

Príklady využitia systému GRASS v geografii

Samuel Malecký

Pedagogická fakulta KU v Ružomberku

E mail: samuel.malecky@gmail.com

Abstrakt

Práca je zameraná na nájdenie a výber príkladov využitia vybraných funkcií GIS GRASS v geografii. Ide o modelovanie reliéfu s využitím splajnových funkcií, dopĺňanie prázdnych dát pri formáte SRTM, ukážky zmien osvetlenia reliéfu, modelovanie nerovností povrchu, zobrazovanie erózných rýh a určovanie spádových oblastí pre ne, príklad vektorových analýz dopravnej dostupnosti a iné. V práci je opísaný postup a funkcie využitia GIS GRASS na príkladoch prevzatých zo zdrojov dostupných na internete.

1 Príklady využitia systému GRASS

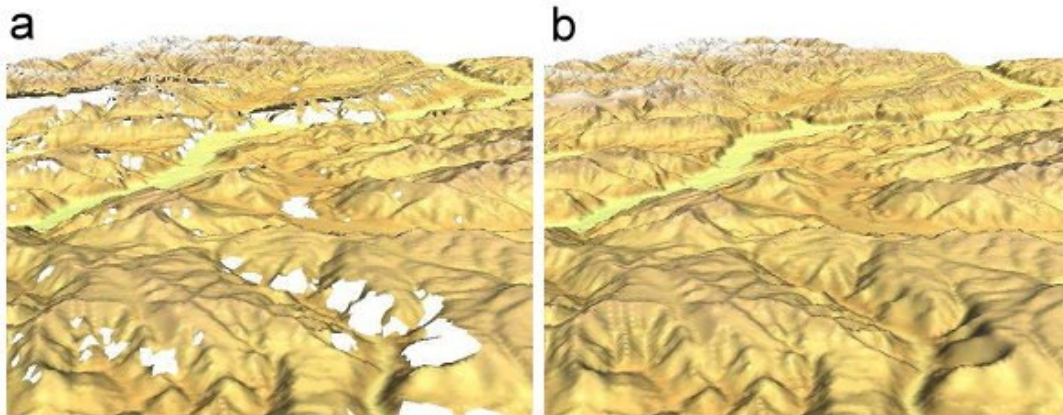
1.1 Dopĺňanie prázdnych (void) dát rastrových máp použitím interpolácie splajnom

Ako uvádza Neteler (2005), Misia Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) mala za úlohu získať topografické údaje o Zemi pre vytvorenie najkompletnejšej digitálnej topografickej databázy s vysokým rozlíšením na Zemi. SRTM pozostával zo špeciálne upraveného radarového systému na palube raketoplánu Endeavour počas 11 dňovej misie vo februári roku 2000. SRTM dáta (pozri kap. 3.2.2) sú dostupné v 3 arcsekundách¹ = 3-arcsec, čo znamená približne v 90 m rozlíšení. V 1-arcsec (približne 30m) sú k dispozícii údaje pre Spojené štáty americké.

Príkaz **r.in.srtm** distribuovaný s GRASS 6.0 je určený pre 3-arcsec dáta. Pre načítanie 1-arcsec dát je potrebný potrebovať **r.in.srtm** skript, ktorý je dostupný od vývojovej verzie GRASS 6.3. Nespracované dáta sú distribuované bez obmedzení a je možné ich stiahnuť z NASA FTP servera². Údaje SRTM obsahujú prázdne dáta (diery), kde voda, prípadne sneh alebo silné tieň zabránili vyhodnoteniu nadmorskej výšky. Aj to sa dá ale bez problémov ošetriť pomocou rastrového príkazu **r.fillnulls** (obr. 4.1).

¹ 1 arcsekunda (arcsec) sa rovná 1/3600 uhlového stupňa alebo 1/206265 radiánu. Je možné predstaviť si ju ako šírku ľudského vlasu pozorovaného zo vzdialenosti 30 stop. Symbolom je ". Zdroj: Hanžl, D. (2006): Začátek svitání pro Hinodeh. [Online], [cit. 16.3.2006] dostupné na internete: <http://astro.sci.muni.cz/clanek.php?id=556>

² NASA FTP server. <ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/>, [Online], [cit. 22.1.2010]



Obr. 4.1 Originálne SRTM dáta z oblasti Trento – Taliansko (a) a SRTM dáta doplnené modulom r.fillnulls (b).
Zdroj: Neteler (2005)

Tento skript vyberie kruh hodnôt okolo diery a interpoluje hodnoty cez diery využitím regularizovaného splajn s tenziou (pozri kap. 3.3.3). Nakoniec sú neprístupné diery vsunuté do originálnych dát. Základnou myšlienkou je ponechať nedotknutých čo najviac hodnôt (Neteler 2005).

