

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOINFORMATIKY



Michal LOUTHAN

**IDENTIFIKACE PRVKŮ RELIÉFU
V PROSTŘEDÍ GIS**

bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jana Kadlčíková

Olomouc 2008

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci řešil sám a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu. Všechna poskytnutá vstupní i výstupní digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci dne 28. května 2008

.....

podpis

Rád bych poděkoval Mgr. Janě Kadlčíkové za odborné vedení mé bakalářské práce a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Ireně Smolové, Ph.D. za poskytnuté rady ohledně problematiky tvarů reliéfu a všem, kteří mě při práci podpořili.

Vysoká škola: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Geoinformatiky

Školní rok: 2007-2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Michala LOUTHANA

obor Geografie a geoinformatika

Název tématu:

IDENTIFIKACE PRVKŮ RELIÉFU V PROSTŘEDÍ GIS IDENTIFICATION OF FEATURES OF RELIEF IN GIS ENVIRONMENT

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je identifikovat prvky reliéfu v prostředí GIS. Vstupními daty budou vybrané vrstvy DMÚ 25, zájmovými územími budou vybrané oblasti s různými typy reliéfu o vhodně zvoleném rozsahu (velikosti). V rešeršní části se bude student věnovat definici a matematickému popisu jednotlivých prvků reliéfu. V následující, stěžejní části provede testování schopností (algoritmů) identifikace prvků reliéfu ve vybraných GIS softwarech (především ArcGIS v. 9.x a Landserf). Zjištěné výsledky u jednotlivých algoritmů budou vzájemně porovnány a zdokumentovány.

Postup prací:

- studium a definice prvků reliéfu
- testování algoritmů
- srovnání a zhodnocení výsledků

Student odevzdá údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, pro potřeby zaevidování do Metainformačního systému katedry geoinformatiky ve formě vyplněného formuláře. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, metadatový formulář) bude odevzdána v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O bakalářské práci student vytvoří webovou stránku, která bude v den odevzdání práce umístěna na katedrální server. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002). Na závěr bakalářské práce připojí student jednostránkové resumé v anglickém jazyce.

Rozsah grafických prací:

Grafické výstupy budou součástí textu práce, popř. jako přílohy, rozsah podle potřeby práce.

Rozsah průvodní zprávy:

30-40 stran textu.

Seznam odborné literatury:

- Krcho, J. (1995): Digitálne modely reliéfu a morfometrické analýzy. Veda, Bratislava, 246 s.
- Krcho J. (2001): Modelling of Georelief and its Geometrical Structure Using DTM - Positional and Numerical Accuracy, Svornosť, Bratislava
- Minár, J. (2001): Geoekologický výskum a mapovanie vo veľkých mierkach. In: Geographical spectrum. PôF Univerzity Komenského, Bratislava, 3, 209 s.
- Vaníček, T. (2004): Základní terénní tvary a jejich vliv na vegetaci a půdní erozi. Sborník referátů konference GIS Ostrava 2004.
- Voženílek, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.
- Voženílek, V. a kol (2001): Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Olomouc, VUP, 185s.
- Wood, J.D. (1996): The geomorphological characterisation of digital elevation models. PhD Thesis, University of Leicester, UK, <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jana Kadlčíková

Konzultant bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: červen 2007

Termín odevzdání bakalářské práce: květen 2008

L.S

.....
Vedoucí katedry

.....
Vedoucí bakalářské práce

V Olomouci dne 15. června 2007

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá GIS aplikacemi pro poloautomatickou identifikaci prvků reliéfu. Problematika tvarů reliéfu je obecně popsána v teoretické části. V praktické části jsou na vybraných územích různých typů reliéfu testovány možnosti identifikace prvků reliéfu ve vybraných GIS softwarech (ArcGIS 9.2, Landserf 2.3). Práce je zaměřena na zkoumání, testování a hodnocení jednotlivých nástrojů pro identifikaci tvarů. Součástí práce je také návrh optimálního nastavení vstupních parametrů a návrh využití výsledných klasifikací.

Z výsledků práce vyplývá, že jako optimální možnost pro řešení dané problematiky se jeví software Landserf, který poskytl uspokojivější výsledky.

Klíčová slova: tvar reliéfu, klasifikace, digitální model reliéfu, morfometrický parametr

Abstract

Bachelor thesis deals with GIS applications for semi-automatic landform classification.

Features of relief are described in the theoretical part. The practical part is based on testing the chosen possibilities of identification of the features of relief in selected GIS softwares (ArcGIS 9.2, Landserf 2.3). Thesis is primarily focused on research, testing and evaluation of individual tools for identification of the features. As a part of the thesis is also a concept of optimal settings for input parameters and project on a usage of resulting identifications.

The results of the thesis indicate that the optimal solution for this issue is the Landserf software which provided more satisfactory results.

Key words: feature of relief, identification, digital elevation model, morphometric parameter

Obsah

Úvod.....	8
1. Cíle práce	9
2. Metody a postup zpracování	10
2.2. Testování algoritmů pro identifikaci prvků reliéfu.....	10
2.3. Vyhodnocení výsledků	11
3. Definice a popis tvarů reliéfu.....	12
3.1. Georeliéf	12
3.1.1. Morfografické typy reliéfu.....	12
3.2. Základní pojem – tvar	13
3.3. Morfografická a morfometrická analýza reliéfu	14
3.4. Tvary reliéfu	16
3.4.2. Povrchové tvary	19
3.4.3. Typologie, definice a popis povrchových tvarů reliéfu	19
4. Popis vstupních dat a jejich předzpracování	24
5. Identifikace prvků reliéfu v prostředí GIS	25
5.1. Landserf	25
5.1.1. Tvary reliéfu v prostředí Landserf.....	26
5.1.2. Testování nástrojů pro identifikaci prvků reliéfu v Landserfu	28
5.2. ArcGIS	37
5.2.1. Tvary reliéfu v prostředí ArcGIS.....	38
5.2.2. Testování skriptů pro identifikace prvků reliéfu v ArcGISu	40
5.3. Možnosti identifikace prvků reliéfu v dalších vybraných GIS softwarech	41
6. Shrnutí výsledků	44
6.1. Výsledky z Landserfu	44
6.2. Výsledky z ArcGISu.....	46
6.3. Porovnání testovaných softwarů	47
7. Diskuze	49
8. Závěr	51
9. Literatura a použité zdroje	52
10.Summary	55

Seznam tabulek

Tab. 1: Morfografické typy georeliéfu podle členění IGU	13
Tab. 2: Typologie tvarů reliéfu dle velikostního kritéria.....	20
Tab. 3: Vybrané tvary vyvýšenin a jejich popis	21
Tab. 4: Vybrané tvary sníženin a jejich popis	22
Tab. 5: Vybrané tvary rovin a jejich popis	22
Tab. 6: Popis a matematické vyjádření prvků reliéfu v prostředí Landserf.....	27

Tab. 7: Nastavení parametrů při tvorbě gridů interpolačními metodami IDW a spline ..	30
Tab. 8: Zadávání parametrů na různých typech reliéfu z hlediska optimálního nastavení pro všechny typy a pro jednotlivý typ povrchu	34
Tab. 9: Princip identifikace prvků reliéfu v prostředí ArcGIS podle optimálního nastavení parametrů pro grid o rozlišení 10 m	39
Tab. 10: Popis jednotlivých parametrů potřebných k identifikaci prvků reliéfu ze skriptu <i>landform.aml</i> a výchozí nastavení pro grid o rozlišení 10 m.....	40
Tab. 11: Vybrané GIS softwary a jejich možnosti pro prostorové analýzy v základních verzích.....	42
Tab. 12: Prvky reliéfu v prostředí IDRISI a jejich zařazení do hydrologických zón povodí	43
Tab. 13: Přehled hlavních nástrojů pro identifikaci prvků reliéfu v prostředí Landsurf, jejich popis a návrh optimálního nastavení parametrů pro území daného rozsahu a typu (velikost mřížky je navrhována pro grid o rozlišení 5 m).....	46
Tab. 14: Výhody a nevýhody testovaných softwarů pro identifikaci prvků reliéfu	47
Tab. 15: Schéma rozdělení tvarů reliéfu do hydrologických zón povodí	48

Seznam obrázků

Obr. 1: Vrstevnicově a) konkávní a b) konvexní část terénu.....	17
Obr. 2: Spádnicově a) konkávní a b) konvexní část terénu	18
Obr. 3: Ukázka prostředí Landsurf	25
Obr. 4: Tvary reliéfu identifikovatelné v softwaru Landsurf.....	27
Obr. 5: Území zobrazené funkcí a) <i>Display - Raster</i> , b) <i>Display – Reliéf</i> a c) pomocí 3D viewer.....	28
Obr. 6: Porovnání a) říční sítě a b) sítě údolnic vytvořené softwarem Landsurf.....	35
Obr. 7: Využití nástroje <i>Multiscale query</i> pro klasifikaci prvků reliéfu.....	36
Obr. 8: Ukázka prostředí ArcGIS Workstation	38
Obr. 9: Tvary reliéfu identifikované v prostředí ArcGIS	39

Úvod

Reliéf Země zahrnuje jednotky různého měřítka, různé taxonomické úrovně a různého stáří. Georeliéf je systém skládající se z prvků (komponentů), které jsou spojeny vzájemnými funkčními vztahy [16].

Geomorfologie se zabývá mimo jiné zemským povrchem ve všech jeho podobách a proměnách. Jedním z prvních předmětů GIS aplikací v geomorfologii byl zemský povrch. Samotná klasifikace a analýza tvarů reliéfu má v geomorfologii tradici již od 19. století [20].

Velký přínos do dílčích oborů geomorfologie, hydrologie, ekologie a jiných věd o Zemi poskytlo digitální modelování terénu. Digitálním modelem reliéfu (dále DMR) se nazývá jakákoli digitální reprezentace reliéfu spojitě se měnící v prostoru. Pro geografy představuje DMR velmi významný nástroj pro aplikace, které zpracovávají zemský povrch v geomorfologii, hydrologii a dalších vědních disciplínách. Vzhledem k dostupnosti DMR pro území ČR s různým stupněm přesnosti je možné se zabývat morfometrickou analýzou zaměřenou na hlubší poznání typů reliéfu. Tento postup vychází z koncepce klasifikace morfometrických parametrů a objektů, založené na gridových datových modelech. V souvislosti s geometrickým popisem reliéfu v GIS prostředí hrají největší roli morfometrické parametry. Kombinací a klasifikací základních morfometrických parametrů můžeme určovat tvary reliéfu [20].

V rámci dané práce je obecně řešena problematika terénních tvarů, ale především jsou sledovány možnosti identifikace prvků reliéfu v prostředí GIS. Díky rozvoji geoinformačních technologií k tomu vznikají speciální nástroje pro různé softwary, které identifikují prvky reliéfu přímo z DMR. Úkolem je otestovat vybrané nástroje pro identifikaci a vyhodnotit jejich použitelnost do dalších oborů jako geomorfologie či hydrologie.

1. Cíle práce

Hlavním cílem této práce je identifikovat prvky reliéfu v prostředí GIS a prostudovat tuto problematiku z komplexního hlediska. Úkolem první části bude objasnit klíčové pojmy ze zkoumané tematiky. Tedy definovat reliéf a jeho tvary. Samotné povrchové tvary bude třeba seskupit podle určité typologie a důraz bude kladen především na ty tvary, které dokáží jednotlivé GIS softwary identifikovat.

V následující části je úkolem testovat nástroje pro identifikaci prvků reliéfu ve vybraných GIS softwarech (ArcGIS 9.2, Landserf 2.3). U každého softwaru bude třeba určit jaké prvky dokáží identifikovat, na jakém principu prvky klasifikují a jaké nástroje jsou pro tento proces k dispozici. Jelikož je identifikace v každém softwaru jen částečně automatická, bude nutné zjistit veškeré vstupní parametry, které se pro jednotlivé nástroje nastavují. Cílem v praktické části bude tedy popsat nástroje pro identifikaci v jednotlivých softwarech, v nich vytvořit na různých typech reliéfu s různým nastavením parametrů názorné mapové kompozice a porovnat je. Jelikož jednotlivé nástroje vytváří jiné výstupy, bude určena možnost praktického využití každého z nich a pro přesnější výsledky bude navrženo optimální nastavení parametrů pro území o daném rozsahu a typu reliéfu. V závěru budou stanoveny jednotlivé výhody a nevýhody při identifikaci terénních prvků v obou softwarech a zhodnocena jejich použitelnost.

2. Metody a postup zpracování

Pro vyhodnocení identifikace prvků reliéfu v prostředí GIS bylo nutné nejdříve popsat a definovat jednotlivé prvky. Následně byly použity jednotlivé softwary a jejich nadstavby pro identifikaci prvků reliéfu a aplikovány dostupné algoritmy na poskytnutá data. Bylo testováno, jaké výsledky přináší veškeré funkce spojené s identifikací pro různé druhy terénu a následně byly výsledky, které přinesly jednotlivé softwary, porovnány a zdokumentovány.

2.1. Popis a definice prvků reliéfu

Samotné definici jednotlivých prvků reliéfu předcházelo nejdříve vysvětlení důležitých pojmů jako georeliéf a tvar reliéfu. Proces identifikace ve vybraných softwarech je založen na definování morfometrických parametrů, a proto bylo důležité vysvětlit si nejdříve obecně tento pojem a poté popsat parametry, které byly při identifikaci použity. Poté byly popsány a definovány tvary reliéfu. Nejdříve plošné geometrické a později jednotlivé povrchové tvary. Jelikož typologie a škála tvarů je pestrá a různorodá, byly vybrány a definovány jen ty tvary, které jsou nejdůležitější pro identifikaci a které dokáží klasifikovat vybrané softwary.

2.2. Testování algoritmů pro identifikaci prvků reliéfu

Pro potřeby této práce byl využit především software Landserf 2.3, který je primárně určen pro prostorové analýzy. K porovnání byl vybrán software ArcGIS 9.2. Nástroje pro identifikaci prvků reliéfu nenabízí mnoho softwarů, a tak bylo nutné dostupné možnosti spojené s identifikací prvků reliéfu dohledat. Software Landserf klade důraz na identifikaci prvků reliéfu a obsahuje řadu nástrojů spojených s tímto procesem již v základní verzi. To ovšem neplatí pro ArcGIS, ale k dispozici jsou skripty v jazyku AML (Arc Macro Language), které jsou psané pro ArcGIS Workstation.

U jednotlivých softwarů bylo zjišťováno, jakými nástroji pro identifikaci prvků reliéfu disponují, jaké tvary reliéfu dokáží klasifikovat, na jakém principu identifikují a s jakými vstupními parametry pracují při tomto procesu. Testování bylo prováděno na vybraných územích různých typů reliéfu (pahorkatina, hornatina) o velikosti 4x4 km.

