



FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD

AUTOREFERÁT

disertační práce

PLZEŇ, 2008

Ing. Jan PACINA

Ing. Jan PACINA

**Metody pro automatické vymezení
elementárních forem georeliéfu jako
součást Geomorfologického
informačního systému**

obor
Geomatika

Autoreferát disertační práce k získání
akademického titulu "Doktor"

V Plzni, 12. června 2008

Disertační práce byla vypracována v prezenčním doktorském studiu na Katedře matematiky (oddělení geomatiky), Fakulty aplikovaných věd ZČU v Plzni.

Uchazeč: Ing. Jan PACINA
Fakulta aplikovaných věd - KMA,
Univerzitní 22
306 14 Plzeň

Školitel: Doc. RNDr. František JEŽEK CSc.
Fakulta aplikovaných věd - KMA,
Univerzitní 22
306 14 Plzeň

Oponenti: Doc. Mgr. Jaroslav HOFIERKA, PhD.
Katedra geografie a regionálního rozvoje
Fakulta humanitních a přírodních věd
Prešovská univerzita v Prešove
ul. 17. novembra 1
081 16 Prešov

prof. RNDr. Jaromír DEMEK, DrSc.
VÚKOZ, v.v.i., pracoviště Brno
Lidická 25/27
602 00, Brno

Autoreferát byl rozeslán dne:

Obhajoba disertační práce se koná dne _____ před komisí v oboru
Aplikovaná matematika na Fakultě aplikovaných věd, Univerzitní 22 v
místnosti _____ v _____ hodin.

S disertační prací je možno se seznámit na studijním oddělení FAV ZČU,
Univerzitní 22, UV 206.

prof. Ing. Pavel NOVÁK PhD.
předseda oborové rady studijního
programu Geomatika

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pouze s použitím uvedené literatury.

Jan Pacina

Obsah

Resumé	9
Abstract	11
Úvod	13
Publikace	15
Seznam citací	16
1 Přehled přístupů k elementarizaci georeliéfu	17
2 GmIS (Geomorfologický informační systém)	17
3 Morfometrické charakteristiky odvozené z topografické plochy georeliéfu	17
4 Algoritmy pro identifikaci hranic elementárních forem georeliéfu	18
5 Aproximace parciálních derivací	18
6 Přesnost aproximace parciálních derivací	18
7 Příprava dat pro automatické vymezení hranic elementárních forem georeliéfu	21
8 Aplikace vybraných algoritmů pro automatické vymezení hranic	21
9 Výpočet míry afinity vymezených segmentů georeliéfu k množině definovaných elementárních forem	24
10 Technologický postup poloautomatické elementarizace	25
Závěr	27

Resumé

Cílem této práce je otestovat možnosti automatické elementarizace georeliéfu pro potřeby Geomorfologického informačního systému (GmIS) vyvíjeného ve spolupráci Univerzity Komenského v Bratislavě a Západočeské univerzity v Plzni. V této práci byly navrženy, implementovány a testovány kroky, které vedou k částečné automatizaci elementarizace georeliéfu.

Úvodní část práce přináší teoretické aspekty a východiska pro elementarizaci georeliéfu. V rešerši literatury jsou shrnuty přístupy, které byly dosud v této oblasti aplikovány. Kroky vedoucí k automatické elementarizaci georeliéfu zpracované v této práci vycházejí z komplexního přístupu, který představil Evans a Minár v práci [35]. Dále je zde přiblížen GmIS a část diferenciální geometrie, která popisuje vlastnosti a možnosti odvození morfometrických charakteristik vyšších řádů. Povrchy odvozených morfometrických charakteristik se využívají při automatickém vyhledávání hranic elementárních forem georeliéfu.

Pro proces automatické elementarizace jsou svými vlastnostmi vhodné trendové povrchy. V práci jsou ukázány a testovány možnosti tvorby trendových povrchů z různých typů vstupních dat. Pro generování výškových rastrů byla použita metoda RST (regulární spline pod napětím).

K vyhledání hranic elementárních forem georeliéfu je potřeba odvodit povrchy morfometrických charakteristik až do třetího řádu. K tomu je potřeba získat aproximace parciálních derivací až do třetího řádu s odpovídající kvalitou. Standardní nástroje GIS však poskytují možnost aproximace parciálních derivací pouze do druhého řádu. Jako jeden z podstatných přínosů disertační práce je implementace postupu aproximace parciálních derivací s požadovanou kvalitou do třetího řádu. Tato metoda vychází z obecného polynomu 3. stupně a využívá metodu vážených nejmenších čtverců. Řešení tohoto problému je nyní v oblasti morfometrie velmi aktuální - I. V. Florinský (Russian Academy of Sciences) ve stejný čas a nezávisle na této práci navrhl metodu pro aproximaci parciálních derivací 3. řádu založenou na stejných principech, ale s rozdílným použitím a přesností. Přesnost popsanych metod pro aproximace parciálních derivací byla ověřena na testovacím území, které je generované pomocí vhodné polynomické funkce.

Významná část práce je věnována automatickému vymezení hranic elementárních forem georeliéfu. V rámci řešení této problematiky bylo implementováno a testováno pět algoritmů pro automatické vymezení hranic elementárních forem postavených na různých základech. Algoritmy byly pro jednoduchost interpretace dosažených výsledků vyvíjeny a testovány na výškových datech (oblast Černého a Čertova jezera na Šumavě). Podstatným přínosem této části práce je implementace algoritmu, který vyme-

zuje hranice elementárních forem s pomocí Cannyho hranového detektoru a který byl použit pro vymezení hranic v další části práce.

Vlastní vymezení hranic elementárních forem georeliéfu probíhá v površích odvozených morfometrických charakteristik. Vztahy pro výpočet morfometrických charakteristik byly odvozeny pomocí symbolických výpočtů. V literatuře věnující se morfometrii nebyl tento automatizovaný postup odvození dosud popsán. Pro vymezení hranic elementárních forem georeliéfu byl použit algoritmus využívající Cannyho hranový detektor. Dalším přínosem práce je striktní stanovení charakteristik, které se využívají k automatickému ohodnocení vymezených hran a určují jejich kvalitu a geomorfologickou významnost. Z těchto ohodnocených segmentů hran je nutné metodou operátora vymežit plochy *protoforem* (dosud nezařazených elementárních forem).

V závěru práce je ukázán možný přístup pro výpočet příslušnosti vymezených *protoforem* k množině deseti ideálních elementárních forem. Testovanou *protoformou* je postupně proloženo všech 10 typů aproximačních ploch a spočítána příslušnost ke každé z nich. Částečným přínosem je zde zpřesnění výpočtu parametrů rovnic jednotlivých aproximačních ploch pomocí metody MNČ a automatizování výpočtu těchto ploch.

Klíčová slova:

Geomorfologický informační systém, GmIS, morfometrické charakteristiky, automatická elementarizace georeliéfu, elementární formy.

Abstract

The aim of this dissertation thesis is to test the possibilities of automatic georelief elementarization for the needs of Geomorphological information system (GmIS), which is being developed in cooperation of Comenius University in Bratislava (Slovakia) and University of West Bohemia in Pilsen (the Czech republic). In this thesis are proposed, implemented and tested methods for partial automatic georelief elementarization.