1.2 Kombinácia voľne dostupných elevačných(SRTM), vektorových (VMap0) a GPS dát

M. H. Bowman (2005) predstavuje pre načrtnutie možných kombinácií rastrových a vektorových dát využitie SRTM rastrovej vrstvy elevácie, ktorú prekrýva VMap0 vektorová vrstva ciest (pozri kap. 3.2.2) doplnená GPS (pozri príloha, text 1) súradnicou.

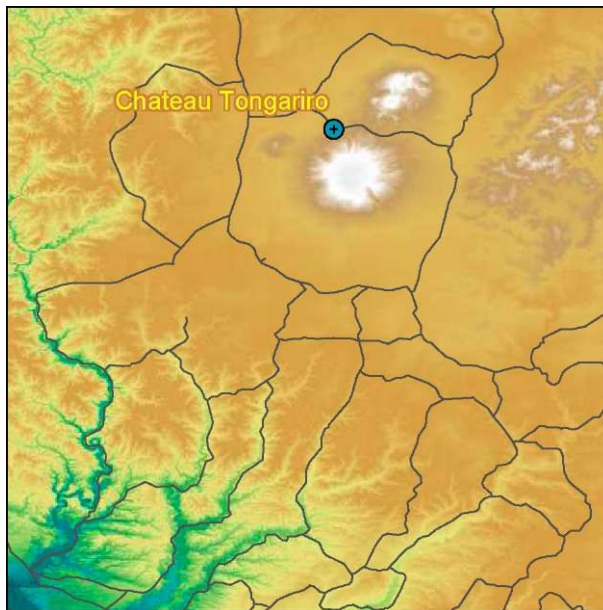
Webová stránka Mapability.com³ poskytuje jednoduché rozhranie pre sťahovanie komprimovaných verzií VMapO dát v mierke 1:1 miliónu z NIMA (National Imagery and Mapping Agency). Údaje VMapO sú rozdelené do niekoľkých kontinentálnych oblastí. Austrália (Nový Zéland), o ktorú máme v tomto príklade použitia záujem, je obsiahnutá v "sasaus" regióne. VMapO dataset súbor musí byť po stiahnutí extrahovaný. Naproti tomu, dáta SRTM sú prístupné GRASSom vo svojej komprimovanej podobe.

Obe SRTM aj VMapO dáta sú distribuované v súradniciach zemepisnej šírky a dĺžky, aj keď sa používa rôzne geodetické referenčné parametre⁴. Ak existuje predpoklad, že chyba z nesprávne nastavených referenčných parametrov je menšia než vlastná chyba rozlíšenia

³ Server Mapability.com s voľne dostupnými VMapO a VMap1 dátami. [Online], [cit. 15.3.2010]
<http://www.mapability.com/index1.html>

⁴ Geodetické referenčné parametre definujú veľkosť a tvar, pôvod a orientáciu súradnicového systému. WGS 84 je svetovo uznávaný geodetický štandard vydaný ministerstvom obrany USA roku 1984, ktorý definuje súradnicový systém, referenčný elipsoid a geoid pre geodéziu a navigáciu.

VMapO dát, je možné načítať všetko pomocou súradnicového systému WGS84 (EPSG kód #4326).



Obr. 4.2 Pohľad na novozélandský Národný park Tongariro, SRTM rastrová vrstva elevácie prekrytá VMap0 vektorovou vrstvou ciest s GPS súradnicou a jej atribútom. Zdroj: Bowman (2006)

Okrem formálnych datasetov je možné importovať dáta z miestnej mapy alebo GPS pozíciu využitím **v.in.ascii** modulu. Tento modul umožňuje užívateľovi import generických bodov, línií a polygónov z ASCII súboru. Napríklad klasický zámok Tongariro postavený v roku 1929 je situovaný na úpätí hory, na približne $39,203^\circ$ j.g.š. a 175.540° v.g.d. Vďaka aplikácii GPS systému je zobrazený ako bod na vektorovej mape s priradeným atribútom, názvom Chateau Tongariro (obrázok 4.3). Príkaz pre import je nasledovný:

```
GRASS:~ > echo "175.540|-39.203|Chateau Tongariro" | v.in.ascii output=chateau
```

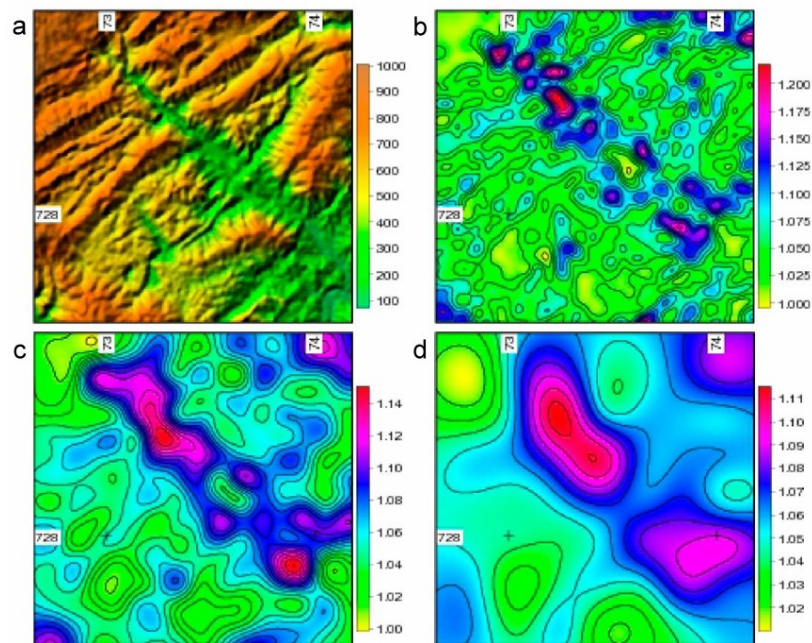
1.3 Morfometrická analýza nerovnosti povrchu

