

Aplikácia metód modelovania oslnenia georeliéfu, topoklímy a výmolevej erózie v prostredí GIS (na príklade Devínskej Kobyly)

Application of methods for modelling terrain insolation, topoclimate and gully erosion in GIS: a case study of the Devínska Kobyla Mt.

DUŠAN SENKO

Botanický ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 23 Bratislava, dusan.senko@savba.sk

Abstract: This work focuses on evaluation of the landscape potential in the area of the Devínska Kobyla Mountain. It is important to understand the topoclimatic differences of thermal and hygric characteristics with regard to this relationship. We use methods of quantitative planar estimations of the topoclimatic characteristics, calculations of insolation dynamics from a digital terrain model. The final evaluation includes geomorphometric fields – elevation and the derived characteristics. Area is outstanding by its morphodynamics and also sufficient amount of data required for natural hazards assessment. Gully erosion is a complex phenomenon associated with extreme rainfall events and anthropic land use changes. This modelling can be considered a definitive product of the research ready to be employed in the management of this valuable site.

Keywords: Devínska Kobyla Mt., digital terrain model, GIS, gully erosion, landscape potential, solar radiation.

Úvod

Progresívny rozvoj geoinformačných technológií umožňuje hľadať komplexné paradigmy priestorových vzťahov formovania vegetácie v závislosti od abiotickej časti krajiny. Trend recentných botanických štúdií (fytocenológia, floristika, taxonómia) sa nesie v myšlienke prepojenia týchto prístupov navzájom.

Krajinný potenciál vyjadruje schopnosť krajiny plniť ľudské potreby, pričom koncept krajinného potenciálu zohľadňuje citlivosť, zraniteľnosť, ekologickú únosnosť, či dlhodobú udržateľnosť jeho využívania. Absolútna väčšina vedec-kých a odborných štúdií však hodnotí krajinné potenciály iba kvalitatívnym spôsobom (na základe rozhodovacích algoritmov s kvalitatívnymi poradovými škálami), čo je z hľadiska zložitosti tohto konceptu pochopiteľné, ale z hľadiska hĺbky vedeckého poznania málo uspokojivé. Kvantitatívny prístup vyžaduje existenciu empiricky merateľnej charakteristiky, ktorú možno stotožniť s daným potenciálom¹.

¹ Napr. pri hodnotení potenciálu na dlhodobé zachovanie teplomilných lúk, ktoré sú predmetom plošnej ochrany územia a možno ich využiť pre definíciu potenciálu krajiny, môže byť potrebnou empiricky merateľnou charakteristikou stupeň zaznamenatej zmeny v prirodzenom vývoji príslušného spoločenstva (postup sekundárnej sukcesie).

Abiotické vlastnosti krajiny a ich bioenergetický potenciál sú určujúcimi faktormi existencie. Primárnym článkom látkovo-energetického reťazca je slnečná energia, ktorej energetický príjem modifikujú klimatické, georeliéfové, substrátové, hydrologické a pôdne vlastnosti krajiny, pričom ide o ich synergický efekt. Topoklíma má z hľadiska takto postaveného problému kľúčovú úlohu. Jej výskumu zameranému na tvorbu máp topoklimatických polí sa nevenuje v súčasnosti dostatočná pozornosť. Význam topoklimatických poznatkov (potrebných pre detailnú geoekologickú analýzu územia, definovanie potenciálov, ale napr. aj lokálnych rizík) napriek tomu stále rastie.

Komplexné pochopenie vzťahu formovania vegetácie od abiotického prostredia poukazuje na potrebu poznania citlivosti a zraniteľnosti krajiny. Parciálne prírodné hrozby (hazardy) geomorfologických procesov (napr. výmoľová) sa rôznou intenzitou kumulujú do komplexnej hrozby, ktorá v určitej miere determinuje plošné formovanie vegetácie.

Cieľom práce je definovať abiotický potenciál krajiny s dôrazom na analýzu vlastností oslnenia a presného digitálneho modelu georeliéfu. Je to pochopiteľné najmä z hľadiska poznania potenciálneho príjmu slnečnej energie, ktorá má v tomto kontexte významné postavenie.

Modelovým územím je oblasť Devínskej Kobyly a Bratislavského predhoria, ktoré sú v rámci geomorfologického členenia Slovenska (Mazúr & Lukniš 1980) najjužnejším oddielom celku Malé Karpaty a sú súčasťou Devínskych Karpát. Geografická poloha a s ňou spätý špecifický geologicko-geomorfologický vývoj tu podmienili pestré fyzickogeografické pomery (Minár et al. 2001), odrážajúce sa aj v bohatej flóre (Feráková & Kocianová 1997). Plošné rozšírenie xerothermných travinno-bylinných spoločenstiev na Devínskej Kobyle bezprostredne súvisí s hospodárskou činnosťou človeka. Na rozdiel od prirodzeného bezlesia vznikli po rozsiahlom odlesnení biotopov a niekoľko storočí boli udržiavané tradičnými hospodárskymi činnosťami (pasenie, kosenie, vypaľovanie porastov).

Prehľad literatúry

Modelovanie georeliéfu sa v ostatnom čase presúvalo od vývoja interpolačných metód na hodnotenie jeho presnosti a kvality. Recentný vývoj je zameraný na sledovanie kvality modelovania georeliéfu pre konkrétnu aplikáciu. Tento trend reflektoval na skutočnosť, že mnoho modelov nebolo (nie je) schopných produkovať spoľahlivé výsledky. Dôvodom je existencia rôznych konštrukčných chýb, ktoré sa prenášali do ďalších analýz, čo významne znižuje plauzibilitu výsledkov.

Medzi prvými, ktorí odvodili matematické vzťahy (modely) pre modelovanie georeliéfu, boli Makarovič (1972), Frederiksen et al. (1986), Krcho (1992) a neskôr i Krcho (2002). Autor Li (1990) vo svojej práci identifikoval faktory ovplyvňujúce presnosť digitálneho modelu georeliéfu (ďalej „DMR“, angl. *digital terrain model*): (1) vstupné údaje (presnosť, hustota a distribúcia), (2) charakteristika georeliéfu, (3) interpolačná metóda konštrukcie DMR a (4) vlastnosti generovaného modelu. Testovaním presnosti rôznych metód interpolácie rastrových DMR je venovaných množstvo prác, ako napr. Carrara (1997), Lloyd & Atkinson (2002), Aguilar et al. (2006) a Chaplot et al. (2006). Makarovič (1972) uvádza, že presnosť DMR koreluje so sklonom georeliéfu – čím vyšší sklon, tým vyššia hodnota priemernej chyby údajov, označovaná ako RMSE. Podľa Cebecauera et al. (2002) ani preukazné štatistické výsledky hodnotenia presnosti a vhodnosti interpolačných metód nemusia zaručovať správny DMR, ktorý by bol napr. korektne hydrologicky prietochý. Z pohľadu metódy zberu vstupných dát sú orientované výskumy v prácach Baltsaviasa (1999), Mercera (2001), Smitha et al. (2005) a Wiseho (2007). Pomocou štatistických testov títo autori porovnávajú vhodnosť algoritmov v rôznych územiach s ohľadom na štruktúru a hustotu vstupných dát. Interpoláciou sa zaoberali napr. Mitášová & Mitáš (1993), Mitášová & Hofierka (1993) a Neteler & Mitášová (2004). Vo svojich prácach detailne opísali i mnoho problémov, napr. nerealistické a umelé tvary, segmentáciu, *overshoots* a iné chyby vznikajúce pri nesprávnej interpolácii.

Oslnením sa medzi prvými zaoberal Krcho (1964, 1965, 1967), ktorý odvodil rovnice pre výpočet dynamiky oslnenia georeliéfu. Dobré sú rozpracované metódy analýzy parametrov oslnenia georeliéfu pomocou digitálneho modelu reliéfu (napr. Krcho 1992, Fu & Rich 2002, Hofierka 2004, Šúri & Hofierka 2004), ktoré sú už implementované do viacerých GIS technológií (napr. ArcGISTM, GRASS). Slnčné žiarenie ovplyvňuje celý súbor ďalších topoklimatických charakteristík (teplota vzduchu, teplota pôdy, relatívna vlhkosť vzduchu, atď.), ktoré sú dôležité pre existenciu rastlinných spoločenstiev. Pozitívne korelácie medzi výskytom istých spoločenstiev a hodnotami oslnenia preto umožňujú identifikovať širší geoekologický vzťah, využiteľný napr. pri predikovaní vegetácie.