The introductory part of the thesis describes theoretical aspects and resources for georelief elementarization. In the chapter dedicated to literature overview are summarized methods applied in this field so far. Methods for automatic georelief elementarization developed in this thesis have the essentials in the complex approach introduced by Evans and Minár in [35]. In this part is as well introduced the basic characterization of the GmIS and the branch of differential geometry that describes possibilities of derivation of morphometrical characteristics of higher orders and their characteristics. The surfaces of derived higher order morphometrical characteristics are used for automatic delimitation of elementary forms boundaries.

For the process of automatic elementarization it is suitable to use the "trend surface". In this work are demonstrated and tested possibilities for creation of trend surfaces from different types of input data. For elevation data interpolation is used the RST method (regularized spline under tension).

Automatic delimitation of elementary forms boundaries works with surfaces of derived morphometrical characteristics up to the third order computed from approximated partial derivatives. The standard GIS tools offer approximations of partial derivatives only up to the second order. One of important contributions of this dissertation thesis is the implementation of partial derivatives approximation up to the third order with required quality. This method is based on the third order polynomial and uses weighted least square method. Approximation of partial derivatives of third order is presently actual topic in the field of morphometry - I. V. Florinsky (Russian Academy of Sciences) has simultaneously and independently on this thesis implemented method for approximations of the third partial derivatives based on similar methods, but with different application and accuracy. Accuracy of described methods for partial derivatives approximation was tested and verified on dataset generated by suitable polynomial function.

Fundamental part of this thesis is dedicated to automatic delimitation of boundaries of elementary forms of georelief. Five algorithms for delimitation of elementary forms boundaries based on different techniques were implemented and tested within the frame of solving this problem. The algorithms were developed and tested on elevation data (area of Černé and

Čertovo jezero (lake) in Šumava mountains) for easier interpretation of achieved results. Remarkable contribution of this part of the thesis is implementation of boundary delimitation algorithm based on Canny edge detector. This algorithm has been used for delimitation of elementary form boundaries in the following part of the thesis.

Boundaries are delimited on the surfaces of derived morphometrical characteristics. Formulas for computing the surfaces of morphometrical characteristics were derived with the help of symbolic computations. In morphometrical literature was never described such a automated derivation of these formulas. Next contribution of this thesis are strictly defined characteristics describing the quality of boundaries delimited by the Canny-based algorithm. Surfaces of *protoforms* (an elementary form of georelief which is not classified yet) are then delimited from these boundary segments with the help of an operator.

In the last part of the thesis is shown a possible way how to compute the *afinity* of delimited *protoforms* to the set of ten ideal elementary forms. The computation of the coefficients of the approximation surfaces was refined by least square method and the whole process of approximation surfaces computation was automated. The tested *protoform* is approximated by ten approximation surfaces and the *afinity* to each of them is computed.

Keywords:

Geomorfological information system, GmIS, morfometrical characteristics, automatic georelief segmentation, elementary forms.

Úvod

Geomorfologické mapování a s ním úzce související vymezení elementárních forem georeliéfu jsou činnosti, bez kterých se dnešní geomorfologie neobejde. Tyto činnosti jsou ovšem časově velmi náročné a od geomorfologa vyžadují širokou škálu zkušeností a mnoho let praxe.

S rozvojem výpočetní techniky a zejména geografických informačních systémů (GIS) se mnoho autorů snažilo navrhnout a implementovat metody počítačové podpory těchto činností.

Automatická elementarizace georeliéfu vyžaduje komplexní přístup při řešení dílčích úloh. Řada autorů uvedených v úvodu práce přinesla ve své práci zajímavé myšlenky, které ovšem samy o sobě nestačí ke kvalitní segmentaci georeliéfu. Minár a Evans v práci [35] k řešení tohoto problému elementarizace využili dílčí poznatky z předchozích řešení a představili postup, který je dle slov světových odborníků-geomorfologů revoluční.

Automatická segmentace georeliéfu, podle postupu který představil Minár a Evans, bude tvořit důležitou komponentu Geomorfologického informačního systému (GmIS), který vzniká ve spolupráci Katedry fyzické geografie a geoekologie, Fakulty přírodovědecké, Univerzity Komenského v Bratislavě a dále Katedry matematiky - oddělení geomatiky, Fakulty aplikovaných věd a Katedry geografie, Fakulty pedagogické, Západočeské univerzity v Plzni. Významná část této disertační práce vznikla během dvou studijních pobytů na UK v Bratislavě, pod vedením prof. RNDr. Jozefa Minára, CSc.

Cílem práce je vytvoření předpokladů k částečnému zautomatizování procesu elementarizace georeliéfu pro potřeby GmIS. Cíle práce jsou následující:

- Navržení vhodné metody přípravy vstupních dat.
- Odvození vztahů pro výpočet morfometrických charakteristik vyšších řádů pomocí symbolických výpočtů.
- Odvodit a implementovat aproximaci parciálních derivací ve směru x a y až do třetího řádu s odpovídající kvalitou (přesností). Hodnoty parciálních derivací musí být použitelné pro výpočet morfometrických charakteristik třetího řádu.
- Navrhnout a implementovat algoritmus pro vyhledání nejvýraznějších nespojitosti v povrchích odvozených morfometrických charakteristik (segmentů hranic elementárních forem).
- Automaticky ohodnotit geomorfologický význam a kvalitu vymezených hranic.

- Navrhnout způsob automatizace výpočtu *afinity* (příbuznosti) vymezených *protoforem* k množině deseti ideálních geometrických forem.

Publikace

PACINA, J.; PELIKÁN, P.; VOCÁSKOVÁ, J.; JEDLIČKA, K.; ČADA, V.: *Testing ArcGIS Survey analyst in Czech environment and comparison with common Czech survey software Win Kokeš*. Výzkumná zpráva, 16 s. Plzeň, 2004.

PACINA, J.: *Description of principles of chosen spatial analyses and their implementation in non-commercial GIS GRASS for practical education*. In Sborník konference GIS Ostrava 2006.

JANEČKA, K.; PACINA, J.: *Model šíření kůrovce v NP Šumava*. Plakátová zpráva. Konference GIS Ostrava 2007.

PACINA, J.: *Algorithms for automated border delimitation of elementary forms of georelief as a part of Geomorphologic information system*. In Sborník symposia GIS Ostrava 2008. Ostrava : Tanger, 2008. s. 1-10. ISBN 978-80-254-1340-1.

PACINA, J.: *Návrh a implementace algoritmů pro automatizované vymezení hranic elementárních forem georeliéfu jako součást GmIS*. In Študentská vedecká konferencia. Bratislava : IRIS Bratislava, 2008. s. 63-65. ISBN 978-80-89238-17-0.

PACINA, J.: *Testování postupů pro automatizované vymezení hranic elementárních forem georeliéfu jako součást Geomorfologického informačního systému*. In Stav geomorfologických výzkumů v roce 2008. Šlapanice: Česká asociace geomorfologů, 2008. s. 38-38. ISBN 978-80-86407-39-5.

PACINA, J.: *Vymezování hranic elementárních forem georeliéfu*. In Stavební obzor. 2008, roč.8, č.3, s.83-87, ISSN 1210-4027.

PACINA, J.: *Possibilities of automated georelief segmentation for needs of Geomorphologic information system*. Zasláno k publikaci - Geomorphologia Slovaca et Bohemica, Geografický časopis, Moravian Geographical Reports.

