

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko-geologická fakulta

Institut geoinformatiky

**Vývoj nástroje pro automatické generování barevného  
stínovaného reliéfu s texturou**

Diplomová práce

**Autor:**

**Bc. Dušan Maďar**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Ing. David Vojtek, Ph.D.**

Ostrava 2013

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Dušan Maďar**

Studijní program: N3654 Geodézie, kartografie a geoinformatika

Studijní obor: 3608T002 Geoinformatika

Téma: **Vývoj nástroje pro automatické generování barevného stínovaného reliéfu s texturou**  
**Development of a Tool for Automated Generation of the Coloured Shaded Relief with the Texture Layer**

Zásady pro vypracování:

**Úkoly:**

- Automatizovat tvorbu barevného stínovaného reliéfu.
- Vstupy do procesu generování reliéfu budou definovány ve formě předzpracovaných vektorových nebo rastrových vrstev typu povrchů a reliéfu.
- Nástroj bude využívat konfigurační soubor. V něm budou uložena nezbytná nastavení, umožňující obecné použití nástroje.
- Výstupem nástroje bude rastrový georeferencovaný obrazový soubor (např. tif, jpg, png apod.).

Rozsah původní zprávy: 30 - 50 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

IMHOF, Eduard. Cartographic Relief Presentation. 1st edition. 380 New York Street : ESRI Press, 2007. 388 s. English edition. ISBN 978-1-58948-026-1.

KIMERLING, J., BUCKLEY, A.. Terrain Representation Workshop workshop description and content... [online]. UR Workshop 2008 . Redlands : 2008 , 2008 Mar. 209 [cit. 2009-09-18]. Dostupný z WWW: <<http://mappingcenter.esri.com/index.cfm?fa=resources.gateway>>.

NIGHTBERT, Jeffery. Characterizing Landscapes for Visualization Through \"Bump Mapping\" and Spatial Analyst. In 2003 User Conference Proceedings : July 7–11, 2003. [s.l.] : [s.n.], 2003. s. 14. Dostupný z WWW: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc03>>.

DODGE, Martin; MCDERBY, Mary; TURNER, Martin. Geographic Visualization : Concepts, Tools and Applications. The University of Manchester : John Wiley & Sons, 2008. 339 s. ISBN 978-0-470-51511-2. [kniha]

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Vojtek, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013



---

prof. Ing. Zdeněk Diviš, CSC.  
*vedoucí institutu*



---

prof. Ing. Vladimír Slivka, CSC., dr.h.c.  
*děkan fakulty*

## Prehlásenie

Celú diplomovú prácu vrátane príloh, som vypracoval samostatne a uviedol som všetky použité podklady a literatúru. Programové moduly použité pri spracovaní práce sú obsahom kapitoly 6.

Bol som zoznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Zb. – autorský zákon, najmä § 35 – využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského a § 60 – školské dielo.

Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo bezzárobtkovo, k svojej vnútornej potrebe, diplomovú prácu použiť (§ 35 odst. 3).

Súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci, obsiahnuté v Zázname o záverečnej práci, umiestenom v prílohe mojej diplomovej práce, budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.

Súhlasím s tým, že diplomová práca je licencovaná pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licenciou. Pre zobrazenie kópie tejto licencie, je možné navštíviť <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bolo zjednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorení diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).

V Ostrave, dňa 25.04.2013



---

Dušan Maďar

## PodĎakovanie

Na tomto mieste by som sa rád poďakoval Ing. Davidovi Vojtekovi Ph.D., vedúcemu mojej diplomovej práce, za odborné vedenie, cenné rady a pomoc pri jej vypracovaní.

## Anotácia

Predložená diplomová práca sa zaoberá automatizáciou generovania farebného tieňovaného reliéfu s textúrou. V počiatočných stadiách textu sú vysvetlené základy textúrovania vo všeobecnej rovine ako aj ich aplikácia v GIS. Ďalej je začlenený stručný popis rastrového dátového modelu a vybraných rastrových formátov. Praktická časť sa týka vlastnej implementácie nástroja TPRT – Textured Painted Relief Tool. Vysvetľuje spôsoby a princípy tvorby procedurálnych textúr nad geografickými dátami a ďalšiu manipuláciu s nimi, až po vytvorenie samotného farebného tieňovaného reliéfu s textúrou. Dokumentuje aj spôsob kontroly a spracovania vstupných dát a tiež vlastné grafické užívateľské rozhranie nástroja. V závere sú zhrnuté najdôležitejšie poznatky problematiky a načrtnuté potenciálne smery ďalšieho rozvoja nástroja.

**Kľúčové slová:** addin, ArcGIS, ArcPy, wxPython, kartografia, nástroj, Nighbert, raster, realizmus, textúra

## Annotation

Presented diploma paper deals with automated creation of colored shaded relief with textures. Initial sections explains texturing basis in general as well as in connection with GIS. Next part of the paper offers brief raster data model description followed by selected raster formats characteristics. Practical sections cover TPRT – Textured Painted Relief Tool implementation. Methods and principles for spatial data procedural textures are explained, likewise their further manipulations which eventually lead to painted relief with textures. User data validation and processing plus own graphic user interface are also discussed. Most important findings and potential areas of future tool development are summed up in the final part of the text.

