SV	128	12,76

Akumulace odtoku

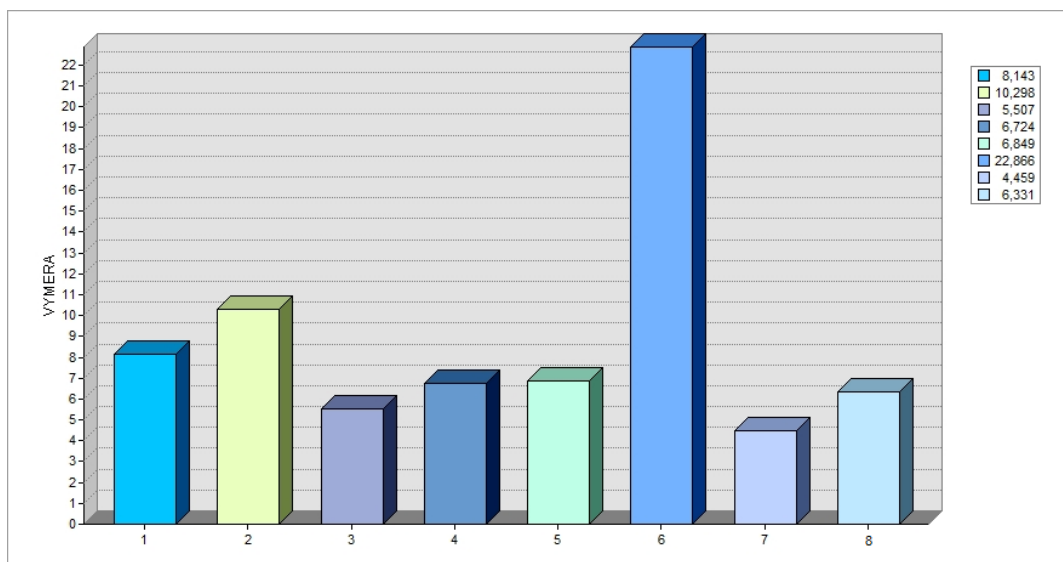
Akumulace odtoku byla provedena nástrojem Flow Accumulation. Vstupním rastrem je rastr směrů odtoku. Výstup z analýzy je zobrazen v příloze č. 4.

Řády toků

Řády toků byly určeny nástrojem Stream Order. Analýza byla provedena dle Strahlera. Na území osmi vylišených povodí bylo nalezeno pět řádů toků. Grafické zobrazení je patrné v příloze č. 3.

Povodí

Vylišení základních povodí bylo provedeno nástrojem Basin.



Obr. 9.5 *Graf výměr analyzovaných povodí*

Graf na obrázku 9.5 srovnává rozlohy jednotlivých vylišených povodí. Největší povodí (32,13 %) zaujímá spodní část řeky Svitavy. Povodí jsou zobrazena v příloze č. 4.

Tab. 9.6 *Výměry jednotlivých povodí*

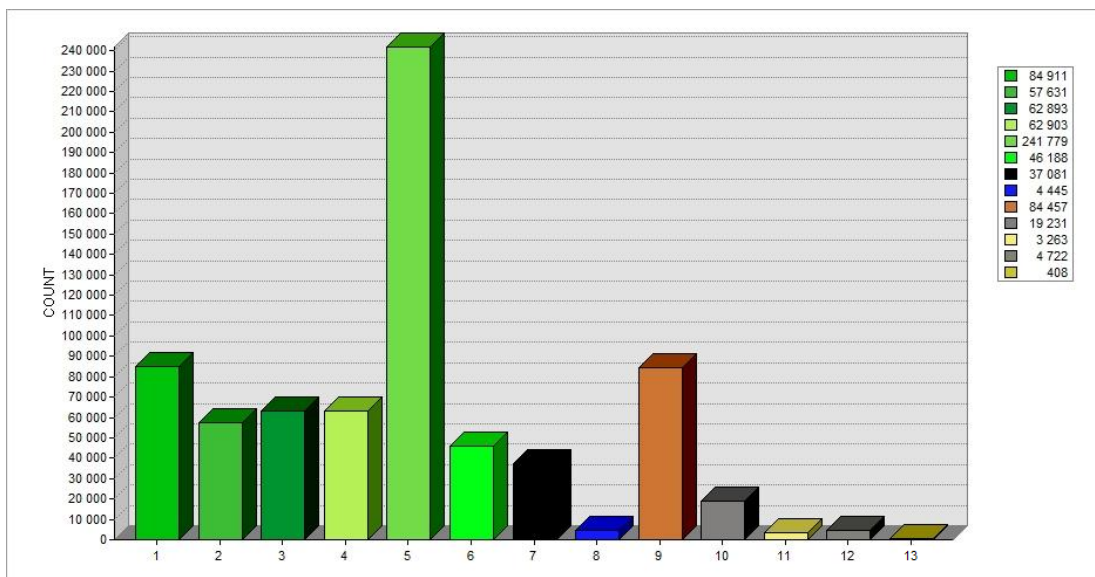
	%
1	11,44
2	14,47
3	7,74
4	9,45
5	9,62
6	32,13
7	6,26
8	8,89