C. H. Grohmann (2006) v článku uverejnenom v publikácii GRASS Newsletter vol.4 stručne popisuje nástroj pre morfometrické analýzy v GRASSe. Ide o **r.roughness**, shell skript napísaný pre výpočet nerovnosti (drsnosti) rastrových povrchov. Metóda je založená podľa R. D. Hobsona (1972) na jednoduchom princípe, kde je nerovnosť definovaná ako pomer medzi povrchom a rovinou oblasti rozdelenej do štvorcových buniek. Tento skript vytvorí štvorcové subregióny s veľkosťou definovanou používateľom (obr. 4.4). V každom subregióne budú skutočné a rovinné plochy vypočítané pomocou príkazu **r.surf.area** a

výsledky (body v centre subregiónov) budú interpolované s **v.surf.rst**⁵. Užívateľ môže tiež nastaviť rozpinanie a vyhladenie parametrov interpolácie.

Autor považuje túto metódu vhodnú pre morfológickú charakterizáciu, pretože súvisí predovšetkým s tvarom krajinných foriem a nie s jej eleváciou. Preto tektonicky naklonené plochy sú vyjadrené, zatiaľ čo by mohli byť maskované v hypsometrickej mape ako dôsledok zmeny výšky.

Skript **r.roughness** má päť možností: *map* (mapa), *grid* (mriežka), *rough* (nerovnosť), *tension* (rozpinanie) a *smooth* (vyhladenie). V riadku *mapa* je priestor pre zadanie vstupného povrchového rastru a je jediná povinná možnosť. *Grid* je veľkosť subregiónu, v ktorých sa bude vypočítavať nerovnosť, pričom predvolená hodnota je 1000 m. *Rough* je možnosť pre zadanie názvu výstupnej mapy. *Tension* a *smooth* budú využité v **v.surf.rst** (pozri kap. 3.3.3) pri interpolácii hodnôt drsnosti. Predvolené hodnoty sú rozpinanie = 40 a vyhladenie = 0,1 (Grohmann 2006).



Obr. 4.3 Analýza nerovnosti povrchu skúmaného územia (a) a výsledné mapy nerovnosti povrchu so zadanou hodnotou grid=500m (b), grid=1000m (c) a grid=2000m (d)⁶

⁵ v.surf.rst – priestorová aproximácia (interpolácia) a topografická analýza z daných bodov alebo izolínií vo vektorovom formáte do rastrového formátu s pohyblivou rádovou čiarkou použitím regularizovaného splajnu s tenziou

⁶ Zdroj: Grohmann, C. H. (2006): r.roughness – a new tool for morphometric analysis in GRASS. GRASS Newsletter, Vol. 4, pp 17-19, ISSN 1614-8746. [Online], [cit. 15.3.2010] dostupné na internete: http://www.osgeo.org/files/news/GRASS_OSGeo_News_vol4.pdf

Prezentované príklady máp na obrázku 4.4 sú z oblasti nachádzajúcej sa v juhovýchodnej Brazílii, južnej časti štátu Sao Paulo. Priekopy v smere SZ-JV presekávajú celú oblasť a majú silný vplyv na geomorfologický vývoj a konečný vzhľad reliéfu (obr. 4.4 a). Drsnosť (nerovnosť) povrchu bola vypočítaná pre siete subregiónov s veľkosťou 500, 1000 a 2000 m.

S mriežkou veľkosti 500 m (obr. 4.4 b) je možné pozorovať dobrú koreláciu s charakterom terénu. Vyššie hodnoty nerovnosti dosahujúce hodnoty až 1,2 sú spojené s údolím rieky Bethary tečúcej v smere priekop. Vychádzajúc z geologických pomerov v tejto oblasti, krasové údolia majú menšie hodnoty nerovnosti ako nekarbonátové hrebene, čo je spôsobené rozličným vplyvom erózie. Všeobecnejší prehľad o geológii ponúka mapa s mriežkou veľkosti 1000 m (obr. 4.4 c), aj keď v konečnom dôsledku nie je možné individualizovať každú karbonatickú jednotku. Hodnota *grid* nastavená na 2000 metrov (obr. 4.4 d) nedáva veľa informácií, čo naznačuje, že charakter reliéfu v tejto oblasti nemôžu byť dobre opísané s takto veľkou hodnotou mriežky.

