

TESTOVÁNÍ A VÝBĚR INTERPOLAČNÍCH METOD DMR V ZÁVISLOSTI NA TYPU GEORELIÉFU

JANA KADLČÍKOVÁ*

Jana Kadlčíková: Testing and selecting of the interpolation methods of DEM according to the type of georelief. Geomorphologia Slovaca et Bohemica, 7, 2007, 2, 4 Figs., 3 Tabs., 10 Refs.

The aim of the article is to introduce the way of testing and selecting of the most suitable interpolation methods (and settings of their parameters) for calculation of the digital elevation models (DEM) according to the type of a georelief on the level of geomorphologic districts. The methods for the calculation of the DEMs (IDW, spline with tension, regularized spline) are tested on the chosen data samples in the environment of the software ArcGIS 9.2 and will be tested in the environment of the software Grass GIS 6.0 (methods: IDW and RST). The gross errors, systematic errors and the random errors are observed for the resulting DEMs.

Key words: testing of interpolation methods, setting of parameters, IDW, spline with tension, regularized spline, DEM, types of georelief

1 ÚVOD

Cílem příspěvku je představit způsob testování a výběru nejvhodnějších interpolačních metod (a nastavení jejich parametrů) pro výpočet digitálních modelů reliéfu (DMR) v závislosti na typu georeliéfu na úrovni geomorfologických okrsků.

Problematika testování interpolačních metod a kvality DMR je součástí disertační práce na téma „Geomorfometrie reliéfu pro environmentální aplikace“, která se dále zabývá testováním výpočtů geomorfometrických charakteristik v prostředí geoinformačních systémů, optimalizací metod těchto výpočtů podle typu reliéfu, aplikací povrchových analýz na jednotky geomorfologického členění reliéfu ČR a statistickým zhodnocením výsledků. Součástí je také zhodnocení možnosti využití morfometrických charakteristik a jejich změn ve fyzikogeografických a socioekonomických environmentálních aplikacích.

2 DATA A ZÁJMOVÁ ÚZEMÍ

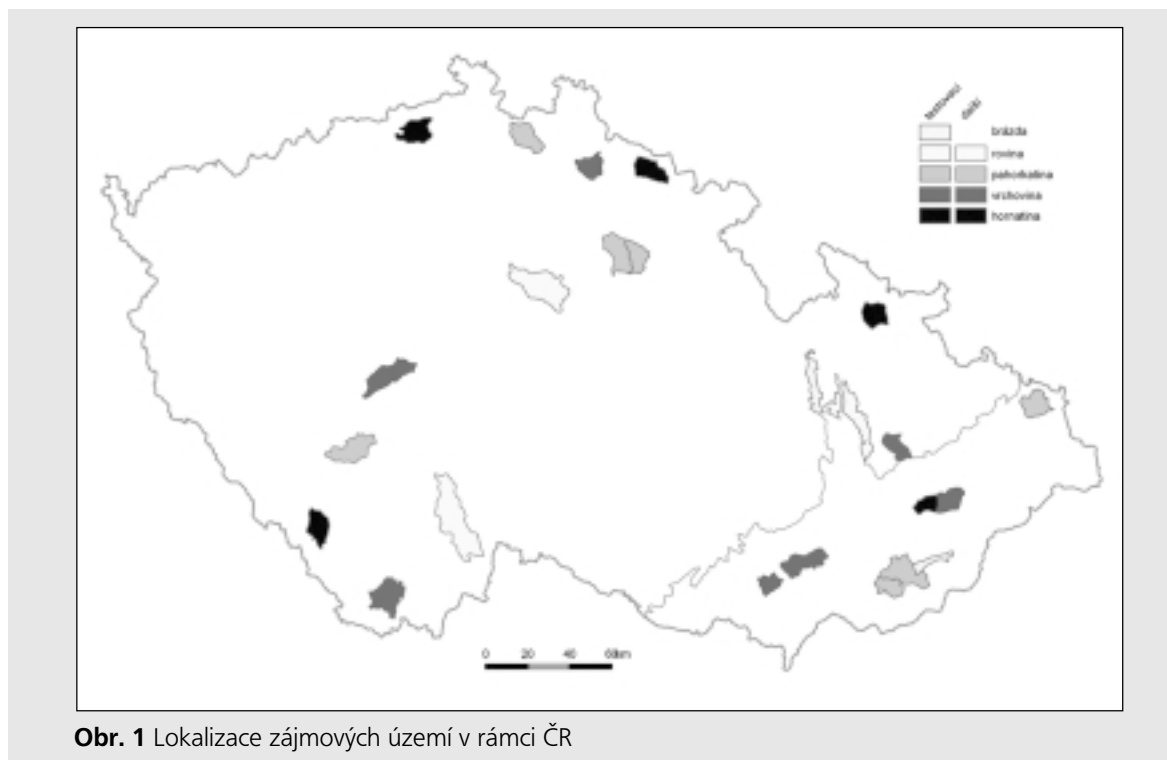
Digitální modely reliéfu s horizontálním rozlišením 5 m byly interpolovány z dat DMÚ25 (vrstevnice, vodstvo) poskytnutých Katedrou geoinformatiky PřF Univerzity Palackého v Olomouci a z výzkumného záměru MŠMT s názvem „Dynamická geovizualizace v krizovém managementu“ řešeného na Geografickém ústavu PřF Masarykovy univerzity v Brně.