Landuse

Mapa využití krajiny byla poskytnuta Ústavem geoinformačních technologií Mendelovy univerzity. Vznikla na podkladě hospodářské mapy, ortofota a státní mapy odvozené (SMO) 1:5000. Základem se stala vektorizovaná hospodářská mapa ŠLP Křtiny pro období 1993-2002. Informace o využití krajiny na ploše pozemků určených k plnění funkcí lesa byly získány z dat numerické části LHP a následně klasifikovány dle cílových hospodářských souborů do 6 kategorií (3 jehličnaté a 3 listnaté kategorie, viz tab. 9.4). Ostatní plochy mimo les byly klasifikovány za využití ortofota a SMO 1:5000 do dalších 7 kategorií.

Tab. 9.4: *Přehled kategorií mapy využití krajiny na ŠLP Křtiny*

Číslo	Kategorie	Popis	%
1.	Jehličnaté 1	Cílové hospodářské soubory SM	11,96
2.	Jehličnaté 2	Cílové hospodářské soubory JD (SM+BK+JD) a ostatní (DG, MD)	8,12
3.	Jehličnaté 3	Cílové hospodářské soubory BO	8,86
4.	Listnaté 1	Cílové hospodářské soubory DB	8,86
5.	Listnaté 2	Cílové hospodářské soubory BK	34,06
6.	Listnaté 3	Cílové hospodářské soubory ostat. listn. dřevin (HB, LP, JV, BR)	6,51
7.	Zástavba	Domy, haly průmyslových zón, vesnice, města	5,22
8.	Voda	Řeky, potoky, rybníky, nádrže	0,63
9.	Louky, pole	Zemědělská půda (pole, louky), zahrady	11,90
10.	Komunikace	Silnice, LDS (1L, 2L, 1S, 2S)	2,71
11.	Železnice	Vlakové tratě	0,46
12.	Produktovody	Elektrovody (průsekem v lese), plynovody, vodovody	0,67
13.	Lomy, zemníky	Lomy, zemníky, příp. skládky	0,06