Podľa Huftyho (1988) čím menšie územie študujeme, tým viac stúpa význam vplyvu krajiny na klímu. Polčák (2000) sa v príspevkoch zamerl na možnosti spracovania mezoklímy a miestnej klímy (synonymum topoklímy) s využitím klimatotvorných faktorov pomocou slnečného prikonu a charakteristík georeliéfu. Metodiku vyčlenenia klimatických typov v mapách veľkých mierok rozpra-

coval Soták (2000). Mičietová et al. (2001) sa venovali tvorbe topoklimatických máp v prostredí GIS-u. Práce Vysoudila (1996, 1998, 2000) sa zameriavajú najmä na topoklimatické mapovanie a metodiku tvorby topoklimatických máp s využitím DPZ a GIS-u. Dôsledky miestnych vplyvov na formovanie topoklímy sa prejavujú v jej časovo-priestorovej variabilite.

Metódy výskumu

Plauzibilita modelovania potenciálu krajiny je determinovaná kvalitou a presnosťou vstupných dát, ako i použitých metód pri ich spracovaní. V tejto práci sme načrtli možnosti modelovania (1) georeliéfu, (2) oslnenia, (3) topoklímy a (4) prírodných rizík.

Podstata tvorby *digitálneho modelu georeliéfu* spočíva v utvorení diskrétného bodového poľa polohovo lokalizovaných bodov s údajom o skaláre nadmorskej výšky. V práci porovnáme presnosť rôznych vstupných dát: (1) vrstevnice mapového podkladu 1:10 000 doplnené o kóty a (2) dáta z fotogrametrického mapovania (3D výškové body a zlomové línie ako polylinie ZM), vyhotovené stereofotogrametricky pri ortorektifikácii leteckých meračských snímkov. Pre interpoláciu a tvorbu DMR sme zvolili nekomerčný a voľne dostupný softvér GRASS GIS v 6.3, uvoľnený pod GNU/GPL licenciou². Okrem iných interpolačných algoritmov ponúka aj „*regularizovaný splajn s tenziou a zhladzovaním*“ (*Regularized Spline with Tension* – RST, ktorý sme využili pri tvorbe DMR, pozri Mitášová & Mitáš 1993, Mitášová & Hofierka 1993) implementovaný ako modul *v.surf.rst*. Z modelu nadmorských výšok sme následne aproximovali jej prvé derivácie, a to sklon a orientáciu voči svetovým stranám.

Na výpočet *oslnenia georeliéfu* sme použili model *r.sun*, ktorý je rovnako implementovaný v GRASS GIS (Hofierka & Šúri 2002). Tento modul využíva rovnice šírenia slnečného žiarenia publikované v Európskom atlase slnečného žiarenia (ESRA) (Scharmer & Greif 2000). Vstupnými dátami boli rastre nadmorských výšok, sklonov a orientácií. Pre sledovanie signifikantnej tesnosti väzieb medzi formovaním vegetácie a oslnením sme zvolili ročný cyklus (1. 1. až 31. 12., 365 dní = 8 760 hod.), pričom časový prírastok predstavoval 15 min. Výstupom modelovania boli rastre energie globálneho slnečného žiarenia prijatého na jednotku plochy za deň (vo Wh.m⁻².deň⁻¹). Aby sme minimalizovali chyby spôsobené možným zatienením okolitým georeliéfom, použitý DMR obsahuje aj 3 km pás okolo skúmaného územia.

Ťažisko *topoklimatického výskumu* bolo vo využití digitálnych meteostaníc, a to v podobe paralelných meraní v rovnakých časových intervaloch na odlišných typoch stanovišť. Vzhľadom na naše doterajšie výsledky (Senko 2007, Senko et al. 2008³) sme *teplotu pôdy* (v °C, v hĺbke 10 cm) merali pomocou automatických meteorologických staníc (v rokoch 2005 až 2007 v päťminútových intervaloch). Teplota pôdy menej výrazne reaguje na diferenciáciu krajinnéj pokrývky a zároveň je

² Náročnosť zadávania výpočtov za každý deň uľahčili automatické skripty napísané v jazyku Bash Unix GNU.

³ Pomocou viacnásobnej regresnej analýzy sme urobili sériu štatistických operácií, z ktorých sa ukázalo, že relatívne najtesnejšiu väzbu s nezávislými premennými (morfometrické parametre a charakteristiky dynamiky oslnenia) má teplota pôdy. V porovnaní s teplotou vzduchu, pôda „zmerňuje“ teplotné výkyvy. Na okolitú teplotu vzduchu reaguje s oneskorením, pomalšie sa zahrieva a chladne.

významná aj z hľadiska vegetácie (patrí medzi rozhodujúce ekologické faktory rastu a vývinu rastlín). V iniciálnych štádiách (na konci zimného a začiatku jarného obdobia) je teplota pôdy v porovnaní s teplotou vzduchu rozhodujúca (Bedrna et al. 1989). Homogenita chodu teploty pôdy má významný vplyv aj na výživu rastlín a rast koreňovej sústavy. *Model priestorovej diferenciácie teploty pôdy* bol získaný viacnásobnou lineárnou regresiou a mal nasledovný tvar:

$$\begin{aligned} \text{TPa} - \text{TPb} = & 0,532392 - 0,0311999 \cdot \text{NVa} + 0,0172281 \cdot \text{NVb} + 0,178537 \cdot \text{UDa} - \\ & - 0,115657 \cdot \text{UDb} + 0,147367 \cdot \text{URa} - 0,0885646 \cdot \text{URb} \end{aligned} \quad (1)$$

$$R^2 = 81,10 \%$$

kde a, b sú lokality, TPa – TPb je rozdiel teplôt pôd, NV je nadmorská výška, UD je uhol dopadu slnečného žiarenia a UR je delta uhla dopadu slnečného žiarenia.

Vertikálne atmosférické zrážky (48,19777° s. š., 16,97643° v. d.) sme merali pomocou zrážkomernej sústavy so záchytnou plochou 0,05 m² od 17. 6. 2003 do 31. 12. 2006. Namerané údaje sme porovnávali s priestorovo blízkymi zrážkomernými meteorologickými stanicami. Priestorová diferenciácia zrážok vo veľkých mierkach závisí najmä od vlastností georeliéfu, a to od nadmorskej výšky, sklonu a orientácie vzhľadom na prevládajúce vlhahostné vetry. Pri modeli *priestorovej diferenciácie množstva atmosférických vertikálnych zrážok* sme vychádzali zo vzťahu odvodeného v práci Minára et al. (2001). Ak označíme úhrn zrážok za vegetačné obdobie (od 1. 3. do 30. 11. za roky 2004, 2005, 2006) v mieste stanice Z_s a nadmorskú výšku stanice H_s, potom zrážkový úhrn Z_j konkrétneho geotopu v nadmorskej výške H_j so sklonom georeliéfu γ_j môžeme odhadnúť pomocou vzťahu:

$$Z_j = (Z_s + Z_G(\Delta H_{sj})) \cdot \cos \gamma_j \quad (2)$$

kde Z_G(ΔH_{sj}) je prírastok (úbytok) zrážok padnutých na horizontálnu rovinu v jednotke *j* vplyvom rozdielu nadmorskej výšky stanice a danej geoekologickej jednotky (ΔH_{sj}). Zmena množstva zrážok vplyvom nadmorskej výšky – pluviometrický gradient (v našom prípade 0,437 mm·m⁻¹) – je regionálne premenlivý, často nelineárny, a preto bolo najvhodnejšie jeho odvodenie z údajov staníc ležiacich v rôznej nadmorskej výške v blízkosti našej lokality na Devínskej Kobyle (211,6 m). Pluviometrický gradient sme počítali porovnaním našej lokality so zrážkomernými stanicami na bratislavskej Kolibe (287 m, vzdialenosť 8,64 km) a na Malom Javorníku (586 m, vzdialenosť 14,68 km).

Namerané topoklimatické dáta (2 352 817 údajov) sme pred ich štatistickým spracovaním upravili a následne pomocou viacnásobnej regresnej analýzy štatisticky spracovali. Dáta vstupujúcich súborov sme selektovali na základe určitých kritérií. Dôvodom bolo hľadanie a odstránenie skresľujúceho vplyvu na výslednom vzťahu (časové, sezónne hľadisko a náhodný výber).