Území, nad kterými bylo testování prováděno, odpovídají jednotkám geomorfologického členění reliéfu na úrovni okrsků. Hranice těchto území v digitální podobě byly poskytnuty Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR. Pro základní testování interpolačních metod a hodnocení kvality digitálních modelů bylo použito 15 testovacích ploch, dalších 12 území sloužilo k následné aplikaci a ověření poznatků (**obr. 1**). Území byla vybírána tak, aby byly zastoupeny všechny typy reliéfu, tj. brázdy, roviny, ploché a členité pahorkatiny, ploché a členité vrchoviny i ploché či členité hornatiny. Dalším kritériem

Typ reliéfu	Číselný [m]	Testovací území		Další území	
		Český masiv	Karpaty	Český masiv	Karpaty
brázda		Blatná brázda	Požovská brázda		
rovina	0-30	Sadská rovina	Zerotinská rovina	Boškovická pánev	Červená rovina
plochá pahorkatina	30-75	Nechanická tabule	Orlovská pláň	Ostrovská tabule	
členitá pahorkatina	75-150	Podještědská pahorkatina	Věbovská pahorkatina	Rodomyšlská pahorkatina	Milánská pahorkatina
plochá vrchovina	150-200	Studená vrchovina	Bludská vrchovina		Uhřetická vrchovina
členitá vrchovina	200-300	Blatná vrchovina	Hošťálková vrchovina	Kozlovská vrchovina	Kožimská vrchovina
plochá hornatina	300-450	Osavská sídlišť	Rusavská hornatina		
členitá hornatina	450-600	Hornopánská hornatina, Černoštická vrchovina		Bludská hornatina, Václavská hornatina	

Tab. 1 Přehled testovacích a dalších zájmových území z oblasti Českého masivu a Karpat

* Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, tř. Svobody 26, 771 46, Olomouc, Česká republika, e-mail: jana.kadlcikova@centrum.cz



Obr. 1 Lokalizace zájmových území v rámci ČR

výběru bylo vyrovnané zastoupení zájmových ploch z obou hlavních geomorfologických systémů nacházejících se na území ČR, tj. Karpatský a Hercynský systém, které se od sebe liší zejména díky odlišnému geologickému vývoji (tab. 1). V první fázi testování bylo použito 7 testovacích území z oblasti Karpat a 1 území (Hornopavská hornatina) z oblasti Hercynského systému, získané výsledky jsou uvedeny v závěru.

3 TESTOVANÉ INTERPOLAČNÍ METODY

Na vybraných vzorcích dat z prvních 8 testovacích území byly v prostředí ArcGIS 9.2 testovány interpolační metody IDW, spline s tenzí a regulovaný spline s různými nastaveními parametrů (tab. 2). Pro 8 výše zmíněných území bylo z vrstev vstupních bodů vygenerováno celkově 848 digitálních modelů reliéfu. V dalších fázích disertační práce bude testování rozšířeno o další metody implementované v prostředí ArcGIS 9.2 a GRASS GIS 6.0.