PACINA, J., MINÁR, J, KRCHO, J., EVANS, I. S., BENOVÁ, A., VLČEK, V.V.: *Computation of morphometric variables of 3rd order - accuracy and efficiency*. Připravováno k publikaci - International Journal of Geographical information science.

Seznam citací

JEDLIČKA, K.: *Geomorphologic Information system - Use Cases*. In Sborník symposia GIS Ostrava 2008. Ostrava : Tanger, 2008. s. 1-9. ISBN 978-80-254-1340-1.

JEDLIČKA, K.: *Geomorfologický informační systém*. Teze disertační práce. Ostrava: Technická univerzita Ostrava. 2007.

KADLČÍKOVÁ, J.: *DMR a jeho vizualizace*. In: Sborník z konference GIS Ostrava 2007, Ostrava, 15 s. 2007.

MINÁR, J., MENTLÍK, P.: *GIS ako všeobecný a špecifický nástroj geografického výzkumu*, Mescellanea Geographica, č. 13, s. 47-52, Plzeň, 2007.

1 Přehled přístupů k elementarizaci georeliéfu

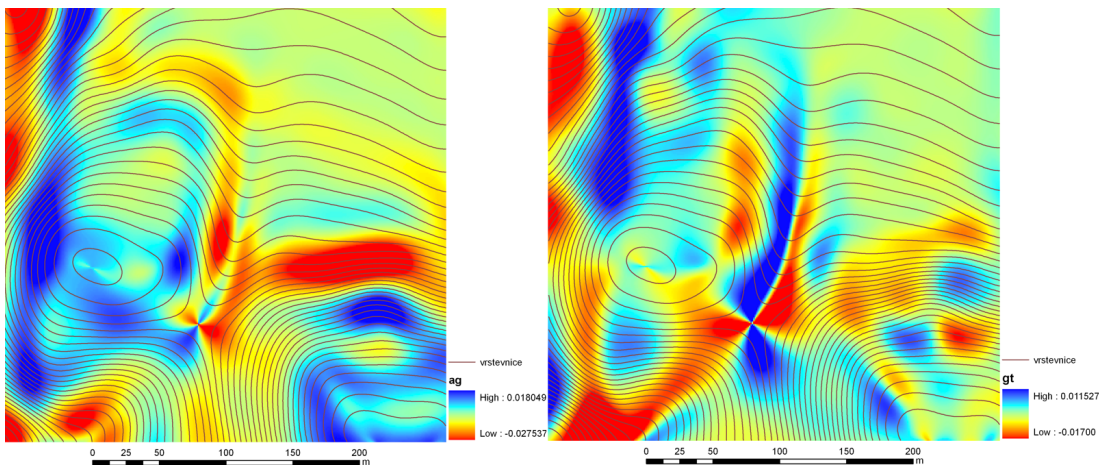
Přehled literatury je zaměřen na práce autorů, které souvisejí s automatizovanou elementarizací georeliéfu, ať již jen s historického významu, nebo z pohledu praktického přístupu. Komplexní přístup, který představil Minár a Evans v práci [35] byl částečně inspirován zde prezentovanými přístupy.

2 GmIS (Geomorfologický informační systém)

Vývoji prostředí GmIS a databázovým záležitostem se věnují práce [18], [19], [30] a [31], proto je v práci uvedena jen krátká charakteristika a ohlédnutí do historie.

3 Morfometrické charakteristiky odvozené z topografické plochy georeliéfu

Odvozené morfometrické charakteristiky vyšších řádů jsou důležité pro vymezování hranic elementárních forem georeliéfu. V této kapitole je přinesen přehled těchto morfometrických charakteristik spolu s jejich geometrickým významem a způsobem odvození. Pro snadnější odvození rovnic morfometrických charakteristik vyšších řádů byl v programu Matlab naprogramován skript pro jejich odvození pomocí symbolických výpočtů.



Obrázek 1: Povrchy morfometrických charakteristik a_g a g_t

4 Algoritmy pro identifikaci hranic elementárních forem georeliéfu

V rámci této kapitoly byly testovány algoritmy pro vyhledávání hranic elementárních forem georeliéfu. Obecně pracují algoritmy na principu vyhledávání lokálních extrémů v testovaných datech. Nespojitost v poli nižšího řádu (např. pole nadmořských výšek) se v poli vyššího řádu z něj odvozeném (např. sklon γ_N) projeví jako lokální extrém. Velikost tohoto extrému odpovídá afinitě (příslušnosti) testované nespojitosti k ideální hraně¹.

Algoritmy pro vyhledávání hranic elementárních forem aplikujeme pro snadnější vyhodnocení výsledků přímo na pole nadmořských výšek. Algoritmy nám tedy vyhledají hrany, které by měly odpovídat údolnicím a hřbetnicím.

S ohledem k dosaženým výsledkům a variabilitě testovaných algoritmů byly pro další testování vybrány následující dva algoritmy:

- Vyhledání lokálního maxima z okolních susedů.
- Vyhledání lokálního maxima pomocí hranových detektorů.

5 Aproximace parciálních derivací

V této kapitole je obsažen přehled metod aproximace parciálních derivací podle x a y prvního a druhého řádu, které jsou implementovány ve většině GIS.

Hlavním cílem kapitoly byla implementace robustního algoritmu pro aproximaci hodnot třetích parciálních derivací podle x a y z výškových dat. Byla použita metoda vycházející z obecného polynomu 3. stupně a pomocí metody vážených nejmenších čtverců byly odvozeny vztahy pro aproximace parciálních derivací až do třetího řádu.

Do přehledu testovaných metod byla zařazena i metoda aproximace parciálních derivací 3. řádu podle Florinského. Tato metoda byla vyvinuta ve stejný čas a nezávisle na metodě prezentované v této práci.

6 Přesnost aproximace parciálních derivací

U parciálních derivací 3. řádu se hodnocení přesnosti aproximace provede pomocí hodnot *míry shody* a statistiky rozdílu (*aritmetického průměru a směrodatné odchylky*). Přesnost aproximace parciální derivací prvního a druhého řádu byla provedena vizuální kontrolou průběhu izočar u povrchu sklonu a křivostních povrchů.

¹Ideální hranu si v poli nadmořských výšek můžeme představit jako sklon 90° .

- *Míra shody* = (výsledek/etalon)·100%. Hodnota by měla v ideálním případě pohybovat okolo hodnoty 100%.
- *Aritmetický průměr* = aritmetický průměr z diferencí hodnot.
- *Směrodatná odchylka* = kvadratický průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru.

Po porovnání hodnot v tabulkách 6.1, 6.2, 6.3 a 6.4 můžeme konstatovat, že přesnost aproximace parciálních derivací 3. řádu je pro všechny testované metody přijatelná. Metody využívající k aproximaci 5×5 okolí aktuálně počítaného bodu mají však až o 2 řády lepší výsledky než metoda $L2^2$.

Příliš vysokých přesností jsme dosáhli zřejmě proto, protože testovaná plocha je zadána polynomem a při aproximaci jednotlivých derivací prokládáme *polygon-etalon* interpolačním polynomem. Dalším možným faktorem může být příliš vysoká jednoduchost pole třetích parciálních derivací.

Pro výpočet morfometrických charakteristik vyšších řádů bude s ohledem k výsledkům testování použita metoda *poly3*.