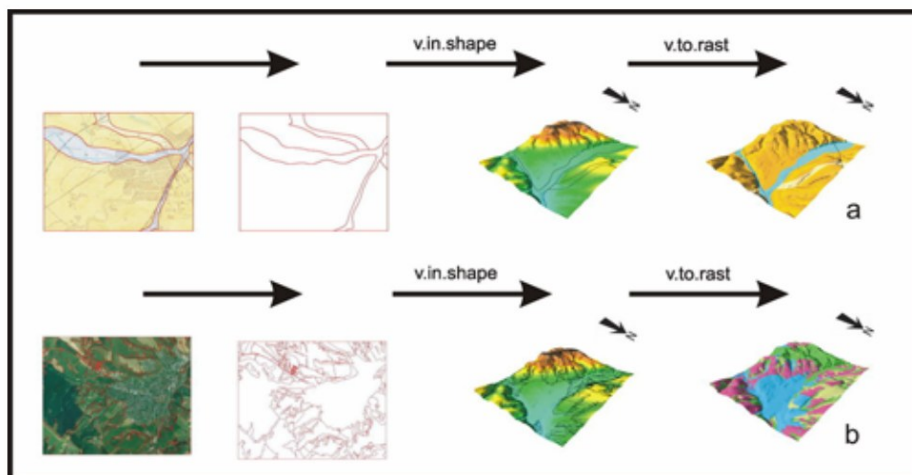
1.4 Modelovanie hrozby výmoľovej erózie

Pojem výmoľová erózia pôdy zahŕňa komplexný prírodný jav, ktorý sa inicializuje sústredením povrchového toku vody do siete hlbokých lineárnych foriem reliéfu na svahoch počas extrémnych zrážok (Zachar 1970). Vznik výmoľov v podmienkach Slovenska je podmienený prevažne antropicky, a to zmenou využívania zeme. Spúšťacím mechanizmom procesu výmoľovej erózie sú však extrémne zrážky (Stankoviansky 2003).

Podľa Š. Koca (2007), jedným z riešení tohto problému je modelovanie vzniku výmoľovej erózie. Cieľom týchto modelov je lokalizovať miesta náchylné na vznik výmoľov s možnosťou predikovať následky a poskytnúť podklady pre hodnotenie prípadných ochranných opatrení.

Skrátený postup

Pre potreby modelu hrozby výmoľovej erózie (Minár a Tremboš 1994) je potrebné vytvoriť vstupný parameter horninového podložia. Tento parameter bol získaný vektorizáciou areálov jednotlivých vrstiev geologickej mapy 1:50 000 (Nemčok 1986) v GISe ArcView. Práve na tomto príklade vidieť, že kombinácia niekoľkých GISov je v niektorých prípadoch najvhodnejšia. Týmto areálom bol pridelený atribút názvu geologickej vrstvy, ktorú reprezentujú (obr. 4.5 a).

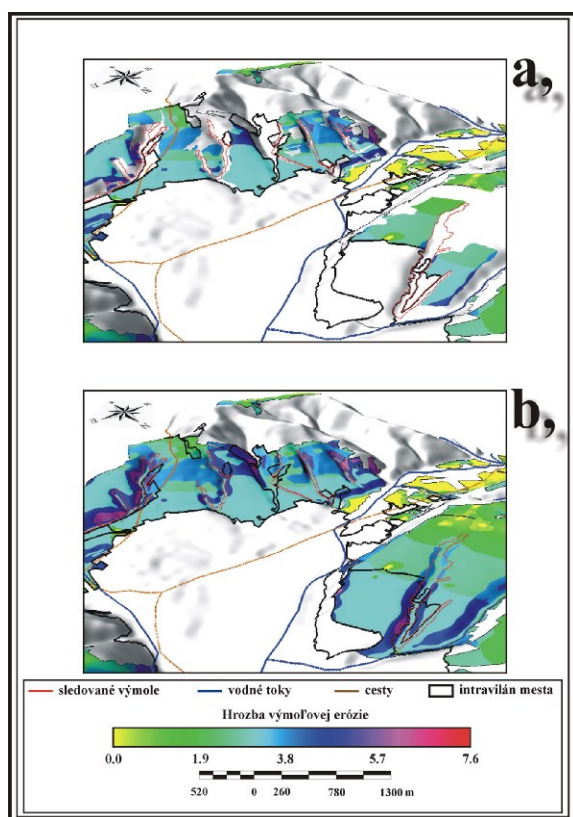


Obr. 4.4 Tvorba mapy horninového podložia (a) a využitia zeme (b). Zdroj: Koco (2007)

V použitých modeloch bol zohľadnený antropogénny vplyv, vytvorením mapy využitia zeme (obr. 4.5 b), ako ďalšieho relevantného faktora vstupujúceho do procesu výmoľovej erózie. Mapa bola vytvorená, podobne, ako v predchádzajúcom prípade, vektorizáciou areálov využívania zeme z ortofotomapy daného územia z roku 1997 v rozlíšení

1m v GISe ArcView, pričom ako atribút bol uvedený názov areálu podľa charakteru využívania. Určené boli areály ornej pôdy, lúk a pasienkov, lesnej pôdy a nakoniec plochy zastavaného územia.