2.3. Vyhodnocení výsledků

Jelikož většina softwarů identifikuje prvky na jiném principu s použitím odlišných vstupních parametrů, přinášejí tedy i rozdílné výsledky. Nastavení jednotlivých parametrů je nejdůležitější při celém procesu a byl na něho kladen velký důraz při testování každého z nástrojů. Výsledkem je tedy popis nástrojů pro jednotlivé softwary, mapové kompozice vytvořené jednotlivými softwary na různých typech reliéfu s různým nastavením parametrů, velikosti mřížky a jejich porovnání. Pro přesnější a důvěryhodnější výsledky bylo navrženo optimální nastavení parametrů pro území o daném rozsahu a typu reliéfu a na závěr zhodnocení použitelnosti obou softwarů pro identifikaci prvků reliéfu, jejich výhody a nevýhody.

3. Definice a popis tvarů reliéfu

3.1. *Georeliéf*

Georeliéf je předmětem zájmu člověka z různých oblastí jeho činnosti. Zkoumá se v mnohých geovědních disciplínách, ale i například v architektuře, územním plánování, stavebnictví, lesním a vodním hospodářství atd. Pojem “georeliéf” je značně složitý a jelikož v této práci bude předmětem zkoumání, je nutné ho nejdříve popsat a definovat. Z hlediska geografického budeme brát geografickou sféru jako celek a georeliéf jako jeho prostorový subsystém.

Základní myšlenka z geomorfologie je, že georeliéf je v každém časovém momentě a v každé jeho části v prostoru výslednicí procesů navzájem proti sobě působících endogenních a exogenních sil. Z komplexně geografického hlediska však k tomu musíme dodat, že georeliéf je nejen výslednicí uvedených procesů, ale zároveň sám tyto procesy zpětně ovlivňuje, a to prostřednictvím množiny jeho morfometrických parametrů definovaných v každém libovolném bodě georeliéfu [7].

V důsledku kombinace těchto endogenních a exogenních reliéfových pochodů vznikají jednotky různého měřítka a různé taxonomické úrovně. Endogenní pochody způsobují především vytváření nerovností povrchu Země. Exogenní síly naopak vedou k zarovnání povrchu a tím zmenšování výškových rozdílů [1].

Georeliéf má v podstatě spojitý charakter. Je to do sebe uzavřená zvlněná plocha, kterou můžeme členit na menší prostorové části, které oproti svému okolí vykazují jistou vnitřní homogenitu [11].

3.1.1. Morfografické typy reliéfu

Větší části georeliéfu, které obsahují soubor geometrických a povrchových tvarů podobných vlastností, se nazývají morfografické typy reliéfu. Základními typy jsou rovina, pahorkatina, vrchovina, hornatina a velehornatina. Toto označení se objevuje již

v nejstarších morfografických klasifikacích. Rozlišovací kritérium pro definování těchto pojmů je celkový vzhled povrchu území, který je ovlivněn mírou a způsobem jeho členění (především podle vertikální členitosti). Pro jednotlivé morfografické typy georeliéfu se hledaly intervalové hodnoty vertikální členitosti, které nejvýstižněji charakterizovaly daný typ [11]. Třídění je založeno na relativní výškové členitosti reliéfu, stanovené na základě rozdílu mezi nejvyšším a nejnižším bodem ve čtverci 4x4 km [1, 8]. V mezinárodním měřítku se nejvíce používá definice morfografických typů georeliéfu přijatá Mezinárodní geografickou unií (tab. 1) [11].

Tab. 1: Morfografické typy georeliéfu podle členění IGU (upraveno dle Minára [11])

Morfografický typ reliéfu	Vertikální členitost [m]
rovina	0 – 30
plochá pahorkatina	31 – 75
členitá pahorkatina	76 – 150
plochá vrchovina	151 – 200
členitá vrchovina	201 – 300
plochá hornatina	301 – 450
členitá hornatina	451 – 600
velehornatina	více než 600

3.2. Základní pojem – tvar

Základním pojmem morfologických úvah je tvar, který je definovaný jako prostorový tělesný útvar materiální hmoty, omezený plochami, nespecifikovaných vlastností. Tvar tedy dává hmotě její prostorové vymezení a lze ho proto chápat jako mez hmoty, která je omezena plochami a jedná-li se o těleso přírodní, použijeme pro něj pojem objekt. Tvary zemského povrchu vyhovují definičnímu výměru tvarů jen částečně, protože nejsou ve svém prostorovém ohraničení úplně vymezeny konkrétními tělesovými plochami. Vnímáme je pouze jako nerovnosti, tedy tvarové odchylky od idealizované tvarové plochy zemského tělesa, kterou jsme nuceni považovat za jedinou plochu, která terénní tvary prostorově vymezuje jako tvary abstraktní [5].

3.3. *Morfografická a morfometrická analýza reliéfu*

Vzhled reliéfu v rámci geomorfologie zkoumá morfografie a morfometrie. Morfografická analýza zahrnuje kvalitativní popis reliéfu a patří mezi nejstarší metody v geomorfologii. Morfometrická analýza patří mezi kvantitativní metody a přiřazuje každé ploše několik základních charakteristik významných pro další typologii tvarů reliéfu. Tyto charakteristiky reliéfu lze rozdělit na bodové, liniové a plošné [16].

Bodové charakteristiky jsou nazývány též uzly. Jsou to místa, kde se setkávají hrany jednoho tvaru protažené v různých směrech [5]. Patří mezi ně vrcholové a depresní body. Vrcholové body (body singulárně pozitivní) jsou lokálními maximy nadmořských výšek. Z těchto bodů vychází síť spádnic a koncentrují se zde morfodynamické vlastnosti hřbetnic. Depresní body (body singulárně negativní) jsou lokálními minimy nadmořských výšek. Do těchto bodů směřují spádnice v jejich okolí reliéf stoupá [16].

Jednotlivé plochy, které se stýkají v uzlech oddělují hrany (lomy spádu). Jsou různě výrazné a zřídka přímé či ostré. Jedná se o úzké přechodné zóny, které oddělují plochy vzniklé odlišnými geomorfologickými pochody. Mezi liniové charakteristiky, které oddělují geneticky stejnorodé plochy patří úpatnice, údolnice a hřbetnice. Hrany mají význam při terénním mapování, při analýzách map a také identifikaci prvků reliéfu. Úpatnice je čára styku dvou různě skloněných dílčích ploch na rozhraní úbočí a údolí, svírající spolu zpravidla tupý úhel. Údolnice je čára sledující místa největšího vhloubení údolního terénního tvaru. Má ze všech spádnic tohoto tvaru nejmenší sklon. Hřbetnice je čára styku dvou přilehlých svahů téhož hřbetu. Hřbetnice spojuje relativně nejvyšší body terénního tvaru, je tedy i rozvodnicí [16].

Třetí skupinou jsou geometricky jednoduché plochy (viz kapitola 4.4.1.), označovány jako morfologické jednotky či elementární povrchy, tedy obecně plošné charakteristiky. Ty vzniknou zpravidla působením jednoho geomorfologického procesu (endogenního či exogenního), který působí jednosměrně. Můžeme je proto považovat

za geneticky stejnorodé plochy [5]. Geometricky jednoduché i geneticky stejnorodé plochy mají různý vzhled, sklon, různou orientaci vůči světovým stranám, relativní výšku či křivost. Tyto pojmy jsou označovány jako morfometrické parametry. Dle Krcha [7] tvoří morfometrické parametry georeliéfu v každém jeho bodě $(\varphi_i, \lambda_i, h_{ir})$ množinu, kterou označíme $G_{RF}(P, T)$ a skládá se z následujících parametrů:

$$G_{RF} = (\Delta h(P, T), \chi_N(P, T), A_N(P, T), \omega(P, T), K_r(P, T), K_H(P, T) \dots)$$

$\Delta h(P, T)$ - relativní výška georeliéfu ve směru spádových křivek

$\chi_N(P, T)$ - sklon georeliéfu ve směru spádových křivek

$A_N(P, T)$ - orientace georeliéfu vzhledem ke světovým stranám

$\omega(P, T)$ - normálová křivost georeliéfu ve směru spádových křivek

$K_r(P, T)$ - horizontální křivost georeliéfu

$K_H(P, T)$ - normálová křivost georeliéfu ve směru tečny k vrstevnicím

φ - zeměpisná šířka

λ - zeměpisná délka

h_{ir} - nadmořská výška

P - poloha každého prvku vzhledem k referenční ploše Země

T - čas

Každý parametr nabývá v libovolném bodě georeliéfu určitou velikost, která se pohybuje v určitém intervalu. Některé z nich hrají významnou roli při identifikaci prvků reliéfu, a proto je důležité si pro potřeby další práce tyto parametry vysvětlit.

Jedním z nejdůležitějších parametrů je sklon plochy. Ten je považován za základní morfometrickou charakteristiku, která určuje intenzitu gravitačně podmíněných geomorfologických procesů. Sklon plochy je úhel sevřený terénní čarou

nebo dílčí plochou terénního reliéfu s vodorovnou rovinou. Udává se ve stupních, radiánech nebo procentech [16].

Křivost reliéfu (horizontální a vertikální) je vypočítána jako druhá derivace povrchu. Pokud výstupní DMR vykazuje pozitivní křivost, jedná se o geomorfologicky konvexní tvar v dané buňce. V opačném případě, kdy křivost je negativní, jedná se o konkávní tvar v dané buňce. Plochému povrchu je přiřazena nulová hodnota. Horizontální křivost udává míru změny orientace, ovlivňující konvergenci a divergenci odtoku. Vertikální křivost je definována jako míra změny sklonu a má vliv na zrychlení či zpomalení toku. Jednotkou pro obě křivosti jsou stupně vztažené k jednotce délky [20].

3.4. *Tvary reliéfu*

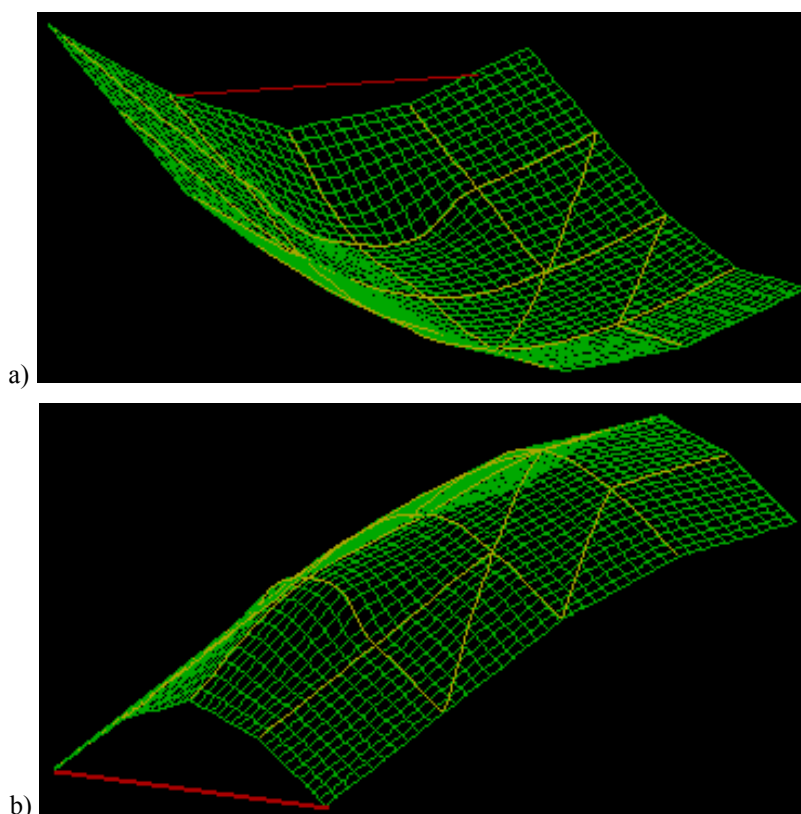
Všechny tyto zmíněné parametry nám udávají ucelenou charakteristiku o povrchu a pomocí nich můžeme určovat veškeré vlastnosti reliéfu. Tedy i klasifikovat povrchové tvary. Ovšem to jsou složité útvary, které jsou tvořeny z geneticky stejnorodých a geometricky jednoduchých ploch [16].

3.4.1. Plošné geometrické tvary reliéfu

Plošné geometricky jednoduché tvary vycházejí ze základních morfometrických charakteristik. Mají různý vzhled, sklon, orientaci vůči světovým stranám či expozici. Pro potřeby identifikace prvků reliéfu je nejvýznamnější charakteristikou vzhled. Geometrické tvary vymezené podle vzhledu ploch závisí na geologické stavbě, typu geomorfologického pochodu a stáří plochy [16]. Z matematického hlediska lze na terénní ploše rozlišit různé typy terénních tvarů. Toto rozlišení bere za základ tvar křivek tvořících vrstevnice a spádnice (linie probíhající ve směru největšího sklonu plochy, tj. probíhají kolmo k vrstevnicím) v daném bodě terénu. Jsou to křivky tzv. ortogonální sítě a právě ve směru těchto křivek probíhají procesy

modelující georeliéf [17]. Podle toho zda se jedná o křivky konvexní či konkávní lze rozlišit celkem 4 typy terénních tvarů. Je zřejmé, že charakter terénu musí mít vliv na přírodní podmínky v okolí daného místa [18].