$\frac{\partial z^3}{\partial x^3}$	Míra shody	Ar. průměr	Směr. odchylka
L2	100.5621	$1.3845 \cdot 10^{-7}$	$2.1260 \cdot 10^{-7}$
Poly3-a	99.9954	$-5.1298 \cdot 10^{-11}$	$6.6149 \cdot 10^{-10}$
Poly3-b	99.9937	$-7.1432 \cdot 10^{-11}$	$9.1008 \cdot 10^{-10}$
Poly3-Taylor	99.9928	$-8.1379 \cdot 10^{-11}$	$1.0361 \cdot 10^{-9}$

Tabulka 1: Přesnost aproximace $\frac{\partial z^3}{\partial x^3}$

$\frac{\partial z^3}{\partial y^3}$	Míra shody	Ar. průměr	Směr. odchylka
L2	100.4094	$-5.4159 \cdot 10^{-9}$	$1.1298 \cdot 10^{-8}$
Poly3-a	100.0070	$1.4788 \cdot 10^{-10}$	$2.3948 \cdot 10^{-10}$
Poly3-b	100.0104	$2.1592 \cdot 10^{-10}$	$3.3582 \cdot 10^{-10}$
Poly3-Taylor	100.0118	$2.4660 \cdot 10^{-10}$	$3.8275 \cdot 10^{-10}$

Tabulka 2: Přesnost aproximace $\frac{\partial z^3}{\partial y^3}$

²Popis jednotlivých testovaných metod viz disertační práce

$\frac{\partial z^3}{\partial x^2 \partial y}$	Míra shody	Ar. průměr	Směr. odchylka
L2	100.7735	$-3.1177 \cdot 10^{-8}$	$2.1486 \cdot 10^{-7}$
Poly3-a	99.9967	$3.7259 \cdot 10^{-10}$	$4.3921 \cdot 10^{-10}$
Poly3-b	99.9965	$3.9209 \cdot 10^{-10}$	$4.6218 \cdot 10^{-10}$
Poly3-Taylor	99.9964	$4.0043 \cdot 10^{-10}$	$4.7203 \cdot 10^{-10}$

Tabulka 3: Přesnost aproximace $\frac{\partial z^3}{\partial x^2 \partial y}$

$\frac{\partial z^3}{\partial x \partial y^2}$	Míra shody	Ar. průměr	Směr. odchylka
L2	99.4957	$-3.2169 \cdot 10^{-8}$	$7.7610 \cdot 10^{-8}$
Poly3-a	99.9981	$5.9091 \cdot 10^{-11}$	$5.3963 \cdot 10^{-10}$
Poly3-b	99.9980	$6.3364 \cdot 10^{-11}$	$5.8677 \cdot 10^{-10}$
Poly3-Taylor	99.9979	$6.5319 \cdot 10^{-11}$	$6.0900 \cdot 10^{-10}$

Tabulka 4: Přesnost aproximace $\frac{\partial z^3}{\partial x \partial y^2}$

7 Příprava dat pro automatické vymezení hranic elementárních forem georeliéfu

Účelem zpracování dat s rozdílnou hustotou a způsobem vzniku bylo testování chování interpolační funkce (RST) a algoritmů pro vymezení hranic elementárních forem georeliéfu na různých typech dat.

Pro generování kvalitního DMR pomocí metody RST byla ve většině případů problémová segmentace. Metoda RST segmentaci používá pro snížení výpočetního času a výpočetní složitosti výsledné spline plochy. Při problémové segmentaci dochází při aproximaci parciálních derivací (a následně i morfometrických charakteristik) na hranicích napojení jednotlivých segmentů k tvorbě extrémů. Tyto extrémy ovlivňují kvalitu dat a také výsledky Cannyho hranového detektoru (vlivem vyšších hodnot dochází k přenastavení prahů pro detekci hran).

Interpolace dat pomocí RST bez metody segmentace³ je ovšem výpočetně i paměťově velmi náročná. Dochází zde k určité generalizaci výstupních dat, protože se celá interpolovaná oblast počítá jako jedna spline funkce⁴. Pro výpočet větších oblastí (ohromné paměťové nároky) bude nutné interpolaci provádět tzv. po částech - interpolovat oblasti po menších částech s velkými překryty. Další možností je volba parametrů interpolace pro co nejhladší napojení segmentů.

8 Aplikace vybraných algoritmů pro automatické vymezení hranic

V této kapitole byly zpracovány následující kroky.

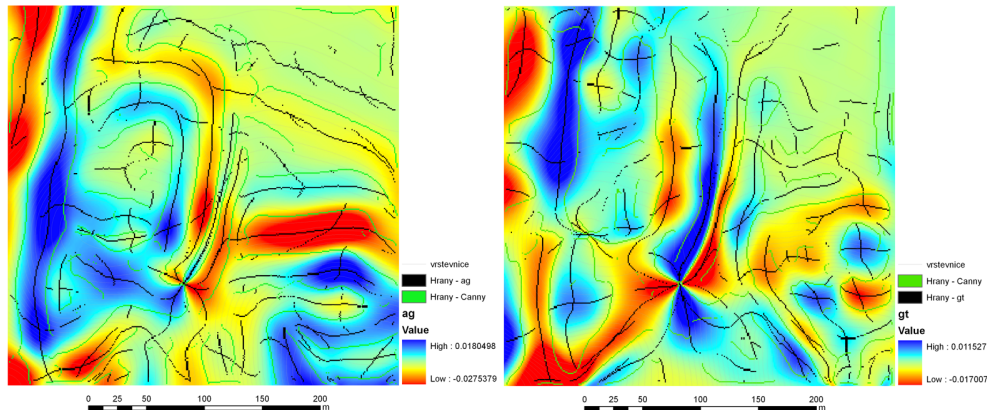
- Aplikace dvou algoritmů pro vymezení hranic elementárních forem georeliéfu na různé typy vstupních dat:
 1. Algoritmus pro vyhledávání lokálních extrémů z okolních sousedů byl testován s různými variacemi (zvětšení testovaného okolí, rotace dat). S ohledem na hodnocení dle formálních kritérií (zejména velmi vysoký výskyt šumu) byl algoritmus označen za nevyhovující.
 2. Algoritmus pro vyhledávání lokálních extrémů pomocí Cannyho hranového detektoru. Tento algoritmus splňuje formální kritéria pro vyhledávání hranic elementárních forem georeliéfu.

³Toho se dá dosáhnout volbou maximálního počtu bodů v jednom segmentu.

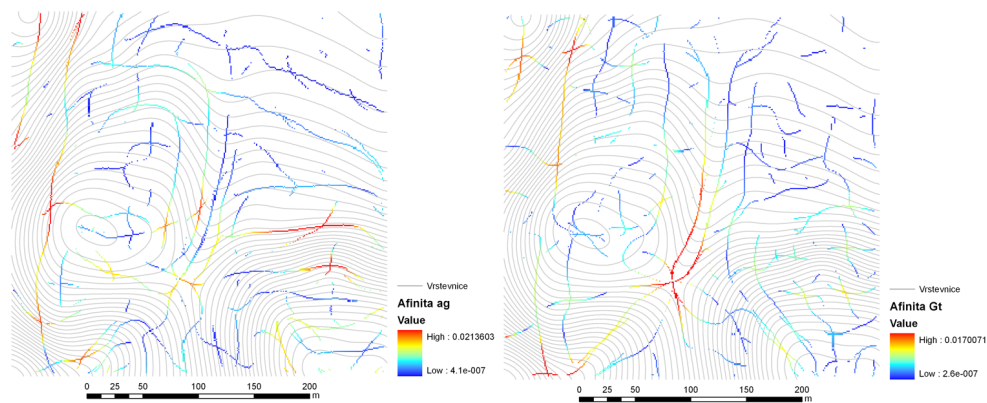
⁴V případě segmentace je každý segment počítán jako samostatná plocha.