**Keywords:** addin, ArcGIS, ArcPy, wxPython, cartography, tool, Nighbert, raster, realism, texture

## Obsah

Úvod.....	1
1 Ciel' práce.....	2
2 Projekty a vývoj na poli vizualizácie.....	3
3 Textúra a textúrovanie .....	5
3.1 Mapovanie textúr.....	6
3.1.1 Bump mapping.....	6
3.2 Textúrovanie v kartografii a GIS.....	7
3.2.1 História tvorby realistických máp .....	8
3.2.2 Súčasný trendy tvorby realistických máp .....	10
4 Rastrové dáta .....	13
4.1 Rastrový dátový model .....	13
4.2 Vybrané rastrové formáty .....	14
4.2.1 TIFF.....	14
4.2.2 JPEG.....	14
4.2.3 PNG.....	14
4.2.4 ESRI Grid .....	15
4.3 World súbor.....	15
5 Použité technológie.....	16
5.1 Python .....	16
5.1.1 ArcPy.....	16
5.1.2 wxPython.....	16
5.1.3 lxml .....	17
5.2 XML .....	17
5.3 XSD .....	17
5.4 ArcGIS Desktop Add-ins .....	17
5.4.1 Python Add-ins .....	17
6 Použité programové prostriedky.....	18
7 Charakteristika nástroja TPRT .....	19
7.1 Konfiguračný súbor .....	21
8 Generovanie bumpmap textúr .....	22
8.1 Problémy pri generovaní textúr.....	22

8.2	Implementácia textúr .....	24
8.3	Bodovo orientované textúry .....	26
8.3.1	Pravouhelníková textúra.....	27
8.3.2	Kónická textúra.....	28
8.3.3	Hemisférická textúra .....	29
8.3.4	Textúra ornej pôdy .....	30
8.3.5	Textúry o náhodnej veľkosti a výške .....	30
8.4	Ďalšie textúry .....	32
8.4.1	Textúra šumu .....	32
8.4.2	Pseudotextúra línií.....	32
8.4.3	Nulová pseudotextúra.....	32
9	Manipulácia s digitálnym modelom terénu.....	34
10	Biznis model.....	36
10.1	Postup generovania TPR.....	38
10.2	Optimalizácia generovania TPR.....	41
11	Grafické užívateľské rozhranie nástroja .....	43
11.1	Kontrola a validácia užívateľských vstupov .....	44
11.2	Implementácia GUI .....	45
11.3	Spolupráca s ArcMap .....	51
	Záver.....	52
	Zoznam literatúry a použitých zdrojov .....	53
	Zoznam obrázkov.....	57
	Zoznam príloh.....	58



## Zoznam použitých skratiek

AML – ARC Macro Language  
API – Application Programming Interface  
ASCII – American Standard Code for Information Interchange  
CASE – Computer Aided Software Engineering  
DEM – Digital Elevation Model  
GDAL – Geospatial Data Abstraction Library  
GIF – Graphics Interchange Format  
GIS – Geographic Information System  
GPL – General Public License  
GUI – Graphical User Interface  
IDE – Integrated Development Environment  
JPEG – Joint Photographic Experts Group  
LRIS – Land Resource Information Systems  
PNG – Portable Network Graphics  
RGB – Red, Green, Blue  
RGBA – Red, Green, Blue, Alpha  
TIF – Tagged Image File Format  
TPR – Textured Painted Relief  
TPRT – Textured Painted Relief Tool  
UML – Unified Modeling Language  
USGS – United States Geological Survey  
W3C – World Wide Web Consortium  
XML – eXtensible Markup Language  
XSD – XML Schema Definition

## Úvod

Realizmus a kartografia. Je toto spojenie vôbec možné a prináša pridanú hodnotu? Klasické mapy sú abstraktným pohľadom na reálny svet, pričom nedokážu prezentovať všetky prvky krajiny súčasne. Letecké snímky sú naopak jeho verným obrazom, no obsahujú množstvo redundantných informácií bez vizuálnej hierarchie. Ideálnym spôsobom znázornenia zemského povrchu v 2D priestore sa tak javí kombinácia oboch vyššie uvádzaných techník.

Tvorba atraktívnych a pútavých máp je rozhodne zaujímavou témou, zvlášť v súčasnom, efektmi nabitom mediálnom svete. Ešte zaujímavejšou problematikou je však automatizácia tvorby vizuálne príťažlivých máp a pohľadov na zemský povrch. Sila moderných GIS v spojení s aplikáciou pokročilých grafických techník nám generovanie takýchto máp uľahčuje, a to bez použitia vyspelých grafických editorov.

Práve automatizáciou tvorby realistických máp sa zaoberá táto diplomová práca. Hlavnou motiváciou k jej vypracovaniu bolo rozšírenie možností ArcGIS Desktop o automatizované generovanie farebného tieňovaného reliéfu s textúrou a zároveň zladenie kartografie a programovania. Z hľadiska teórie aplikácie textúr v kartografii a GIS práca vychádza predovšetkým z príspevku Toma Pattersona, ktorý zhrnul históriu, metódy a požiadavky kartografického realizmu. Diplomová práca ďalej stavia na tvorbe Jefferyho Nighberta, ktorý rozpracoval praktické hľadisko problematiky a zostavil postupy pre generovanie procedurálnych textúr priamo v ArcGIS.

Čo sa týka štruktúry, práca je rozdelená na teoretickú a praktickú časť. Najprv bol záujem smerovaný k základom problematiky – princípom textúrovania a kartografického realizmu ako aj rastrovým dátam. Ďalej sú predstavené použité technológie a programové prostriedky. Ostatné kapitoly textu sú venované praktickej realizácii diplomovej práce. Vysvetľujú metódy a postupy použité pri implementácii nástroja *Textured Painted Relief Tool – TPRT*. Podávajú tiež podrobný popis algoritmov, celkového funkčného konceptu a problémov, ktoré bolo počas spracovania nutné riešiť. V krátkosti sú spomenuté aj neúspešne či neuspokojivo riešené aspekty danej problematiky.

# 1 Cieľ práce

*Cieľom diplomovej práce bolo automatizovať tvorbu farebného tieňovaného reliéfu s textúrou.* Inými slovami, vytvoriť nástroj, ktorý ponúkne túto funkcionality. Požiadavky na nástroj boli nasledovné:

- Vstupy nástroja sú definované vo forme predspracovaných vektorových alebo rastrových vrstiev typu povrchu a reliéfu.
- Nástroj bude využívať konfiguračný súbor, v ktorom budú uložené všetky nevyhnutné nastavenia umožňujúce jeho použitie.
- Nástroj bude ovládaný z grafického užívateľského rozhrania.
- Výstupom nástroja bude georeferencovaný raster v jednom z formátov \*.TIF, \*.JPEG alebo \*.PNG.
- Nástroj bude vhodne dokumentovaný.
- Konceptia nástroja by mala umožniť jeho jednoduchú distribúciu.