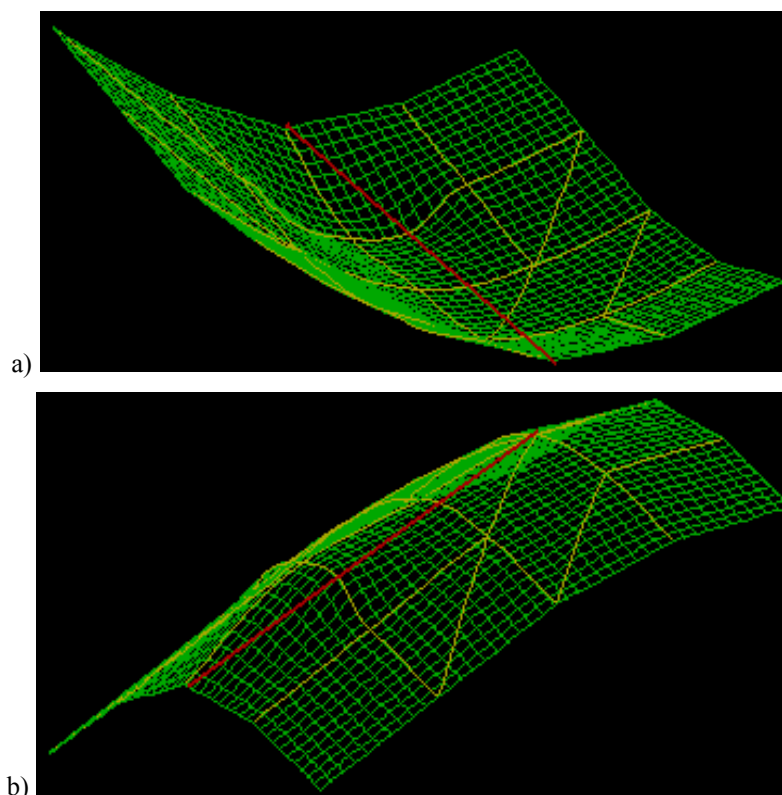
Jednou z charakteristik reliéfu terénu, která má vliv na přírodní podmínky v okolí, je vrstevnicová a spádnicová konvexnost a konkávnost terénu. V globálním měřítku lze tyto tvary definovat následujícím způsobem. Část terénu nazveme vrstevnicově konkávní, pokud pro každé dva body terénu ležící na stejné vrstevnici leží celá úsečka spojující v třírozměrném prostoru tyto dva body nad úrovní terénu (obr. 1a)). Tato část terénu leží na údolích.



Obr. 1: Vrstevnicově a) konkávní a b) konvexní část terénu (upraveno dle Vaníčka [18])

Část terénu nazveme vrstevnicově konvexní, pokud pro každé dva body terénu ležící na stejné vrstevnici leží celá úsečka spojující v třírozměrném prostoru tyto dva body pod úrovní terénu (obr. 1b)). Obecně řečeno, tato část terénu se nachází

na hřebenech. Část terénu nazveme spádníkově konkávní, pokud pro každé dva body terénu ležící na stejné spádnici leží celá úsečka spojující v třírozměrném prostoru tyto dva body nad úrovní terénu (obr. 2 a)). Část terénu nazveme spádníkově konvexní, pokud pro každé dva body terénu ležící na stejné spádnici leží celá úsečka spojující v třírozměrném prostoru tyto dva body pod úrovní terénu (obr.2 b)).



Obr. 2: Spádníkově a) konkávní a b) konvexní část terénu (upraveno dle Vaníčka [18])

Kombinací uvedených kritérií lze získat celkem čtyři základní typy terénních tvarů: spádníkově i vrstevnicově konkávní (důl Tušimice), spádníkově i vrstevnicově konvexní (hora Říp), spádníkově konkávní a vrstevnicově konvexní (doskočiště lyžařského skokanského můstku) a spádníkově konvexní a vrstevnicově konkávní (úpatí Řípu) [18]. Jako pátý tvar lze uvést tvary přímkové (lineární). To jsou plochy, u kterých je vrstevnicová i spodnicová síť paralelní [16].

Kromě globální definice terénních tvarů můžeme tvary definovat i lokálně. Každým bodem, pokud není singulárním (vrcholem nebo depresí), prochází vrstevnice i spádnice. Terénní tvar určujeme podle pravidel uvedených výše, avšak podle polohy tečny bodu k dané linii (vrstevnici, spádnici) [18].

3.4.2. Povrchové tvary

Povrchový tvar je definován jako jednoduchá, zpravidla malá část terénního reliéfu složená ze zmíněných přímkových, konvexních a konkávních geometrických ploch. Vznikají jako geneticky stejnorodé plochy působením stejných pochodů, ale odpovídají delším etapám ve vývoji georeliéfu. Mohou mít různé rozměry, vzhled, sklon, orientaci vůči světovým stranám i expozici. Některé povrchové tvary jsou definovány normou (ČNS 73 0401 Názvosloví v geodézii a kartografii). Příkladem je vyvýšenina, sníženina, kupa, hřbet, hřeben, kužel, sedlo, rokle nebo údolí, což jsou termíny, které se běžně používají při tvorbě topografických map, geodézii atd. [16]. Především tyto prvky budou předmětem zájmu, jelikož jsou často základními prvky reliéfu, které dokáží klasifikovat jednotlivé nadstavby pro identifikaci prvků reliéfu v určitých GIS softwarech.

3.4.3. Typologie, definice a popis povrchových tvarů reliéfu

Klasifikace a analýza tvarů reliéfu má v geomorfologii tradici již od 19. století. Přesto přetrvávaly alternativní přístupy závislé na národních a často i jazykových odlišnostech geomorfologických škol. Terminologická a zejména sémantická nejednotnost tak vytváří výraznou bariéru pro formalizovaný popis reliéfu s všeobecnou platností [20].

Rozdělení tvarů reliéfu není jednotné a můžeme je dělit podle různých kritérií. Zde jsou uvedena některá kritéria pro typologie tvarů reliéfu. Jedná se například o rozdělení podle velikosti, vzhledu ploch, sklonu a geneze. Také je třeba popsat

a vysvětlit jednotlivé povrchové tvary reliéfu. Cílem této práce je zkoumat, jak zvládají jednotlivé nadstavby daných softwarů identifikaci prvků reliéfu, a proto se budu soustředit především na vybrané tvary, které jednotlivé nadstavby dokáží klasifikovat.

a) velikostní kritérium (rozdělení typu ploch je zobrazeno v tab. 2)

Tab. 2: Typologie tvarů reliéfu dle velikostního kritéria (upraveno dle Smolové a Vítka [16])

Typ	Subtyp	Řádově velikost	Příklad
mikroformy	efemerní	cm ²	čeřiny, voštiny, erozní rýhy
	standardní	m ²	krápník, zemní kulisa, zemní pyramida, skalní dutina
mezoformy	malé	100 m ²	koryto, malý kráter, mrazový srub, suk
	střední	10 000 m ²	svah, údolí, sedlo, hřbet, hřeben
	velké	0,1 – 10 km ²	kuesta, kaňon, moréna, agrační val
makroformy		100 km ²	sopka
velké morfostruktury		10 ⁴ km ²	pánev, vrásná pohoří, klenba
megaformy		10 ⁵ km ²	tabule, velká pánev, šelf
planetární formy		10 ⁷ km ²	oceánská pánev, středooceánský hřbet

b) vzhled ploch

Podle vzhledu ploch bychom vymezili obecně tvary na konvexní, konkávní a ploché. Tvary konvexní (vypuklé) vyčnívají nad své okolí, a proto se nazývají vyvýšeniny (elevace). Není-li svrchní část vyvýšeniny tvořena zřetelným vrcholem, označujeme tuto geometricky nedefinovatelnou plochu jako temeno. Pro svahové části pod vrcholem nebo temenem se používá topologický pojem úbočí. Spodní část svahu na styku vyvýšeniny s jejím okolím je úpatí. To bývá zpravidla konkávně zakřivenou plochou. Ostré úpatí je pak liniovým prvkem a nazývá se úpatnice nebo úpatní hrana [5]. Příklady vyvýšenin i s popisem jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3: Vybrané tvary vyvýšenin a jejich popis [1, 5, 11, 16]

Tvar reliéfu	Popis
hřbet	Zřetelně jednosměrně protažená vyvýšenina, jejíž délka přesahuje šířku. Jedná se konvexní tvar typický pro horské oblasti. Podle ČSN 73 0401 je hřbet protáhlá vypouklá terénní plocha se zaoblenou vrcholovou částí. Z jednosměrného protažení hřbetu vyplývá, že v jeho temenní části nenacházíme žádný vrchol. Temeno může být ploché, mírně zvlněné nebo ostré v podobě hrany (hřbetnice).
hřeben	Podle ČNS 73 0401 je hřeben hřbet s ostřejším vyznačením hřbetnice zpravidla skalnatou vrcholovou částí.
pahorek	Konvexní tvar reliéfu malých rozměrů s málo výrazným úpatím a s mírnými svahy. Je charakteristickým tvarem pro pahorkatiny.
hora	Výrazná vyvýšenina v okolním reliéfu. Často bývá osamocená a je kupovitého, kuželovitého nebo tabulovitého tvaru s výraznými sklony svahů a výrazným úpatím.
kupa	Ploše zaoblená vyvýšenina s půdorysem kruhovým, eliptickým nebo i mírně nepravidelným.
kužel	Vyvýšenina podobající se geometrickému kuželu. Vrchol bývá ostrý nebo jen s malou plošinkou na povrchu.
klenba	Rozsáhlá oblá vyvýšenina oválného až kruhového půdorysu.
kopec	Všeobecné označení pro vyvýšeniny různého tvaru a velikosti bez přesné morfometrické charakteristiky.
val	Protáhnutá vyvýšenina na plochem území.

Pod své okolí se noří tvary konkávní (vhloubené), neboli sníženiny. Příkladem sníženin jsou kotliny, úvaly, krátery nebo koryta. Principiální rozdíl mezi nimi je přebytek horninové hmoty vyvýšenin nad jejich abstraktně vymezenou základnou a její deficit pod úrovní této teoretické plochy v případě sníženin [5]. Vybrané tvary sníženin i s jejich popisem jsou uvedeny v tab. 4.

Posledním typem dělením podle vzhledu jsou tvary ploché. Ty vyhovují obecné definici tvaru nejméně, protože v tomto případě je tvar redukován do plochy. Ploché tvary jsou buď totožné s plochou geoidu na souši a v případě geopotenciálního přebytku nebo deficitu horninové hmoty v jejich výškové pozici jsou s plochou geoidu rovnoběžné [5, 16]. Příklady vybraných plochých tvarů jsou znázorněny v tab. 5.

Tab. 4: Vybrané tvary sníženin a jejich popis [1, 5, 11, 16]

Tvar reliéfu	Popis
údolí	Je to v podélném směru protáhlá a v příčném směru úzká sníženina omezená dvěma poměrně blízkými, paralelními a k sobě skloněnými svahy, jejíž dno má spád k otevřené straně a obvykle jím protéká vodní tok.
úval	Patří do kategorie údolních sníženin, charakterizovaný jako široké údolí s mírně ukloněnými svahy.
kotlina	Sníženina lemovaná na všech stranách relativně strmými svahy. Její dno je ploché nebo mírně zvlněné.
sedlo	Konkávní tvar reliéfu, který je nejčastěji součástí hřbetu nebo hřebenu a odděluje od sebe dvě konvexní vyvýšeniny. Podle ČNS 73 0401 je sedlo definováno jako nejnižší místo na hřbetnici mezi dvěma kupami. Ze vztahu mezi šířkou sedla a strmostí svahů, jež je lemuje, lze tyto tvary klasifikovat též jako průsmyky či soutěsky

Tab. 5: Vybrané tvary rovin a jejich popis [1, 5, 11, 16]

Tvar reliéfu	Popis
plošina	Plochý nebo mírně zvlněný povrch, vyznačující se převládající malou výškovou členitostí do 30 m.
planina	Plošina ve větší nadmořské výšce zpravidla v oblasti vrchovin a hornatin.

c) sklon ploch

Povrchové tvary podle sklonu ploch rozlišujeme na plochy rovinné ($0-2^\circ$), mírně skloněné ($2-5^\circ$), značně skloněné ($5-15^\circ$), příkře skloněné ($15-25^\circ$), velmi příkře skloněné ($25-35^\circ$), srázy ($35-55^\circ$) a stěny (sklon větší než 55°). Plochy se sklonem větším než 2° označujeme jako svahy. Ty tvoří jakousi samostatnou část v hierarchii povrchových tvarů. Jsou označovány jako nejrozšířenější a současně nejdynamičtější prvek reliéfu pevnin. Zabírají zhruba 90 % povrchu souše, z čehož zhruba 60 % jsou svahy se sklonem menším než 10° . Je značně obtížné popsat tvar svahu, protože svahy jsou zpravidla nerovné, skládají se z více částí a nelze je vyjádřit jednoduchým geometrickým způsobem. Charakteristika vnějších vlastností svahu – jeho sklonu, délky, tvaru profilu, příznačných drobných tvarů – vyjadřuje současně genezi svahu a jeho

vývoj. U většiny svahů můžeme rozlišit horní konvexní část a dolní konkávní část. Mnohdy se obě části bezprostředně spojují v konvexně konkávní svahy [2]. Tento prvek reliéfu je plocha, která nikdy není rovnoběžná s geopotenciálními hladinami a odděluje od sebe sníženiny, vyvýšeniny, případně jednotlivé úrovně plošin [5]. Je tedy významným prvkem reliéfu a pro potřeby GIS bývá začleňován mezi prvky identifikace (skripty do ArcGIS, modul TOPOSHAPE v IDRISI, ...). Sklon svahů je současně jedním z nejvýznamnějších parametrů pro identifikaci prvků reliéfu.

d) Geneze

Podle geneze lze vymezit tvary exogenní (tvary fluvialní, kryogenní, eolické, marinní, biogenní a antropogenní) a endogenní (rifty, sopky, vrásavá pohoří, středooceánské hřbety) [16].

4. Popis vstupních dat a jejich předzpracování

Vstupními daty jsou vybrané vrstvy DMR 25 znázorňující vrstevnice. Veškerá data použitá v této práci jsou vlastnictvím katedry geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci, která je využívala k předchozím projektům. Zájmovými územími jsou vybrané oblasti s různými typy reliéfu o vhodně zvoleném rozsahu. Byla využita data čtyř odlišných geomorfologických okrsků (Červenecká rovina, Vlčnovská pahorkatina, Divácká vrchovina a Rusavská hornatina), ovšem pro většinu analýz byly využity jen vybrané území pahorkatiny a hornatiny. Každý typ reliéfu disponuje specifickými vlastnostmi, a proto byly pro testování použity zcela rozdílné typy.