- Stanovení charakteristik pro automatické ohodnocení kvality a významnosti vyhodnocených hran - z testovaných charakteristik byly vybrány dvě charakteristiky:
 - všeobecná ostrost,
 - afinita (lokální specifická ostrost).
- Vymezení ploch *protoforem* metodou operátora.

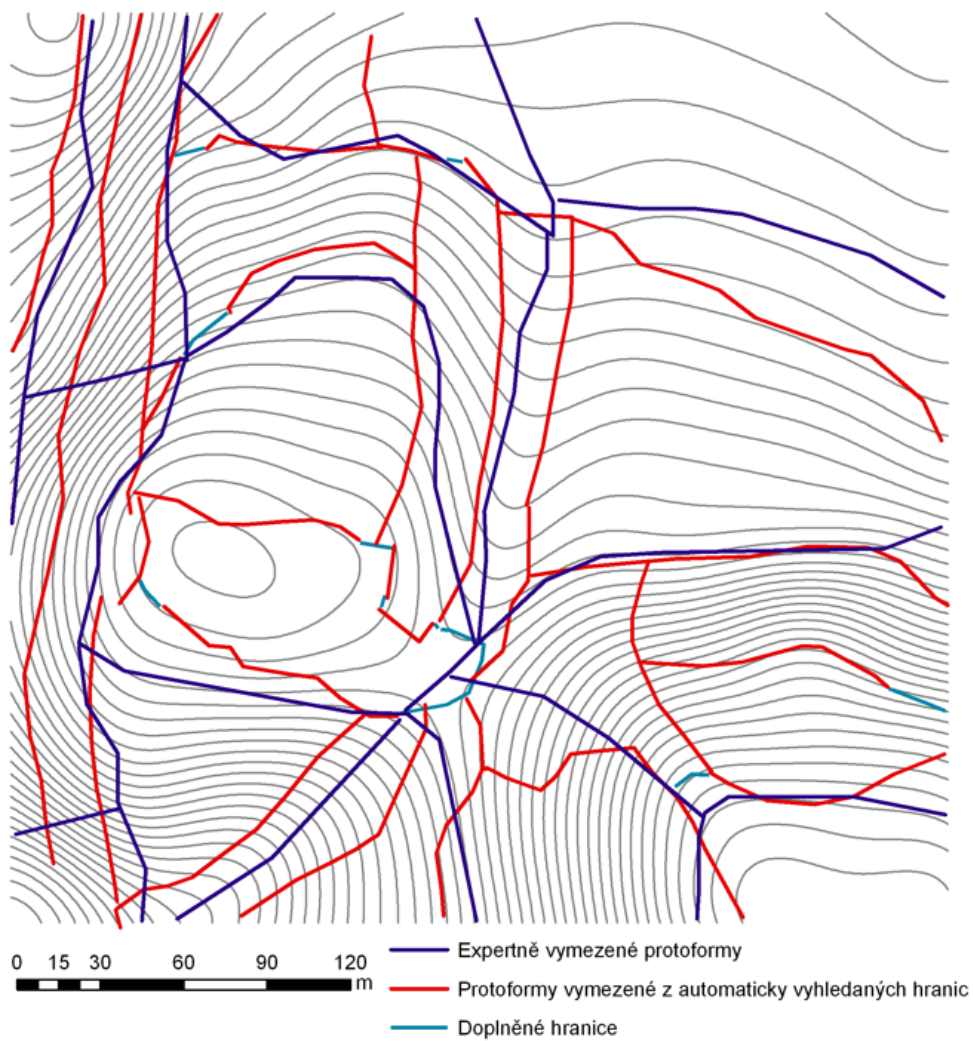
Automaticky vymezené segmenty hranic elementárních forem georeliéfu byly odborníkem-geomorfologem doplněny tak, aby tvořily uzavřené plochy - *protoformy*. V následující kapitole je ukázán postup, jak určit příslušnost vymezených *protoforem* k množině ideálních geometrických forem.



Obrázek 2: Hrany vymezené na povrchu a_g a g_t



Obrázek 3: Vymezené hrany a_g a g_t ohodnocené pomocí charakteristiky *afinita*.



Obrázek 4: Vymezené hranice protoforem v porovnání s výsledky práce [35]

9 Výpočet míry afinity vymezených segmentů georeliéfu k množině definovaných elementárních forem

Model	μ_1	μ_2	μ_3
0 - rovina	1.02m	1.0332m	–
L_1	0.75m	0.7725m	–
L_2	0.66m	0.6528m	–
L_3	0.66m	0.6481m	–
C_1	0.43m	0.3632m	0.38m
C_2	0.43m	0.3462m	0.60m
C_3	0.40m	0.3460m	1.2m
D_1	0.95m	0.8713m	–
D_2	0.82m	0.6940m	–
D_3	–	0.6925m	–

Tabulka 5: Výsledky výpočtu μ pro oblast So - Slovinec

Model	μ_1	μ_2
0 - rovina	2.30m	2.3081m
L_1	0.33m	0.3347m
L_2	0.33m	0.3313m
L_3	0.32m	0.3182m
C_1	0.28m	0.3370m
C_2	0.27m	0.3281m
C_3	0.26m	0.2942m
D_1	0.27m	0.4745m
D_2	0.26m	0.4564m
D_3	–	0.4395m

Tabulka 6: Výsledky výpočtu μ pro oblast Po - Podhorské

V této kapitole byly ukázány možnosti pro výpočet afinity vymezených *protoforem* k množině ideálních geometrických forem.

Přínosem této kapitoly je automatizování výpočtu aproximačních ploch a zpřesnění aproximace parametrů rovnic jednotlivých ploch pomocí MNČ.

Pro centrální části vymezených elementárních ploch - oblast Slovinec, Podhorské a Sandberg byla spočítána afinita k množině 10 ideálních geometrických forem.

Model	μ_1	μ_2
0 - rovina	4,94m	4.8496m
L_1	0.79m	0.7562m
L_2	0.68m	0.5970m
L_3	0.66m	0.5944m
C_1	0.68m	0.5637m
C_2	0.64m	0.4999m
C_3	0.64m	0.3126m
D_1	0.88m	1.2112m
D_2	0.81m	0.9917m
D_3	–	0.9298m

Tabulka 7: Výsledky výpočtu μ pro oblast Sa - Sandberg

S ohledem ke složitosti vstupních dat nebylo při výpočtu koeficientů rovnic aproximujících ideálních forem dle postupu popsaného v [35] dosaženo uspokojivých výsledků. Hodnota průměrné objemové divergence (μ) by s narůstajícím řádem aproximační plochy měla klesat - v tomto případě to však bylo naopak (viz sloupec μ_3 v tabulce 9.1).

Pro aproximaci koeficientů rovnic ideálních geometrických forem byla tedy použita MNČ. Výsledky jsou shrnuté ve sloupci μ_2 v tabulkách 9.1, 9.2 a 9.3.