3.1 IDW

Základní myšlenkou metody inverzních vzdáleností je *První geografické pravidlo*: „Věci, které mají k sobě blíže spolu více souvisí než ty vzdálenější“ (TOBLER 1970). Tato metoda se tedy používá k určení nadmořské výšky z buňky pomocí váženého průměru z nadmořských výšek bodů ležících do určité vzdálenosti (dle vyhledávacího poloměru) od počítané buňky. Metoda IDW je lokální interpolační metoda (VOŽENÍLEK et al. 2001).

3.2 SPLAJNY

Metoda splajnů využívá matematicky definované křivky, které interpolují jednotlivé části povrchu po částech, z čehož plyne, že lze změnit část interpolovaného povrchu, aniž by musel být celý přepočítán. Základní výraz spline interpolace minimální křivosti vychází z následujících dvou požadavků na interpolant: povrch musí přesně procházet datovými body a povrch

Software	Metoda	Parametry	Nastavení*
ArcGIS (9.2)	IDW	počet vstupních bodů	3:5:7:10:15:20:30
		power	0.5:1:2:3
	spline s tenzí	počet vstupních bodů	3:5:7:10:15:20:30
		váha	3:5:7:10:15:20:30:50
	spline regulovaný	počet vstupních bodů	3:5:7:10:15:20:30
		váha	0:0.001:0.01:0.1:0.5

Tab. 2 Příklady nastavení parametrů vybraných interpolačních metod

*Jednotlivé parametry jsou vzájemně kombinovány, např. pro metodu spline s tenzí s počtem vstupních bodů je postupně použito váhy 3, 5, 7, 10...

musí mít minimální křivost (kumulativní součet čtverců druhých derivací povrchu provedený v každém bodě povrchu musí být minimální). Výsledný povrch však bývá až nerealisticky hladký díky vyhlazení bariér a skoků. Proto je tedy vhodnější jej používat spíše při interpolaci velmi hladkých povrchů (jevů) (VOŽENÍ-LEK et al. 2001). Jedná se o lokální metodu interpolace (KLINKENBERG 1997).

MITÁŠOVÁ a MITÁŠ (1993) popisují metodu nazývanou *regulovaný splajn s tenzí* (angl. regular spline with tension). Vlastnosti této metody mohou být nastaveny pomocí dvou parametrů: jeden nastavuje tenzi (napětí) povrchu a další nastavuje vlastnost týkající se těsnosti průchodu interpolovaného povrchu datovými body.

4 HODNOCENÍ KVALITY DMR

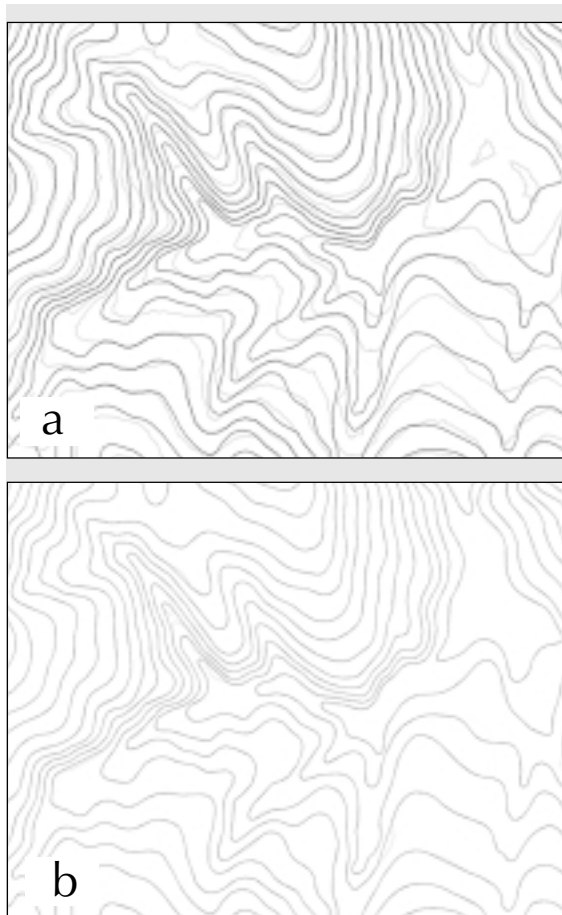
Prostorová data obsahují neurčitosti a chyby, které mohou ovlivnit výsledky datových analýz a modelování. Tyto chyby se mohou dostat do dat v různých stádiích zpracování geografických informací, od počátečních měření prostoru až po jeho prezentaci v GIS. Je tedy třeba po vytvoření jakéhokoli DMR poskytnout informace o jeho kvalitě.