Vektorizované mapy horninového podložia, ako aj využitia zeme boli následne importované do GISu GRASS prostredníctvom príkazu **v.in.shape**. Takto importované mapy sú v GRASSe uložené vo vektorovom údajovom modeli. Aby ich bolo možné aplikovať do testovaných modelov, museli byť pretransformované do rastrového údajového modelu pomocou príkazu **v.to.rast** (obr. 4.5 a, 4.5 b). Táto transformácia vektorových dát do rastru je podrobnejšie opísaná v kapitole 3.3.1.



Obr. 4.5 Model hrozby výmoľovej erózie pre súčasný stav (a) a stav pred vznikom výmoľov (b)⁷

⁷ Zdroj: Materiály k projektom J. Hofierku. <http://www.fhpu.unipo.sk/kagerr/pracovnici/hofierka/projekty/vymol.jpg>, [Online], [cit. 11.3.2010]

Autori J. Minár a P. Tremboš (1994) uvádzajú model, ktorý zachytáva existujúce prejavy erózie (výmole) a klasifikujúci celé územie na základe náchylnosti k tejto erózii. Spravidla prírodnú hrozbu je možné vyjadriť vo fyzikálnych jednotkách. V zmysle tohto modelu hodnota hrozby výmoľovej erózie V je určená vzťahom: $V = \frac{S \cdot D}{L}$, kde S je faktor sklonu svahu, D je faktor dĺžky svahu a L je faktor odolnosti hornín.

Hodnoty faktora odolnosti hornín L sú odvodené na základe kritických rýchlostí pre výmoľovú eróziu. Vzhľadom na geologický monotónny charakter územia bol faktor odolnosti hornín na celom území konštantný ($L=2$) pre íly, štrky a hlinito-kamenité delúviá. Hodnoty faktorov sklonu a dĺžky svahu boli vypočítané v GISe GRASS reklasifikáciou máp sklonov a dĺžky svahu na hodnoty faktorov podľa tabuliek hodnôt faktorov pre intervalové rozdelenie sklonu a dĺžky svahu uvedených v práci J. Minára a P. Tremboša (1994) aplikáciou príkazu **r.recode**, ktorý umožňuje vytvoriť z existujúcej mapovej vrstvy novú, s kategóriami podľa nami zvolených pravidiel (Neteler a Mitasova 2004). Výsledný 3D model hrozby výmoľovej erózie sa nachádza na obrázku 4.6.

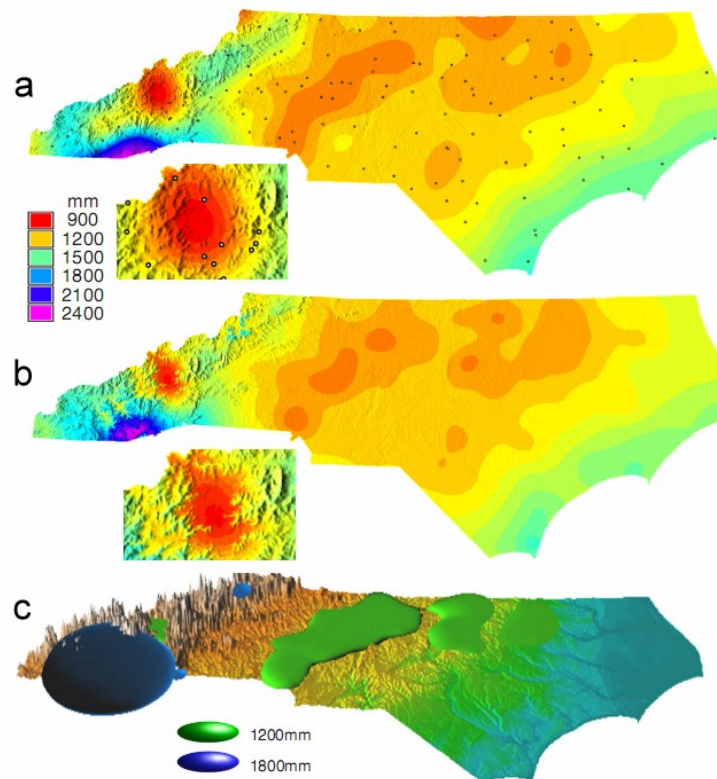
1.5 Interpolácia zrážok

Viacnásobná interpolácia Podľa M. Netelera a H. Mitasovej (2008) je hodnotným nástrojom pre zahrnutie vplyvu ďalších premenných. Napríklad pre interpolovanie zrážok s vplyvom topografie, môže byť použitý príkaz **v.vol.rst** pre trojpremennú (3D) verziu interpolačnej metódy regularizovaného splajnu s tenziou – RST (pozri kap. 3.3.3). Tento prístup vyžaduje 3D vektorové body zrážok (x, y, z, p) a raster DEM (pozri kap. 3.3.2). Výsledkom je rastrová mapa zrážok vypočítaná ako priesečník modelu množstva zrážok s nadmorskou výškou povrchu. Ako zdroj dát bol použitý dataset North Caroline, ktorý obsahuje rad rastrových, vektorových či bodových dát v natívnom formáte GRASSu.