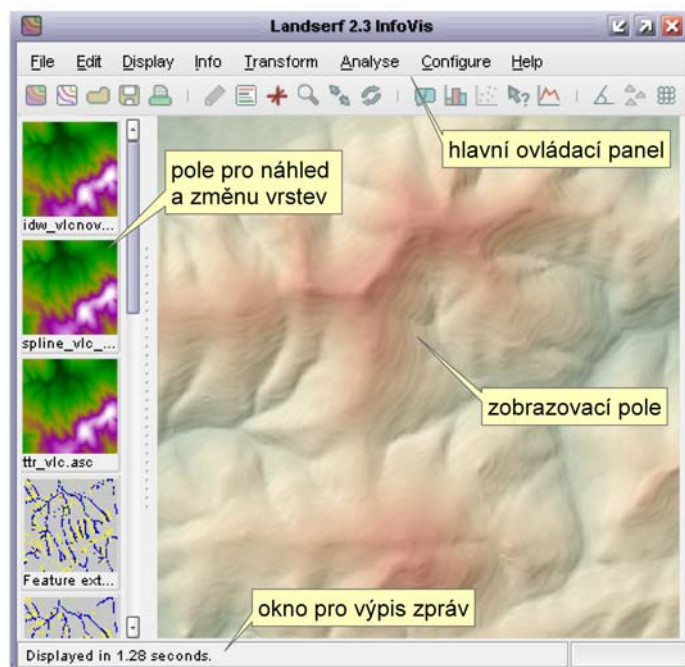
Původní data bylo potřeba upravit. Nebyla v jednotném souřadném systému, a tak byla sjednocena na systém S-JTSK. Pro testování byly vybrány dva odlišné typy reliéfu, aby přinesly rozdílné výsledky. Na základě morfografického členění (viz tab. 1) byl vybrán typ reliéfu pahorkatina, nacházející se v geomorfologickém okrsku Vlčnovská pahorkatina a typ reliéfu hornatina, který je součástí Rusavské hornatiny. Původní vrstevnice byly ořezány výše zmíněnými okrsky a v nich pro samotné testování byla vybrána území o velikosti 4x4 km (viz kap. 3.1.1.). Tento rozsah byl zvolen proto, že celý okrsek neodpovídá charakteru daného typu reliéfu a navíc území o rozloze 4x4 km přineslo přesnější výsledky při testování. Nástroje pro identifikaci se aplikují na DMR, a tak byly z vybraných území vytvořeny gridy. Součástí testování bylo také zjistit, zda má na klasifikaci vliv i použitá interpolační metoda pro vstupní DMR či přesnost vstupního DMR, a proto byly v programu ArcGIS 9.2 z upravených vrstevnic pomocí příkazu *Feature Vertices to Points* vytvořeny body a ty interpolovány metodou IDW a Spline. Pomocí nástroje *topo to raster* byly také zhotoveny gridy části území Vlčnovské pahorkatiny a Rusavské hornatiny přímo z vrstevnic. DMR byly vytvořeny s rozlišením pixelu 5 m a 10 m (příloha 1, 2).

5. Identifikace prvků reliéfu v prostředí GIS

Tento proces je založen na klasifikaci terénních tvarů na určitém území. Existují proto nástroje implementované do některých geoinformačních softwarů, které podle určitých algoritmů klasifikují části povrchu na tvary reliéfu. V základních verzích softwarů nástroje pro identifikaci prvků často chybí, a tak je potřeba existující nadstavby vyhledat a následně doinstalovat. Na testování algoritmů identifikujících prvky reliéfu byly vybrány softwary Landserf a ArcGIS.

5.1. *Landserf*

Landserf je volně stažitelný GIS pro vizualizace a analýzy reliéfu. Aplikace obsahují možnosti vizualizace reliéfu, geomorfologické analýzy, konverze GIS formátů, tvorbu mapových výstupů, analýz a mapování pro archeologii, modelování terénů a další.

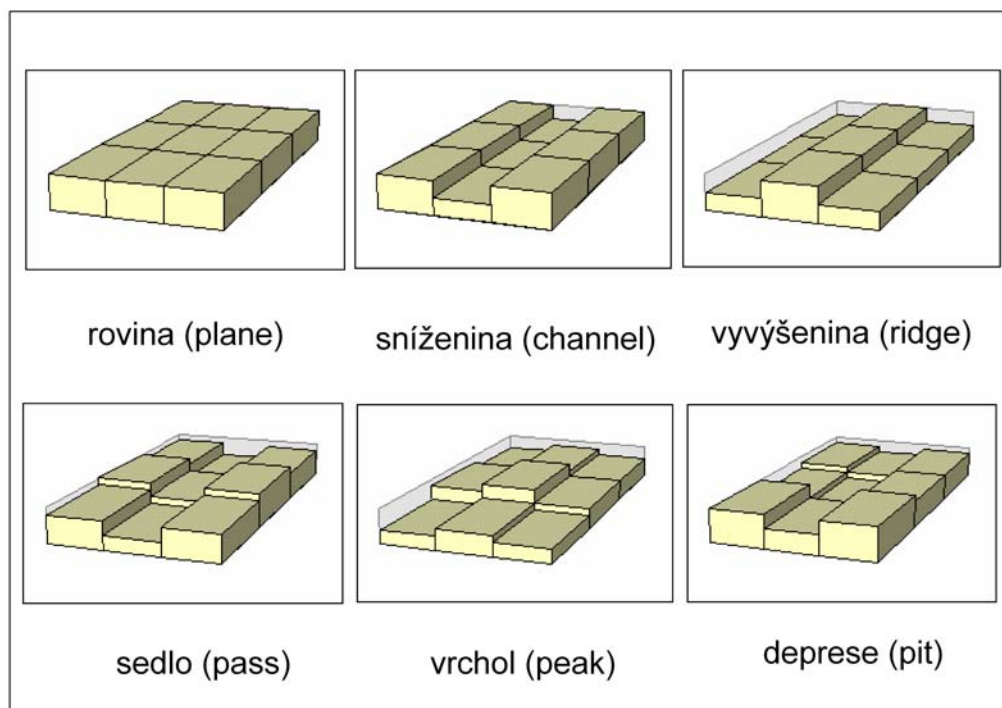


Obr. 3: Ukázka prostředí Landserf

Program běží na platformách, které podporují Java Runtime Environment (Windows, MacOSX, Unix, Linux), jelikož je psán jazykem Java. Program byl vyvinut britským autorem Joo Woodem. Pro potřeby této práce byla použita nejnovější verze programu Landsurf 2.3 [9].

5.1.1. Tvary reliéfu v prostředí Landsurf

Oproti jiným programům, kde možnosti identifikace prvků reliéfu nejsou, software Landsurf obsahuje tyto nástroje přímo v základní verzi a poskytuje celou řadu algoritmů pro analýzy spojené s identifikací prvků reliéfu. Nástroje jsou vyvinuty tak, že dokáží identifikovat šest typů reliéfu. Byla vytvořena sada nástrojů, která dokáže rozdělit každý bod povrchu na vrchol (peak), depresi (pit), sníženinu (channel), vyvýšeninu (ridge), sedlo (pass) či rovinu (plane) (obr. 4). Názvy těchto tvarů vypovídají o jejich geomorfologické interpretaci a jsou jednoznačně popisovány podle změn ortogonálních os x , y , z . Osy x a y nemusí být nutně paralelní s osami DMR, ale jsou ve směru maxima a minima křivosti povrchu. Standardní metoda pro identifikaci prvků je přes matici buněk (obvykle 3×3) v DMR a zkoumání vztahů mezi centrální buňkou a sousedními buňkami. Pro určení všech šesti prvků je třeba provést kvadratickou aproximaci požadované matice buněk [21]. Landsurf identifikuje prvky reliéfu na základě sklonu, křivosti příčného řezu a minimální/maximální křivosti. Uživatel může ovlivnit klasifikaci tím, že nastaví velikost mřížky a tolerance sklonu i křivosti (viz kap. 5.1.2., nástroj *Feature extraction*). Popis jednotlivých prvků s jejich matematickým vyjádřením je v tab. 6. České názvy jednotlivých tvarů byly vytvořeny podle charakteristických rysů, které vystihují (dle obr. 4). Označení rovin (plane) není zcela vystihující, protože algoritmus do této kategorie počítá i roviny na svahu, jelikož je klasifikuje především na základě tolerance křivosti, kterou uživatel nastaví a sklon nebere v úvahu.



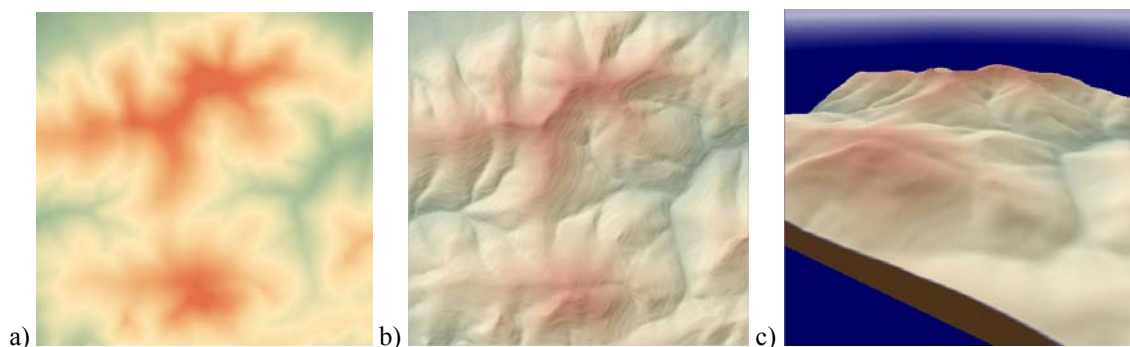
Obr. 4: Tvary reliéfu identifikovatelné v softwaru Landsfer (upraveno dle Wooda [21])

Tab. 6: Popis a matematické vyjádření prvků reliéfu v prostředí Landsfer (upraveno dle Wooda [21])

Prvek	Rovnice druhé derivace	Popis
Vrchol	$\frac{\delta^2 z}{\delta x^2} > 0, \frac{\delta^2 z}{\delta y^2} > 0$	Bod, který je konvexní ve všech směrech (všechny sousední buňky nižší)
Vyvýšenina	$\frac{\delta^2 z}{\delta x^2} > 0, \frac{\delta^2 z}{\delta y^2} = 0$	Bod který leží v místě konvexním v jednom směru a v druhém není ani konvexní ani konkávní
Sedlo	$\frac{\delta^2 z}{\delta x^2} > 0, \frac{\delta^2 z}{\delta y^2} < 0$	Bod, který leží v místě kde se kříží konvexní a konkávní část povrchu
Rovina	$\frac{\delta^2 z}{\delta x^2} = 0, \frac{\delta^2 z}{\delta y^2} = 0$	Bod, který neleží ani v konvexním ani konkávním místě v žádném směru
Sníženina	$\frac{\delta^2 z}{\delta x^2} < 0, \frac{\delta^2 z}{\delta y^2} = 0$	Bod který leží v místě konkávním v jednom směru a v druhém není ani konvexní ani konkávní
Deprese	$\frac{\delta^2 z}{\delta x^2} < 0, \frac{\delta^2 z}{\delta y^2} < 0$	Bod, který je konkávní ve všech směrech (všechny sousední buňky vyšší)

5.1.2. Testování nástrojů pro identifikaci prvků reliéfu v Landserfu

Software Landserf disponuje bohatou sadou nástrojů pro povrchové analýzy a významnou část tvoří právě nástroje pro identifikaci prvků reliéfu. Hlavním cílem této práce je aplikovat tyto algoritmy na testovací data. Veškeré výstupy z těchto algoritmů jsou ovlivněny vstupními parametry. Jakákoli změna vstupních parametrů přináší zcela různé výsledky, které mohou být velmi zkreslující, a proto je nutné nalézt pro každý nástroj optimální nastavení parametrů. To závisí především na charakteru a velikosti daného území, se kterým pracujeme. Proto byly vybrány jako vstupní data odlišné typy reliéfu pahorkatiny a hornatiny o rozsahu 4x4 km. Vstupní rastry lze v Landserfu zobrazit více způsoby. Pro názornější prezentaci výsledků je vhodné vizualizovat prvky reliéfu na DMR zobrazeném jako *Reliéf*.



Obr. 5: Území zobrazené funkcí a) *Display – Raster*, b) *Display – Reliéf* a c) pomocí 3D viewer

V další části této kapitoly budou podrobněji vysvětleny jednotlivé nástroje pro identifikaci prvků reliéfu i s jejich využitím. Názorné ukázky výsledků aplikace algoritmů na testovací data jsou k dispozici ve volných přílohách:

Feature extraction

Je to základní nástroj pro přímou identifikaci prvků reliéfu z DMR a skrývá se v nabídce *Analyse – Surface params – Feature extraction*. Jelikož kritéria

pro klasifikaci jsou velmi podobná pro většinu softwarů, kde existuje možnost identifikace prvků reliéfu, je na příkladu tohoto nástroje vysvětleno jednak teoreticky, tak i prakticky nastavení nejdůležitějších vstupních parametrů a kritérií pro identifikaci prvků reliéfu v prostředí GIS. Každá změna parametru nám poskytne zcela jiné výsledky. Aby bylo možné seskupit všechny buňky rastru do prvků reliéfu, je třeba tedy podle charakteru území nastavit správně veškeré parametry a stanovit kritéria potřebná pro klasifikaci.

a) přesnost vstupního gridu

Pro povrchové analýzy je třeba mít dostatečně přesný DMR. Nejdříve bylo zkoumáno, jaký vliv má na identifikaci prvků reliéfu interpolační metoda při tvorbě gridu. Metodami IDW a spline byly z bodů vytvořeny rastry a přímo z vrstevnic byl generován topogrid (nastavení parametrů gridů viz tab. 7). Na všech gridech byla provedena identifikace prvků (u všech nastaveny stejné parametry) a výsledky porovnány (příloha 1, 2). Je patrné, že interpolační metoda nemá hlavní vliv na klasifikaci prvků reliéfu. Při testování dalších typů reliéfu se ukázalo, že metoda IDW nepřináší moc přesné výsledky. Gridy vytvořené metodou spline a topogridy přinesly podobné výsledky. Na vygenerovaných gridech byla pro přesnost počítána RMS chyba, tedy střední kvadratická chyba (angl. root mean square error), která je nejčastěji používanou mírou neurčitosti. Měří rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi původními výškovými daty a daty vygenerovaného DMR [4].

Kromě interpolační metody má vliv i rozlišení rastru. Vzhledem k rozsahu testovaného území byla zvolena rozlišení 5 či 10 m a na nich prováděno testování. Ve vizualizaci přineslo přesnější výsledky nastavení 5 m. Jednak je rastr jemnější a vstupní vrstevnice mají interval také 5 m. Ovšem rozlišení 10 m je také vhodné pro území dané velikosti. Podle McMillana [10] je rozlišení gridu 5 a 10 m vhodné pro klasifikaci tvarů reliéfu na územích v měřítku od 1 : 5 000 do 1 : 50 000. Navíc

hodnoty ve skriptech do ArcGISu jsou psané právě na rastry o rozlišení 10 m. Proto byly testovány obě nastavení.