## 2 Projekty a vývoj na poli vizualizácie

Samotnému spracovaniu zadanej úlohy predchádzala rešeršná činnosť, ktorej cieľom bolo analyzovať a získať relevantné informácie o diskutovanej problematike. Pozornosť bola okrem iného venovaná aj vývoju, súčasnému stavu a projektom vizualizácie geodát s využitím textúrovania.

V prostredí internetu je možné nájsť návody popisujúce manuálnu tvorbu textúr geografických dát pomocou pokročilých grafických editorov akým je napr. Adobe Photoshop. Vzorom môže byť [15], ktorý využíva letecké a družicové snímky z Google Earth a dokumentuje podrobný postup vytvorenia textúry vegetácie. Pri generovaní tejto textúry sú využívané grafické filtre, masky a štetce, ktorými Photoshop disponuje.

Ďalej je možné nájsť návody pracujúce priamo s GIS technológiami. Príkladom môže byť vytvorenie farebného tieňovaného reliéfu pomocou knižnice GDAL, tak ako to pre územie Nového Zélandu popisuje [33]. Autor využíva voľne dostupné dáta z portálu LRIS a konkrétnymi príkazmi demonštruje ich spracovanie v GDAL a eventuálne v TileMill. Nejedná sa priamo o generovanie textúr špecifických typov povrchov, ale tieňovaný reliéf je vo všeobecnosti považovaný za základnú aplikáciu textúr v kartografii. Samostatnou kapitolou generovania procedurálnych textúr v ArcInfo, resp. neskôr v ArcGIS, sú postupy zostavené Jefferym Nighbertom. Autor využíva možnosti Spatial Analyst k tvorbe predovšetkým vegetačných textúr. V svojich príspevkoch uvádza jednak kroky nevyhnutné k vytvoreniu odpovedajúceho výstupu, tak aj konkrétne príkazy v jazyku AML, vid'. [19], [20], [22] a [23]. V neskorších verziách ArcGIS autor svoje metódy demonštruje príkazmi pre Raster Calculator, vid'. [23] a [24].

Čo sa týka automatizácie tvorby textúrovaných 2D kartografických výstupov, za zmienku stoja dva projekty. Prvým z nich je iniciatíva Oregon State Univerzity pod názvom *Pseudo-natural Maps* [28], ktorej cieľom je vyvinúť automatickú a poloautomatickú metódu pre tvorbu digitálnych topografických máp s pseudo – prírodným vzhľadom. Projekt čerpá inšpiráciu z ručne maľovaných realistických máp a snaží sa postupy ich tvorby formalizovať do grafických algoritmov. Výsledný produkt, postavený na platforme Java, bude automaticky generovať textúrované mapy rôznych mierok nad dátami OpenStreetMap alebo Google Maps. Druhým, a posledným, príkladom je nástroj

*ArcGIS Bump Map Tools* [17]. Toolbox z produkcie ESRI (určený pre ArcGIS 9.3) je napísaný v jazyku Python a implementuje metódy Jefferyho Nighberta, ktorý sa podieľal na jeho vývoji. Jeho účelom je generovanie textúr vegetácie, nerieši ale napríklad farebné prevedenie textúr a ich spájanie s digitálnym modelom terénu a podobne.

Na základe výsledkov rešerše je teda možné zhodnotiť, že *téma automatizácie textúrovania v súvislosti s GIS, resp. geografickými dátami, nie je výraznejšie rozvinutá. Textured Painted Relief Tool* vyvinutý v rámci diplomovej práce tak rozširuje rodinu nástrojov danej kategórie, pričom umožňuje nie len tvorbu textúr geografických dát, ale kompletného farebného tieňovaného reliéfu s textúrou. Už samotný názov nástroja aj diplomovej práce napovedá, že ústrednou témou sú textúry a textúrovanie. Preto sú nasledujúce pasáže textu venované jednak ich všeobecnému popisu a princípom mapovania, ako aj vnímaniu textúr z pohľadu kartografie a GIS.

### 3 Textúra a textúrovanie

Textúru je možné definovať ako súbor opticko-fyzikálnych vlastností povrchu (štruktúra, kvalita, farba, odraz svetla, priehľadnosť, zmena normály). Iná definícia charakterizuje textúru ako predpis, ktorý definuje vlastnosti určitého materiálu v grafike a popisuje jeho správanie pri interakcii s lúčmi svetla. Textúra je pravidelný alebo nepravidelný vzor a je úzko spätá s materiálom, ktorý by mal povrch jednoznačne popisovať. [36] [42]

Aplikácia textúry vedie k podstatnému zvýšeniu vizuálnej kvality objektu za cenu relatívne malých nákladov. Často je efektívnejšie použiť jednoduchú geometriu a zložitú textúru, než definovať komplikované geometrické detaily. Výsledok, hlavne pre tie objekty, ktoré sú pozorované z diaľky alebo len krátko, je od zložitých objektov na nerozoznanie. [36] [13] [42]

Textúry najčastejšie delíme podľa [36]:

- Dimenzie
  - jednorozmerné – definícia opakujúcich sa pozdĺžnych vzoriek
  - dvojrozmerné – mapované na povrch objektu
  - trojrozmerné – simulácia objektov vyrezaných z bloku materiálu
  - štvorrozmerné – animácie trojrozmerných textúr
- Reprezentácie
  - tabuľka/mapa (obrázok)
  - procedúra

Aplikácia samotnej textúry nebýva príliš častý prípad. Obyčajne sa aplikuje viac textúr, resp. viac textúrovacích techník súčasne. Tieto kroky je možné aplikovať v jednom, obvykle však vo viacerých krokoch. Tak je možné doceliť pomerne komplikovaných povrchov zložených z viacerých materiálov. [42]

Z historických dôvodov, najmä však pre zjednodušenie mnohých operácií, sa materiál a textúra oddeľujú a aplikujú v dvoch po sebe nasledujúcich krokoch. V prvom z nich sa textúra definuje. V druhom sa určí na aký objekt a kam presne sa položí. Druhému kroku sa hovorí mapovanie textúry. [42]