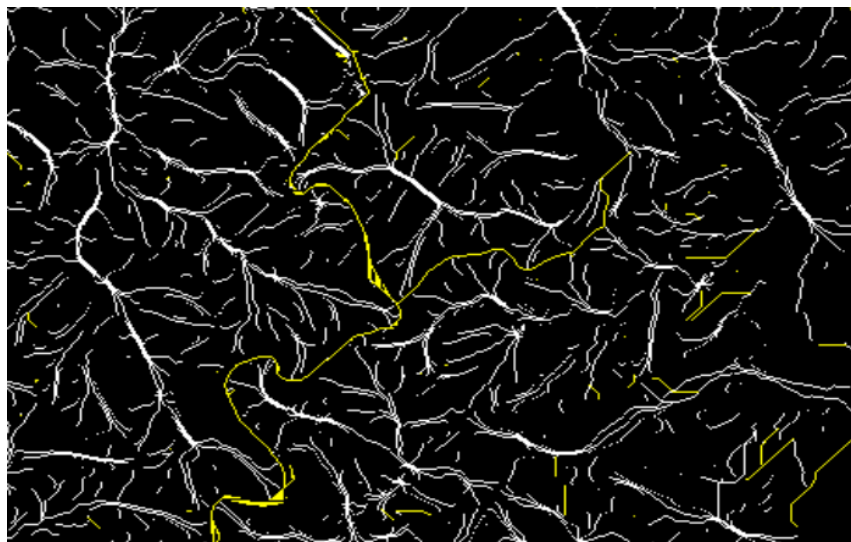


Obr. 9.6 Graf landuse

Z grafu na obrázku 9.6 je patrné, že největší plochu z osmi vylišených povodí zaujímají cílové hospodářské soubory buku (34,06 %). Vodní plochy včetně řek a potoků zaujímají 0,63 %, zastavěná plocha 5,22 % a zemědělská půda včetně polí, luk a zahrad 11,9 %. Na sledovaném území se nachází 88,1 % erozně stabilních ploch (lesy, zástavba, komunikace), erozně nestabilních ploch (orná půda) je zde 11,9 %. Mapa využití krajiny je v příloze č. 7.

9.4 DIFF-GIS

Na obrázku 9.7 je zobrazen detail porovnání rastrových výstupů z analýz akumulace odtoku v ArcGIS a IDRISI. Žlutá barva znázorňuje pixely, ve kterých měla akumulace odtoku při porovnání vyšší hodnoty v ArcGIS, černá barva znázorňuje vyšší hodnoty v IDRISI.



Obr. 9.7 Porovnání akumulací odtoku v ArcGIS a IDRISI

Obrázek 9.8 zobrazuje porovnání rastrových výstupů z analýz směrů odtoku. Zelená barva znázorňuje pixely, ve kterých byl směr odtoku v ArcGIS i IDRISI analyzován stejně, bílá potom značí rozdílné hodnoty.



Obr. 9.8 Porovnání směrů odtoku v ArcGIS a IDRISI

Na obrázku 9.9 je zobrazen detail obce Adamov. Zeleně jsou zobrazeny plochy s převýšením větším než 3 m. Rozměr pixelu ve skutečnosti je 10 x 10 m.



Obr. 9.9 Detail obce Adamov – zeleně oblasti s převýšením větším než 3 m

10 DISKUZE

V diplomové práci byly srovnány možnosti hydrologických analýz softwarových nástrojů ArcGIS verze 9.3, Idrisi Taiga a DEMETERR. Jednotlivé aplikace byly testovány na DMT Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny. Po důkladném zvážení možností hydrologického modelování byl na praktické provedení hydrologických analýz vybrán program ArcGIS verze 9.3.

Mezi jeho největší nevýhodu patří vysoká cena, která se pohybuje ve statisících Kč a je tak pro jednotlivce téměř nedostupný. IDRISI je cenově dostupnější, nenabízí však tolik nástrojů pro hydrologické modelování jako ArcGIS. Mezi největší přednost aplikace DEMETERR patří možnost volby z více algoritmů pro jednotlivé hydrologické analýzy. Je tak možné vzájemně je porovnat a následně vybrat vhodný algoritmus podle povahy dané úlohy. Nevýhodou je však formát výstupu jednotlivých analýz. Jsou to sice textové soubory, mají ovšem variabilní strukturu a jejich následná analýza je proto velmi komplikovaná. Možnosti hydrologických analýz jednotlivých softwarových nástrojů jsou uvedeny v kapitole 6.

Výborné nástroje nabízí ArcGIS pro vývojáře. Kromě možnosti skriptování a tvorby automatizovaných rutin v Model Builderu pomocí programovacího jazyka Visual Basic Script je také možnost skriptovat ve velmi rozšířeném jazyce Python. Největší předností je však zpřístupnění téměř celého objektového modelu a možnost tvorby vlastních doplňků přímo do aplikace ArcGIS nebo pouze využití ArcGIS Engine ve vlastních aplikacích. Podmínkou je samozřejmě vlastnit legální licenci.

Na stránkách firmy ESRI ve vývojové sekci (EDN.ESRI, 2010) je volně přístupná velmi propracovaná dokumentace. Je ovšem velice obsáhlá a velmi obtížně se v ní orientuje. To by mohl změnit příchod ArcGIS 10, který se očekává v červnu letošního roku. Společnost ESRI avizuje nový Software Development Kit (SDK), což je ucelená sada vývočářských nástrojů, která by měla programování vlastních aplikací značně zjednodušit a zefektivnit.