Ako príklad boli použité 30 rokov merané priemerné ročné úhrny zrážok na podklade rastrovej mapy Severnej Karolíny (štát USA - celoštátnej DEM s 500m rozlíšením) na základe údajov z viac ako 137 meteorologických staníc. Vstupné vektorové body dostupné s datasetom *precip_30ynormals_3d* zahŕňajú 3D súradnice pre jednotlivé meteorologické stanice a 30 ročný mesačný a ročný priemer zrážok ako atribúty v pohyblivej rádovej čiarke. Výstupom je 2D mapa *precip_anntopo90_500m* predstavujúca územné rozloženie ročných zrážok (obr. 4.7). Nastavené boli oba 2D aj 3D horizontálne rozlíšenia regiónov na rozlíšenie vstupnej mapy DEM (500 m). Definovaná bola vrstva hĺbky medzi 0 m a 2000 m elevácie

(spodná a horná hranica), nastavením vertikálneho rozlíšenia *tbres* na 2000 m použitím *g.region*.

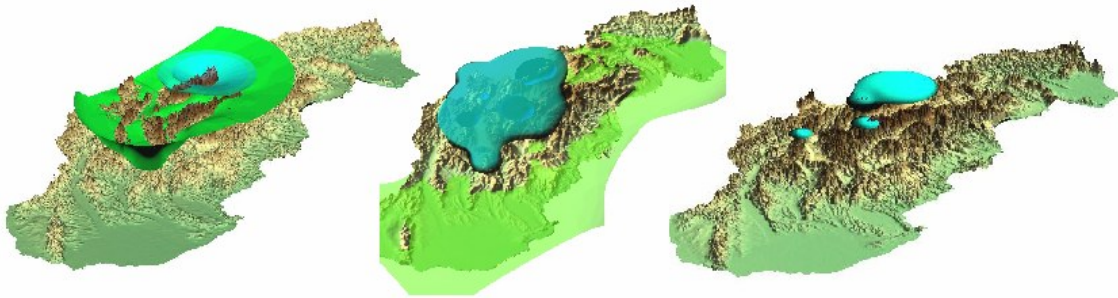
Aby sa zabezpečilo, že interpolácia je vykonaná iba pre oblasť štátu Severná Karolína (North Carolina), bolo nastavené územie MASK pomocou dodaného rastrového súboru *ncmask_500m*. Pre porovnanie boli vypočítané 2D zrážkové rastrové mapy bez a s vplyvom topografie nasledovne (obr. 4.7).



Obr. 4.6 Interpolácia zrážok s vplyvom topografie: a) rozloženie zrážok pomocou interpolácie majúcej dve premenné pomocou *v.surf.rst*, body predstavujú klimatické stanice, b) zrážok s vplyvom topografie prekladané do *v.vol.rst*. c) Povrch elevácie prelínajúci sa s 1200 mm a 1800 mm zrážkovými izoplochami. Zdroj: Neteler a Mitasova (2008)

Veľmi podobná analýza ako na predošlom príklade bola vytvorená pre zrážky na Slovensku už v roku 2002 v prvom vydaní knihy „Open source GIS: a GRASS GIS approach“ Markus Neteler a Helena Mitasova v druhom vydaní (2004) prezentujú tú istú interpoláciu zrážok na základe meraní meteorologických staníc. Použitý bol podklad digitálneho výškového modelu DEM s rozlíšením 500 metrov definovaným príkazom *g.region*. V tomto datasete sú ale body definované ešte v “sites” formáte a tieto bodové dáta sú interpolované príkazom *s.vol.rst* na 3D grid (pozri poznámka pod čiarou 19).

Modul NVIZ (pozri kap. 3.4.2) obsiahnutý v GIS GRASS 6.3 obsahuje tzv. Volume Panel. Zmenou hodnôt sa dosahujú rôzne izoplochy, ktoré reprezentujú územia s rovnakým priemerným úhrnom zrážok a tak môžu vzniknúť rôzne výstupy (obr. 4.8). Tento prístup zachytáva oveľa komplexnejšiu, priestorovo variabilnú spojitosť medzi zrážkami a eleváciou ako tradičné metódy, ktoré sú založené na štatistickej korelácii.