## 3.1 Mapovanie textúr

Proces nanášania textúry na povrch telies sa nazýva mapovanie textúry a je predurčený tromi dôležitými faktormi. Definíciou textúry, tzn. koľko rozmerná je textúra a či sa jedná o definíciu tabuľkou alebo procedurálnu textúru. Ďalej tvarom telesa, na ktoré je textúra nanášaná a nakoniec mapovanou veličinou. [42]

Použitie textúry si môžeme predstaviť ako oblepenie telesa papierom. Voľba spôsobu mapovania textúry (vhodnej projekčnej funkcie) na povrch telesa musí odpovedať tvaru telesa. Ak je povrch popísaný analytickou funkciou, je možné pre mapovanie použiť jej inverznú funkciu (ak existuje). Pri plochách, ktoré je možné rozvinúť do roviny (napr. valec), je možné nájsť takú funkciu, pri ktorej nedôjde ku skresleniu textúry. [13] [42]

K mapovaniu textúr sa používajú rôzne techniky, napr. light mapping (osvetlenie), shadow mapping (tiene), environmental mapping (odraz okolia), bump mapping (modulácia normály) a tak ďalej. Vzhľadom na to, že vyvinutý nástroj aplikuje techniku bump mapping, nebudú ostatné techniky podrobnejšie rozoberané.

### 3.1.1 Bump mapping

Metóda hrbolatých textúr (bump texture) bola publikovaná Blinnom v roku 1978. Spôsobuje optický dojem hrbolatého povrchu bez toho, aby dochádzalo k zmenám geometrie telesa. Bump textúry vychádzajú z osvetľovacieho modelu, ktorý využíva normálu k povrchu v mieste, v ktorom sú svetelné pomery vyšetované. Normálový vektor je pri mapovaní textúry pozmenený tak, aby zmenil smer odrazu svetla spôsobom, ktorý odpovedá lokálnemu zvrásneniu nerovného telesa. [42]



Obrázok 1 Princíp získania hrbolatej textúry [42]

Pri manipulácii s normálovým vektorom je dôležité mať na zreteli, že silne zvrásnený povrch by zakrýval sám seba. Vzhľadom k tomu, že táto technika zmienený jav

nedokážte simulovať, je nutné modifikovať smer normály umiernené [42]. K ďalším nevýhodám bump mappingu patria [36]:

- Na obrysoch objektov je vidieť ich pôvodný (rovný) tvar.
- Nerovnosti nevrhajú tieň.

Možnosti uloženia textúry [36]:

- 2 hodnoty pre každý bod určujúci posunutie v dvoch navzájom kolmých smeroch (v rovine trojuholníka).
- Skalárna textúra – výškové pole.
- Priamo pole normálových vektorov.

## 3.2 Textúrovanie v kartografii a GIS

V súvislosti s využívaním textúr v oblasti kartografie a GIS sa nehovorí výlučne o koncepte textúrovania, ale skôr vo všeobecnosti o tzv. *kartografickom realizme* [27], resp. o *pseudo prírodných* mapách [28]. Cieľom týchto techník a postupov je spojenie kartografickej abstrakcie a prirodzeného vzhľadu zobrazovaného územia. To znamená upustenie od klasického abstraktného a prechod k realistickému znázorneniu predovšetkým terénu a prírodných plôch. [27] [28]

Realizmus je pravdivý, neidealizovaný obraz skutočnosti; presné a všestranné vnímanie človeka a krajiny [35]. Aplikovať túto definíciu na mapy však nie je jednoduché. Všetky mapy sú zo svojej podstaty abstrakciou a idealizovaným znázornením zemského povrchu. Pri znázorňovaní máp realisticky sme navyše limitovaný konečnou množinou grafických metód použiteľných v 2D priestore a apriori očakávaným vzhľadom zemského povrchu pri pohľade zhora. [27]

Realizmus je súčasťou takmer všetkých súčasných grafických médií od televízie, cez tlač až po multimédiá. Rovnaký trend sa prejavuje aj v kartografii. Realistická mapa je viac záležitosťou pozorovania než čítania. Percipient mapy sa stretáva s nižšou úrovňou abstrakcie ako v prípade konvenčných máp. Aj napriek tejto skutočnosti majú pseudo prírodné mapy potenciál predať svoju informačnú hodnotu širšiemu spektru užívateľov. Užívateľ vníma mapu relatívne jednoducho aj bez vysvetľujúcich prvkov (textové popisy,



legenda) a môže tak viac času venovať skúmaniu mapy a jej priestorových vzťahov. Mapy vytvorené realistickým štýlom sú navyše atraktívnejšie než klasické, konvenčné mapy. Nejedná sa o neopodstatnený fakt. V súčasnej, médiami poháňanej, dobe krátkych intervalov pozornosti je dôležité navrhnúť mapu tak, aby zaujala a udržala pozornosť užívateľa. [27]

### 3.2.1 História tvorby realistických máp

Koncept realistických máp nie je v oblasti kartografie ničím novým. Pseudo prírodné mapy majú v 2D a 3D manuálnej kartografii dlhú tradíciu. Vo väčšine prípadov sa jedná o farebné vyjadrenia reliéfu, zimné mapy a ručne maľované panorámy. Takáto manuálna produkcia máp je veľmi časovo náročná a vyžaduje značný umelecký talent. Medzi najpôsobivejšie a najvytrvavejšie patria snahy kartografov/umelcov z 20. storočia. [27] [28]

V 50. rokoch minulého storočia *Hal Shaleton*, zamestnanec USGS a kartografický umelec, namaľoval mapu Spojených štátov určenú pre základnú orientáciu pilotov. Táto mapa bola unikátna znázornením typov zemského povrchu (lesy, poľnohospodárska pôda a zastavané oblasti) v kombinácii s tieňovaným reliéfom, čím imitovala skutočný ráz krajiny pri pohľade z lietadla. [27]