Pro praktickou aplikaci bylo vybráno území Školního lesního podniku Křtiny. Hydrologicky korektní DMT celé oblasti včetně dalších vrstev, např. vodních toků a vodních ploch, landuse, lesních vegetačních stupňů či vylišených povodí, byl poskytnut Ústavem geoinformačních technologií Mendelovy univerzity v Brně.

Na vybraném území byly nejprve zjištěny obecné geomorfologické analýzy – expozice a sklonitost. Z kvalitativních hydrologických analýz byly provedeny směry odtoku a řády toků, z kvantitativních akumulace odtoku.

Z přílohy č. 5 je patrné, že největší sklonitost území je na Adamovské vrchovině, což je oblast typická množstvím hrástí a prolomů. Jsou zde také častá skalnatá údolí, které dosahují kolem řeky Svitavy hloubky až 300 m. Nejvíce ohroženy erozí jsou svahy se sklonem nad 22° (což odpovídá 40 %). Největší výskyt těchto svahů je na Adamovské vrchovině a severně až severozápadně od Bílovic nad Svitavou.

Z grafu expozice území vyplývá, že nejvíce území je orientováno na jih (15,89 %) a jihozápad (16,685 %). Je také patrné, že jsou expozice poměrně rovnoměrně rozděleny na všechny světové strany (viz příloha č. 5).

Z grafu směrů odtoku je patrné, že nejvíce svahů je orientováno na jihozápad, což odpovídá výsledkům z analýzy expozice území. Směry odtoku pro všechna vylišená povodí jsou v příloze č. 2.

V příloze číslo 3 jsou zobrazeny řády toků a délky akumulovaného odtoku. Na území vylišených povodí bylo zjištěno metodou dle Strahlera pět řádů toků, nejdelší akumulovaný odtok z území je 24, 8 km.

Příloha číslo 7 znázorňuje mapu využití krajiny (landuse). Z grafu 9.6 je patrné, že největší plochu z vylišených povodí zaujímají cílové hospodářské soubory buku (34,06 %). Vodní plochy včetně řek a potoků zaujímají 0,63 %, zastavěná plocha 5,22 % a zemědělská půda včetně polí, luk a zahrad 11,9 %. Podle Skleničky (2003) je celkový stav povodí klíčovým faktorem ovlivňující vznik a vývoj povodní. Nejlepší podmínky pro zadržování, rozptylování a vsakování srážkové vody poskytuje smíšený les, dále monokulturní les a travní porost. Okraje lesních porostů mají pozitivní vliv na vlastnosti zemědělských půd. Retence i okamžitá rychlost vsaku obvykle kulminuje v 2-3 násobku vzdálenosti od lesního okraje.

V případové studii byla vytvořena open source aplikace nazvaná DIFF-GIS. Hlavní myšlenkou pro vytvoření vlastního software bylo především srovnání výstupů hydrologických analýz z ArcGIS a IDRISI. Tvorbě předcházelo pečlivé studium problematiky a testování všech tří uvedených software. Aplikace má grafické uživatelské prostředí pro možnosti vizualizace rastrových vrstev včetně jejich překryvů. V příloze číslo 9 je zobrazena aplikace včetně čtyř vrstev: toky a vodní plochy, pole a louky, zástavba a plochy s převýšením větším než 3 m analyzované nástrojem SLOPE. Software včetně souborů se zdrojovým kódem je na přiloženém CD.

Na obrázcích 9.7 a 9.8 jsou výstupy ze srovnání analýz akumulace odtoku a směrů odtoku. Je patrné, že dva uvedené komerční softwary nemají úplně stejný algoritmus určení směrů odtoku i akumulace odtoku. V ladícím režimu aplikace byly porovnávány rozdíly jednotlivých pixelů. Hodnoty dvou uvedených analýz se lišily vždy o 1 až 2 metry.