Tab. 7: Nastavení parametrů při tvorbě gridů interpolačními metodami IDW a spline

Metoda interpolace	Typ reliéfu	Rozlišení gridu [m]	Nastavení parametrů	RMS chyba
spline	pahorkatina	5 / 10	Tension, váha: 5; počet bodů: 12	0,48 / 0,55
IDW	pahorkatina	5 / 10	vliv vzdál. bodů: 2 počet bodů: 12	1,39 / 1,43
spline	hornatina	5 / 10	Tension, váha: 5; počet bodů: 12	0,88 / 1,28
IDW	hornatina	5 / 10	vliv vzdál. bodů: 2 počet bodů: 12	2,38 / 2,65

Topogrid vzniká speciálním interpolačním algoritmem, který byl specificky navržen pro vytvoření hydrologicky korektního DMR. Algoritmus je primárně přizpůsoben pro práci s vrstevnicovými daty a základní úvaha vychází z předpokladu, že hlavním faktorem, který modeluje tvar terénu, jsou právě hydrologické procesy. Podle typu interpolace se jedná o spline metodu, která dovoluje modelovat náhlé změny v reliéfu terénu [3]. Topogrid je obecně považován za kvalitní rastrový model reliéfu a přinesl neoptimálnější výsledky identifikace, a proto na gridu vytvořeném touto interpolační metodou budou testovány další nástroje pro identifikaci prvků reliéfu.

b) nastavení velikosti mřížky

Jedním z nejdůležitějších kritérií je nastavení velikostí mřížky. Zde je názorná ukázka jak ovlivní nastavení velikosti mřížky výsledný grid. Výchozí nastavení velikosti mřížky je 3x3. Při rozlišení rastru 5 m by to znamenalo, že okno pro výpočet operace by mělo velikost 15x15 m, což je nejmenší velikost. Tolerance ještě není potřeba brát v úvahu, a tak budou nastaveny na výchozí hodnoty (sklon 1 a křivost 0,1). Pro každý typ reliéfu se nastavila velikosti mřížky 5x5, 25x25 a 45x45. Na tyto gridy se aplikovala

funkce *Feature extraction* a porovnaly se výsledky (příloha 3). Z výsledku je patrné, že velikost mřížky nám velmi ovlivňuje rozmístění a rozsah jednotlivých prvků. Při velikosti mřížky 5x5 je povrch spíše rovinný, což příliš neodpovídá skutečnosti. Při zvětšování velikosti jsou plochy, které byly předtím klasifikovány jako roviny, nyní identifikovány jako sníženiny či vyvýšeniny. Potvrdilo se též, že na členitějším povrchu přibývá sníženin a vyvýšenin a ubývá rovin. Jak je vidět, pro testovaná území o velikosti 4x4 km je optimální velikost mřížky 25x25. Při rozlišení gridu 5 m a použití mřížky 25x25 bude okno pro výpočet algoritmů v rozsahu 125x125 m což odpovídá velikosti jednotlivých tvarů dle typologie (viz tab. 1). Ostatní velikosti, které byly testovány, přinesly spíše nereálné a jednostranné výsledky. Také členitost hraje velkou roli. Na pahorkatinách se vyskytují spíše roviny a v hornatinách sníženiny s vyvýšeninami.

c) tolerance sklonu a křivosti

Pro správnou identifikaci prvků reliéfu na našich testovacích územích je další podmínkou správné nastavení tolerancí sklonu a křivosti. Hodnoty této tolerance jsou velmi důležité a jsou ovlivněny vlastnostmi terénu. Nastavení je libovolné, ale jakákoli změna hodnoty nám klasifikuje povrch zcela jinak.

Tslope - tolerance sklonu = minimální hodnota sklonu (ve stupních), od které jsou definovány povrchy jako roviny, sníženiny a vyvýšeniny. (tzn., že plochy, které budou mít hodnotu sklonu menší než toleranci, budou klasifikovány jako vrcholy, deprese či sedla a čím vyšší bude hodnota tolerance, tím více pixelů bude klasifikovaných do těchto tvarů).

Tconvex - tolerance křivosti = minimální celková křivost (bezrozměrná jednotka), která definuje nerovný povrch. (tzn., že plochy, u nichž je hodnota křivosti vyšší, než zadaná tolerance, již nebudou považovány za ploché, ale jako součást nějakého tvaru). Vyšší hodnota (nad 0,5) vede k vyššímu podílu plochy, která je klasifikována jako rovinná a kromě ní jsou pak identifikovány už jen “nejzakřivenější” prvky [21].

Je zde uvedena část skriptu (dle Wooda [21]), která objasňuje identifikaci prvků reliéfu s využitím tolerancí:

```
if (slope > Tslope) /* Case 1: Surface is sloping */
{
    if (crosc > Tconvex)
        return (RIDGE)
    if (crosc < -Tconvex)
        return (CHANNEL)
    else
        return (PLANAR)
}
if (maxic > Tconvex) /* Case 2: Surface is horizontal */
{
    if (minic > Tconvex)
        return (PEAK)
    if (minic < -Tconvex)
        return (PASS)
    else
        return (RIDGE)
}
if (minic < -Tconvex)
{
    if (maxic < -Tconvex)
        return (PIT)
    else
        return (CHANNEL)
}
return (PLANAR)
```

slope – hodnota sklonu

Tslope – nastavená hodnota tolerance sklonu

crosc – křivost příčného řezu

Tconvex – nastavená hodnota tolerance křivosti

minic, maxic – minimální, maximální hodnoty křivosti

Metoda, která byla použita výše (bez zadání tolerance), vytváří povrchy, které algoritmus klasifikuje především do sníženin a vyvýšenin. K tomu dochází, protože na vytvořeném DMR budou jen velmi málo vznikat zcela rovinné plochy s nulovou hodnotou konvexnosti/konkávnosti (výjimkou budou plochá místa jako vodní plochy a pobřeží). Druhým důvodem je, že vrcholy, deprese a sedla mají hodnotu sklonu pouze

podle uvažovaných sousedních buněk a budeme-li zvyšovat hodnotu tolerance sklonu, zvýší se i počet těchto tvarů.

Pro každé území je tedy třeba podle charakteristik povrchu stanovit hodnoty tolerance, abychom mohli na daném území identifikovat prvky reliéfu co nejreálněji. Aby bylo možné porovnat stanovení tolerancí, je zde vytvořena kompozice výstupů s jejich postupným zadáváním. Můžeme tak vidět, jak moc se každá změna projeví na identifikaci a stanovit optimální hodnoty tolerance pro určitý typ povrchu o určité velikosti (příloha 4, 5). Z výsledku je patrné, že při zvyšující se toleranci sklonu přibývají vrcholy, deprese a sedla. Naopak při zvyšující-se hodnotě tolerance křivosti přibývá rovin. Bylo by tedy vhodné najít optimální hodnoty pro testování libovolného území a určité velikosti. Pro testovaná území byla již dříve nastavena optimální velikost mřížky na 25x25. Poté byly vytvořeny gridy sklonů (slope) a celkové křivosti (cross-sectional curvature), aby se mohly určit hodnoty tolerancí pro testování. Je velmi obtížné stanovit optimální hodnoty, jelikož každé území má různý rozsah sklonů i křivostí. Kdyby se uvažovalo o jednotném nastavení pro všechny typy povrchů, dala by se použít jednotná hodnota tolerance 3° , která je dle klasifikace geometrických ploch považována ještě téměř za rovinnou plochu a klasifikovala by nám tedy samotné ploché vrcholy, deprese a sedla. Navíc hodnota sklonu 3° je nastavena jako výchozí i ve skriptech do ArcGISu. Při testování křivosti příčného řezu (cross-sectional curvature) se u většiny typů povrchů pohybovala nejčastější hodnota od -0,1 do 0,1, což by se dalo považovat za plochy téměř rovinné. Navíc hodnota tolerance 0,1 je implicitně nastavená u obou testovaných softwarů, a tak by se dala považovat za optimální, ovšem to nemusí být pravidlem.

Pokud nehledáme optimální hodnoty pro všechny typy povrchů, je lepší hodnoty stanovit podle rozsahu hodnot sklonu a křivosti přímo na daném území (tab. 8). Zvýrazníme právě prvky, které jsou pro daný typ důležité, nebo které nás zajímají. U hornatiny jsou rozsahy hodnot sklonů a křivostí vyšší a při jednotném nastavení se povrch klasifikuje především do sníženin a vyvýšenin, a tak je třeba hodnoty tolerance posunout, aby se zvýraznily i ostatní tvary. Celkový pohled je vyjádřen

v příloze 6, kde jsou porovnány výsledky identifikace prvků reliéfu na obou typech testovaných reliéfů při výchozím nastavení (mřížka 3x3, Tslope 1, Tconvex 0,1), při optimálním nastavení pro všechny typy (mřížka 25x25, Tslope 3, Tconvex 0,1) a při optimálním nastavení pro každý typ.

Tab. 8: Zadávání parametrů na různých typech reliéfu z hlediska optimálního nastavení pro všechny typy a pro jednotlivý typ povrchu

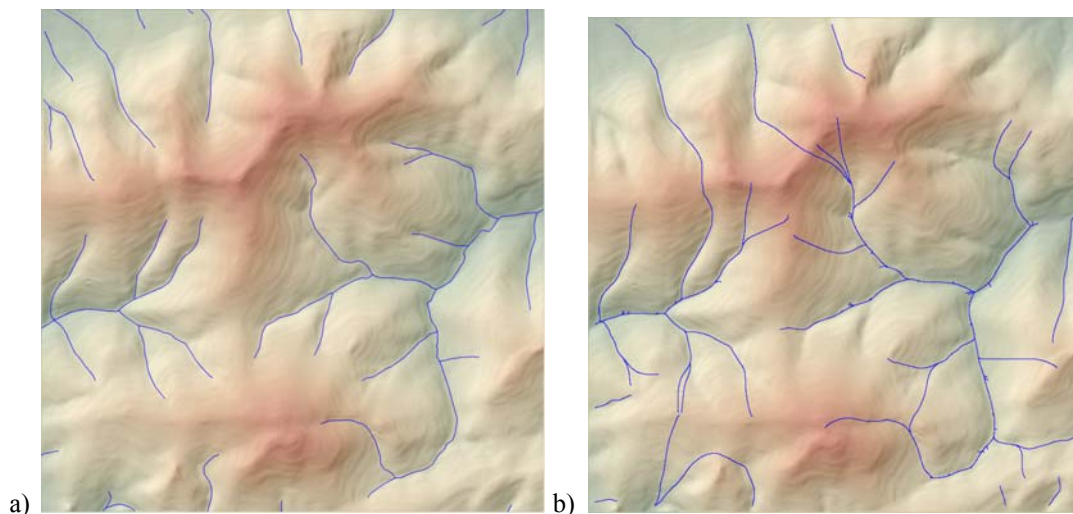
Typ reliéfu	Velikost mřížky	Rozsah sklonů [°]	Rozsah celkové křivosti	TS / TC (všechny typy)	TS / TC (jednotlivé typy)
pahorkatina	25x25	0,003 ; 11,495	-0,649 ; 0,34	3 / 0,1	2 / 0,1
hornatina	25x25	0,046 ; 31,812	-1,988 ; 1,606		5 / 0,15

Testována byla i rovina a vrchovina. Vzhledem k rozsahu práce zde nejsou uvedeny grafické výstupy z těchto typů, ovšem optimální hodnoty nastavení se pohybují okolo hodnot pro pahorkatinu a hornatinu.

Feature network extraction

Další nástroj pro identifikaci prvků reliéfu se skrývá v nabídce *Analyse – Surface parameters – Feature network extraction*. Jedná se o podobnou metodu jako u předchozího nástroje s tím rozdílem, že nástroj identifikuje prvky s důrazem na vyvýšeniny a sníženiny. Smyslem tohoto nástroje je vytvářet výstupy se zvýrazněnou sítí těchto dvou prvků. Takto vytvořený rastr lze převést na vektorovou síť, kde liniemi je vyjádřena síť údolnic a hřbetnic, která je propojena body představující vrcholy, deprese a sedla [22]. Tuto funkci umožňuje nástroj ***Vector feature network***. Doposud bylo nastavení velikosti mřížky 25x25. Co se týče optimálního nastavení parametrů pro tento nástroj, pokud chceme vytvořit základní síť sníženin a vyvýšenin, postačí nastavit velikost mřížky 5x5. Algoritmus tak vytvoří celkem přehlednou síť táhnoucích se hřbetnic a údolnic a navíc výpočty zaberou méně času. Pokud chceme vytvořit podrobnější síť, stačí zvětšit velikost okna (příloha 7). Nastavení tolerancí v tomto

případě nehraje téměř žádnou roli. Jelikož je úkolem tohoto nástroje vytvořit síť hřbetnic a údolnic, jsou výstupy vytvořené na příkladu hornatiny. Tento nástroj může mít své využití i v hydrologii, což je vidět na obr. 6, kde je porovnána říční síť s vytvořenou sítí údolnic a jsou dosti podobné.



Obr. 6: Porovnání a) říční sítě a b) sítě údolnic vytvořené softwarem Landserf

Multi-scale feature classification

Doposud jsme klasifikovali prvky reliéfu podle určité velikosti mřížky. V Landserfu existuje možnost identifikovat prvky reliéfu na určitém území přes rozsah velikosti mřížky. Je to princip výpočtu prvků reliéfu až do maximální velikosti mřížky, kterou nastavíme. Minimální velikost okna je 3x3, následuje každé liché číslo a maximální může být velikost nejkratší strany gridu. Tento nástroj je v nabídce *Analyse – Multiscale parameters – Feature extraction*. V našem případě máme nastavenou velikost okna 25x25. Pokud toto nastavení ponecháme a na DMR aplikujeme tuto funkci, algoritmus vypočte prvky reliéfu pro všechny velikosti mřížky od 3x3 až po velikost 25x25 (velikosti mřížky jsou jen lichá čísla) a výsledkem bude rastr, který bude obsahovat modus prvků ze všech počítaných velikostí mřížky (nejčastější hodnotu) (příloha 8).

Na stejném principu funguje i nástroj pro tvorbu sítě vyvýšenin a sníženin v nabídce *Analyse – Multiscale parameters – Feature network extraction*.

Užitečnou funkcí disponuje nástroj pod nabídkou *Info – Multiscale query – Feature extraction*. Po spuštění se zadá v dialogovém okně velikost mřížky a algoritmus kdekoli v DMR identifikuje prvky reliéfu v rozsahu od velikosti okna 3x3 až po zadanou hodnotu. Výsledek je zobrazen v grafu. Na ose x je velikost mřížky od 3x3 po zadanou hodnotu a ke každé velikosti je do grafu zakreslen prvek (osa y), který daná mřížka na čtverci identifikovala (obr. 7). Detekce prvků reliéfu v různém rozsahu měřítka může mít za následek na stejném místě různé rozdělení prvků v odlišných měřítkách. Z obrázku je patrné, že ve při rozsahu velikosti mřížky až do 65x65 je ve sledovaném čtverci rovina součástí vyvýšeniny a ta součástí vrcholu.