Hodnoty μ_2 pro plochy D_1 , D_2 a D_3 jsou horší než hodnoty ve sloupcích μ_1 ⁵. To může být způsobeno méně přesným výpočtem morfometrické charakteristiky $R_R (= \frac{1}{AN_q})$ a následně středu divergentní plochy p , q . I přes horší výsledky μ však hodnoty vypovídají o příslušnosti testovaných ploch ke třídám divergentních geometrických forem.

10 Technologický postup poloautomatické elementarizace

Projekt GmIS je postaven na platformě ESRI. Postupy použité v této práci jsou algoritmicky náročné, proto byly realizované mimo prostředí ArcGIS. K interpolaci výškových dat byl zvolen GIS GRASS v.6.3. s ohledem k implementované metodě interpolace pomocí RST. Pro automatizování jednotlivých kroků elementarizace byl použit matematický software *Matlab*, protože obsahuje podporu matematického aparátu aplikovaného při automatické elementarizaci. Vizualizace některých výsledků byla provedena v programu Surfer v.8.

⁵ μ_1 jsou výsledky testování z práce [35].

Vstupní data jsou získána ve formátu shapefile (ArcGIS 9.3). Jedná se o vektorová data, která se využívají pro budování DMR. Pro přípravu vstupních dat (řazení dat, interpolace) je použit GIS GRASS, zejména moduly:

- *v.in.ogr* - import shape-file do prostředí GRASS (vektorové vrstevnice, body, lomové linie),
- *r.random* - generování náhodných bodů pro řazení vstupních dat,
- *v.surf.rst* - interpolace výškového rastru pomocí RST,
- *r.out.mat* - export výškového rastru ve formátu **.mat* = nativní formát *Matlabu*.

Aproximace parciálních derivací, výpočet morfometrických charakteristik, vyhledání hranic *protoforem* a určení jejich kvality probíhá v programu *Matlab*.

Import zpět do programu ArcGIS 9.3 probíhá opět pomocí GIS GRASS a jednoduchého shell skriptu. Využívá se modulů:

- *r.in.mat* - import **.mat* souborů (rastrů), které obsahují vymezené hranice *protoforem* s ohodnocením kvality,
- *r.out.arc* - export rastrů ve formátu vhodném pro import do ArcGIS.

Do prostředí ArcGIS se tedy importují prostřednictvím GIS GRASS automaticky vymezené segmenty hranic *protoforem* vymezené v programu *Matlab*. Pro každou použitou morfometrickou charakteristiku jsou importovány dva rastry s vymezenými hranicemi - ohodnoceny pomocí charakteristiky *všeobecné ostrosti* a *afinity* (lokální specifická ostrost).

Vymezení ploch jednotlivých *protoforem* metodou operátora je následně provedeno v prostředí ArcGIS na základě importovaných a ohodnocených segmentů hranic.

Vstupní rozhraní pro testování *afinity* nebylo v rámci práce řešeno. Pro potřeby testování byly použity tři oblasti⁶ převzaté z práce [35]. Pro výpočet *afinity* vymezených *protoforem* k množině deseti ideálních geometrických forem je opět použit program *Matlab*.

V rámci GmIS bude do výpočtu *afinity* vstupovat segment DMR v rastrovém formátu ohraničený vymezenými hranicemi (*protoforma*). Každá testovaná *protoforma* bude obsahovat jednoznačné ID. Výsledky testování *afinity* budou uloženy do tabulky, která bude s testovanou *protoformou* provázána přes ID a která bude obsahovat hodnoty *afinity* k deseti geometrických formám.

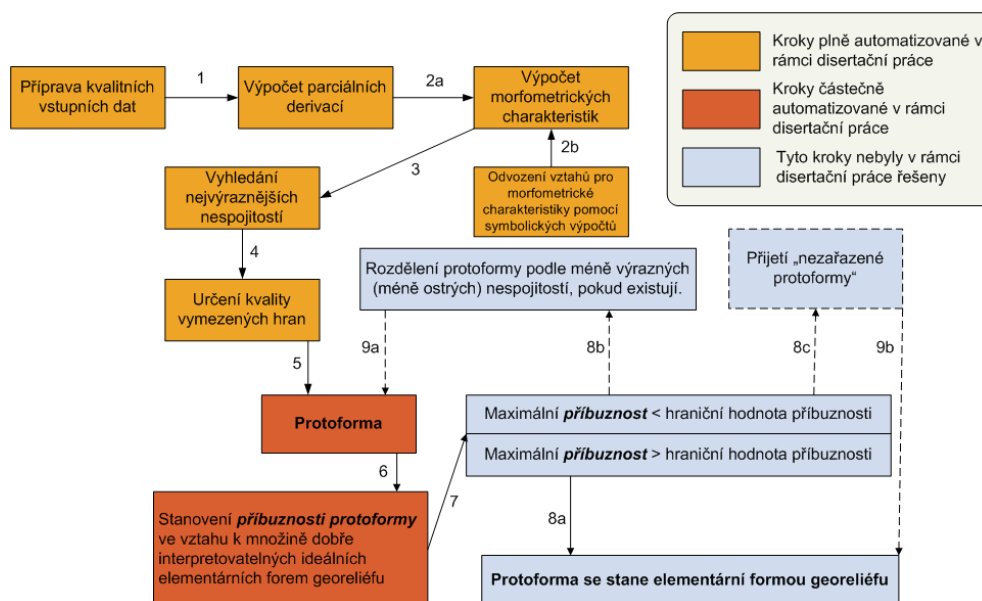
Okomentované zdrojové kódy algoritmů spolu s daty zpracovanými v této práci jsou DVD přiloženém k disertační práci.

⁶Obdélníkové oblasti vymezené z DMR.

Závěr

Myšlenka práce vychází z potřeb Geomorfologického informačního systému, jehož důležitou komponentou jsou automaticky vymezené elementární formy georeliéfu. V této práci byly navrženy, implementovány a testovány kroky, které vedou k částečné automatizaci elementarizace georeliéfu.

Teoretická část práce se zabývá aspekty a východisky pro elementarizaci georeliéfu. Je zde shrnut přehled literatury, která souvisí s automatizovanou elementarizací georeliéfu, ať již z historického významu, nebo z pohledu praktického přístupu. V této části práce jsou dále zahrnuty základní informace o Geomorfologickém informačním systému a úvod do problematiky odvozených morfometrických charakteristik. Vývoji prostředí GmIS a databázovému řešení se věnuje práce [18], [19], [30] a [31], proto je v této práci uvedena jen krátká charakteristika a ohlédnutí do historie.



Obrázek 5: Schéma elementarizace podle [35] doplněné o kroky zpracované v této práci

Přínos práce

Vlastní přínos této práce spočívá v aplikaci metod z oblasti kybernetiky, numerické matematiky, geometrie a GIS v souladu s postupy navrženými Minárem a Evansem v [35] pro potřeby automatické elementarizace georeliéfu. Schéma na obrázku 5 ilustruje podíl výsledků práce na procesu automatické elementarizace georeliéfu.

Částečným přínosem této práce je stanovení metodiky přípravy vstupních dat pro potřeby automatické elementarizace. Bylo testováno několik postupů pro tvorbu trendového povrchu z dat různého typu, kvality a způsobu vzniku.

