

Hydrologické modelování v GIS Idrisi na základě DMT

Martin KLIMÁNEK¹, Petr DOUDA²

Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav geoinformačních technologií

Zemědělská 3, Brno, Česká republika

E-mail¹: klimanek@mendelu.cz

E-mail²: dpetr@centrum.cz

Anotace

Zjišťování hydrologických parametrů patří k významným analýzám digitálních modelů terénu (DMT). Cílem bylo kvantifikovat přesnost vylišení povodí na základě DMT vytvořeného z vrstevnicových dat DMÚ25 v prostředí geografického informačního systému Idrisi 14.02 Kilimanjaro. Testování bylo provedeno jednak při variabilní prahové velikosti povodí a jednak pro různou velikost pixelu DMT v rámci experimentální lokality Školního lesního podniku „Masarykův les“ Křtiny. Výsledná data byla porovnávána s rastrovou Základní vodohospodářskou mapou 1:50000.

Klíčová slova

GIS Idrisi, digitální model terénu, povodí, směr odtoku

Abstract

Hydrological analyses are one of the important derivations of digital elevation models (DEM). The paper is aimed at precision of watershed basin's analysis from DEM, which was built from digital contour data of The Digital Ground Model (DMÚ25) in GIS software Idrisi 14.02 Kilimanjaro. Quantification of precision was tested with variable size of pixel and also for variable threshold of watershed basins in area of The University Forest Enterprise. Results were also compared with The Basic Water Utilization Map of the Czech Republic in scale 1:50000.

Key words

GIS Idrisi, digital elevation model, watershed basin, flow direction

Úvod

Analýza hydrologických parametrů na základě DMT je velmi častou oblastí využití geografických informačních systému (GIS) v praxi. Rozsáhlejší nasazení GIS pro tyto úkoly bylo umocněno i katastrofálními povodněmi, které se v posledních letech dotkly několika oblastí v České republice a negativně ovlivnily hospodaření v zemědělských i lesních ekosystémech. Prakticky každý software pro GIS obsahuje základní funkce pro odvození kvalitativních charakteristik (např. vylišování povodí, směrů odtoku apod.) i kvantitativních charakteristik (např. výpočty akumulovaného odtoku, množství eroze apod.) daného území. Problém je však podstatně širší, protože tyto charakteristiky jsou zjišťovány na základě DMT a do jejich kvality se potom promítá jednak typ a kvalita použitých zdrojových dat a jednak i způsob vytvoření DMT (metoda prostorové interpolace dat).

Materiál a metodika

Pro praktickou aplikaci bylo vybráno území Školního lesního podniku se sídlem ve Křtinách u Brna (ŠLP Křtiny). Jedná se o účelové zařízení MZLU v Brně, které zajišťuje běžnou lesní výrobu a slouží Fakultě lesnické a dřevařské k zajišťování pedagogických, výzkumných, poloprovozních a ověřovacích úkolů. Vznik se datuje do roku 1923 a dnes ŠLP Křtiny obhospodařuje celkem 10 273 ha pozemků určených k plnění funkcí lesa [1]. Jedná se o arondovaný lesní komplex severovýchodně od města Brna, přerušovaný zemědělskými pozemky a intravilány několika obcí. Je značně členěn hlubokými údolími řeky Svitavy a Křtinského potoka a četnými bočními údolími a hlubokými žleby; jižním okrajem potom zasahuje až na hranici intravilánu města Brna.

Z této oblasti byla zajištěna i potřebná data. Konkrétně digitální vektorový výškopis z Digitálního modelu území (DMÚ25), jehož autorem je Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce [2]. Území ŠLP Křtiny, včetně nezbytného přesahu při tvorbě DMT, se nachází v měřítku 1:25000 na listech: M33-094-C-c, M33-094-C-d, M33-094-D-c, M33-106-A-a, M33-106-A-b, M33-106-B-a, M33-106-A-c, M33-106-A-d, M33-106-B-c. Dalším datovým zdrojem byly digitální rastry Základní vodohospodářské mapy 1:50000 (ZVM), které se nacházejí ve správě Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka v Praze [3]. Území ŠLP Křtiny se nachází na dvou listech ZVM: 24-32 (Brno) a 24-41 (Vyškov).