Kvalita DMR závisí především na zdroji dat a způsobu interpolace (WENG 2002). V DMR se mohou vyskytovat systematické a nesystematické chyby a následně mohou ovlivňovat vypočítané terénní atributy. Lze nalézt tři typy chyb: (I) hrubé chyby z lidského zavinění, (II) systematické chyby a (III) náhodné chyby či šumy (HENGL et al. 2003, KLINGSEISEN 2004). Hrubé chyby jsou výsledkem interakce s člověkem nebo selhání technického vybavení a mohou vzniknout v jakékoli fázi zpracování. Chyby tohoto typu jsou nežádoucí a měly by být eliminovány. Systematické chyby jsou způsobeny nedostatkem měření či zpracování dat a měly by být určeny již při procesu generování DMR. V mnoha měřeních existují náhodné chyby, které nelze vhodně modelovat.

4.1 HRUBÉ CHYBY

Hrubé chyby lze v DMR identifikovat několika způsoby. Nejjednodušším způsobem je nalezení a porovnání extrémních hodnot se vstupními daty či výpočet dalších základních charakteristik (např. průměr, směrodatná odchylka). Tímto způsobem lze určit, které interpolační metody (a nastavení jejich parametrů) vypočítávají nereálné minimální či maximální hodnoty ve výsledném DMR.

Dalšími způsoby pro prvotní zhodnocení nově vzniklého DMR je generování vrstevnic a jejich srovnání s původními vrstevnicemi (**obr. 2**) či jeho zobrazování ve 2,5D (identifikace „na první pohled“ nereálných tvarů - např. velké množství depresí v nekrasové krajině).



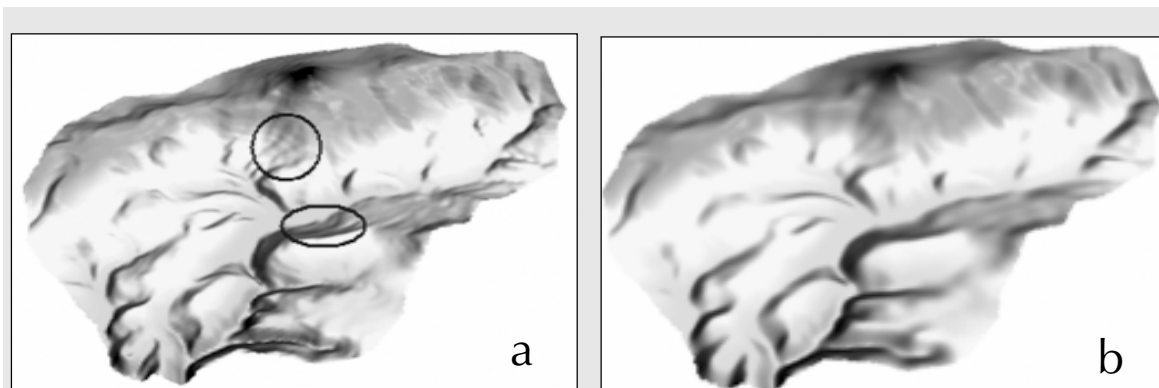
Obr. 2 Srovnání původních (tmavá) a nově vygenerovaných (světlá) vrstevnic interpolační metodou **a)** idw – parametr počet vstupních bodů = 15 a **b)** spline s tenzí - parametr počet vstupních bodů = 30 a váha = 20 (oblast pahorkatiny)

4.2 SYSTEMATICKÉ CHYBY

Systematické chyby mají obvykle stejný charakter pro celý povrch. Vhodnou změnou vstupních parametrů či úpravou vstupních dat lze tyto chyby minimalizovat. Přítomnost systematických chyb se při vizualizaci projevuje např. vznikem „umělých“ teras v místech, kde nelze jejich existenci očekávat (**obr. 3**).