Prírodné hrozby (hazardy) chápeme ako prírodné deje bezprostredne ohrozujúce ľudskú spoločnosť a jej aktivity, ktoré reprezentujú potenciálne interakcie medzi spoločnosťou a extrémnymi prírodnými udalosťami (Tobin & Montz 1997). Pri hodnotení prírodných hrozieb sme použili súbor rovníc z práce Minára & Tremboša (1994). Slabinou rovníc je, že pracujú so škálami. *Model hrozby výmolinej erózie* klasifikuje celé územie na základe náchylnosti k tejto erózii. Výpočet relatívnej veľkosti hrozby výmolinej erózie sme odvodili zo vzťahu:

$$V = \frac{S \cdot D}{L} \quad (3)$$

kde V je relatívna hodnota hrozby výmoľovej erózie, S je faktor sklonu svahu, D je faktor dĺžky svahu a L je faktor odolnosti hornín.

Hodnoty faktora sklonu sú odvodené na základe Chézyho rovnice pre rýchlosť prúdiaceho toku [$<0,1) - 0$; $<1,2) - 1$; $(2,9) - 2$, $<9,16) - 3$; $<16,25) - 4$; $<25,35) - 5$; $<35,max) - 6$]. Hodnoty faktora odolnosti hornín sú odvodené na základe kritických rýchlostí pre výmoľovú eróziu. Faktor dĺžky svahu sme určili až po stanovení hodnôt predchádzajúcich parametrov. Keďže pomer parametrov S a L bol väčší ako 1, parameter D sme reklasifikovali nasledovne: 0 m – 0; 20 m – 0,5; 50 m – 0,75; 0,1 km – 1; 0,15 km – 1,2; 0,2 km – 1,4; 0,3 km – 1,7; 0,5 km – 2,2; 1 km – 3,1; 1,5 km – 3,8.

Výsledky a diskusia

Krajinný potenciál úzko súvisí s vlastnosťami georeliéfu, ktorý patrí k najdôležitejším rozhraniam krajinej sféry. V jeho okolí vzniká oblasť najintenzívnejšej interakcie jednotlivých prvkov krajiny. Je výslednicou procesov prebiehajúcich v krajine a sám na tieto procesy vplýva a priestorovo ich diferencuje. Výsledky modelovania sú znázornené na obr. 1. Georeliéf signifikantne determinuje distribúciu a variabilitu slnečného žiarenia, ktorá je v tesnej korelácii s formovaním vegetácie v čase a priestore, reflektujúc na abiotický potenciál územia (na uvedenom obr. je znázornená i krajinná pokrývka, ktorú sme digitalizovali k stavu v roku 2007 a môže byť využitá napr. pri modelovaní povodní). V prostredí GIS-u je georeliéf reprezentovaný DMR, ktorý sa tak stáva najzákladnejšou potrebou pre modelovanie procesov a javov prebiehajúcich na georeliéfe. Väčšina GIS softvérov má implementovaný modul na jeho generovanie, avšak ich funkčnosť je rozdielna. Samotná konštrukcia DMR nie je triviálna, vyžaduje si relevantné odborné znalosti v oblasti geomorfometrie a geometriky. Pre prírodovedné aplikácie (napr. modelovanie príkonu slnečného žiarenia) sa dôraz kladie na spojitý a hladký povrch, ktorý je reprezentovaný pravidelnou rastrovou sieťou. Ako každý model, aj DMR je náchylný na presnosť vstupných dát a správne nastavenie rôznych parametrov pri jeho tvorbe. Pri hľadaní korelácií s distribúciou vegetácie je vo veľkých mierkach nesmierne dôležité to, aby DMR správne vystihoval lokálne trendy a situácie. Vhodnou aplikáciou na poukázanie vplyvu presnosti vstupných dát a ich interpolácie do DMR je modelovanie slnečného žiarenia.

Kvalita výsledného DMR je relatívna a vzťahuje sa na účel jeho použitia. Okrem presnosti vstupných údajov je determinovaná i ďalšími faktormi. Pre odstránenie subjektívnych chýb je dôležitá správna voľba interpolačnej metódy, jej nastavení a optimálneho priestorového rozlíšenia výsledných rastrov, ktoré závisia nielen od mierky a použitia DMR, ale aj od kvality vstupných bodov a ich informačnej hustoty (cf. Šúri et al. 2003). Hengl (2006) odporúča zvoliť

veľkosť pixla⁴ DMR medzi hodnotou priemernej a najmenšej vzdialenosti vrstevníc, pričom priemerná vzdialenosť je určená vzťahom:

$$p = \frac{A}{2 \cdot \sum l} \quad (4)$$

kde A označuje plochu územia a l súčet všetkých dĺžok vrstevníc.

V prípade nášho územia s ohľadom na typ zdrojových dát je priemerná vzdialenosť (1) 10,76 m a (2) 4,3 m. Najmenšia vzdialenosť medzi vrstevnicami je (1) 3,27 m a (2) 1,52 m. Vytvorené modely v rozlíšení 2×2 m sme následne v zmysle Carrara et al. (1997) prevzorkovali do rozlíšenia 4×4 m. Tým sme predišli chybám v miestach zhustenia vrstevníc. V prípade, že by sme zvolili menší pixel ako je najmenšia vzdialenosť medzi vrstevnicami, mohli by cez jeden pixel prechádzať i dve vrstevnice, avšak pixel môže mať práve jednu hodnotu nadmorskej výšky.

Interpoláčna technika by mala byť vybraná s ohľadom na konkrétny typ krajiny, hustotu dát a použiteľnosť pre širokú škálu priestorových údajov (cf. Chaplot et al. 2006). Rôzne interpoláčne metódy z rovnakých vstupných bodov produkujú DMR s rôznymi vlastnosťami. Taktiež však viacero interpoláčnych metód produkuje z rovnakého údajového súboru veľmi podobné DMR (Rees 2000). Pri nízkej hustote, nerovnomernej distribúcii vstupných bodov a pri použití nevhodných parametrov sa generujú umelé tvary, ako napr. zvlneenie v okolí vrstevníc. Eliminácia týchto artefaktov spočíva najmä (1) v definovaní kostry georeliéfu a zlomových línií a (2) doplnení výškových bodov (Cebecauer 2002, Carrara 1997). Okrem subjektívnej vizuálnej kontroly (hypsometria, sklony, krivosti – umelé schody, pravidelné vzory) je spoľahlivosť interpolácie DMR verifikovateľná i pomocou štatistických metód, ako napr. krížová validácia (angl. cross-validation), ktorej stredná kvadratická chyba – *root mean square error*, hovorí o priemernej výškovej chybe voči vstupným údajom (Kohavi 1995, Deutsch & Journel 1998, Hofierka et al. 2007). Rozdiely medzi skutočnou a odhadnutou hodnotou reziduálov indikujú kvalitu interpoláčnej metódy a jej schopnosť predikovať povrch z definovaného okolia (pozri obr. 2).

Pre rastrovú interpoláciu existuje množstvo algoritmov, napr. *Inverse Distance Weighting*, *kriging* (napr. *Ordinary Kriging*, *Universal Kriging*), *Radial*

⁴ Pole mriežky (angl. *grid cell*) známe ako „pixel“ je základnou priestorovou entitou rastrového formátu (DeMers 2001).

Basis Function (napr. *Multiquadratic*, *splines* – napr. *Thin plate spline*, *Regularized Spline with Tension*) a mnoho ďalších.