Za podstatný přínos lze považovat návrh a implementaci aproximace parciálních derivací třetího řádu. Pro automatické vymezení hranic elementárních forem georeliéfu je nutné odvodit povrchy morfometrických charakteristik až do třetího řádu a k tomu je nutné získat aproximace parciálních derivací třetího řádu s odpovídající kvalitou. V dosavadní literatuře nebyl dosud tento problém přesnější aproximace parciálních derivací pro potřeby morfometrie řešen. Metoda prezentovaná v této práci byla odvozena ve stejný čas a nezávisle na Florinského metodě odvozené v [8], přičemž vychází ze stejné myšlenky, ovšem s rozdílným způsobem aplikace aproximací parciálních derivací. Toto svědčí o aktuálnosti řešeného problému. Přesnost aproximace parciálních derivací byla testována v kapitole 7⁷. Z výsledků testů vyplývá, že metoda implementovaná v této práci aproximuje parciální derivace třetího řádu s vyšší přesností (v rámci testovaných dat) než metoda Florinského.

Hodnoty aproximovaných parciálních derivací byly použity pro výpočet povrchů odvozených morfometrických charakteristik. Přínos této části práce spočívá v odvození vztahů pro výpočet morfometrických charakteristik pomocí symbolických výpočtů. V literatuře zabírající se morfometrií nebyl tento automatizovaný postup výpočtu dosud popsán.

Dalším podstatným přínosem byla implementace a testování pěti algoritmů pro automatické vymezení hranic elementárních forem georeliéfu. Jako nejvhodnější z testovaných algoritmů byl zvolen algoritmus využívající Cannyho hranový detektor. Cannyho hranový detektor zde byl použit pouze jako prostředek k detekci inflexních bodů, mezi kterými se dále vyhledávají hranice elementárních forem georeliéfu. Tento algoritmus byl aplikován na data různého typu, kvality a způsobu vzniku tak, aby bylo možné porovnat výsledky elementarizace.

Neméně důležitým přínosem je automatické hodnocení geomorfologického významu a kvality vymezených segmentů hranic elementárních forem. Minár a Evans v práci [35] obecně hovoří charakteristikách, které tuto kvalitu vyjadřují. V této práci jsou však striktně definovány charakteristiky, které se k automatickému hodnocení kvality vymezených segmentů hranic dají použít. Z těchto charakteristik byly vybrány dvě (všeobecná ostrost, afinita (lokální specifická ostrost)), které mají vypovídající charakter.

Plochy jednotlivých *protoforem* je nutné dovymezit metodou operátora. Pro určení příslušnosti testované *protoformy* k jednotlivým ideálním geometrickým formám je nutné testovanou *protoformou* tuto ideální (apro-

⁷Kapitola 7 v disertační práci.

ximační) plochu proložit a spočítat jednotkovou objemovou divergenci. Další částečný přínos této práce spočívá ve zpřesnění odvození parametrů rovnic deseti ideálních geometrických forem pomocí MNC a automatizování jejich výpočtu.

Obecné závěry

Momentálně je GmIS vyvíjen ve spolupráci UK v Bratislavě a ZČU v Plzni. Vývoji prostředí GmIS a databázovému řešení se věnuje Jedlička, Mentlík a Minár v pracích [18], [19], [30] a [31]. Rozvíjí se spolupráce s odborníky z Velké Británie a Ruska v hledání efektivních morfometrických postupů pro vymezení elementárních forem georeliéfu.

Na GmIS můžeme nahlížet nejen jako na nástroj geomorfologického výzkumu, ale i jako na nástroj hodnocení užitkových vlastností krajiny - krajinné potenciály, přírodní hrozby, hazardy a rizika. Elementarizace georeliéfu automatizovaná v rámci této práce má význam při geoekologickém výzkumu a mapování právě při stanovování přírodních hrozeb, hazardů a rizik, což je ukázáno např. v práci [32] a [36].

Práce měla za úkol ukázat možnosti automatické elementarizace georeliéfu pro potřeby GmIS. Navrhnuté a implementované algoritmy slouží k poloautomatické elementarizaci georeliéfu. Pro složitost problému nebylo možné v rámci této práce dokončit celý proces automatické elementarizace. Je zde však položen základ pro vývin nové technologie v geomorfologickém, geografickém a environmentálním výzkumu.

Pro zlepšení automatizace celého procesu elementarizace by bylo vhodné navrhnout přístup nahrazující zásah operátora při vymezení *protoforem* ze segmentů automaticky vymezených hranic, dále pak metodu výpočtu ideálních geometrických forem z celé plochy *protoformy* a přesnější výpočet středů cirkulárních a divergentních ploch. Pro určení příslušnosti vymezených *protoforem* k množině ideálních geometrických forem bude nutné stanovit předpis pro výpočet *Membership function*.

Tato práce může být tedy i impulsem pro komerční produkty při zlepšování jejich technologií. GmIS je vyvíjen na platformě ESRI a bude proto nutné propojit stávající algoritmy naprogramované v programu *Matlab* s tímto prostředím. Je otázka, zda se bude postupovat metodou přímé integrace algoritmů do prostředí ArcGIS, nebo se budou pouze externě využívat knihovny programu *Matlab*. Z hlediska množství použitých programů by bylo výhodné, aby aproximace parciálních derivací a metody pro elementarizaci georeliéfu byly zahrnuty přímo v softwarovém balíku ArcGIS. Téma implementace popsaných algoritmů do prostředí ArcGIS, ale i další problémy nastíněné v rámci práce, by mohlo být dobrým základem pro magisterské, případně disertační práce.

Reference

- [1] BARCH, D.; DIKAU, R.: *Entwicklung einer Digitalen Geomorphologischen Basiskarte (DGmBK)*. Geo-Infomations-Systeme, 1989, roč. 2, č. 3, ISSN 0935-1523.
- [2] BENOVA, A.: *Georelief a modelovanie jeho geometrickej struktury pomocou KDMR*. Comenius University at Bratislava, Disertační práce 2005
- [3] BONK, R.: *Scale-dependent impact of selected factors on morphometric parameters accuracy and automated geomorphological mapping*. Comenius University at Bratislava, Disertační práce 2003
- [4] BRÄNDLI, M.: *Hierarchical Models for the Definition and Extraction of Terrain Features*. 1996. In: BURROUGH, P.A.; FRANK, A.U. (eds): *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*. Gisdata, Vol 2. Taylor & Francis, London, 257-270.
- [5] BUDÍNSKÝ, B.: *Analytická a diferenciální geometrie*. SNTL Praha, 1983.
- [6] CEBECAUER, T.; HOFIERKA, T.; ŠÚRI, M.: *Processing digital terrain models by regularized spline with tension: tuning interpolation parameters for different input datasets*. Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002 - Trento, Italy.
- [7] DALRYMPLE, J.B.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J.: *An hypothetical nine unit landsurface model*. Z. Geomorphol. N.F. Bd 12, 60-76, 1968.
- [8] FLORINSKY, I.V.: *Computation of the third-order partial derivatives and derivation function from a digital elevation model*. International Journal of Geographical Information Science. In press.
- [9] GREEN, B.: *Canny Edge Detection Tutorial* [online]. [cit. 2007-14-04]. http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can_tut.html
- [10] CHAPLOT, V.; DARBOUX, F.; BOURENNANE, H.: *Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density*. Geomorphology, 2006.
- [11] HLAVÁČ, V.; SEDLÁČEK, M.: *Zpracování signálů a obrazů.*, ČVUT Praha, 2005. ISBN 80-01-03110-1.
- [12] HENGL, T.: *Fuzzy clasification in GIS* [online]. [cit. 2008-09-03]. <http://www.spatial-analyst.net/fuzzy.php>