Na opačnej strane Atlantického oceánu vytvoril *Eduard Imhof* mapu švajčiarskeho Walensee (viď. Obrázok 2). Aj napriek tomu, že mapa bola experimentálne namaľovaná ako ukážka aplikácie umenia v kartografii, stala sa najznámejším dielom počiatkov kartografického realizmu. Za zmienku stojí predovšetkým umelecké použitie farieb a topografického modelu. Navzdory tomuto úspechu nebol Imhof zástancov podobných metód. Avšak dôležité je si uvedomiť, že podobným talentom disponovalo len málo ľudí, technológia tých dní bola nedostačujúca pre masovú produkciu maľovaných máp a dopyt po podobných mapách nebol vysoký. [27]



Obrázok 2 Eduard Imhof – Valensee, 1938 [28]

Iným, viac technicky zameraným, prístupom pre dosiahnutie kartografického realizmu bolo použitie leteckých snímok. Tento smer sa opieral o letecké snímky ako o hlavného nositeľa čistých a necenzurovaných geografických informácií. Navyše vytvoriť mapu zo snímok je pomerne jednoduché – stačí ortorektifikovaný snímok doplniť o popisné informácie a prípadne pomocné línie. Napriek tejto výhode nemôžu byť surové letecké snímky použité ako základ kartografických diel. Dôvodom sú nasledovné nedostatky [27]:

- Inverzia reliéfu – snímky sú najčastejšie získavané v ranných hodinách kedy je slnko na juhovýchode, čo je v rozpore s metódami tieňovaného reliéfu (vytvára ilúziu inverzného reliéfu).
- Vrhnuté tieňovanie – tieňovanie môže zakrývať dôležité informácie a to predovšetkým v členitých terénoch.
- Preťaženie informáciami – letecké snímky poskytujú surové, nefiltrované informácie, čo môže spôsobiť ich nepochopenie.
- Nevhodné informácie – napr. zobrazenie parkovísk, energetických vedení, rozostavaných oblastí a podobne.
- Neviditeľné informácie – malé budovy alebo vodné toky sú často skryté hustým vegetačným porastom.
- Žiadna vizuálna hierarchia – všetky objekty na snímke sú rovnocenné.
- Časová citlivosť – snímky podávajú informácie o krajine v konkrétnom okamihu.

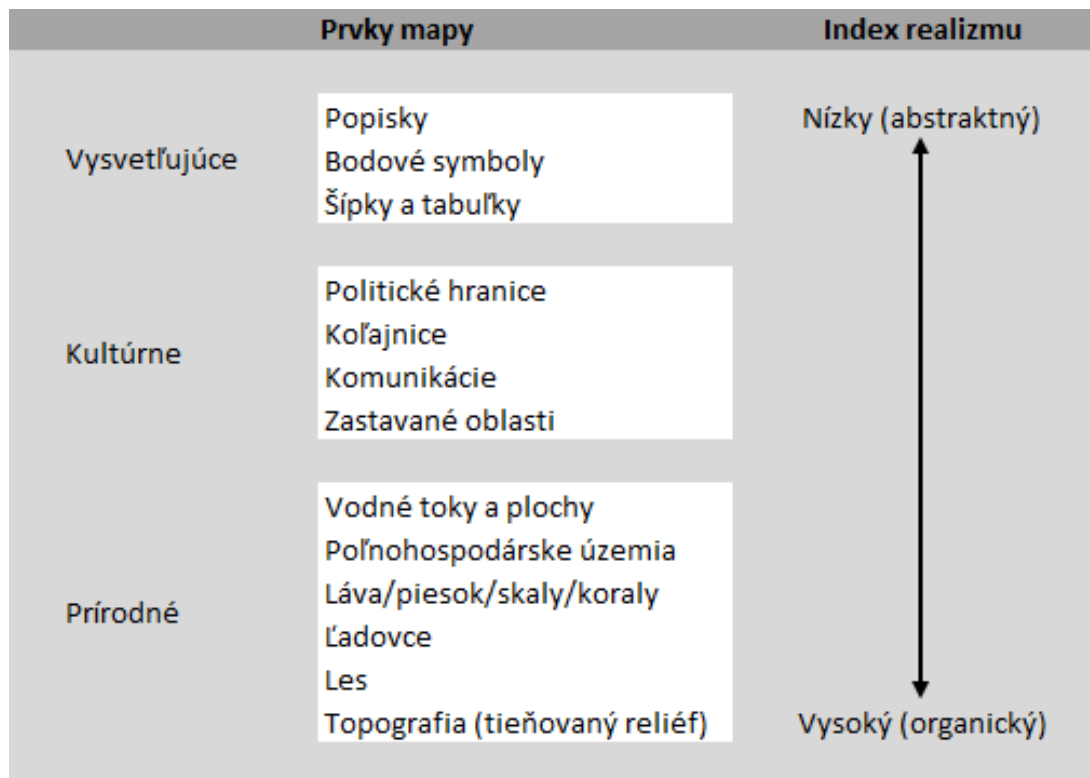
Vhodné spracovanie, najčastejšie klasifikácia, leteckých snímok a družicových záznamov odstraňuje vyššie popísané nevýhody. Spracované snímky sú teda dobrým zdrojom geografických informácií, ktoré môžu byť využité pre účely kartografického realizmu, no to sa už dostávame k súčasným metódam.

### 3.2.2 Súčasné trendy tvorby realistických máp

V súčasnosti sa pri produkcii realistických máp uplatňuje multidisciplinárny prístup. Umelecká inšpirácia Sheltonom a Imhofom je kombinovaná s využívaním spracovaných leteckých snímok a družicových záznamov, digitálnych modelov terénu a vektorových a rastrových geodát. Cieľom pri tom nie je vytvoriť fotorealistickú mapu, ale štylizovať pohľad na zemský povrch tak, ako si ho užívatelia predstavujú alebo očakávajú. Použitie týchto techník je nutné dôkladne zvážiť – pravdepodobnosť úspechu a neúspechu je v pomere 50:50. [27]

Aplikácia kartografického realizmu sa odvíja od nasledujúcich faktorov [27]:

- Kvalitné dáta – najkritickejšia podmienka. Chýbajúce alebo málo kvalitné dáta môžu zamedziť aplikáciu realizmu.
- Čas a peniaze – tvorba realistických máp neautomatizovanými postupmi (prostredníctvom grafických editorov) je časovo a finančne náročná.
- Efektivita použitia – kartografický realizmus nie je možné aplikovať vždy. Vo všeobecnosti platí, že fyzickú zložku krajiny (terén, vodstvo, vegetačný pokriv, ...) je možné týmto spôsobom znázorniť, kultúrnu zložku (zástavba, komunikácie, ...) v určitej obmedzenej miere a vysvetľujúce elementy (legenda, popis) vôbec (viď. Obrázok 3).
- Estetická rovnováha – správne navrhnutá realistická mapa pôsobí atraktívnym dojmom vo všetkých mierkach. Cieľom je vytvoriť mapu, ktorá je realistická a čitateľná ako vo veľkej tak aj v malej mierke.