Z oblasti GIS byl vybrán produkt Idrisi. Idrisi ve své poslední verzi 15.0 „Andes“ patří k rastrově orientovaným systémům, který velmi rychle a kvalitně reaguje na aktuální poznatky z oboru geoinformatiky [4]. Software je vyvíjen od roku 1987 v Clark Labs (Clark University, Worcester MA, USA). Již od roku 1993 je Idrisi využíváno k výuce předmětů s náplní GIS a DPZ na LDF MZLU v Brně a studenti tak dostávají jedinečnou možnost porovnání s komerčně používanými systémy v praxi. V roce 1997 bylo ustaveno regionální centrum (IDRISI Resource Center - IRC) v ČR a SR. Toto centrum je společně administrováno MZLU v Brně a Technickou univerzitou ve Zvolenu. IRC pořádá každoroční setkání uživatelů IDRISI, poskytuje možnost školení systému a případně zastupuje Clark Labs na regionálních konferencích.

Pro vytvoření DMT byla použita data DMÚ25. Jedná se o vojenský výškopis srovnatelný s daty ZABAGED, ale mající tu „výhodu“, že veškeré linie jsou souvislé. Tedy, že i místa, kterými normálně nelze vést vrstevnice, byla určitým způsobem digitalizována. 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.

Vlastní tvorba DMT byla tedy realizována v programu Idrisi, formou nepravidelné trojúhelníkovité sítě (Triangulated Irregular Networks – TIN) pro následnou přípravu rastrového povrchu. Idrisi nabízí dva základní způsoby triangulace, a to „omezenou“ (constrained) a „neomezenou“ triangulaci (non-constrained). Rozdíl mezi těmito dvěma způsoby triangulace spočívá v tom, že při „omezené“ triangulaci se hrany trojúhelníků nesmí křížit s izoliniemi (vrstevnicemi), kdežto při „neomezené“ triangulaci hrany trojúhelníků izolinie křížit smí. V případě omezené triangulace nemusí vždy být zachována Delaunayho podmínka, ale výsledný DMT neobsahuje rozdílné hodnoty mezi interpolovaným povrchem a původními vrstevnicovými daty.

Další funkcí, kterou Idrisi Kilimanjaro nabízí je „Perform Bridge and Tunnel Edge removal“. Tuto operaci je technicky možné provést v případě použití „omezené“ i „neomezené“ triangulace, ale v případě „neomezené“ triangulace to není doporučeno. Průběh operace má dvě fáze. První, v níž je vytvořen TIN a druhá, kde jsou vyhledány a opraveny všechny

„Bridge/Tunnel Edges“ vytvořením kritických bodů a retriangulací. Idrisi Kilimanjaro definuje „Bridge/Tunnel Edge“ v případě, že koncové body jakékoliv strany vytvořeného trojúhelníka mají stejný atribut (výšku) a přitom spolu nesousedí na izolinii [5]. Znamená to tedy, že hrany trojúhelníků leží buď nad (bridge) nebo pod (tunnel) skutečným terénem (ovšem za předpokladu, že se nejedná o dokonale rovinný terén). Tato varianta algoritmu je pro metodu TIN velice užitečná, protože při využití vrstevnicových dat, která neobsahují výškové kóty (jak maxima, tak ale i minima), by vznikaly rovinné plochy na vrcholcích kopců a v údolích (lineární interpolace v trojúhelníku již z principu není schopna vypočítat jinou hodnotu).