Flexibilita interpolácie bodov je pri polynomickej funkcii RST daná kontrolnými parametrami (napr. tenzia, zhladzovanie), ktorých správne nastavenie umožňuje získať optimálny výsledok. Pri nastavení interpolačných parametrov sme sa zamerali na „metódu trendu“, kedy zanikajú drobné geomorfologické útvary, ale vystihne sa globálny trend povrchu. Pričom takto odvodené morfometrické parametre môžu reprezentovať aj lokálne situácie realistickejšie ako tie, ktoré boli odvodené z vertikálne presných povrchov (Bonk 2003). Metóda RST však podporuje interpoláciu len z jedného typu vstupných dát (body alebo línie). Preto bolo potrebné, aby sme vstupné zlomové línie konvertovali na husté bodové pole, ktoré sme následne spojili s výškovými bodmi (analogicky aj pri spojení vrstevníc a kót). Vzhľadom na mimoriadnu členitosť georeliéfu a relatívne husté pole vstupných údajov sme pri výpočte použili i segmentáciu. Pomocou zmeny parametrov tenzie a zhladenia a iných (*tension*, *smooth*, *dmin*, *npmin*) sme hľadali optimálne hodnoty napr. pre odstránenie artefaktov na hranách segmentov. Parameter *tension* (v našom prípade „*unrescaled tension*“ = 110) determinuje vlastnosti výsledného povrchu, a to od „tenkého oceľového plátu“ (vysoká tenzia, zvýraznia sa vstupné body) až po gumovú membránu (obr. 3). Z dôvodu zachovania hodnôt významných výškových bodov je nevyhnutné jednotlivé typy vstupných výškových bodov diferencovať a priradiť im rôzny parameter zhladzovania „*smooth*“ (cf. Cebecauer et al. 2002, Šúri et al. 2003). Tento parameter dovoľuje prechádzať povrchu ponad alebo popod vstupné body. S nulovým zhladením výsledný povrch prechádza cez vstupné body. Kostra georeliéfu by mala mať hodnoty tohto parametra blízke nule – v našom prípade 0,1. Výškovým bodom a vrstevniciam sme zadali naopak vyššie hodnoty, t. j. 0,8. Aj napriek výhodám, aké RST má, je nutné uviesť i zdroj rôznych nedostatkov. Tie sa prejavujú na ostrých prechodoch (napr. na zlomových líniách, kostre). Tu má lepšie výsledky metóda trojuholníkovej siete spájajúcej susedné body (*Triangulated Irregular Network* – TIN). Splajn vyrobí spojitú derivovanú plochu, a preto nie je schopná produkovať striktné zalomené miesta. Na druhej strane TIN v prípade nerovnomerného bodového poľa nedokáže predpovedať plochu medzi bodmi (umelé plošiny a pod.). Spresnenie vstupných dát vidíme v použití údajov na báze LIDAR-u⁵, ktoré sú mimoriadne presné: na rovine (0,1–0,3 m) a na svahoch (0,5–1 m) (cf. Gallay 2008, 2009). Použitý príkazový riadok regularizovaného splajnu s tenziou a

⁵ Light Detection And Ranging – laserová altimetria: koherentné mikrovlnné laserové žiarenie.

zhľadovaním:

```
GRASS:> v.surf.rst -t --o input="nazov_vstupnych_bodov" layer=1 zcolumn=
"Z" elev="elevation" slope="slope" aspect="aspect" tension=110 scolumn=
"S2" segmax=40 npmin=400 dmin=1.000128 dmax=5.000642 zmult=1.0 treefile
="stvorce" RMSdevi=5.542101
```

Modul *r.sun* umožňuje počítať množstvo priameho, difúzneho a odrazeného žiarenia pre bezoblačnú oblohu s uvážením zoslabenia extraterestriálneho žiarenia vzdušnou masou a základom atmosféry. Vzdušná masa je odvodená na základe aktuálnej polohy slnka vzhľadom na analyzovaný bod a základ atmosféry je vyjadrený Linkeho koeficientom (Hofierka & Cebecauer 2007). Výstupné rastre slnečného žiarenia boli generované ako súčet samostatných rastrov priameho, difúzneho a odrazeného žiarenia (1 095 rastrov, 12 mesačných súm a jedna ročná suma globálneho žiarenia). Okrem samotnej orientácie a sklonu povrchu georeliéfu je dôležitým faktorom ovplyvňujúcim množstvo dopadnutého priameho slnečného žiarenia, zatienenie okolitým georeliéfom. Vplyv zatienenia býva výrazný najmä pri členitom georeliéfe a nízkych výškach slnka nad obzorom. Analýza zatienenia okolitým georeliéfom je výpočtovo najnáročnejšou časťou metodiky modelu *r.sun*. Ukážka skriptu na výpočet slnečného žiarenia pre jún:

```
lat=48.18983
i=152
lastday=181
month=6
linke=4.7
r.mapcalc global.rad.m$month=0
while [ $i -le $lastday ]
do
DAY=`echo $i | awk '{printf "%03i", $1}`
echo "Computing radiation for day $DAY.."
r.sun -s --o elevin=SOLElev aspin=SOLaspect slopein=SOLslope\
lat="$lat" day="$i"\
beam_rad=b_rad.$DAY diff_rad=d_rad.$DAY\
refl_rad=r_rad.$DAY lin=$linke step=0.25
r.mapcalc global.rad.m$month ="global.rad.m$month + b_rad.$DAY +\
d_rad.$DAY + r_rad.$DAY"
r.timestamp b_rad.$DAY date="$i days"
r.colors b_rad.$DAY col=gyr
r.timestamp d_rad.$DAY date="$i days"
r.colors d_rad.$DAY col=gyr
r.timestamp r_rad.$DAY date="$i days"
r.colors r_rad.$DAY col=gyr
i=`expr $i + 1`
done
echo "Finished."
```

Výber lokalít, na ktorých prebehli synchronne topoklimatické merania, podmienila ich relatívna priestorová blízkosť, prípadne podobnosť, ale súčasne vzájomná odlišnosť vo vegetačnej pokrývke a v morfolometrických parametroch (orientácia reliéfu voči svetovým stranám, sklon, genéza, vek). Na základe ma-

tematicky vyjadreného vzťahu medzi charakteristikami georeliéfu, oslnením (nadmorská výška, sklon, orientácia, uhol dopadu slnečného žiarenia) a name- ranými topoklimatickými charakteristikami, môžeme s určitou pravdepodob- nosťou definovať topoklimatické polia, ktoré reprezentujú celoplošný odhad jednotlivých topoklimatických charakteristík.

Pri rovnici na extrapoláciu teploty do priestoru sme použili parameter uhla dopadu žiarenia. Ako programovacie prostredie skriptu na výpočet tohto uhla vo zvolenom bode bol zvolený program R, ktorý je voľne šíriteľný pod verejnou licenciou GNU. Skript využíva vzťahy odvodené v práci Hofierku & Šúriho (2002). Vyžaduje ASCII textový súbor (*.txt), ktorý má obsahovať hodnoty vstupných parametrov v riadku pre jednotlivý bod v tomto poradí:

- point* – názov bodu,
- latitude* – zemepisná šírka [v°],
- longitude* – zemepisná dĺžka [v°] (nevstupuje do výpočtu),
- elevation* – nadmorská výška [v m] (nevstupuje do výpočtu),
- slope.angle* – sklon georeliéfu [v°],
- aspect.angle* – orientácia georeliéfu [v°] (juh = 0° , východ = 90° , sever = 180° , západ = 270°),
- increment* – časový prírastok [v min] (každých „x“ minút),
- day.start* – prvý deň výpočtov [1-365/366],
- day.end* – posledný deň výpočtov [1-365/366].

Výstupom je ASCII textový súbor, kde sú pre náš účel potrebné údaje stĺpca *inclined.sun.angle* (uhol dopadu lúčov v bode vzhľadom na naklonenú rovinu [v°], ak je záporný, slnko je pod obzorom, ak je kladný, tak slnko je nad obzorom). Časový prírastok sme zvolili po jednej hodine. Pre lepšiu výpovednú hodnotu bolo nutné, aby sme pre každý deň a jednotku plochy vypočítali maxi- mum uhla dopadu slnečného žiarenia a jeho rozdiel s každou hodnotou v kon- krétnom dni. Vstupné dáta sú v nasledovnom tvare (ukážka):

| ID | point | day | time | inclined.sun.angle |
|----|-------|-----|------|--------------------|
| 11 | A1 | 59 | 10 | 25,8163 |
| 12 | A1 | 59 | 11 | 33,9633 |
| 13 | A1 | 59 | 12 | 39,6184 |

Na Devínskej Kobyle sa nachádzajú zlomové svahy s veľkými sklonmi a dy- namickými geomorfologickými procesmi, ktoré sa prejavujú v podobe počet- ných erózných foriem. Vzhľadom na to sme pristúpili i k modelovaniu erózie.