Obrázok 3 Index realizmu mapových prvkov [27]

Pravidlá aplikácie realistického prístupu sú nasledovné [27]:

- Vizuálna hierarchia – zlúčenie všetkých elementov fyzickej zložky krajiny do jednej úrovne zjednoduší celkovú vizuálnu hierarchiu mapy. Kultúrne a vysvetľujúce prvky tak môžu byť umiestnené nad touto základnou úrovňou.
- Odstránenie línií – línie sú silnou formou grafického prejavu a dominujú vizuálnej hierarchii, no pôsobia rušivo. V prírode sú navyše extrémne unikátne (najmä priamkové segmenty).
- Rasterizácia – vektory pôsobia umelo a sú nekompatibilné s realizmom, preto je nutné vektory previesť na rastre, čo umožní aplikáciu textúr.
- Modulácia tónov – podobne ako línie, aj dokonale jednofarebné a rovné plochy sú v prírode veľmi vzácne (s výnimkou vodných plôch). Zmena jasů a farby objektov v mape je jednou z najdôležitejších úloh.
- Textúrovanie – pridanie grafického šumu a textúr mení tóny vybraných vrstiev a poskytuje „hmatateľný“ vzhľad imitujúci reálny prírodný povrch.

Ako už bolo poznamenané v kapitole 2, pseudo prírodné mapy sú v digitálnej kartografii zriedkavé. Tento fakt vyplýva zo skutočnosti, že k dispozícii nie je žiadny špecializovaný software. Väčšina dnešných GIS systémov rutinne zvláda len generovanie tieňovaného reliéfu, čo je najbežnejšia kartografická aplikácia textúr. Na druhej strane, existujú metódy a postupy vysvetľujúce tvorbu a aplikáciu textúr geografických dát v prostredí GIS.

Pomocou rozšírenia Spatial Analyst je možné generovať procedurálne textúry priamo v aplikácii ArcMap. Autorom tejto myšlienky je *Jeffery Nighbert*, GIS špecialista štátnej správy Oregonu. Impulzom k jej vzniku bola jazda autom zalesneným územím, kedy si autor všimol nespočetné množstvo lesných výsekov a iných ľudských zásahov do prírody. Toto pozorovanie viedlo k snahe premietnuť skutočný stav do inak hladkých a bezchybných tieňovaných modelov reliéfu. Následne prišlo zlepšenie vo forme aplikácie elementárnych textúr (bummapping) a vizuálneho odlišenia jednotlivých elementov krajiny. Výsledky svojej práce autor prezentoval na medzinárodných užívateľských konferenciách spoločnosti ESRI (viď. [20], [21], [23] a [24]) a v samostatných publikáciách (viď. [22]). Týmto si okrem popularity získal aj pozornosť samotného ESRI, ktorá neskôr viedla k vytvoreniu nástroja Bump Map Tools. [18]

Práve na základe práce Jefferyho Nighberta je postavená aj táto diplomová práca. Odvodенý postup pre vytvorenie farebného tieňovaného reliéfu s bumpmap textúrou je nasledovný:

1. Vygenerovanie príslušných textúr pre vstupné vrstvy.
2. Spojenie textúr s digitálnym modelom terénu.
3. Vytvorenie tieňovaného reliéfu z modifikovaného DEM z kroku 2.
4. Ofarbenie tieňovaného reliéfu podľa vstupných vrstiev.

Uvedený popis je samozrejme len schematický. Konkrétny postup s uvedením kľúčových detailov a princípov algoritmov je uvedený v kapitolách 7 až 10.

## 4 Rastrové dáta

Vzhľadom na to, že vektory sú s realizmom nekompatibilné (viď. kapitola 3.2.2) a vytvorený nástroj pracuje predovšetkým s rastrovými dátami, ponúka nasledujúca kapitola stručný prehľad základných informácií týkajúcich sa rastrového dátového modelu a jednotlivých, nástrojom podporovaných, rastrových formátov. Záverečná podkapitola bližšie popisuje tzv. world súbor, ktorý je generovaný spolu s výsledným rastrom ako výstup nástroja.

### 4.1 Rastrový dátový model

Rastrový dátový model vychádza z rozdelenia rovinného priestoru pravidelnou mriežkou na bunky, predstavujúce najmenšiu priestorovú jednotku. Neexistuje popis jedinečných geoprvkov, vzťahy medzi geoprvkami sú implicitne vyjadrené priamo v rasti. Model sa používa k zobrazovaniu rozloženia hodnôt vlastností popisujúcich daný jav v priestore. [31]

Všetky bunky rastru majú svoju jednoznačnú adresu, danú stĺpcovým a riadkovým indexom. Najčastejšie sa používa *štvorcová* bunka, ktorá spĺňa podmienky [31]:

- Je nekonečne opakovateľná v rovine.
- Je nekonečne rekurzívne rozložiteľná na menšie bunky rovnakého tvaru.

Kvalitu zobrazenia reálneho sveta pomocou rastrového modelu ovplyvňuje niekoľko faktorov, z ktorých najpodstatnejšie sú [31]:

- Veľkosť bunky.
- Spôsob priradenia hodnoty atribútu v jednotlivých bunkách.
- Farebná hĺbka rastru, resp. rozlíšenie použité pre záznam hodnôt atribútov.