Obr. 4.7 2.5D mapa Slovenska s eleváciou prekrytá 3D rastrom rozloženia zrážok s rôzne zadanými hodnotami. Zdroj: <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/grasswork>, [Online], [cit. 22.3.2010]

1.6 Vektorové sieťové analýzy – optimalizácia spádových oblastí

Podľa M. Netelera (2000 a 2003) sú sieťové analýzy založené na topológii dát. Funkčnosť vektorových sieťových analýz je zabezpečená knižnicou DGLib (Direct Graph Library). K dispozícii sú nasledujúce moduly určené pre analýzy sietí:

- analýza najkratšej cesty (δ .πατη a π.νετ.πατη)
- podsiete v rámci vektorovej siete (π.νετ.αλλοχ)
- úloha minimálneho Steinerovho stromu (π.νετ.στεινερ)
- úloha obchodného cestujúceho (π.νετ.σελεσμ αν)
- analýza nákladov (π.νετ.ισο)

Vzorový príklad vektorovej sieťovej analýzy podsietí v rámci vektorovej siete predstavuje M. Neteler (2000 a 2003). Ide o príklad vytvorenia mapy spádových oblastí vzťahujúcich sa k východiskovým bodom (kliniky), z ktorých dorazí najrýchlejšie prvá pomoc. Do úvahy je možné zobrať rôzne faktory (najvyššia povolená rýchlosť, stav ciest, jednosmerné cesty...) priradených v závislosti na smere vektorových línií a polohe uzlov (ciest a križovatiek). Ide teda o aplikáciu analýzy cestnej siete.

Skrátený postup

Pre import dát bol použitý voľne dostupný dataset. Pri tomto príklade sa jedná o dáta z projektu FRIDA. Ide o vektorové dáta (pozri kap. 3.1.2) mesta Osnabrück⁸ (Nemecko).

⁸ FRIDA server s voľne dostupným datasetom mesta Osnabrück. <http://frida.intevation.org/download.html>, [Online], [cit. 30.3.2010]

Okrem aktuálnej siete ciest obsahuje dataset aj informácie o riečnej sieti a o významných objektoch (kliniky, školy, atď.). Dáta sú uložené vo formáte ShapeFile.

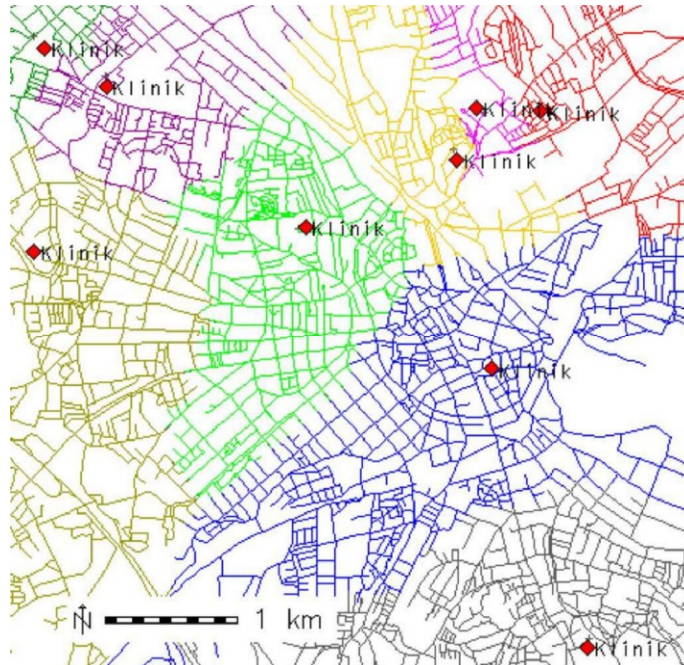
Vytvorenie `location` v súradnicovom systéme Gauss-Krüger je automatické. Prípadné problémy s topológiou dát by mali byť vyriešené pri importe modulom `v.in.ogr`. Pokiaľ sa aj napriek tomu pri importe objavia chybové výpisy, napr. pri polygónových dátach (FRIDA v1.0.1), je možné tieto chyby napraviť v topológii pomocou modulu `v.clean`.

Najskôr je potrebné obohatiť vektorovú mapu o ďalšiu internú vrstvu 2 (`layer`). To napokon umožní priradiť k mape ďalšiu atribútovú tabuľku.

Príkaz: `GRASS:~ > v.category body out=body_2f layer=2 op=add`

Po importe boli extrahované z mapy `body_2f` iba body zodpovedajúce klinikám v priestore mesta Osnabrück.

Na obrázku 4.9 je znázornená východisková situácia pri určovaní optimálnych hraníc oblastí. Aby mohli byť kliniky priradené sieti ciest, je dôležité ich pred vlastnou operáciou integrovať do tejto siete. Navyše je potrebné prideliť jednotlivé kategórie práve vo vrstve číslo 2, ku ktorej sa budú neskôr vzťahovať výpočtové operácie.