Názorným způsobem, jak identifikovat tento typ chyb, je také zobrazit z vygenerovaných nadmořských výšek histogram. V ideálním případě má mít tvar normálního rozdělení, v opačném případě, při existenci systematické chyby, z histogramu vystupují tzv. peaky, které poukazují na nadměrné množství dat s hodnotami odpovídajícími vstupním vrstevnicím (**obr. 4**).

Nejčastěji používanou metodou pro kvantifikaci systematických a náhodných chyb je výpočet střední kvadratické chyby (angl. *root mean square error* – RMSE), která určuje rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi původními výškovými daty a daty DMR. Vyšší hodnota RMSE odpovídá většímu rozptylu mezi dvě-



Obr. 3 Na DMR vygenerovaném interpolační metodou RST - parametr počet vstupních bodů = 15, tenze = 40 a shlazení = 0,1 je patrná přítomnost umělých teras (a), v DMR vygenerovaném metodou RST - parametr počet vstupních bodů = 15 tenze = 20 a shlazení = 0,8 je jejich přítomnost potlačena (b) (oblast hornatiny)

ma datovými sadami. Matematicky je vyjádřena jako (WOOD 1996):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_j)^2}$$

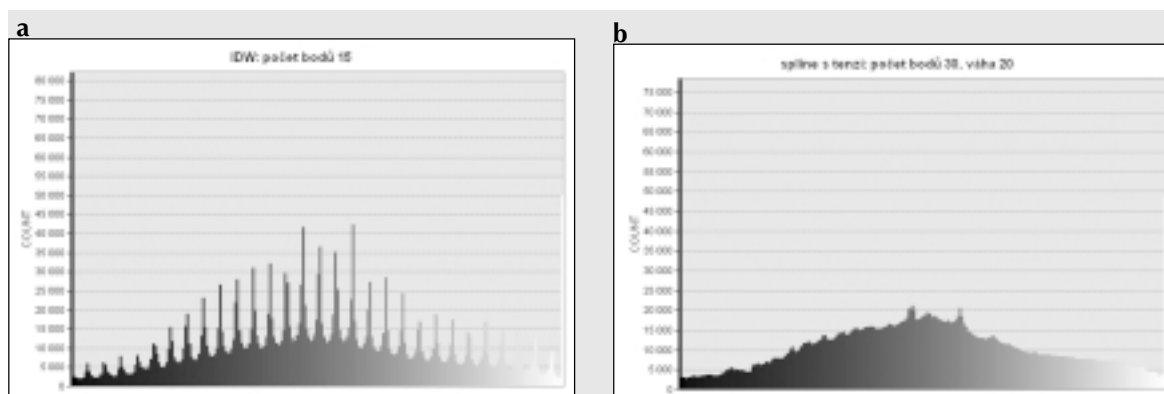
kde: Z_i je i -tá hodnota nadmořské výšky z interpolovaného DMR, Z_j je korespondující nadmořská výška referenčního povrchu, n je počet kontrolovaných bodů.

Po odhalení chyb v DMR musí být chybné hodnoty nahrazeny správnými a musí být znovu interpolovány z okolních buněk. Nejjednodušší filtry jsou založeny na využití interpolace chybějící hodnoty ze sousedních buněk jako průměru z pozorovaných hodnot. Počet buněk, se kterými se pracuje (např. velikost okna) určuje stupeň shlazení. Vhodnou metodou k reinterpolaci souvislého povrchu je metoda krigingu nebo interpolace pomocí splajnu. Optimalizace nastavení parametrů vybraných metod interpolace pro jednotlivé typy reliéfu je aplikována nejprve na testovacích územích. Tento proces je časově velmi náročný a v době vzniku tohoto

příspěvku ještě nebyl zcela dokončen. Následujícím krokem bude aplikace zjištěných nastavení na všech na zájmová území a konečné statistické vyhodnocení vzhledem k typu georeliéfu.