Výsledky hydrologických analýz byly vizuálně porovnány podle stínovaného reliéfu vytvořeného nástrojem Hillshade (viz příloha č. 8) a také podle 3D modelu terénu vytvořeném v ArcScene (viz příloha č. 1). Kontrola odstranění bezodtokových depresí byla provedena nástrojem Sink, který deprese detekuje. Na analyzovaném území vylišených povodí nebyly žádné deprese nalezeny.

V posledních letech je zaznamenáván velký rozmach webových aplikací. Tento trend se projevuje i v oblasti GIS. Vznikají online geodatabáze, které jsou však používány stále spíše k vědeckým účelům. Jako příklad může sloužit webová aplikace ústavu geoinformačních technologií Mendelovy univerzity přístupná na adrese <http://mapserver-slp.mendelu.cz/>, která obsahuje velké množství informací o ŠLP Křtiny, např. landuse, vrstevnice, sklony svahů, expozici území, DMT, geologii či pedologii. Otázkou je, jak využít možnosti automatizace v GIS v praxi. Základním nástrojem v ArcGIS pro automatizaci je již zmiňovaný Model Builder, pomocí kterého lze v grafickém prostředí vytvářet skripty pro vykonávání více nástrojů v rámci jedné operace. Automatizované vykonávání takovýchto skriptů by mohla zajišťovat webová služba, běžící na serveru dané instituce. Při změně jakékoliv hodnoty v geodatabázi by se pak znovu automaticky spustil celý skript. V geodatabázi by pak byla neustále aktuální data.

11 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala možnostmi hydrologického modelování ve vybraných softwarových nástrojích a následně praktickým provedením hydrologických analýz na vybrané experimentální lokalitě.

Literární přehled shrnuje možnosti hydrologického modelování ve dvou komerčních systémech ArcGIS a IDRISI a programu spíše pro univerzitní účely DEMETERR.

Experimentální lokalitou pro hydrologické modelování byl zvolen Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny. Hydrologické modelování bylo provedeno na území osmi povodích vylišených dle ZVM50, které leží celým svým obsahem na území ŠLP a nepřesahují mimo jeho hranice. Hydrologicky korektní DMT celé oblasti poskytl Ústav geoinformačních technologií Mendelovy univerzity v Brně včetně dalších digitálních dat, např. vylišených povodí, říční sítě, mapy lesních vegetačních stupňů či mapy využití území.

Po prostudování možností jednotlivých systémů byl na praktickou aplikaci vybrán ArcGIS verze 9.3, který obsahuje nejvíce nástrojů pro hydrologické modelování a tvorbu DMT.

Případová studie diplomové práce se zabývala tvorbou vlastní aplikace primárně určené pro porovnání výstupů z hydrologických analýz dvou uvedených komerčních software. Aplikace má kromě této funkce vlastní grafické uživatelské prostředí a obsahuje sadu nástrojů pro editaci, analýzu a vizualizaci digitálních geografických dat převedených do standardizovaných textových souborů. Grafický výstup z analýzy naznačil, že ArcGIS a IDRISI nepoužívají pro stejné hydrologické analýzy identické algoritmy a výstupy se částečně liší.

DIFF- GIS může nalézt uplatnění při výuce nejen na Mendelově Univerzitě. Mohl by fungovat jako webová aplikace např. na stránkách ústavu geoinformačních technologií Mendelovy univerzity a být tak k dispozici studentům pro jednodušší analýzy a vizualizace pro účely seminárních prací.

Diplomová práce má také odpovědět na otázku, zda má hydrologické modelování praktické využití. S využitím výsledků geomorfologických analýz sklonitosti a expozice území a hydrologických kvantitativních i kvalitativních analýz je možné stanovit např. rozliv řek při přívalových srážkách a zjistit tak místa potenciálního

ohrožení intravilánů obcí povodněmi. Území ŠLP má velmi členitý reliéf. Analýza sklonitosti území vylišila cca 6 % svahů se sklonem nad 30° (40 %), které jsou považovány za velmi ohrožené erozí. Hydrologickým modelováním je možné stanovit potenciální ohrožení svahů či množství ztráty půdy.