Obr. 4.8 Spádové oblasti príslušných kliník na základe najkratšieho potrebného času v závislosti na dĺžke trasy. Zdroj: Neteler (2000 a 2003)

Toto priradenie je realizované v dvoch krokoch. Najskôr je spojená mapa kliniky s mapou ciest do novej mapy cesty_kliniky. Atribútové tabuľky sú spojené na základe čísla vrstvy (layer). Následne sa pristúpi ku kroku, v ktorom sa zakomponujú vo vytvorenej mape cesty_kliniky referenčné body kliník do cestnej siete. Mapa kliniky_net obsahuje sieť ciest, kliniky a spojovacie línie medzi klinikami a cestami. Atribúty kliník sú prístupné vo vrstve číslo 2, dajú sa tak využiť ako východiskové body pri určovaní spádových oblastí.

Ide o najjednoduchší prípad bez zohľadnenia ďalších faktorov ako je najvyššia povolená rýchlosť alebo smer jazdy. Jednotlivé atribúty (názvy stĺpcov atribútovej tabuľky) je však možné bezproblémovo priradiť pomocou modulu v.net.alloc.

Príkaz: GRASS:~> v.net.alloc in=kliniky_net out=kliniky_alloc ccats=40-215

Po úspešnej príprave dát sa pristúpi k samotnému určeniu spádových oblastí (vektorovej optimalizácii) príslušných kliník na základe najkratšieho potrebného času v závislosti na dĺžke trasy (obr. 4.9).

Výsledkom je mapa obsahujúca podsiete vytvorené na základe dostupnosti priradené jednotlivým klinikám. Každá ulica je priradená presne jednej klinike, z ktorej je na základe vzdialenosti najprístupnejšia. V prípade potreby je možné pridať do línií ďalšie uzly tak, aby bolo možné definovať presnejšiu hranicu oblastí. Vizualizáciu je možné uskutočniť buď pomocou modulu d.m (pozri kap. 2.1.2) alebo príkazom d.vect.

Podobne vizualizáciu nie len posledne uvedeného príkladu použitia, ale všetkých, ktoré sú prezentované v tejto kapitole, je možné uskutočniť buď pomocou okna Map Display alebo v module NVIZ.

Záver

Prístup prezentovaný v práci sa líši od tradičného vyučovania geografie v súčasnosti. Primárne sú ukázané študentom funkcie GIS a geografický jav je výsledkom ich použitia. Cieľom je pokračovať na úrovni diplomovej práce a overiť využitie prezentovaných poznatkov na seminári z geografie vo štvrtom ročníku gymnázia.

LITERATÚRA

Bowman, M. H. (2005): Mapping freely available high resolution global elevation and vector data in GRASS. GRASS Newsletter, Vol.3, pp. 7-10. ISSN 1614-8746. [Online], [cit. 30.3.2010] dostupné na internete: http://grass.itc.it/newsletter/GRASSNews_vol3.pdf

Grohmann, C. H. (2006): r.roughness – a new tool for morphometric analysis in GRASS. GRASS Newsletter, Vol. 4, pp 17-19, ISSN 1614-8746. [Online], [cit. 15.3.2010] dostupné na internete: http://www.osgeo.org/files/news/GRASS_OSGeo_News_vol4.pdf

Hobson, R. D. (1972): Surface roughness in topography: quantitative approach In: Chorley, R.J., Spatial analysis in geomorphology, pp 225-245.

Koco, Š. (2007): Použitie modelov výmoľovej erózie v geografickom Informačnom systéme GRASS, Zborník VIII. konferencie doktorandov a mladých vedeckých pracovníkov, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Konštantína Filozofa, pp. 599 – 607.

Minár, J., Tremboš, P. (1994). Prírodné hazardy – hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. Acta AFRNUC, Geographica, 35, Bratislava, pp. 173-194.

Nemčok, J. (1986). Geologická mapa Pienin, Čergova, Ľubovianskej a Ondavskej vrchoviny. Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra. 1986.

Neteler, M. (2000, aktualizované 2003): GRASS-Handbuch. Der praktische Leitfaden zum Geographischen Informationssystem GRASS. Geographisches Institut der Universität Hannover, 266 s. [Online], [cit. 15.3.2010] dostupné na internete: http://www.gdfhannover.de/dl.php?download=neteler_grasshandbuch_v11_toc.pdf

Neteler, M. (2005). SRTM and VMAP0 data in OGR and GRASS. GRASS Newsletter, Vol.3, pp 2-6. ISSN 1614-8746. [Online], [cit. 17.3.2010] dostupné na internete: http://grass.itc.it/newsletter/GRASSNews_vol3.pdf

Neteler, M., Mitasova, H. (2004): Open source GIS: a GRASS GIS approach. Springer, New York, 2. vyd. 401 s. ISBN 978-1-402-08064-7.

Neteler, M., Mitasova, H. (2008): Open source GIS: a GRASS GIS approach. Springer, New York. 3. vyd. 406 s. ISBN 978-0-387-35767-6.

Zachar, D. (1970): Erózia pôdy. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, t. Svornosť. 527 s.