Výmolvá erózia vzniká pôsobením zrážkovej vody a koncentruje sa do línií a vymieľa ryhy. Na Devínskej Kobyle, ktorá je rozrušená hustou sieťou výmo- ľov, je determinovaná najmä kombináciou nízkej spevnenosti geologického podložia (piesčité sedimenty s vysokou infiltračnou schopnosťou) a veľkého

sklonu. Výmole sa tu v minulosti viazali predovšetkým na tradičné využívanie krajiny (úvozy). Recentne sa viažu aj na lokality chodníkov a miesta s riedkou a plytko koreniacou vegetáciou. Niektoré formy považované za výmole nimi nakoniec nemusia byť. Ide o formy, ktoré sú úzke pre úvalinovitú depresie a široké pre výmoľ, resp. sklony svahov sú nízke. Prebieha tu skôr postupné sadanie a rozpadávanie blokov pieskocov ako vymieňanie. Xerothermné nelesné plytko koreniace rastlinné spoločenstvá s nízkou pokrývnosťou sa sústreďujú najmä do miest úvalinovitých depresí, ktoré sú v oblasti Sandbergu najvýraznejšie. Lesmi a krovínami zarastené a stabilizované výmole môžeme datovať do malej doby ľadovej (Stankoviánsky 2003). Uvádžame dva príklady na výpočet výmoľovej erózie:

```
GRASS:> r.flow -u -3 elevin=elevation aspin=aspect skip=34 bound=7719  
lgout=flength  
GRASS:> r.mapcalc "v_faktor=if(s_faktor/l_faktor,s_faktor*d_faktor/l_fak\ntor,0)"
```

Jednou z možností využitia týchto parciálnych potenciálov je v spresnení prediktívnych modelov sekundárnej sukcesie, a to v dvoch hlavných rovinách: vo vystihnúť miest (1) spomalenej sukcesie, ktorých abiotické vlastnosti krajiny vo vzájomnej koincidencii tvoria ideálne podmienky na výskyt teplomilných spoločenstiev a (2) bez manažmentových zásahov ponechané na voľný priebeh sekundárnej sukcesie. Tu by bol manažment vzhľadom na abiotické podmienky pravdepodobne finančne náročný a z dlhodobého aspektu aj málo účinný.

Za vhodný manažmentový režim na Devínskej Kobyle odporúčame obnovenie tradičného spôsobu obhospodarovania, počas ktorého mali spoločenstvá optimálne druhové zloženie a diverzitu. Keďže druhové bohatstvo úzko súvisí s redukciou dominancie prevládajúcich druhov vysokosteblových tráv, pri výbere vhodného manažmentového režimu je potrebné prihliadať aj na skutočnosť, ktorý druh v spoločenstve dominuje. V travinno-bylinných spoločenstvách na Devínskej Kobyle je dominantným druhom *Bromus erectus*, preto treba zvoliť vhodný typ zásahu zameraný na redukciu dominancie tohto druhu. Domnievame sa, že obnovenie extenzívneho pasenia je najvhodnejší manažmentový režim, ktorý mal na Devínskej Kobyle tradíciu. Z územia Devínskej Kobyle sa udáva najmä pasenie oviec (Ptačovský 1959), ale aj kôz a hovädzieho dobytká. Kozy sa pritom pásli výlučne na lúkach pri Devínskej Novej Vsi. Kravy sa do roku 1947 pásli pri rieke Morava a v oblasti Sandbergu. Ovce dominovali najmä pri Devíne, rieke Morave a nad vinohradmi okolo vápenky medzi Slovincom a Waitovým lomom. Kone sa veľmi zriedka pásli pri Devínskej Novej Vsi, a to zhruba do roku 1945. Po tomto roku bola zavedená spo-

ločná pastva kôz a oviec. Po roku 1965 pastva pozvoľne zanikala (Balážová, Encingerová in verb. 2010).

Z generovaných modelov je zrejmé, že na výmofovú eróziu sú najviac náchylné aktívne zlomovo-denudačné svahy, rozčlenené eróziou, či zosuvnými poliami (južne od pieskovne Sandberg) a aktívne zlomovo-denudačné svahy s vloženými úvalinami, bočnou eróziou medzi Waitovým lomom a starým lomom v Devíne. Vzhľadom na uvedené parciálne potenciály, či geologické a geomorfologické pomery územia sa musí pri pasení dobytku dohliadať na empiricky určenú kvantitu (početnosť) jednotlivých stád. Expertný tím by mal v určitých pravidelných cykloch monitorovať vplyv degradácie na krajinu, čím by sa mohli stáda operatívne zvyšovať/znižovať, preskupovať, či presúvať. Vplyv zošľapávania je recentne simulovaný mimoriadnym pohybom ľudí, a to aj mimo náučných chodníkov. S ohľadom na abiotický potenciál je časť územia pri obci Devín na pasenie stabilnejšia, a to vďaka vápencom a dolomitom (pasenie oviec tu malo vyššiu tradíciu). Strmé svahy s pieskami a pieskovecami – pri Sandbergu až po Waitov lom sú náchyľnejšie na kvantitu pasenia (odporúčame pasenie kôz).

Baláž (1994), ktorý sa zaoberal možnosťami zachovania a obnovy travinno-bylinných spoločenstiev na Devínskej Kobyle konštatuje, že kosením nedochádza k redukcii druhu *Bromus erectus* a na jeho potlačenie sa najlepšie uplatňuje pastva. Ryser et al. (1995) a Köhler et al. (2005) uvádzajú, že na redukcii dominancie druhu *Bromus erectus* je vhodné kosenie raz ročne v októbri a tiež kontrolované vypaľovanie, ktoré však favorizuje predovšetkým geofyty (Kahmen et al. 2002). Sýkora et al. (1990) upozorňuje, že kontrolované vypaľovanie nie je možné použiť na zachovanie travino-bylinných spoločenstiev na vápencoch, pretože značne favorizuje druh *Brachypodium pinnatum*, ktorý je subdominantou na Devínskej Kobyle.

Vlastnosti vstupných dát a parametrov interpolácie ovplyvňujú kvalitu vytvorených modelov. Klasický prístup fytoecológie vyžadoval floristickú a ekologickú znalosť porastov „in situ“. Modelovanie v prostredí GIS-ov môže uľahčiť formalizované prístupy klasifikácie vegetačných spoločenstiev, ktoré sú silne závislé od geografických a ekologických dát. Hľadanie generalizovaných rovníc (paradigiem/modelov) však nesie v sebe riziko zániku lokálnych extrordinarít. Preto sa domnievame, že obe metódy by sa mali vzájomne dopĺňať, inak tieto progresívne idey zlyhajú na schematickej priestorovej interpretácii. Je preto mimoriadne dôležité, aby ďalšie štúdie pracovali s relevantnými údajmi v adekvátnej mierke. Tá by sa mala odvíjať od rozlíšenia podkladových vegetačných údajov. Dôsledne realizovaná počiatková fáza je do značnej miery roz-

hodujúca pre realizáciu a relevantnosť následných analýz. Minimalizáciou konštrukčných chýb sa zabezpečí, že výsledky budú s vyššou mierou pravdepodobnosti reflektovať na skutočnosť.

Priestorové modely, ktorých výpočet sme uviedli v tejto práci, majú bezprostredné aplikačné využitie, a to aj napriek tomu, že nie sú ideálne. Domnievame sa, že sú funkčné a sú plauzibilné (napr. distribúcia slnečného žiarenia, či hodnotenie hrozby výmoľovej erózie). Predpokladáme, že presnosť výsledkov sa môže výrazne zlepšiť použitím detailnejšieho DMR (vylepšenie geometrie) a v spresnení extrapoláčnych rovníč.

Pod'akovanie

Táto publikácia bola vytvorená realizáciou projektu „Centrum excelentnosti pre ochranu a využívanie krajiny a biodiverzitu (ŠF OPVaV 26240120014)“, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja (100 %).