Výsledky hydrologických analýz nemohou nikdy dosáhnout přesnosti reálných přírodních systémů. Hydrologii krajiny ve skutečnosti ovlivňuje mnoho faktorů, např. výpar povrchové vody, průsak srážek do zemského povrchu či odebírání vody rostlinami a v neposlední řadě krajinný pokryv. Mohou však pomoci odhalit některé nedostatky v hydrologickém režimu krajiny a přispět tak k jejich nápravě.

12 SUMMARY

Diploma thesis dealt with the hydrological modeling capabilities of selected software tools and then the practical implementation of hydrological analysis of selected experimental site.

Literature review summarizes hydrological modeling in the two commercial systems, ArcGIS and IDRISI and program more used for university purposes DEMETERR.

For hydrological modeling was selected Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny. Hydrological modeling was performed on the eight selected basins extracted on ZVM50, which lies all their content in the ŠLP. Hydrologically correct DEM was provided by the Department of geoinformatic technologies at Mendel University in Brno, including other digital data, for example basins, river system, maps of forest vegetation zones and landuse maps.

After studying the possibilities of individual systems was for practical application chosen ArcGIS 9.3, which contains many tools for hydrologic modeling and DMT.

Case study of this thesis dealt with creating own application primarily designed to compare outcomes of hydrological analysis from two commercial software. Application has also its own graphical user interface and a set of tools for editing, analyzing and visualization of digital geographic data transferred to standard text files. Graphic output of the analysis indicated that ArcGIS and IDRISI used for identical hydrologic analysis same algorithms and the outputs are partly different.

DIFF-GIS application can be found in teaching not only at Mendel University. Could act as a web application as the site of the Institute geospatial technologies of Mendel University and thus be available to students for easier visualization and nalýzy for seminary work.

The diploma thesis had to also answer the question whether the hydrologic modeling has practical applications. Using the results of geomorphological analysis of slope and aspect and the hydrological quantitative and qualitative analysis can provide such as leveling of rivers during torrential rainfall and determine potential threat of floods in urban communities. ŠLP territory has very rugged relief. Analysis of the slope show about 6% slopes above 30 degrees (40%), which are considered highly

endangered by erosion. Hydrological modeling can identify potential threats on the slopes or the amount of soil loss.

The results of hydrological analysis can never achieve the accuracy of real natural systems. Hydrology of the landscape, in fact, influenced by many factors, such as evaporation of surface water, seepage of precipitation into the ground or water abstraction plants and finally land cover. However, they may help reveal some shortcomings in the hydrological regime of the landscape and contribute to their correction.

13 LITERATURA

ARCGIS DESKTOP HELP. *Dokumentace ArcGIS 9.3* (online) [cit. 15. 4. 2010]

Dostupné na WWW:

< <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>>

BARTÁK, V. *Algoritmy pro zpracování digitálních modelů terénu s aplikacemi v hydrologickém modelování.* Diplomová práce. ČZU Praha. 2008. 202 s.

CLARKLABS IDRISI TAIGA HELP SYSTEM. *Dokumentace IDRISI Taiga*

(online) [cit. 3. 4. 2010] Dostupné na WWW:

< <http://www.clarklabs.org/support/IDRISI-Andes-Help-System.cfm>>

CULEK, M. ed. *Biogeografické členění České republiky.* 1. vyd. Praha. Enigma, 1995. 352 s. ISBN 80-85368-80-3

EDN.ESRI. *Esri Developer Network – vývojová sekce ArcGIS* (online) [cit. 5. 4. 2010]

Dostupné na WWW: < <http://edn.esri.com/index.cfm?fa=docLibrary.gateway>>

ESRI. *WWW stránky společnosti ESRI* (online) [cit. 10. 4. 2010] Dostupné na WWW:

< <http://www.esri.com>>

EUROSENSE. *WWW stránky společnosti EUROSENSE* (online) [cit. 17. 4. 2010]

Dostupné na WWW: < <http://www.eurosense.com/default.aspx?catid=45>>

ILLKOVÁ, A. *Vliv různé výchovy na růst a produkci smíšeného porostu na VP ŠLP Křtiny.* Diplomová práce. MENDELU Brno. 2009. 63 s.