Pro potlačení „Bridge/Tunnel Edges“ Idrisi poskytuje tři možnosti: parabolickou metodu, lineární metodu a optimalizovanou lineární metodu. Parabolická metoda spočívá ve vkládání osmi parabol v jednotlivých směrech. Pro vložení paraboly musí Idrisi nejdříve najít tři body ležící v jednom směru na liniích, u nichž je tedy kromě souřadnic (x, y) známa i hodnota atributu (z). Vložením parabol vznikají body ve vrcholu proložené paraboly odpovídající svou polohou kritickému bodu. Jak již bylo zmíněno, parabol je celkem osm (až na výjimky, kdy v některém ze směrů nemohla být parabola proložena, například z toho důvodu, že nebyly nalezeny tři odpovídající body) a tedy i osm jejich vrcholů. Výsledná hodnota pro kritický bod (tzn. modelovaný vrchol event. dno) je pak dána průměrem jednotlivých hodnot bodů ležících ve vrcholech vložených parabol. Lineární metodu lze použít k získání kritických bodů kopců s ostrým vrcholem. Tato metoda tedy tvoří protiklad metodě parabolické. Optimalizovaná lineární metoda je jakýmsi kompromisem mezi oběma výše zmiňovanými metodami. Tato metoda používá lineární interpolaci tam, kde sklony svahů mají nenulové hodnoty a parabolickou interpolaci v místech s nulovými sklony.

GIS Idrisi poskytuje i celou řadu analýz pro vytvořené DMT. Hydrologické analýzy zahrnují tyto základní funkce:

- Určení směrů odtoku (modul FLOW) – výsledkem je rastr, který ve stupních vodorovné kružnice ukazuje, jakým směrem z daného pixelu odtéká voda, která se na něm nachází. Algoritmus uvažuje stranovou i diagonální souvislost pixelů, tedy osm směrů (360°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°). Obsahuje i možnost zaplnění bezodtokých depresí, což je důležitý přípravný krok pro mnohé hydrologické analýzy.
- Výpočet povrchového akumulovaného odtoku (modul RUNOFF) – počítá povrchový akumulovaný odtok srážkových jednotek na pixel. Tuto analýzu lze zpřesnit přidáním rastru, ve kterém je pro každý pixel obsaženo množství srážek, které na něj dopadnou, dále propustnost povrchu, doba trvání srážky a počáteční hodnota absorpce povrchu. Obdobně obsahuje i možnost zaplnění bezodtokých depresí.
- Determinaci povodí (modul WATERSHED) – uživatel má na výběr ze dvou možností. Buď zvolí automatický postup, při kterém zadá minimální rozlohu povodí (zadáva se počtem pixelů). Nebo zadá tzv. uzavírací profil. Determinovat povodí začíná modul od „cílových bodů“ směrem od nich resp. směrem nahoru, do míst s vyšší nadmořskou výškou, a hodnotí zda každý pixel obdrží či neobdrží „přítok“ od sousedního pixelu. Pokud ho obdrží, je klasifikován jako součást povodí.
- Revidovanou univerzální rovnici ztráty půdy (modul RUSLE) – tento modul je implementován až od verze Kilimanjaro a využívá DMT pro určení některých parametrů této rovnice [6]; od verze Andes je doplněn o modul SEDIMENTATION, který prostorově kvantifikuje ztrátu a depozici půdy erozní činností.

Dosažené výsledky

Výsledný DMT byl vytvořen „omezenou“ triangulací z linií vrstevnic za využití parabolické varianty „Bridge and Tunnel Edge removal“. Poslední volbou byla velikost pixelu rastrů DMT. Pro následné využití byla zvolena velikost čtvercových pixelů 5 m a 10 m. Idrisi však neposkytuje volbu přímého nastavení této hodnoty, a tak odečtením maximálních a minimálních polohových souřadnic zpracovávaného území a vydělením požadovanou velikostí jednoho pixelu byla získána hodnota počtu sloupců a řad výsledného rastru. Tato hodnota se potom zadává do dialogového okna pro tvorbu rastrového souboru z TIN (modul TINSURF). Výsledný DMT byl vytvořen s přesahem 500 m za hranice ŠLP Křtiny.

Pro kontrolu a porovnání byla dále zvektorizována jednotlivá povodí z rastrové Základní vodohospodářské mapy 1:50000 (viz obr. 1). Celkem bylo vylíšeno 39 povodí, přičemž u každé plochy byly zaznamenávány další atributy: číslo hydrologického pořadí (všechna povodí patří do povodí Dunaje – úmoří Černého moře, a do hydrologického pořadí toků „Svratka po Svitavu“, „Svitava“ a „Svratka od Svitavy po Jihlavu“), dále výměra povodí a logická hodnota, zda-li se jedná o část povodí (v případě, že povodí pokračuje až za hranice ŠLP, včetně přesahu).