Literatúra

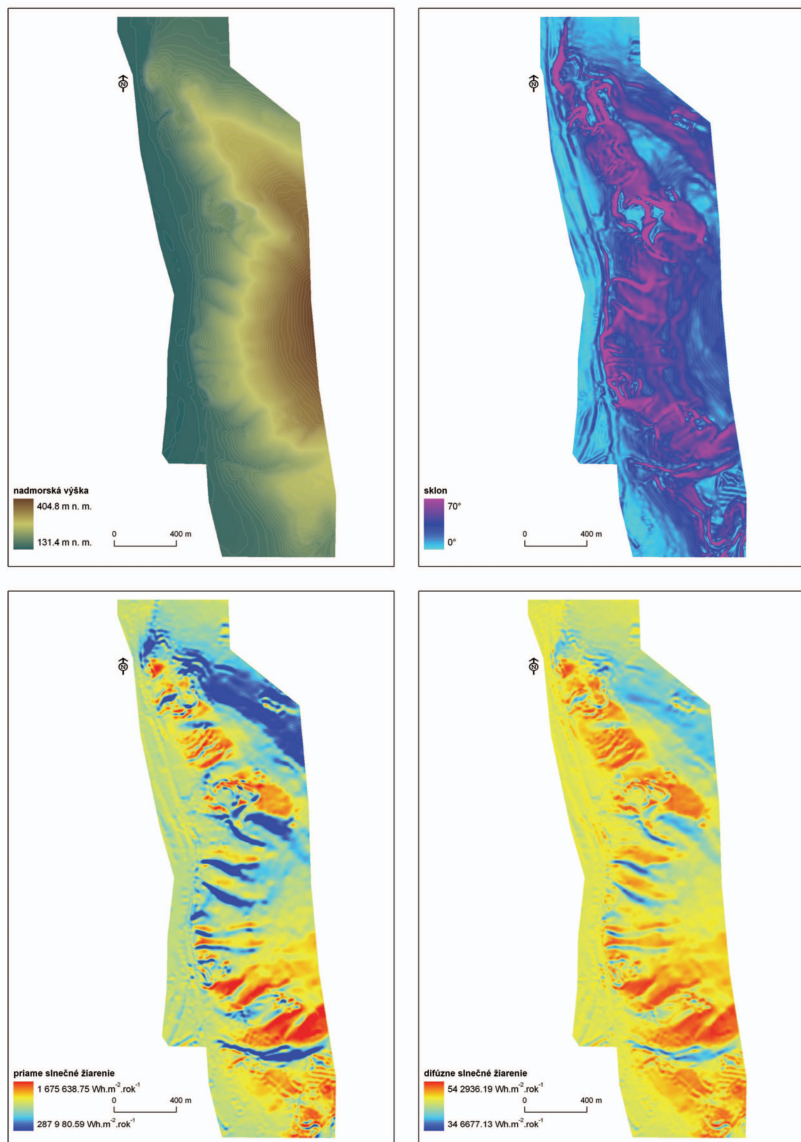
- Aguilar, F. J., Aguilar, M. A., Aguera, F. & Sanchez, J. 2006. The accuracy of grid digital elevation models linearly constructed from scattered sample data. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 20: 169–192.
- Baláz, D. 1994. Sukcesia xerothermných spoločenstiev na Devínskej Kobyle a ich praktická ochrana. Daphne, Bratislava: Daphne, Inštitút aplikovanej ekológie. 2: 6–7.
- Baltsavias, E. P. 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS-J. Photogramm. Remote Sens.* 54: 83–94.
- Bedrna, Z., Fulajtár, E., Zrubec, F. & Juráni, B. 1989. Pôdne režimy. Veda, Bratislava. 221 p.
- Bonk, R. 2003. Scale-dependent Impact of Selected Factors on Morphometric Parameters Accuracy and Automated Geomorphological Mapping. Bratislava. 145 p. Dizertačná práca, msc., depon. in Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava.
- Carrara, A., Bitelli, G. & Carla, R. 1997. Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 11 (5): 451–473.
- Cebecauer, T. 2002. Metódy transformácie farieb pri počítačovej tvorbe tieňovaných vizualizácií priestorových dát. In Feranec, J. & Pravda J. (eds). Zborník referátov zo semináru Aktivity v kartografii 2002, Bratislava (Slovenská kartografická spoločnosť a Geografický ústav SAV), 31. 10. 2002, p. 20–28.
- Cebecauer, T., Hofierka, J. & Šúri, M. 2002. Processing digital terrain models by regularized spline with tension: tuning interpolation parameters for different input datasets. In Ciolli, M. & Zatelli, P. (eds). Proceedings of the „Open Source Free Software GIS-GRASS Users Conference 2002“. Trento, Italy, 11-13 September 2002, CD-ROM.
- Chaplot, V., Darboux, F., Bourennane, H., Leguédou, S., Silvera, N. & Phachomphon, K. 2006. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology.* 77: 126–141.
- DeMers, M. N. 2001. GIS Modeling in Raster. GIS & Remote Sensing. Wiley, West Sussex, England. 208 p.
- Deutsch, C. V. & Journel, A. G. 1998. GSLIB: geostatistical software library and user's guide, Oxford University Press, New York, Oxford. 369 p.

- Feráková, V. & Kocianová, E. (eds) 1997. Flóra, geológia a paleontológia Devinskej Kobyly. Litera pre APOP, Bratislava. 190 p.
- Frederiksen, P., Jacobi, O. & Kubik, K. 1986. Optimum sampling spacing in digital terrain modeling. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* 26 (3/1): 252–259.
- Fu, P. & Rich, P. M. 2002. A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. *Comput. Electron. Agr.* 37 (1): 25–35.
- Gallay, M. 2008. Assessment of DTM quality: a case study using fine spatial resolution data from alternative sources. GISRUUK 2008: GIS research UK 16th annual conference: 2.–4.2008. Manchester. p. 156.
- Gallay, M. 2009. Assessment of the quality of digital terrain models with global and local approaches: a case study using fine spatial resolution data from alternative sources. *Geographia Cassoviensis.* 3 (2): 60–68.
- Hengl, T. 2006. Finding the right pixel size. *Comput. Geosci.* 32: 1283–1298.
- Hofierka, J. 2004. Modelovanie priestorovej distribúcie snežného žiarenia na georeliéfe pomocou modelu r.sun a geografického informačného systému. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis. Prírodné vedy, Folia Geographica.* Prešov. univ., Prešov. 7: 157–166.
- Hofierka, J. & Cebecauer, T. 2007. Spatially distributed assessment of solar resources for energy applications in Slovakia. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis. Prírodné vedy, Folia Geographica.* 12: 97–114.
- Hofierka, J., Cebecauer, T. & Šúri, M. 2007. Optimisation of Interpolation Parameters Using a Cross-validation. (Ed. Peckham, R. J., Jordan, G.) Springer, Berlin; New York. p. 67–82. In Peckham, R. J. & Jordan, G. (eds). *Digital terrain modelling: development and applications in a policy support environment.* Springer, Berlin, New York. p. 67–82.
- Hofierka, J. & Šúri, M. 2002. The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. In Ciolli, M. & Zatelli, P. (eds). *Proceedings of the "Open Source Free Software GIS-GRASS Users Conference 2002".* Trento, Italy, 11-13 September 2002, CD-ROM.
- Hufty, A. 1988. *Climatologie et géographie.* Cahiers de Géographie du Québec. 32: 85 p.
- Kahmen S., Poschlod P. & Schreiber K., F. 2002. Conservation management of calcareous grasslands. Changes in plant species composition and response of functional traits during 25 years. *Biodivers. Conserv.* 104: 319–328.
- Kohavi, R. 1995. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In Mellish, C. S. (ed.). *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence,* CA: Morgan Kaufmann San Francisco. 1137–1143.
- Köhler, B., Gigon, A., Edwards, P., J., Krüsi, B., Langenauer, R., Lüscher, A. & Ryser, P. 2005. Changes in the species composition and conservation value of limestone grasslands in Northern Switzerland after 22 years of contrasting managements. In: *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* Elsevier. 7: 51–67.
- Krcho, J. 1964. K problému zostrojenia máp gradientov spádu, máp izoklín, izalumklín a izalumchrón. *Geografický časopis.* 16 (1): 23–44.
- Krcho, J. 1965. Oslnenie reliéfu v ľubovoľnom uhle a čase a jeho znázornenie do mapy pomocou izalumklín. *Geografický časopis.* 17 (1): 19–40.
- Krcho, J. 1967. Zovšeobecnenie rovnice izalumklín na topografickej ploche a v jej skalárnom poli. *Geografický časopis.* 19 (2): 107–129.
- Krcho, J. 1992. Georelief and its cartographic modelling by complex digital model (CDM) from