5 ZÁVĚR

Po srovnání všech DMR v rámci každého území podle výše zmiňovaných metod hodnocení, byla pro každé území vybrána nejvhodnější metoda a nastavení jejich parametrů (**tab. 3**), které by mělo vést k dosažení nejkvalitnějších DMR daného typu reliéfu. Z tabulky 3 vyplývá, že pro všechny typy reliéfu je velmi vhodná metoda spline s tenzí, která vytváří podle nastavené hodnoty váhy různě shlazené povrchy. Hodnoty parametru počet vstupních bodů zůstaly pro všechny typy reliéfu relativně neměnné, tj. mezi 20-30 body. U parametru váhy je patrný mírný trend zvyšování hodnoty s rostoucí členitostí reliéfu. Pro plošší reliéf je vhodné použít hodnotu mezi 5 až 15, pro členitější reliéf pak hodnotu mezi 20 až 30.



Obr. 4 Histogramy z vygenerovaných nadmořských výšek:

a) interpolační metodou idw – parametr počet vstupních bodů = 15 (výrazná přítomnost nežádoucích „peaků“) a **b)** metodou spline s tenzí – parametr počet vstupních bodů = 30 a váha = 20 (tvar se blíží normálnímu rozdělení) (oblast pahorkatiny)

Typ reliéfu	Interpolační metoda	počet vstupních bodů	váha
rovina	spline s tenzí	30	5-10
plochá pahorkatina	spline s tenzí	20-30	10-15
členitá pahorkatina	spline s tenzí	20-30	5-10
plochá vrchovina	spline s tenzí	30	10-15
členitá vrchovina	spline s tenzí	30	10-20
plochá hornatina	spline s tenzí	20-30	20-30
členitá hornatina	spline s tenzí	15	20-30
brázda	spline s tenzí	20-30	1-5

Tab. 3 Nejvhodnější metoda a nastavení jejích parametrů pro dosažení nejkvalitnějších DMR pro jednotlivé typy reliéfu.

Prvotní testování bylo provedeno pouze na 8 územích, pro objektivnější výsledky je však třeba v tomto procesu pokračovat dále, rozšířit toto testování na další území a vzájemně výsledky porovnávat a sledovat, zda zde existuje nějaký trend.

Pomocí dalšího procesu testování jednotlivých interpolačních metod s různým nastavením parametrů v prostředí ArcGIS v. 9.2 či Grass GIS v. 6.0 na ostatních územích bude možno stanovit jejich závislost na jednotkách geomorfologického členění reliéfu na úrovni okrsků. Tyto výsledky se stanou podkladem pro výpočet co nejpřesnějších hodnot morfometrických atributů u jednotlivých typů georeliéfu, neboť právě kvalita vstupního DMR má na jejich hodnoty zásadní vliv.

Dílčím výstupem tohoto testování bude také metodika, která usnadní rozhodování při tvorbě DMR jako podkladu pro modelování prostorových procesů či obecně podkladu pro přesnější vědecké závěry geomorfologických studií.

LITERATURA

- HENGL, T. et al. (2003). *Digital terrain analysis in ILWIS*. Lecture notes and user guide, 1-56.
- HUGENTOBLER, M. (2004). *Terrain Modelling with Triangle Based Free-Form Surfaces*. Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Zürich, Ph.D. thesis, Zürich, 1-136.
- KLINGSEISEN, B. (2004). *GIS based generation of topographic attributes for landform classification*. Fachhochschule Technikum Kärnten, diploma thesis, 1-131.
- KLINKENBERG, B. (1997). *Unit 40 - Spatial interpolation I*. [on-line], [cit. 2006-10-20]. dostupný z: <<http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u40.html>>.
- MITÁŠOVÁ, H., MITÁŠ, L. (1993). Interpolation by regularized spline with tension – I. Theory and implementation. *Mathematical geology*, 25, 6, 641-655.
- TOBLER, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 2, 234-240.
- VOŽENÍLEK, V. et al. (2001). *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Olomouc, 1-185.
- WACKERNAGEL, H. (1998). *Multivariate geostatistics*. Springer, New York.
- WENG, Q. (2002). Quantifying Uncertainty of Digital Elevation Models Derived from Topographic Maps. *Symposium on Geospatial Tudory, Processing and Applications*, Ottawa, 403-418.
- WOOD, J. D. (1996). *The geomorphological characterisation of digital elevation models*. Geography Department, University of Leicester, UK, Ph.D. thesis, [on-line], [cit. 2006-10-09].1-456, dostupný z: <http://www.geog.le.ac.uk/jwo/research/dem_char/thesis/>.