## 4.2 Vybrané rastrové formáty

### 4.2.1 TIFF

Formát TIFF (Tagged Image File Format) bol firmou Aldus predstavený v roku 1986. Je obľúbený hlavne v súvislosti s digitalizáciou a skenovaním obrazu [5]. Hodnoty sa v súbore ukladajú ako 8, 16 alebo 32 bitové celé čísla, ako 4 alebo 8 bajtové reálne čísla, prípadne ako zlomok dvoch 32 bitových celých čísel. Jedná sa o univerzálny formát, ktorý okrem obrazových dát umožňuje zapisovať aj ďalšie informácie. Používa bezstratovú kompresiu, podporuje transparentnosť a súbory majú príponu \*.tif/tiff. [6]

V GIS je možné formát TIFF použiť k uloženiu a prenosu digitálnych družicových záznamov, skenovaných leteckých snímok alebo máp a digitálnych modelov terénu. Popri klasickom formáte sa v oblasti priestorových dát presadil aj odvodený formát GeoTIFF. Tento umožňuje spolu s vlastnými obrazovými dátami uložiť v podobe značiek (tagov) aj geografické informácie súvisiace s obrazom priamo v hlavičke súboru. [8]

### 4.2.2 JPEG

Formát JPEG (The Joint Photographics Experts Group) bol v roku 1990 štandardizovaný ISO normou. Je určený predovšetkým pre zobrazovanie fotografií a obrázkov, ktoré obsahujú značné množstvo farieb a ich odtieňov. Obrázok môže obsahovať až cca. 1,6 milióna farieb (24 bitová grafika), ktoré sú ukladané v RGB zložkách (8 bitov na zložku = 0 až 256 hodnôt). Používa stratovú kompresiu, nepodporuje transparentnosť ani animácie, súbory majú príponu \*.jpg/jpeg. [34]

V oblasti GIS sa formát JPEG používa k uchovávaniu leteckých a družicových snímok alebo pre uloženie dlaždíc cache na serveroch poskytujúcich priestorové dáta.

### 4.2.3 PNG

Formát PNG (Portable Network Graphics) bol v roku 1996 vyvinutý konzorciom W3C a vznikol ako reakcia na licenčné problémy pri používaní formátu GIF. Je jediným oficiálnym formátom pre bitmapovú grafiku na internete, nie je závislý na platforme. Umožňuje uložiť farebnosť v maximálne 256 farbách pre jednotlivé RGB zložky. Farebnosť je obmedzená hodnotami 1, 2, 4 a 8 bitov; tzn. 2, 4, 16 a 256 farieb pre každé z

RGB pásíem. Hlavnou výhodou v porovnaní s GIF je podpora TrueColor – 24 alebo 48 bitov na pixel v RGB režime. V režime RGBA formát PNG podporuje transparentnosť – 8 alebo 16 bitov na pixel je rezervovaných pre priehľadnosť. Alfa kanál tak ponúka široké možnosti, napríklad jemné vyhladenie obrysu obrázku, textu alebo vytvorenie vrhnutého tieňu. Používa efektívnu bezstratovú kompresiu, súbory majú príponu \*.png. [12]

Podobne ako v prípade JPEG, aj formát PNG slúži v súvislosti s geodátami k ukladaniu skenovaných máp, leteckých snímok alebo cache mapových služieb.

#### 4.2.4 ESRI Grid

Grid je binárny formát vyvinutý spoločnosťou ESRI pre ukládanie geografických informácií v mriežke. Formát zapuzdruje niekoľko čiastkových súborov, ktoré nesú informácie o geografickej polohe a atribúty. Umožňuje ukladať 32 bitové dáta (celočíselné alebo s desatinnou čiarkou) a názov súboru (resp. kontajneru – napr. zložka) nesmie presiahnuť 13 znakov. Je základným formátom pre ukládanie rastrových dát v ArcGIS. [7]

### 4.3 World súbor

World súbor slúži k ukládaniu informácií o geografickej polohe rastru – zaisťuje afínnu transformáciu obrazových súradníc na geografické súradnice. Obsahuje argumenty potrebné k výpočtu transformačných rovníc: súradnice stredu bunky v ľavom hornom rohu rastru, veľkosť bunky a rotáciu rastru v smere obdivoch ôs a podobne. Formáty ako ESRI Grid, GeoTIFF alebo Erdas Imagine ukládajú informácie o geografickej polohe daného rastru v hlavičke súboru. Pre viaceré iné formáty (napr. JPEG, TIFF, PNG) je však nutné tieto informácie ukladať v osobitnom ASCII súbore, pričom sú ukladané formou jeden atribút na jednom riadku súboru. World súbor má rovnaký názov ako daný raster, odlišuje sa koncovkou. Napríklad raster teren.tif má príslušný word súbor s názvom teren.tfw, raster vodstvo.jpg zase vodstvo.jgw. [40]



## 5 Použité technológie

Nasledujúce podkapitoly sú venované technológiám použitým pri implementácii nástroja, ktorý je predmetom tohto textu.

Nástroj je vyvinutý v jazyku *Python*. Všetky operácie s geografickými dátami sprostredkúva modul *ArcPy*, pomocou frameworku *wxPython* je vytvorené GUI nástroja a knižnica *lxml* je použitá k spracovaniu konfiguračného súboru. S konfiguračným súborom úzko súvisia technológie *XML* a *XSD*, ktoré sú použité k jeho realizácii, resp. validácii. No a vzhľadom na to, že nástroj je distribuovaný vo forme *ArcGIS add-in*, záverečná podkapitola je venovaná práve tejto, v čase písania diplomovej práce, pomerne novej technológii.