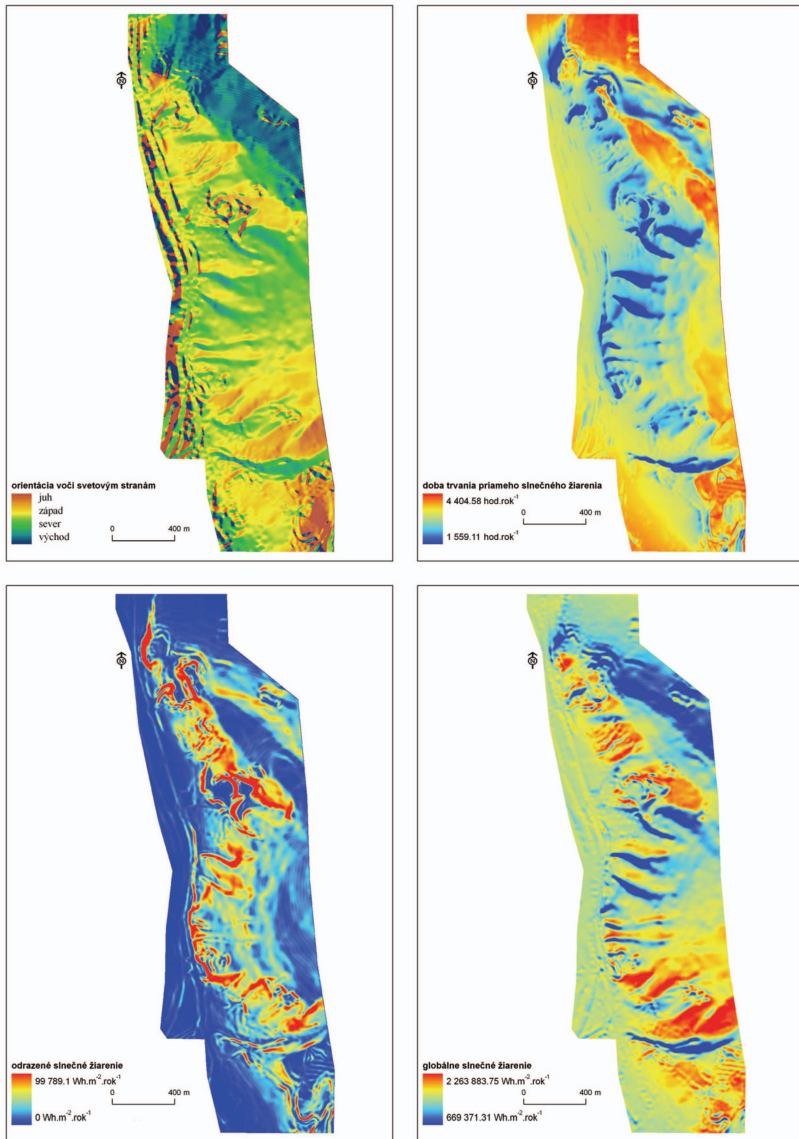
- geographical information systems (GIS) point of view. *Acta Facultatis rerum naturalium Universitatis Comenianae, Geographica. Univ. Komenského, Bratislava.* 33: 3–132.
- Krcho, J. 2002. Modeling of Georelief and its Geometrical Structure Using DTM: Positional and Numerical Accuracy. Q111, Bratislava. 336 p.
- Li, Z. 1990. Sampling strategy and accuracy assessment for digital terrain modeling. Glasgow, 1990. 299 p. Dizertačná práca, msc., depon. in University of Glasgow, Glasgow.
- Lloyd, C. D. & Atkinson, P. M. 2002. Non-stationary Approaches for Mapping Terrain and Assessing Prediction Uncertainty. *Transactions in GIS.* 6: 17–30.
- Makarovič, B. 1972. Information transfer in construction of data from sampled data. *Photogrammetria.* 28 (4): 111–130.
- Mazúr, E. & Lukniš, M. 1980. Geomorfologické jednotky. In Mazúr, E. (ed.). *Atlas Slovenskej socialistickej republiky. SAV, SÚGK, Bratislava.* p. 54–55.
- Mercer, B. 2001. Combining LIDAR and IfSAR: What can you expect? In Fritsch, D. and Spiller, R. (ed). *Photogrammetrische Woche 2001. Wichmann Verlag, Heidelberg.* p. 227–237.
- Mičietová, E., Pavličko, P. & Vysoudil, M. 2001. Tvorba topoklimatických map v prostredí geoinformačných technológií. *Geoinfo.* 8 (3): 46–50.
- Minár, J., Barka, I., Bonk, R., Bizubová, M., Čerňanský, J., Falt'an, V., Gašpárek, J., Kolény, M., Kožuch, M., Kusendová, D., Machová, Z., Mičian, L., Mičietová, E., Michalka, R., Novotný, J., Ružek, I., Švec, P., Tremboš, P., Trizna, M. & Zaľko, M. 2001. Geologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach. *Geografické spektrum, Geografika, Bratislava.* 3: 1–210.
- Minár, J. & Tremboš, P. 1994. Prírodné hazardy – hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. *Acta AFRNUC, Geographica. Bratislava.* 35: 173–194.
- Mitášová, H. & Hofierka, J. 1993. Interpolation by regularized spline with tension : II. Application to terrain modeling and surface geometry analysis. *Math. Geol.* 25: 657–659.
- Mitášová, H. & Mitáš, L. 1993. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Math. Geol.* 25 (6), 641–655.
- Neteler, M. & Mitášová, H. 2004. Second Edition Kluwer International Series in Engineering and Computer (2004). *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Kluwer Academic Press, Boston.* 442 p.
- Polčák, N. 2000. Možnosti spracovania mezoklímy a miestnej klímy v územiach s chýbajúcou klimatickou databázou na príklade biosférickej rezervácie Východné Karpaty. *Geografický časopis.* 52 (2): 181–193.
- Ptačovský, K. 1959. Poznámky ke kveteně bratislavského okolí. *Biol. práce.* 5: 1–87.
- Rees, W. G. 2000. The accuracy of Digital Elevation Models interpolated to higher resolutions. *Int. J. Remote Sens.* 21: 7–20.
- Ryser, P., Langenauer, R., Gigon, A. 1995. Species richness and vegetation structure in a limestone grassland after 15 years management with six biomass removal regimes. In: *Folia Geobot. Phytotax. Praha.* 30: 157–167.
- Senko, D. 2007. Geoeologická analýza vzťahu vegetácie a abiotického prostredia v oblasti Devínskej Kobyly. Bratislava, 2007. 172 p. Dizertačná práca, msc., depon. in Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava.
- Senko, D., Miškovic, J. Gally, M. & Senková, Baldaufová, K. 2008. Dynamika zmien vegetácie na Devínskej Kobyly a jej predikcia. *Geografický časopis.* 60 (4): 319–338.
- Scharmer, K. & Greif, J. (eds). 2000. *The European solar radiation atlas. 2. Database and*

- exploitation software. Presses des Mines, Paris, 290 p.
- Smith, S. L., Holland, D. A. & Longley, P. A. 2005. Quantifying Interpolation Errors in Urban Airborne Laser Scanning Models. *Geogr. Anal.* 37: 200–224.
- Soták, Š. 2000. Metódy a aplikácie systémového prístupu pri priestorovej diferenciácii klímy. *Geografický časopis.* 52 (2): 167–180.
- Stankoviánsky, M. 2003. Geomorfologická odozva environmentálnych zmien na území Myjavskej pahorkatiny. Univerzita Komenského, Bratislava. 152 p.
- Sýkora, K. V., van der Kroyt, G., Rademakers, J. 1990. Vegetation change on embankments in the south western part of the Netherlands under the influence of different management practices (in particular sheep grazing). *Biodivers. Conserv.* 52: 49–81.
- Šúri, M., Cebecauer, T. & Hofierka, J. 2003. Digitálne modely reliéfu a ich aplikácie v životnom prostredí. *Životné prostredie.* 37 (1): 30–35.
- Šúri, M. & Hofierka, J. 2004. A New GIS-based Solar Radiation Model and Its Application for Photovoltaic Assessments. *Transactions in GIS.* 8 (2): 175–190.
- Tobin, G., A. & Montz, B., E. 1997. *Natural hazards: explanation and integration.* Guilford Press, New York, 388 p.
- Vysoudil, M. 1996. Adaptation of Appropriate GIS Techniques for Application in Climatology by Use of GeoPackage. *Acta Univ. Palacki. Olomouc, Fac. Rer. Nat., Geographica, Univ. Palackého, Olomouc.* 34: 41–49.
- Vysoudil, M. 1998. Současné možnosti topoklimatického mapování a jeho význam pro hodnocení životního prostředí. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis, Přírodní vědy, Folia Geographica, Prešov. univ., Prešov.* 2: 75–80.
- Vysoudil, M. 2000. Topoklimatické mapování: Od teorie k praxi. *Geografický časopis.* 52 (2): 137–150.
- Wise, S. M. 2007. Effect of differing DEM creation methods on the results from a hydrological model. *Comput. Geosci.* 33: 1351–1365.