Obr. 7: Využití nástroje *Multiscale query* pro klasifikaci prvků reliéfu

Fuzzy feature classification

Výhodu „multi-scale“ používá i nástroj v nabídce *Analyse – Fuzzy feature classification*. Tato funkce indikuje umístění jednotlivých prvků a vytvoří soubor šesti rastrů, kde každý bude zobrazovat jeden prvek reliéfu. Každá buňka rastru má

přiřazenou hodnotu od 0 (buňka není považována za prvek reliéfu) do 1 (buňky jsou považovány za prvky reliéfu). Tvary reliéfu jsou v odstínu barvy daného prvku v rozsahu $(0;1]$ podle velikosti mřížky od maximálního nastavení do velikosti mřížky 3x3 což odpovídá hodnotě 1 a nejtmašímu odstínu barvy (příloha 9).

Ostatní nástroje pro detekci prvků reliéfu v prostředí Landsurf

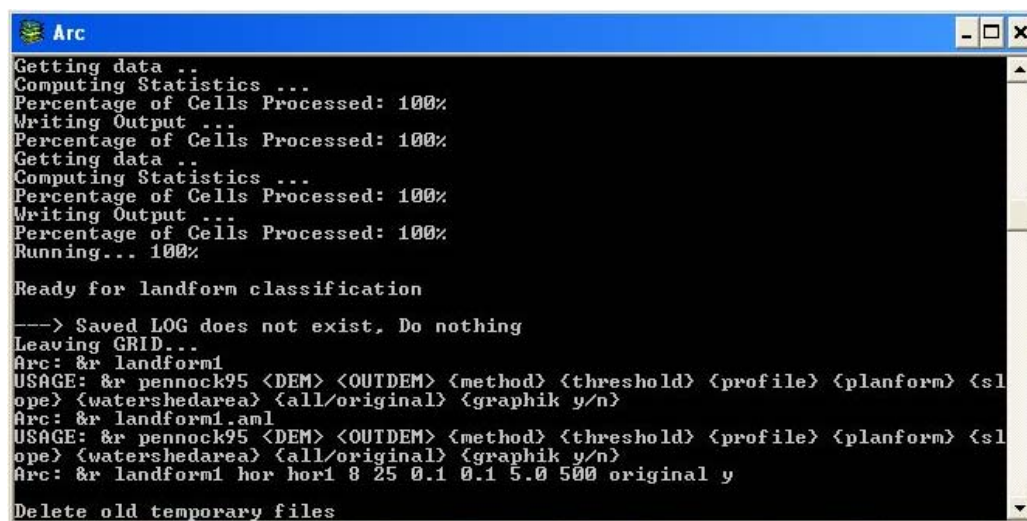
Landsurf nabízí více alternativních způsobů jak identifikovat prvky reliéfu. Jsou zde nástroje pro detekci vrcholů a depresí. Identifikace depresí v DMR je užitečná pro hydrologické analýzy, kdy se předpokládá, že voda proudí z buňky v DMR do buněk níže nebo stejně položených. Pomocí analýzy *Pit removal* odstraníme všechny deprese a zaplavovaná území a nevzniknou žádné lokality, které by byly zcela obklopeny vyššími místy. Umístění a hloubka rozvodněných depresí jsou znázorněny v samostatném rastru a pohybuje se v záporných hodnotách. Současně je vytvořen DMR, který již neobsahuje deprese.

Funkce pro detekci vrcholů nabízí nástroj *Peak classification*. Po spuštění se otevře dialogové okno, kde se zadávají dva parametry. Nejdříve minimální výška vrcholu, která udává práh, od které výšky budou klasifikovány vrcholy. Druhým kritériem je minimální pokles okolních vrcholů. Což značí, že vrchol musí být zcela obklopen vyvýšeninami, které jsou nižší o zadanou hodnotu.

5.2. ArcGIS

V tomto programu nástroje pro identifikaci prvků reliéfu v základní verzi chybí, a tak bylo nutné dostupné možnosti dohledat. Schopnost klasifikovat prvky v prostředí ArcGIS nabízí skripty od německého autora Hannese Isaaka Reutera. Skripty jsou určeny pro povrchové analýzy a vyžadují tedy licenci ArcInfo. Navíc jsou psané v jazyku AML (Arc Macro Language), což je jazyk určený primárně pro ArcInfo

Workstation (obr. 8). Pro tvorbu výstupů byla tedy použita verze programu ArcGIS 9.2 Workstation.



```
Arc
Getting data ..
Computing Statistics ...
Percentage of Cells Processed: 100%
Writing Output ...
Percentage of Cells Processed: 100%
Getting data ..
Computing Statistics ...
Percentage of Cells Processed: 100%
Writing Output ...
Percentage of Cells Processed: 100%
Running... 100%

Ready for landform classification

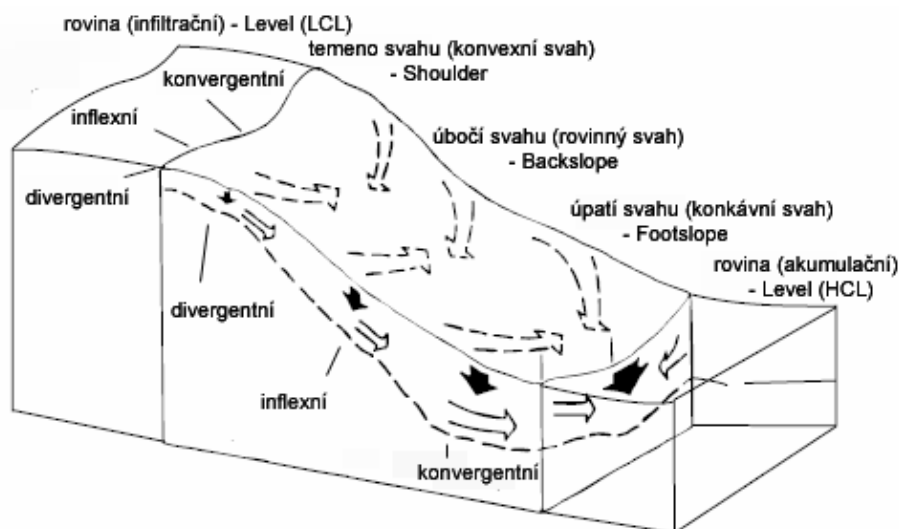
--> Saved LOG does not exist, Do nothing
Leaving GRID...
Arc: &r landform1
USAGE: &r pennock95 <DEM> <OUTDEM> <method> <threshold> <profile> <planform> <slope> <watershedarea> <all/original> <graphik y/n>
Arc: &r landform1.aml
USAGE: &r pennock95 <DEM> <OUTDEM> <method> <threshold> <profile> <planform> <slope> <watershedarea> <all/original> <graphik y/n>
Arc: &r landform1 hor hori 8 25 0.1 0.1 5.0 500 original y
Delete old temporary files
```

Obr. 8: Ukázka prostředí ArcGIS Workstation

5.2.1. Tvary reliéfu v prostředí ArcGIS

Oproti softwaru Landserf skripty pro ArcGIS klasifikují terén na zcela jiné tvary reliéfu. Výhodou je, že sami můžeme určit na kolik tvarů chceme povrch rozdělit. Existuje zde možnost klasifikace na čtyři, osm nebo jedenáct prvků. Základ tvoří čtyři plochy. Z obecného hlediska by se jednalo o zcela rovinné plochy (level) a části svahu (konvexní - Shoulder, rovinné - Backslope a konkávní - Footslope). Z obr. 9 a též podle kap. 3.4.3. by šlo také usoudit, že se jedná o temeno, úbočí, úpatí v případě částí svahu. Podrobnější dělení na osm prvků pak rozdělí ploché roviny na rovinu pod svahem, nebo též akumulární oblast (high catchment level) a nad svahem, čili infiltrační oblast (low catchment level). Navíc všechny části svahu dělí ještě na konvergentní a divergentní, což lze brát též jako konkávní či konvexní. Pokud chceme klasifikovat terén na jedenáct prvků, algoritmus nám přidá ještě inflexní části (přechod mezi konvergentní a divergentní částí) (obr. 9). Metoda identifikace vychází ze studií kanadského pedologa D.J. Pennocka [14], který podle výzkumu krajiny a půdy stanovil tvary reliéfu

pro identifikaci. Dle metod Pennocka je skript psán tak, že k rozdělení povrchu na tvary reliéfu využívá sklon, normálovou a horizontální křivost a watershed (rozsah oblasti, ze které stéká voda do daného místa). Samotná klasifikace je ovšem založena na nastavení hodnot parametrů (podobně jako v Landserfu) (tab. 9).



Obr. 9: Tvary reliéfu identifikované v prostředí ArcGIS (upraveno dle Reutera [15]) – vyplněné šipky značí směr vertikální infiltrace, prázdné šipky proudění podpovrchové vody a čárkované směr toku po povrchu a sedimentaci

Tab. 9: Princip identifikace prvků reliéfu v prostředí ArcGIS podle optimálního nastavení parametrů pro grid o rozlišení 10 m (upraveno dle Reutera [15])

Prvky reliéfu	Sklon [°]	Normálová křivost [1/100 m]	Horizontální křivost [1/100 m]	Watershed area [m ²]
Temeno svahu (diverg. část)	>0	>0.1	>0.1	#
Temeno svahu (inflex. část)	>0	>0.1	<0.1 >-0.1	#
Temeno svahu (konv. část)	>0	>0.1	<-0.1	#
Úbočí svahu (diverg. část)	>3.0	>-0.1 <0.1	>0.1	#
Úbočí svahu (inflexní část)	>3.0	>-0.1 <0.1	<0.1 >-0.1	#
Úbočí svahu (konverg. část)	>3.0	>-0.1 <0.1	<-0.1	#
Úpatí svahu (diverg. část)	>0	<-0.1	>0.1	#
Úpatí svahu (inflexní část)	>0	<-0.1	<0.1 >-0.1	#
Úpatí svahu (konverg. část)	>0	<-0.1	<-0.1	#
Rovina (infiltrační)	<3.0	>-0.1 <0.1	#	<500
Rovina (akumulační)	<3.0	>-0.1 <0.1	#	>500

- hodnota, která není potřeba k výpočtu

5.2.2. Testování skriptů pro identifikace prvků reliéfu v ArcGISu

Pro identifikaci výše zmíněných prvků reliéfu je třeba použít dva skripty. První skript *topo.aml* je určen pro povrchové analýzy (morfometrické charakteristiky, analýzy odtokových poměrů) a ty jsou poté použity pro identifikaci prvků reliéfu ve skriptu druhém. Tento druhý skript *landform.aml* je již primárně určen ke klasifikaci tvarů a pracuje s gridy vytvořenými v předchozím skriptu. Při zpuštění prvního skriptu zadáme pouze název vstupního DMR a algoritmus pro něho vypočítá a vytvoří gridy některých povrchových charakteristik (pro identifikaci důležité *slope*, *profile curvature*, *planar curvature*, *watershed*). Ve skriptu *landform.aml* se kromě vstupního DMR zadává ještě název výstupního gridu, který již bude zobrazovat prvky reliéfu, a také je třeba nastavit hodnoty parametrů, podle kterých bude algoritmus pracovat. Zde je ukázka výpisu z prostředí Workstation i s popisem jednotlivých parametrů (tab. 10):

```
Arc: &r landform.aml
### načtení skriptu ###
USAGE: landform <DEM> <OUTDEM> {method} {threshold} {profile}
{planform} {slope} {watershedarea} {all/original} {graphik y/n}
Arc: &r landform hornatina IPR 11 5 0.1 0.1 3.0 500 all no
### zadání názvu vstupního a výstupního DMR, nastavení parametrů ###
```

Tab. 10: Popis jednotlivých parametrů potřebných k identifikaci prvků reliéfu ze skriptu *landform.aml* a výchozí nastavení pro grid o rozlišení 10 m

Parametry	Popis	Výchozí nastavení
method	Možnost výběru klasifikace na 8 nebo 11 prvků	11
threshold	Nastavení rozsahu buněk	5
profile	Nastavení hodnoty normálové křivosti	0.1
planform	Nastavení hodnoty horizontální křivosti	0.1
slope	Nastavení hodnoty sklonu	3.0
watershedarea	Rozsah oblastí, ze které do stanovené plochy stéká voda (m ²)	500
all/original	Tvorba výstupů podle originální (4 tvary) či rozšířené klasifikace	all
graphik yes/no	Grafické znázornění jednotlivých oblastí při filtraci	no

Při porovnání s Landserfem identifikuje ArcGIS sice jiné tvary, ale metoda je podobná. Využívá manuálního nastavení parametrů podle určitého typu reliéfu o určité velikosti. Pro ArcGIS neexistují tak bohaté možnosti nástrojů pro identifikaci jako v Landserfu. Testovaný skript je určen pouze k vytvoření gridu tvarů reliéfu. Jelikož je nastavování parametrů podobné Landserfu, není příliš potřebné testovat změny nastavení a vyhledávat optimální hodnoty. Ty jsou navíc nastaveny již ve skriptu (tab. 5,6), ale pro potřeby této práce budou použity hodnoty testované již v Landserfu, které jsou téměř stejné s výchozím nastavením ve skriptu. Nejdůležitější změna je, že si můžeme sami vybrat, zda chceme terén identifikovat na čtyři, osm či jedenáct prvků, a to bude hlavním předmětem testování. Výsledek klasifikace je zřetelný z příloh 10 a 11 i s porovnáním výsledku z Landserfu. Všechny gridy byly vytvořeny stejnou metodou (topogrid, rozlišení 10 m) a nastaveny stejné parametry (threshold 10, profile 0.1, planform 0.1, slope 3.0, watershedarea 500).

Z příloh 10 a 11 je patrné, jaké výhody poskytuje identifikace jedním nástrojem na více tvarů. Grid se čtyřmi tvary je více přehledný, jelikož rozděluje povrch pouze na základní části svahu a ploché roviny. S vyšším počtem tvarů nám lépe vystupuje síť vyvýšenin a sníženin, což lze dobře porovnávat s výstupem z Landserfu. Navíc zde vyniknou i plochy s vyšší akumulací a naopak plochy infiltrační.

5.3. Možnosti identifikace prvků reliéfu v dalších vybraných GIS softwarech

..