Obr. 1: Vektorizovaná povodí Základní vodohospodářské mapy 1:50000

Použitím automatické varianty modulu WATERSHED byla vytvářena povodí na základě DMT a zadáním prahové hodnoty minimálního počtu pixelů, které budou tvořit povodí. Prahové hodnoty byly zvoleny pro velikost povodí 5 km², 2 km², 1 km², 0,5 km² a 0,1 km². Při práci s algoritmem modulu WATERSHED [7] je nutné zohlednit některé specifčnosti a omezení. Při volbě povodí nesmí být prahová hodnota příliš malá, protože maximální počet povodí, která mohou být vylišena, je limitován počtem 32000. Naopak příliš velká hodnota způsobuje, že algoritmus nevytvoří povodí na okraji DMT, protože přesáhnou svými rozměry zadanou oblast. Také je nutné mít dostatek volného místa na disku, protože během zpracování se vytváří řada dočasných souborů, jejichž velikost je dána součinem sloupců a řad rastru DMT s konstantou 22. Z výše uvedeného byla vybrána prahová hodnota 0,5 km², která maximálně kompromisně vyhovovala studované oblasti. Jednotlivá dílčí povodí, která vznikla uvnitř povodí dle ZVM byla seskupena reklasifikací za pomoci modulu ASSIGN. Do dalších analýz bylo použito pouze 16 povodí, která nepokračovala dále za hranice ŠLP Křtiny včetně přesahu 500 m (viz obr. 1 a tab. 1).

Číslo povodí dle ZVM 1:50000	Plocha dle ZVM [km ²]	Plocha z vektorizace [km ²]	Plocha povodí z 10m DMT [km ²]	Chyba* povodí z 10m DMT [km ²]	Plocha povodí z 5m DMT [km ²]	Chyba* povodí z 5m DMT [km ²]
4-15-02-093	1,933	1,835	1,310	0,565	1,310	0,566
4-15-02-092	2,721	2,749	2,927	0,253	2,932	0,248
4-15-02-091	8,079	9,224	8,847	0,578	8,579	0,843
4-15-02-094	5,507	5,651	5,526	0,195	5,525	0,194
4-15-02-095	3,389	3,479	4,204	0,090	4,214	0,087
4-15-02-097	6,331	6,249	7,049	0,081	7,691	0,087
4-15-02-104	4,459	4,430	4,397	0,101	5,711	0,073
4-15-02-102	6,724	6,697	6,795	0,115	5,976	0,909
4-15-02-099	8,143	8,212	8,569	0,124	8,511	0,122
4-15-02-098	8,610	8,478	8,582	0,110	8,602	0,111
4-15-02-100	10,298	10,664	10,750	0,115	10,237	0,597
4-15-03-093	8,574	8,631	8,550	0,277	8,512	0,302
4-15-02-108	10,006	9,833	9,833	0,198	9,848	0,180
4-15-02-105	22,866	22,445	22,467	0,211	22,438	0,221
4-15-02-106	6,849	6,753	6,753	0,168	6,804	0,174
4-15-01-155	6,323	6,244	6,385	0,101	6,344	0,145

Tab. 1: Plochy povodí dle ZVM a nově vytvořených povodí z DMT

**) Suma plochy, která byla vylišena mimo dané povodí nebo naopak nebyla vylišena v daném povodí vzhledem k hodnotě z vektorizované ZVM 1:50000.*

Pro vytvoření DMT a plochu území ŠLP Křtiny (již bez přesahu 500 m) byly také zjištěny směry povrchového odtoku pomocí modulu FLOW (viz tab. 2). Algoritmus vylišuje na základě stranové a diagonální souvislosti pixelů 8 základních směrů odtoku v závislosti na světových stranách. Dále vzhledem k typu algoritmu je možné odstranit tzv. lokální deprese (local pits), čili eliminovat lokálně vyšší místa v DMT ve směru spádu, která způsobují přerušení odtoku a narušují výpočet.