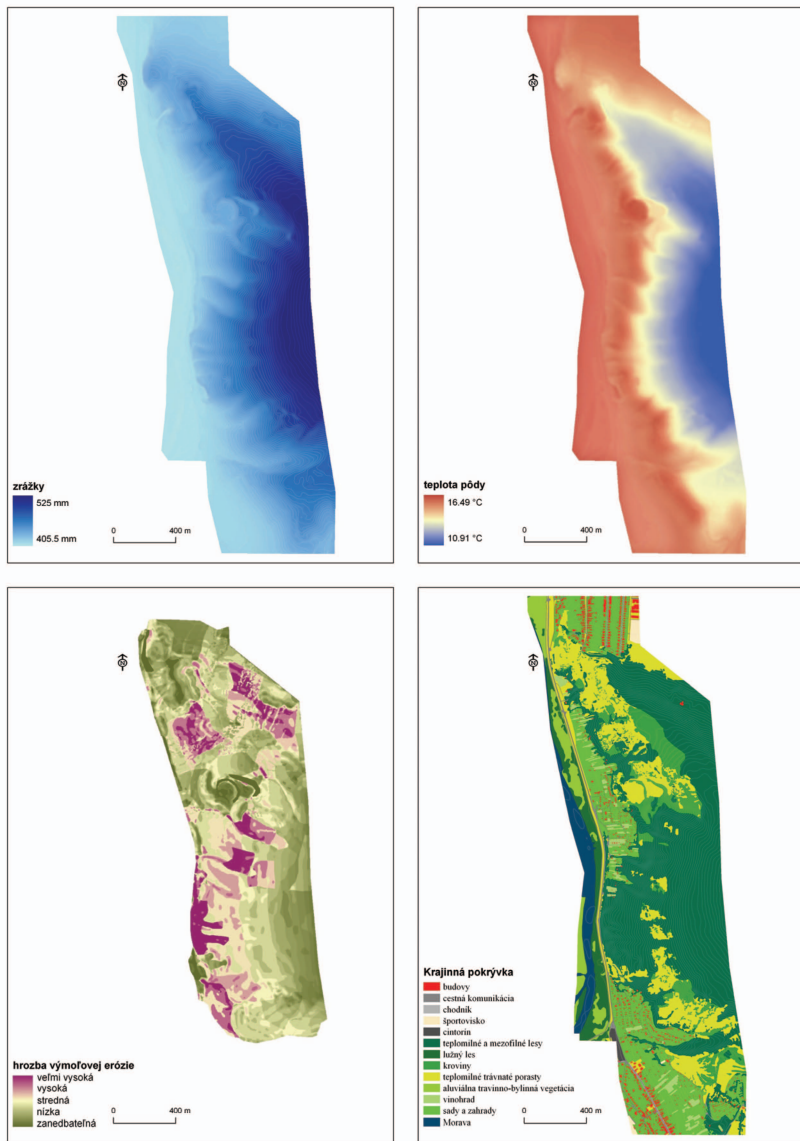
došlo 12. 2. 2010
prijaté 8. 9. 2010



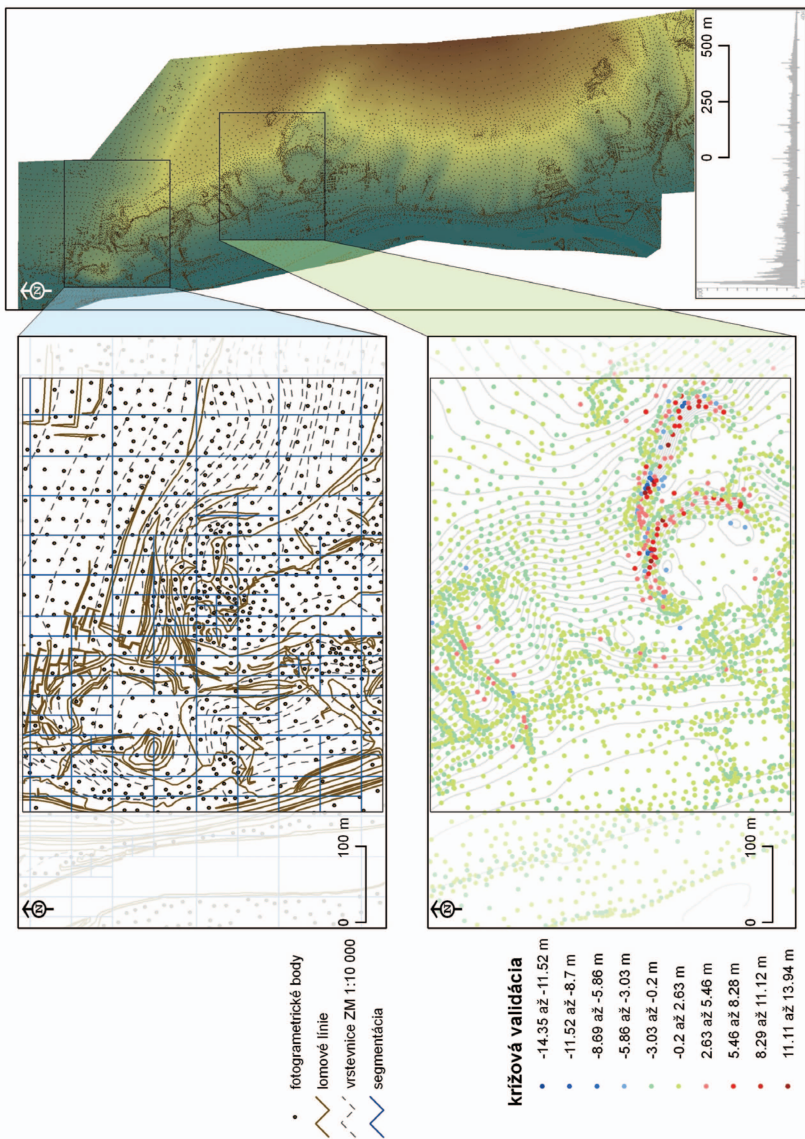
Obr. 1a. Krajinný potenciál oblasti Devínskej Kobyly.
Fig 1a. Landscape potential of the Devínska Kobyla region.



Obr. 1b. Krajinný potenciál oblasti Devínskej Kobily.
Fig 1b. Landscape potential of the Devínska Kobyla region.

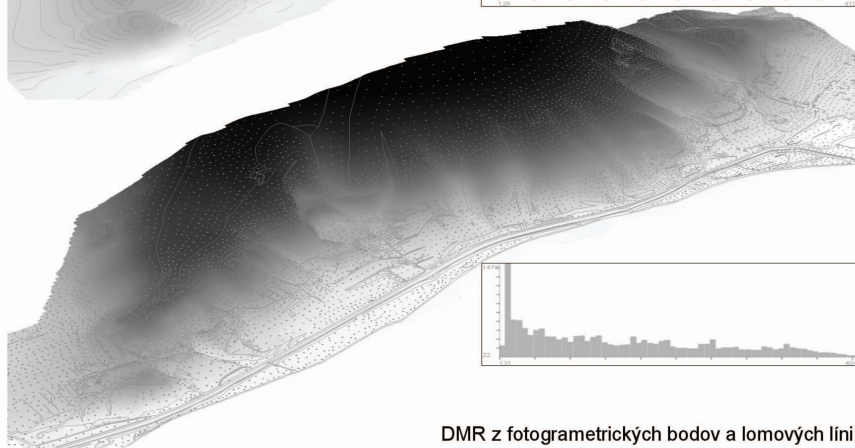
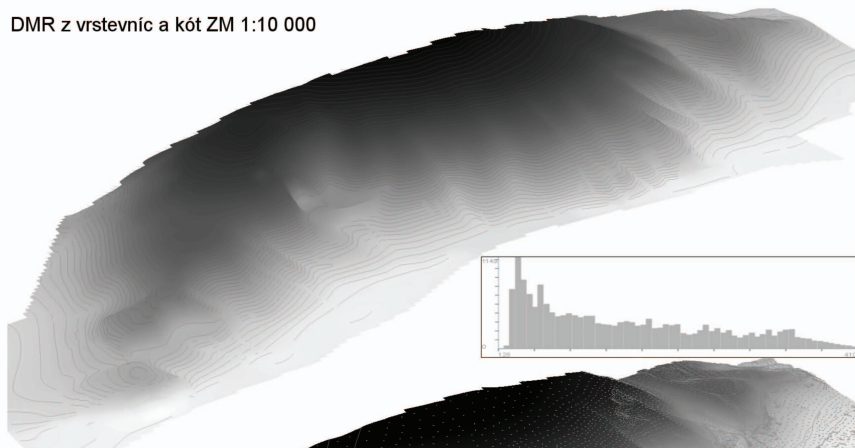


Obr. 1c. Krajinný potenciál oblasti Devínskej Kobily.
Fig 1c. Landscape potential of the Devínska Kobyla region.



Obr. 2. Interpolačná metóda RST.
 Fig. 2. The RST interpolation method.

DMR z vrstevnic a kót ZM 1:10 000



DMR z fotogrametrických bodov a lomových línií

Obr. 3. Porovnanie povrchu DMR z vrstevnic a fotogrametrických bodov so zlomovými líniami.
Fig 3. Comparing the surface of a digital terrain model generated from contours and photogrammetric points with break lines.