Rostoucí využívání povrchových analýz má za následek rozvoj nástrojů pro jednotlivé softwary. Prakticky veškerý významný GIS disponuje nástroji pro zobrazení a analýzu rastrových dat. Samozřejmě existují rozdíly mezi množstvím nástrojů spojených s terénními analýzami u jednotlivých softwarů. Například základní verze softwaru IDRISI nabízí různorodost nástrojů pro povrchové analýzy, oproti tomu dvě nejvýznamnější společnosti na poli geoinformatiky ESRI a Intergraph nenabízí ve svých produktech mnoho možností pro zmíněné analýzy v základních verzích. Co se týče

možností pro klasifikaci terénních tvarů, řada programů byla vyvinuta v první řadě jako součást vědecké práce a nyní jsou volně dostupná. Ačkoli funkčnost je ve většině případů vyšší než u komerčních softwarů, hlavní stinné stránky jsou v neslučitelnosti s ostatními softwary a často závislost na různých platformách [6]. V tab. 11 je znázorněn výčet některých softwarů a jejich charakteristik týkajících se povrchových analýz.

Tab. 11: Vybrané GIS softwary a jejich možnosti pro prostorové analýzy v základních verzích (upraveno dle Klingseisena [6])

Program	Sklon	Orientace	Horizont. křivost	Normál. křivost	Identifikace prvků reliéfu	Prost. interpolace	Statistiky	Platformy	Vstupní formát dat
Komerční GIS Software									
Arc/Info Grid 7.0.2	•	•	•	•		•	•	Windows, Sun, Unix	Všechny význ. rastr. formáty
ESRI Spatial Analyst 9.2	•	•				•	•	Windows, Unix	Všechny význ. rastr. formáty
Geomedia Grid 5.1	•	•				•	•	Windows	Všechny význ. rastr. formáty
IDRISI Kilimanjaro	•	•	•	•	•	•	•	Windows	Všechny význ. rastr. formáty
TNTmips 6.8	•	•				•	•	Windows, Unix, MacOS	Všechny význ. rastr. formáty
Free software									
Tapes-G	•	•	•	•				Unix	Ascii grid, xyz files
DiGem 2.0	•	•	•	•	•			Windows	Surfer, Esri Arc Grid, Grass,...
SAGA	•	•	•	•	•	•	•	Windows	See SAGA
Landserf	•	•	•	•	•			Windows, Unix, Sun	Všechny význ. rastr. formáty

Ačkoli výše uvedené softwary jsou navrženy tak, aby počítali vstupní parametry pro identifikaci prvků reliéfu, samotné nástroje pro klasifikaci nejsou mnohdy integrované. Výjimkou je například uživatelská aplikace LandMapR od kanadského autora MacMillana [10] nebo již zmíněné volně dostupné softwary DiGem, SAGA,

či testovaný Landserf. Na stejném principu jako v Landserfu je založena klasifikace prvků v dalším volně dostupném softwaru GRASS (modul *r.param.scale*). Z komerčních softwarů je nejvýznamnější pro klasifikaci terénních tvarů software IDRISI. Pro vytvoření rastru hydrologických zón povodí se využívá analytická funkce *TOPOSHAPE*. Algoritmus pro odvození tvaru reliéfu vychází z prací G. J. Pellegriniho [13]. Funkce provádí automatickou klasifikaci reliéfu do jedenáct možných kategorií terénu a každému pixelu v obraze přiřazuje hodnotu právě jedné kategorie (tab. 12) [12].

Tab. 12: Prvky reliéfu v prostředí IDRISI a jejich zařazení do hydrologických zón povodí (upraveno dle Pechance [12])

Kategorie reliéfu (ENG)	Kategorie reliéfu (CZ)	Zóna povodí
peak	vrchol	denudační
ridge	hřbet	denudační
saddle	sedlo	akumulační
flat	rovina	akumulační
ravine	strž	akumulační
Pit	jáma	akumulační
convex hillside	konvexní svah	tranzitně-denudační
Saddle hillside	svah v sedle	tranzitně-akumulační
Slope hillside	úbočí	tranzitní
Inflection hillside	bod inflexe	tranzitně-akumulační
Concave hillside	konkávní svah	tranzitně-akumulační
Unknown hillside	neznámý svah	tranzitní

6. Shrnutí výsledků

V rámci bakalářské práce bylo úkolem zkoumat možnosti identifikace prvků reliéfu v prostředí GIS. Na vybraných územích různých typů reliéfu bylo testováno, jak zvládají jednotlivé nástroje vybraných GIS softwarů identifikaci prvků reliéfu, tedy jak fungují, jaké tvary klasifikují, jaké výsledky podávají různé algoritmy při aplikaci na odlišné typy reliéfu s různým nastavením vstupních parametrů a vyhodnotit jejich použitelnost. Pro potřeby práce byl vybrán volně stažitelný program Landserf a pro porovnání komerční software ArcGIS, tedy produkt od jedné z nejvýznamnějších společností na poli geoinformatiky ESRI.

6.1. *Výsledky z Landserfu*

Použití tohoto programu pro potřeby řešení dané problematiky nebylo náhodné. Nejen že je program volně dostupný, ale především je určen pro prostorové analýzy. Britský autor Jo Wood v něm vytvořil řadu nástrojů právě pro identifikaci prvků reliéfu. Nebylo tak třeba dohledávat žádné jiné nadstavby pro klasifikaci tvarů reliéfu, jako je tomu u jiných programů. Program je vyvinut tak, že dokáže klasifikovat terén na šest prvků. Při porovnání s možnostmi jiných programů (IDRISI, skripty do ArcGIS) nenabízí příliš pestrou nabídku tvarů, ovšem podle kap. 3.4.1. vystihují základní geometrické tvary terénu, tedy rovinné, konvexní a konkávní, což je účelem. U rovin je třeba upřesnit, že zde nejsou ovlivněny sklonem svahu, ale pouze křivostí a software počítá za rovinu i tu část terénu, která může být sice součástí svahu, ale je zakřivena v toleranci, kterou uživatel nastaví. Tím je poukázáno na skutečnost, že celá klasifikace není zcela automatická, ale je především ovlivněna parametry, které uživatel zadá. Každý nástroj v Landserfu má své vlastní využití a pro přesné výsledky vyžaduje různé nastavení parametrů. Na příkladech odlišných typů reliéfu bylo dlouze testováno nastavení parametrů pro každý nástroj za účelem nalezení optimálních hodnot pro identifikaci prvků reliéfu na území daného rozsahu a typu. Popis nástrojů, jejich

funkce a kritéria pro nastavení parametrů jsou vysvětleny v kap. 5.1.2. a grafické znázornění výsledků ve volných přílohách.

Obecně lze říci, že klasifikaci nejvíce ovlivňuje přesnost vstupního gridu, nastavení mřížky pro výpočet, sklon a křivost reliéfu. Podle testování na gridech vytvořených různými interpolačními metodami přinesly optimální výsledky topogridy, které jsou obecně považovány za kvalitní rastrové modely reliéfu specificky navržené pro hydrologicky korektní DMR a gridy vytvořené metodou spline, které navíc podle počítaných RMS chyb byly velice přesné. Nastavení mřížky bylo voleno, aby podle rozlišení rastru algoritmus počítal na ploše zhruba kolem 10 000 m², což odpovídá velikostnímu kritériu identifikovaných tvarů dle typologie (viz tab. 2). Optimální hodnoty tolerance sklonů a křivostí byly hledány nejdříve obecně pro všechny typy reliéfu, protože ne vždy uživatel pracuje na území, které odpovídá charakteru jednoho typu reliéfu. Především pak byly hledány optimální hodnoty pro samotné typy, jelikož každý má zcela jiný charakter, které vyžaduje vlastní nastavení pro přesnější výsledky. Tolerance sklonu určuje hranici, do které algoritmus klasifikuje vrcholy a deprese. Optimální hodnota byla navržena kolem 3 °, což je považováno téměř za rovnou plochu a do této hodnoty by byly klasifikovány samotné ploché vrcholy a deprese. Pro jednotlivé typy je návrh optimálního nastavení uveden v tab. 13. Tolerance křivosti definuje klasifikaci rovin. Pixely, které mají hodnotu křivosti v rozmezí od záporné do kladné hodnoty tolerance, budou identifikovány jako roviny. Obecně lze konstatovat, že hodnota by se měla pohybovat od 0,1 do 0,2, kdy je povrch minimálně zakřivený. Vyšší hodnoty vedou k většímu podílu rovin. Souhrn nástrojů, jejich popis, využití a návrh optimálních nastavení pro odlišné typy reliéfu je v tab. 13.

Přestože Landserf disponuje velmi širokou škálou formátů pro import a export, bylo potřeba při tvorbě výstupů použít ještě další programy, protože nevýhodou je nekompatibilita s formáty ArcGISu, které musely být vytvořeny přes ArcView 3.3. Mapové kompozice byly vytvářeny právě v ArcGISu, jelikož Landserf dokáže exportovat pouze vytvořené rastry či vektory a není zde možnost jakékoli editace, či tvorby mapových výstupů.

Tab. 13: Přehled hlavních nástrojů pro identifikaci prvků reliéfu v prostředí Landserf, jejich popis a návrh optimálního nastavení parametrů pro území daného rozsahu a typu (velikost mřížky je navrhována pro grid o rozlišení 5 m)

Nástroj	Popis	Nastavení ovlivňující identifikaci
<i>Feature extraction</i>	základní nástroj pro identifikaci prvků reliéfu	velikost mřížky: 25x25 Tslope: 3 (pah.: 2; hor.: 5) Tconvex: 0,1 (pah.: 0,1; hor.: 0,15)
<i>Feature network extraction</i>	nástroj pro identifikaci prvků s důrazem na tvorbu sítě vyvýšenin a sníženin	velikost mřížky: 5x5 (čím vyšší hodnota, tím podrobnější síť); Tslope a Tconvex nehrají roli
<i>Vector feature network</i>	nástroj pro tvorbu vektorové sítě hřbetnic a údolnic	velikost mřížky: 5x5 (přehledná síť); vychází z předchozího nástroje
<i>Multi-scale feature extraction</i>	algoritmus provádějící identifikaci od mřížky 3x3 až po zadanou hodnotu vel. mřížky (každé liché číslo), výsledkem rastr průměrných hodnot	velikost mřížky: 25x25 Tslope: 3 (pah.: 2; hor.: 5) Tconvex: 0,1 (pah.: 0,1; hor.: 0,15)
<i>Fuzzy feature classification</i>	nástroj pro vytvoření šesti rastrů, kde každý zobrazuje jeden prvek reliéfu	velikost mřížky: 25x25 Tslope: 3 (pah.: 2; hor.: 5) Tconvex: 0,1 (pah.: 0,1; hor.: 0,15)

6.2. Výsledky z ArcGISu

K porovnání Landserfu, který je primárně určen pro identifikaci terénních tvarů, byl vybrán software ArcGIS. Tento produkt od společnosti ESRI však neobsahuje v základní verzi žádné nástroje spojené s klasifikací tvarů reliéfu. Tuto možnost nabízí skripty v jazyku AML od německého autora Hannese Isaaka Reutera, které jsou psané pro ArcGIS Workstation. Tento skript klasifikuje terén na jednotlivé části svahu a jeho předností je možnost identifikace do čtyř, osmi či jedenácti prvků. Ačkoli skript pracuje na jiném principu a identifikuje jiné tvary než Landserf, algoritmus nepracuje zcela automaticky, ale vyžaduje nastavení vstupních parametrů. Podobně jako v Landserfu jsou nejdůležitější sklon a křivost. Specifickým parametrem je zde nastavení watershed, tedy rozsah oblasti v m^2 , ze které do stanovené plochy stéká voda. Jelikož je i zde

identifikace založena na křivosti a sklonu, nebylo nutné důkladně testovat jednotlivá nastavení a hodnoty byly použity stejné jako pro Landsurf.

6.3. Porovnání testovaných softwarů

Jelikož oba softwary identifikují zcela jiné tvary na jiném principu, je těžké srovnávat jednotlivé výstupy. Ovšem můžeme porovnat použitelnost jednotlivých softwarů pro identifikaci prvků reliéfu všeobecně či určit výhody a nevýhody obou testovaných programů při tomto procesu (tab. 14).

Tab. 14: Výhody a nevýhody testovaných softwarů pro identifikaci prvků reliéfu

Software	Výhody	Nevýhody
Landsurf	+ volně dostupný program + určen primárně pro povrchové analýzy s důrazem na identifikaci prvků reliéfu + řadu nástrojů pro identifikaci + rychlá práce + jednoduché uživatelské prostředí + grafika ve 2D i 3D	- nekompatibilita s formáty ArcGIS (s tím spojená nutnost použití dalšího softwaru pro konverzi do ArcGIS formátu) - klasifikace pouze na 6 tvarů - program určený pouze k vytváření výstupů, bez možnosti další editace
ArcGIS	+ možnost identifikace na 4, 8 či 11 prvků + rychlá práce při vytváření gridů ve Workstation	- žádné nástroje přímo v základní verzi, žádné dostupné extenze pro IPR v ArcGIS Desktop - skripty *.aml pouze do ArcGIS Workstation

Použití obou softwarů přineslo pozitivní výsledky v tom smyslu, že každý software klasifikuje jinou skupinu prvků, které v charakteru odpovídají typologickému dělení povrchových tvarů dle vzhledu a sklonu (viz kap. 3.4.3.). Výstupy z jednotlivých nástrojů tak mohou být využity pro další obory. Například v geomorfologii pro určování různých charakteristik terénu a definování typů reliéfu podle klasifikovaných tvarů na určitém území. Dále tvorba vektorové sítě hřbetnic, které odpovídají rozvodnicím

a umožňují tak určit povodí stejně jako údolnice, které naopak stanovují výskyt vodních toků. Pro hydrologii má také význam charakter klasifikovaných tvarů, podle kterého by se dalo vytvořit schéma hydrologických zón (tab. 15).

Tab. 15: Schéma rozdělení tvarů reliéfu do hydrologických zón povodí

Hydrologická zóna	Popis	Tvar reliéfu ArcGIS	Tvar reliéfu Landserf
infiltrační	nachází se na rozvodných plošinách a horních částech svahů, většinou do 3° svažitosti, přísun vody je minimální	rovina nad svahem (low catchment level)	vrchol (peak)
tranzitně denudační	přísun vody a látek transportem je menší než jejich odnos	temeno svahu (shoulder)	vyvýšenina (ridge)
tranzitní	přísun a odsun vody a látek transportem je vyrovnaný	úbočí svahu (backslope)	rovina (plane)
tranzitně akumulační	přísun vody a látek transportem je větší než odsun	úpatí svahu (footslope)	sníženina (channel) sedlo (pass)
akumulační	odsun vody a látek transportem je nulový	rovina pod svahem (high catchment level)	pit (deprese)

7. Diskuze

Tato bakalářská práce se zabývá identifikací prvků reliéfu v prostředí GIS. Tvary reliéfu jsou popsány v celé řadě dostupných zdrojů, které byly nastudovány a využity k vytvoření ucelené rešerše. Nejdříve jsou objasněny základní pojmy jako georeliéf či tvar reliéfu. Samotné povrchové tvary byly po konzultacích a důkladném studiu literatury seskupeny podle určité typologie. Při popisu byl kladen důraz především na ty tvary, které dokáží jednotlivé GIS softwary identifikovat. Bylo také nutné zjistit, jaké faktory identifikaci ovlivňují. Jsou to především morfometrické parametry reliéfu, které bylo nutné v rešerši také definovat.