Směr odtoku	Plocha z 10m DMT [km ²]	%	Plocha z 5m DMT [km ²]	%
S	16,426	11,15	16,528	11,22
SV	18,557	12,59	18,436	12,51
V	14,596	9,91	14,906	10,12
JV	15,778	10,71	15,664	10,63
J	21,097	14,32	21,441	14,55
JZ	24,383	16,54	24,089	16,34
Z	19,237	13,05	19,273	13,08
SZ	17,283	11,73	17,019	11,55

Tab. 2: Směry odtoku na základě DMT

Závěr

Plocha povodí uvedená v ZVM a následně vektorizovaná vykazuje rozdíly od 0,027 km² až do 1,145 km² se směrodatnou odchylkou 0,279 km². Kontrolou byly vyloučeny hrubé chyby při digitálním zpracování a pokud uvažíme i měřítko mapy, tak nepřesnosti se patrně nachází v analogových podkladech. Do dalších výpočtů tak vstupovaly plochy z vektorizovaných povodí.

Chyby, které vznikly v ploše nových povodí oproti těm, která jsou vylišena v ZVM se pohybují od 0,073 km² do 0,0909 km² (směrodatná odchylka 0,272 km²) u 5 m pixelu DMT a od 0,081 km² do 0,578 km² (směrodatná odchylka 0,155 km²) u 10 m pixelu DMT. Při srovnání těchto výsledků je zřejmé, že 10 m pixel DMT je plně dostačující, dokonce vykazuje lepší výsledky (směrodatná odchylka je téměř poloviční). Pro zpracování je tedy možné efektivně šetřit ukládací prostor a čas volbou velikosti pixelu ve dvojnásobku intervalu vrstevnic. Další zvětšování pixelu (na 20 m a více) by již vedlo ke ztrátě detailu v DMT a degradovalo by výpočet i možnosti vstupních dat.

Obdobně lze postupovat i pro výpočet směrů povrchového odtoku, kde jsou rozdíly mezi 5 m pixelem a 10 m pixelem v DMT průměrně 0,2 km², což představuje 0,13 %. Směry povrchových odtoků jsou na území ŠLP Křtiny celkem rovnoměrně zastoupeny. Převládá odvodňování v jižním a jihozápadním směru, což koresponduje s tokem řeky Svitavy, která tvoří hlavní vodoteč v ŠLP Křtiny.

Poděkování

Referát vznikl za podpory z grantu IGA MZLU v Brně č.54/2006 „Optimalizace digitálního modelu terénu pro potřeby lesnických disciplín“.

Literatura

- [1] Textová část LHP pro LHC ŠLP Masarykův les Křtiny [platnost 1.1.2003 – 31.12.2012]. Brno: Lesprojekt Brno, a.s., 2003.
- [2] Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad [online]. c2004 MO, poslední aktualizace dne 1.1.2006 [cit. 15.03.2006]. Text v češtině, angličtině. Dostupný z WWW: < <http://www.army.cz/acr/geos/index.html> >.
- [3] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka [online]. c1997-2006 VÚV T.G.M., poslední aktualizace dne 10.1.2006 [cit. 15.03.2006]. Text v češtině, angličtině. Dostupný z WWW: < <http://www.vuv.cz/> >.
- [4] WWW stránky produktu Idrisi [online]. c2006 Clark Labs [cit. 15.03.2006]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: < <http://www.clarklabs.org/> >.
- [5] Eastman, J. R. IDRISI Kilimanjaro Tutorial. v. 14.002. Worcester, MA, USA: Clark Labs, Clark University, 2003. 271 p.
- [6] Suk, P. Možnosti kvantifikace erozního ohrožení půdy v GIS Idrisi. [s.l.], 2005. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Klimánek. Fakulta lesnická a dřevařská. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- [7] Jenson, S., Domingue, J. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 54:11, 1593-1600.