KLIMÁNEK, M. *Digitální modely terénu.* MENDELU Brno, 2006. 85 s. ISBN 978-80-7157-982-3

KLIMÁNEK, M., DOUDA, P. Hydrologické modelování v GIS Idrisi na základě DMT. In *Informační systémy v zemědělství a lesnictví.* Praha: Informační a poradenské centrum PEF ČZU v Praze, 2006, s. 1--7. ISBN 80-213-1494-X

LHP ŠLP ML Křtiny. *Textovka – ŠLP 2003 – 2012* (online) [cit. 15. 3. 2010]

Dostupné na WWW:

<<http://www.slpkrtiny.cz/download/certifikace/lhp-lhp-textova-cast.zip>>

MAIDMENT, D. *Arc Hydro: GIS for water resources*. Redlands, California: ESRI

Press, 2002. 203 s. ISBN 1-58948-034-1

MICROSOFT. *Instalační balík rozhraní .NET FREAMEWORK* (online) [cit. 11. 4.

2010] Dostupné na WWW:

<<http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=AB99342F-5D1A-413D-8319-81DA479AB0D7&displaylang=cs>>

Open Source Initiative. *Asociace pro Open Source software* (online) [cit. 27. 3. 2010]

Dostupné na WWW: <<http://www.opensource.org/licenses/gpl-2.0.php>>

SKLENIČKA, P. *Základy krajinného plánování*. Praha: Naděžda Skleničková, 2003.

321 s. ISBN 80-903206-0-0

STIBALOVÁ, A. *Možnosti využití programu ArcGIS v hydrologii*. Bakalářská práce.

ČZU Praha. 2009. 62 s.

SVOBODA, P. *Hydrologické analýzy v prostředí GIS*. Diplomová práce. MENDELU

Brno, 2008. 82 s

ÚHÚL. *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů* (online) [cit. 13. 3. 2010] Dostupné na

WWW: <<http://www.uhul.cz/oprl/>>

WIKIPEDIA. *Globální polohový družicový systém* (online) [cit. 10. 3. 2010] Dostupné

na WWW:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Globální_družicové_polohové_systémy>

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 *3D vizualizace digitálního modelu terénu ŠLP Masarykův les Křtiny*

(ArcScene)

Příloha č. 2 *Směry odtoku s vylišením základních povodí*

Příloha č. 3 *Mapa délky akumulovaného odtoku s řády toků dle Strahlera*

Příloha č. 4 *Akumulace odtoku s vylišením základních povodí*

Příloha č. 5 *Sklonitost*

Příloha č. 6 *Expozice území*

Příloha č. 7 *Landuse*

Příloha č. 8 *Porovnání rastru povodí (Basin / Hillshade)*

Příloha č. 9 *Aplikace DIFF-GIS*

SEZNAM ZKRATEK

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> – americký standardní kód pro výměnu informací
BMP	<i>Microsoft Windows Bitmap</i> – formát pro ukládání rastrové grafiky
DEM	digitální výškový model
DEMETERR	Digital Elevation Models – TERrain analysis
DMT	digitální model terénu
DMÚ25	Digitální model území 1:25 000
dpi	<i>dots per inch</i> – počet bodů na palec
DPZ	dálkový průzkum Země
ESRI	Environmental System Research Institute
GIS	geografický informační systém
GPL	General Public Licence – druh licence pro šíření software
GPS	<i>Global Positioning System</i> – globální družicový polohový systém
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i> – interpolační metoda
JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
LVS	lesní vegetační stupeň
LHP	lesní hospodářský plán
OPRL	Oblastní plány rozvoje lesů
ŠLP ML	Školní lesní podnik Masarykův les
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i> – nepravidelná trojúhelníková síť
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesů
VGIS	Vojenský geografický informační systém
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZVM50	Základní vodohospodářská mapa 1:50 000

OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

- Diplomová práce ve formátu PDF
- Přílohy ve formátu PDF
- Aplikace DIFF-GIS + vzorová data:
 - Akumulace odtoku z ArcGIS
 - Akumulace odtoku z IDRISI
 - Směry odtoku z ArcGIS
 - Směry odtoku z IDRISI
 - Povodí
 - Lesní vegetační stupně
 - Landuse
 - Sklonitost
 - Expozice
- Zdrojové soubory aplikace DIFF-GIS