- [13] HENGL, T.; GRUBER, S.; SHRESTHA, D.P.: *Digital terrain analysis in ILWIS* [online]. [cit. 2008-09-03].
http://www.itc.nl/personal/shrestha/DTA/DTA_in_ILWIS.pdf
- [14] HOFIERKA, J.; MITASOVA, H.; NETELER, M.: *Geomorphometry in GRASS GIS*. In: Hengl, T. and Reuter, H.I. (eds). *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Developments in Soil Science Series, Elsevier, In press. 2008.
- [15] IRVIN, B.J., Ventura, S.J., Slater, B.K.: *Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin*. *Geoderma* 77, 137-154, 1997.
- [16] JENČO, M.: *The morphometric analysis of georelief in terms of a theoretical conception of the complex digital model of georelief*. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Univesitatis Comenianae, Geographica* Nr. 33, 1992, 5 Fig. 24 Ref.
- [17] JEDLIČKA, K.; BŘEHOVSKÝ, M.; ŠÍMA, J.: *Úvod do geografických informačních systémů*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2003. 116 s.
- [18] JEDLIČKA, K.; JEŽEK, J. *Geo-related open source software development at University of West Bohemia*. In *Proceedings 1*. Sofia : International Cartographic Association, 2008. s. 125-131. ISBN 978-954-724-036-0.
- [19] JEDLIČKA, K.: *Geomorphologic Information system - Use Cases*. In *Sborník symposia GIS Ostrava 2008*. Ostrava : Tanger, 2008. s. 1-9. ISBN 978-80-254-1340-1.
- [20] JEŽEK, F.: *Diferenciální geometrie - pomocný učební text*. [online]. [cit. 2007-21-05].
<http://geometrie.kma.zcu.cz/index.php/www/content/view/full/68/>
- [21] KLIMÁNEK, M.: *Digitální modely terénu*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2006.
- [22] KRCHO, J.: *Morfometrická analýza a digitalne modely georeliéfu*. VEDA Bratislava, 1990.
- [23] KRCHO, J.: *Modelovanie georeliéfu a jeho geometrickej štruktúry pomocou DTM; polohová a numerická presnosť*. Bratislava, 2001. ISBN 80-85401-92-4
- [24] KRCHO, J.: *Geometrické formy georeliéfu a ich hierarchické úrovne*. In *Geografický časopis*. 1986, roč. 38, č. 2-3, str. 210-233.

- [25] KRCHO, J.: *Matematické vlastnosti topografickej plochy georeliéfu z hladiska morfometrickej analýzy a jej modelovanie pomocou komplexného digitálneho modelu*. In Geografický časopis. 1987, roč. 39, č. 2, str. 169-199.
- [26] KRCHO, J.: *Matematické vlastnosti georeliéfu s hladiska geometrických forem a jeho modelovanie aproximujúcimi funkciami dvoch premenných*. In Geografický časopis. 1989, roč. 41, č. 1, str. 23-45.
- [27] LASTOČKIN, A., N.: *Morfodinamiczeskij Analiz*. Nedra, Leningrad, 1987.
- [28] LUŇÁK, T.: *Segmentace DMR pomocí Fuzzy klasifikace*. Semestrální práce z předmětu KMA/APA. 2007. <http://www.gis.zcu.cz/APA>
- [29] MÍKA, S.; BRANDNER, M.: *Numerické metody I*. ZČU Plzeň, 1996.
- [30] MENTLÍK, P.; JEDLIČKA, K.; MINÁR, J.; BARKA, I.: *Geomorphological information system: physical model and options of geomorphological analysis*. In Geografie. Roč. 111, č. 1. Praha : Česká geografická společnost, 2006, roč.111, č.1, s.15-32.
- [31] MINÁR, J.; MENTLÍK, P.; JEDLIČKA, K.; BARKA, I.: *Geomorphological information system: idea and options for practical implementation*. In Geografický časopis. 2005, roč.57, č.3, s.247-266, ISSN 0016-7193.
- [32] MINÁR, J.: *Identification of selected natural hazards from viewpoint of the evaluation of environmental limits*. Acta Facultatis Rerum Naturalium Univesitatis Comenianae, Geographica Nr. 34, 1994.
- [33] MINÁR, J.: *Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfologie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp*. Acta Facultatis Rerum Naturalium Univesitatis Comenianae, Geographica Nr. 36, 1996.
- [34] MINÁR, J.: *Morfometrická analýza polí a jej využitie v geoekológii*. In Geografický časopis. 1999, roč. 51, č. 3, str. 261-275.
- [35] MINÁR, J.; EVANS, I., S.: *Theoretical basis of elementary landform segmentation in geomorphological mapping*. Geomorphology, nr. 95, p. 236-259, 2008, ISSN: 0169-555X.
- [36] MINÁR, J. a kol.: *Geoekologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkách*. Geografika Bratislava, 2001. ISBN: 80-968146-3-X.

- [37] MITAS, L., MITASOVA, H.: *General variational approach to the interpolation problem*. Computers and Mathematics with Applications, 16, p.983-992. 1988.
- [38] MITAS, L., MITASOVA, H.: *Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation*. Mathematical Geology 25, p. 641-655. 1993.
- [39] NETELER, M: *Open Source GIS: a GRASS GIS approach*, Kluwer Academic Publishers. USA 2004, ISBN: 1-4020-8064-6
- [40] PACINA, J.: *Popis principů fungování vybraných prostorových analýz a jejich implementace v nekomerčním GIS GRASS pro názornou výuku*. FAV ZČU Plzeň, diplomová práce. 2005.
- [41] PIKE, R.J.: *The Geometric Signature: Quantifying Landslide-Terrain Types from Digital Elevation Models*. Mathematical Geology 20 (5), 491-511, 1988.
- [42] SAVIGEAR, R.A.G.: *A technique of morphological mapping*. Annals of the Association of American Geographers, 55, 514-538, 1965.
- [43] SHARY, P.A.: *Local variables* [online]. [cit. 2007-10-03]. <http://www.giseco.info/>
- [44] SHARY, P.A.: *Topographic method of second derivatives*. In: I.N.Stepanov (Ed.). The Geometry of Land Surface Structures. 1991. Poushchino: PNC AN SSSR. p.28-58. (in Russian)
- [45] SHARY P.A.: *Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures*. Mathematical Geology, 27, 373-390. 1995.
- [46] SHARY, P.A.: *The problem of scale-specific and scale-free approaches in geomorphometry*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 28(1): 81-101, 2005.
- [47] TROEH, F.R.: *Landform equations fitted to contour maps*. American Journal of Sciences, 263, 616-627, 1965.
- [48] WATERS, R.S.: *Morphological mapping*. Geography, 43, 10-17, 1958.
- [49] YOUNG, A.: *Slopes*. Longman, London, 288 p, 1972.
- [50] WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie. Konvoluce [online]. c2007 [citováno 14. 05. 2007]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Konvoluce&oldid=1465943>