Pro klasifikaci prvků v GIS prostředí byl vybrán především software Landsfer. Jelikož program je volně dostupný, nebyl problém stáhnout nejnovější verzi programu z webu, kde jsou k dispozici navíc názorné tutoriály, což urychlilo seznamování se softwarem. Program má navíc jednoduché uživatelské prostředí a práce v něm je velice rychlá a víceméně bezproblémová. Výhodou programu je řada nástrojů spojených s identifikací tvarů terénu, ovšem každý má jiné využití a vyžaduje různé nastavení parametrů, které není nikde obecně uvedeno, což bylo problémem. Na odlišných typech reliéfu byl tedy každý nástroj dlouze testován za účelem návrhu optimálního nastavení pro území daného rozsahu a typu. Již zmíněnou nevýhodou je nekompatibilita s formáty ArcGISu, která byla řešena použitím programu ArcView 3.3 ke konverzi do zmíněných formátů.

Právě software ArcGIS byl druhým testovaným programem. Zde nastaly problémy již na začátku, protože program neobsahuje žádné možnosti identifikace prvků v základní verzi. Po důkladném hledání byla nalezena možnost v podobě skriptů psaných jazykem AML, speciálně vytvářených pro ArcGIS Workstation. Což může způsobit potíže, protože ne každý uživatel ovládající ArcGIS Desktop ovládá i ArcGIS Workstation. Práce v tomto prostředí je dosti specifická a je založena na příkazovém řádku. Spuštění skriptů není nijak složité a vyžaduje znalost pouze několika základních

příkazů pro ArcGIS Workstation. Samotné výstupy lze již vizualizovat a upravovat v ArcGIS Desktop.

České názvy jednotlivých tvarů v obou softwarech nemusí vždy odpovídat překladu z anglického originálu, ale byly přiděleny podle principu identifikace každého tvaru. Návrh optimálních hodnot parametrů a popis nástrojů je určen budoucím uživatelům, kteří budou s vybranými softwary pracovat a umožní jim vytvářet přesnější výsledky a vybírat správné nástroje pro řešení úkolů v dané problematice. Zatím možnost klasifikace terénních tvarů není v GIS softwarech příliš rozšířena, ovšem díky rozvoji geoinformačních technologií budou nástroje, založené na podobném principu, implementovány do stále více softwarů.

8. Závěr

Bakalářská práce Identifikace prvků reliéfu v prostředí GIS byla realizována na Katedře geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci pod vedením Mgr. Jany Kadlčíkové. Cílem této práce bylo prostudovat problematiku klasifikace terénních tvarů jak z teoretického, tak i z praktického hlediska.

Nejprve byla nastudována literatura s podobnou tematikou a následně byla vypracována úvodní teoretická část práce. V rešerši byl obecně definován reliéf a jeho základní geometrické tvary. Samotné povrchové tvary byly seskupeny podle typologie a důraz byl kladen především na ty tvary, které dokáží jednotlivé GIS softwary identifikovat.

Pro praktickou část byla nejdříve upravena data z území Vlčnovské pahorkatiny a Rusavské hornatiny. Byla vybrána území v rozsahu 4x4 km, která odpovídají danému typu reliéfu (dle Demka [1]) a vytvořeny z nich dostatečně přesné gridy. Na nich byly testovány nástroje pro identifikaci prvků reliéfu ve vybraných GIS softwarech (ArcGIS 9.2 , Landsurf 2.3). U každého softwaru byly zjištěny prvky reliéfu, které dokáže identifikovat, na jakém principu prvky klasifikuje a jaké nástroje jsou pro tento proces k dispozici. Ty byly podrobně popsány i s jejich praktickým využitím. Jelikož identifikace je v každém softwaru jen částečně automatická, bylo u každého nástroje dlouze testováno nastavení parametrů, které ovlivňuje výsledky identifikace. Pro území daného rozsahu a různých typů reliéfu byl vytvořen návrh optimálního nastavení jednotlivých parametrů pro jednotlivé nástroje, podle kterého by budoucí uživatel mohl pracovat. V průběhu práce poskytoval uspokojivější výsledky software Landsurf, který díky volné dostupnosti, jednoduchému uživatelskému prostředí, bohaté sadě nástrojů spojené s klasifikací tvarů reliéfu se jeví jako optimální možnost pro řešení dané problematiky. Výsledky identifikace tvarů reliéfu mohou být použité i do dalších oborů jako geomorfologie či hydrologie.

Závěrem lze říci, že problematika identifikace prvků reliéfu v prostředí GIS byla dostatečně prozkoumána a hlavní cíle práce byly splněny.

9. Literatura a použité zdroje

- [1] DEMEK, J.(1981): Obecná geomorfologie – I. .Vydavatelství Univerzity J. E. Purkyně, Brno.
- [2] DEMEK, J., QUITT, E., RANŠER, J. (1975): Úvod do obecné fyzické geografie. Academia, Praha.
- [3] DMT [online]. 2008 [2008-04-15]. Dostupné z WWW:
<<http://mapserver.mendelu.cz/skripta/gis/cvic06.pdf>>
- [4] KADLČÍKOVÁ, J., TUČEK, P. (2008): Evaluation and setting of parameters in interpolating methods by modeling of different types of georelief. In: Sborník z konference GIS Ostrava 2008, Ostrava, 8 s. (27.-30.1. 2008)
- [5] KARÁSEK, J. (2001): Základy obecné geomorfologie. Vydavatelství Masarykovy Univerzity, Brno.
- [6] KLINGSEISEN, B. (2004): GIS based generation of topographic attributes for landform classification. [Diploma Thesis], Fachhochschule Technikum Kärnten.
- [7] KRCHO, J. (1990): Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu. Slovenská akadémia vied, Bratislava.
- [8] KUDRNOVSKÁ, O. (1975): Morfometrické metody a jejich aplikace při fyzickogeografické regionalizaci. Studia geographica 45, ČSAV - Geografický ústav, Brno.
- [9] LANDSERF [online]. 2007 [2008-01-15]. Dostupné z WWW:
<<http://www.landserf.org/>>
- [10] MACMILLAN, R. A., KEITH JONES, R. & MCNABB, D. H. (2000): Automated landform classification using DEMs. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling: Problems, Prospects and Research Needs, Alberta, Canada. (2.-8.9. 2000) Dostupné z WWW:
<<http://www.colorado.edu/research/cires/banff/pubpapers/198/>>

- [11] MINÁR, J.: Morfograficko-morfometrická typizácia georeliéfu [online]. 2008 [2008-02-20]. Dostupné z WWW: <http://oldwww.fns.uniba.sk/~kfg/minar/04_mfgraf_mfmetr_typy.html>
- [12] PECHANEC, V.: LOREP [online]. 2008 [2008-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.gvp.webz.cz/lorep-procesy.php>>.
- [13] PELLEGRINI, G. J. (1995): Terrain Shape Classification of Digital Elevation Models using Eigenvectors and Fourier Transforms. [Ph.D. Thesis], College of Environmental Science and Forestry, State University of New York.
- [14] PENNOCK, D. J., ZEBARTH, B. J. & DE JONG, E. (1987): Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, 40(3-4), 297-315.
- [15] REUTER, H.I. (2003): Analyzing Digital Elevation Models using Relief Analysis within ArcInfo. Department of Soil Landscape Research, ZALF Müncheberg, Germany.
- [16] SMOLOVÁ, I., VÍTEK, J. (2007): Základy geomorfologie – vybrané tvary reliéfu. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP.
- [17] TVORBY KŘIVOSTÍ POVRCHŮ [online]. 2008 [2008-03-15]. Dostupné z WWW: <http://gis.zcu.cz/studium/apa/referaty/2006/Vobora_Krivosti>
- [18] VANÍČEK, T. (2004): Základní terénní tvary a jejich vliv na vegetaci a půdní erozi. Sborník referátů konference GIS Ostrava 2004.
- [19] VOŽENÍLEK, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP.
- [20] VOŽENÍLEK, V. a kol (2001): Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Olomouc, Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP.
- [21] WOOD, J. (1996): The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models. University of Leicester, UK. [Ph.D. Dissertation] Dostupný z WWW: <<http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>>.

- [22] WOOD, J.D. (1998): Modelling the Continuity of Surface Form Using DEMs. 8th International Symposium on Spatial Data Handling, IGU, Vancouver. Dostupné z WWW: <<http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/sdh98/>>

Použitý software:

ArcView GIS 3.3, ESRI, 2002.

ArcGIS 9.2 Desktop / Workstation, ESRI, 2006.

Landserf 2.3, Jo Wood, 2007.

10. Summary

Bachelor's work, "Identification of features of relief in GIS environment" was realized in the Department of Geoinformatics the Natural Faculty of Science at Palacký University in Olomouc, under the management of Mgr. Jana Kadlčíková. The aim of this work was to discover problematics connected with identification of features of relief from theoretical and practical view.

At the first was readed literature about this topic. Then was written opening theoretical section of thesis. In this section is described relief and his elementary geometric forms. Surface features were grouped according to typology and main emphasis was concerned on features able to identify by GIS softwares.

For practical section firstly was modified data from areas „Vlčnovská pahorkatina“ and „Rusavská hornatina“. For research were defined areas 4x4 km corresponding with this type of relief (by Demek). From mentioned areas were created true grids. On these grids were tested tools for identification of features of relief in introduced GIS softwares (ArcGIS 9.2, Landserf 2.3). In these softwares were researched identified features of relief, principle of identification and tools usable for this process available. Tested tools were described in detail and also their practical usage. For the reason of semi-automatic identification was by every tool longly tested settings of input parameters influencing results of identification. For mentioned areas of relief was created concept of optimal settings of input parameters for individual tools what should be used by future users. Through working the Landserf software brought better results. Main benefits of Landserf are: This software is free of charge, easier user environment, richer set of tools what is important for this problematics. Obtained results can be used in other disciplines too like geomorphology or hydrology.

Finally, it can be said that problematics of identification of relief features in GIS environment was enough researched and main aims were fulfilled.

PŘÍLOHY

Seznam volných příloh

- Příloha 1 - Identifikace prvků reliéfu na území pahorkatiny s použitím gridů vytvořených různými interpolačními metodami (parametry při tvorbě gridů viz kap. 5.1.2. tab. 7).
- Příloha 2 - Identifikace prvků reliéfu na území hornatiny s použitím gridů vytvořených různými interpolačními metodami (parametry při tvorbě gridů viz 5.1.2. tab. 7).
- Příloha 3 - Nastavení velikosti mřížky při identifikaci prvků reliéfu v Landserfu na vybraném území Vlčnovské pahorkatiny a Rusavské hornatiny (viz kap. 5.2.1.), tolerance nastaveny na výchozích hodnotách (Tslope: 1, Tconvex: 0,1), rozlišení gridu 5 m, zobrazení funkce *Display – Relief*.
- Příloha 4 - Porovnání nastavení tolerancí sklonu a křivosti při identifikaci prvků reliéfu v prostředí Landserf na vybraném území Vlčnovské pahorkatiny o velikosti 4x4 km (viz kap. 5.1.2.), velikost mřížky 25x25, rozlišení gridu 5 m, zobrazení pomocí funkce *Display – Reliéf*.
- Příloha 5 - Porovnání nastavení tolerancí sklonu a křivosti při identifikaci prvků reliéfu v prostředí Landserf na vybraném území Rusavské hornatiny o velikosti 4x4 km (viz kap. 5.1.2.), velikost mřížky 25x25, rozlišení gridu 5 m, zobrazení pomocí funkce *Display – Raster*.
- Příloha 6 - Porovnání identifikace prvků reliéfu v prostředí Landserf na testovaných územích při nastavení výchozích hodnot, optimálních pro všechny typy a optimálních pro jednotlivé typy reliéfu (výchozí: 3x3, TS: 1, TC: 0,1) optimální hodnoty viz kap. 5.1.2. tab. 8), rozlišení gridu 5 m.
- Příloha 7 - Porovnání nástrojů *Feature extraction*, *Feature network extraction* v softwaru Landserf a tvorba vektorové sítě hřbetnic a údolnic na vybraném území Rusavské hornatiny (TS: 5, TC: 0,15) (viz kap. 5.1.2.), rozlišení gridu 5 m, zobrazení funkcí *Display – reliéf*.
- Příloha 8 - Porovnání nástrojů *Feature extraction* a *Multi-scale Feature extraction* v prostředí Landserf na území pahorkatiny a hornatiny (viz kap. 5.1.2.), velikost mřížky: 25x25, rozlišení gridů 5 m, pahorkatina: TS:2; TC: 0,1, hornatina: TS :5; TC: 0,15), zobrazení funkcí *Display – Raster*.
- Příloha 9 - Rastry s jednotlivými prvky reliéfu vytvořené softwarem Landserf s nastavenou velikostí mřížky 25x25 na vybraném území hornatiny (TS: 5, TC: 0,15) (viz kap. 5.1.2.), rozlišení gridu 5 m, zobrazení funkcí *Display – Reliéf*.
- Příloha 10 - Identifikace prvků reliéfu v prostředí ArcGIS na vybraném území Vlčnovské pahorkatiny, porovnání klasifikace na 4, 8, 11 tvarů a výstupu z Landserfu (rozlišení gridu 10 m, hodnoty parametrů nastaveny podle kap 5.2.1. a tab.9, Landserf: vel. mřížky 11x11, TS: 3, TC: 0,1).
- Příloha 11 - Identifikace prvků reliéfu v prostředí ArcGIS na vybraném území Rusavské hornatiny, porovnání klasifikace na 4,8, 11 tvarů a výstupu z Landserfu

(rozlišení gridu 10 m, hodnoty parametrů nastaveny podle kap 5.2.1. a tab.9, Landserf: vel. mřížky 11x11, TS: 3, TC: 0,1).

Seznam elektronických příloh

1. elektronická verze bakalářské práce
2. elektronická verze volných příloh
3. vstupní data (*.shp)
4. výstupní data (*.srf, *.ascii)
5. elektronický metadatový formulář
6. skripty do ArcGIS