### 5.1 Python

Python je dynamický programovací jazyk používaný v širokej škále aplikačných domén. Je vyvíjaný pod Open Source licenciou a dostupný pre všetky hlavné operačné systémy (Windows, Linux/Unix, ...). Jeho kľúčové vlastnosti sú: čistá a čitateľná syntax, intuitívna objektová orientácia, dostupnosť rozširujúcich knižníc pre takmer všetky typy úloh a jednoduché vkladanie od iných aplikácií. [1]

#### 5.1.1 ArcPy

ArcPy je stavebným kameňom automatizácie v ArcGIS; ponúka prístup k viac než 800 funkciám a metódam geoprocessingu, ktoré zahŕňajú analýzy, konverzie a manažment geodát v jazyku Python. [30]

#### 5.1.2 wxPython

wxPython je multiplatformný, Open Source GUI (Graphical User Interface – grafické užívateľské rozhranie) framework pre jazyk Python. Umožňuje jednoduché vytváranie aplikácií s robustným a funkčným GUI. [39]

### 5.1.3 lxml

lxml je funkčne bohatá a jednoducho použiteľná knižnica pre spracovanie XML súborov v jazyku Python (väzba C knižníc libxml2 a libxslt na Python). [14]

## 5.2 XML

XML (eXtensible Markup Language) je značkový jazyk (W3C odporúčanie) navrhnutý na prenos a ukladanie dát. Značky jazyka nie sú preddefinované – užívateľ si musí nadefinovať vlastné. [11]

## 5.3 XSD

XSD (XML Schema Definition) je W3C odporúčanie, ktoré určuje ako formálne popísať XML dokument – definuje štruktúru XML dokumentu. Tento popis môže byť použitý k verifikácii každého prvku dokumentu. [41]

## 5.4 ArcGIS Desktop Add-ins

ArcGIS Desktop 10 obsahuje add-in model, ktorý ponúka framework umožňujúci tvorbu rozšírení (tlačidiel, líšt, nástrojov, ...) vo forme bežných skomprimovaných balíčkov. Vzhľadom na to, že nie je potrebná dodatočná inštalácia ďalších programov, doplnky je možné jednoduchým spôsobom zdieľať medzi užívateľmi. Podporovanými platformami sú .NET a Java. [2]

Použitie doplnku je dobrým riešením v prípade, ak chcete užívateľom ponúknuť špecifický spôsob práce s aplikáciou alebo rozšíriť jej možnosti. [38]

### 5.4.1 Python Add-ins

ArcGIS Desktop 10.1 pridáva do zoznamu jazykov pre tvorbu doplnkov jazyk Python. Pre zjednodušenie implementácie Python doplnkov je vhodné použiť *Python Add-in Wizard*, ktorý vygeneruje všetky súbory potrebné pre správne fungovanie doplnku. [38]

## 6 Použité programové prostriedky

Obsahom nasledujúcej stati textu je stručný popis programových prostriedkov, ktoré boli použité pri spracovaní zadanej úlohy.

Logika nástroja bola vytvorená a testovaná v IDE *PyScripter*. XML konfiguračný súbor a príslušná XSD schéma boli napísané v textovom editore *Notepad++*. Aplikácia *ArcMap* bola použitá k príprave geografických dát a testovaniu funkčnosti nástroja. Grafické prvky (ikona, tlačidlá) boli vytvorené a editované vo vektorom editore *Adobe Illustrator*. Grafické prvky dokumentácie (diagramy) boli vytvorené softwarom *Visual Paradigm for UML*.

- PyScripter 2.5.3 – freewarové IDE s otvoreným zdrojovým kódom pre vývoj skriptov v jazyku Python. [29]
- Notepad++ 6.2 – freewarový editor zdrojových kódov a náhrada klasického textového editoru Notepad, ktorý podporuje niekoľko jazykov. Je šírený pod GPL licenciou. [25]
- Visual Paradigm for UML 10 – UML modelovací a CASE nástroj. Vývojárom umožňuje zachytávanie požiadaviek, plánovanie softwaru, modelovanie tried atď. [37]
- ArcMap 10.1 – centrálna aplikácia ArcGIS for Desktop, ktorá slúži pre všetky mapovo orientované úlohy vrátane kartografie, priestorových analýz a editácie dát. [4]
- Adobe Illustrator CS4 – program pre tvorbu vektorovej grafiky. Jednou z jeho hlavných výhod je spojenie rozsiahlych tvorivých funkcií s profesionálnym výstupom pre tlač, multimédiá alebo web. [3]

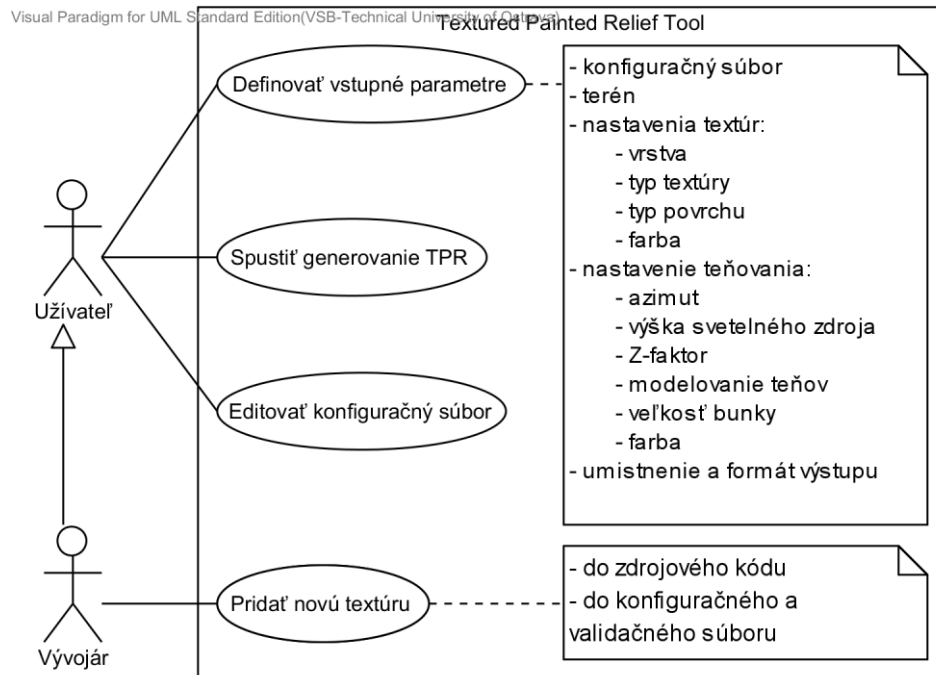
## 7 Charakteristika nástroja TPRT

Skôr než pristúpim ku konkrétnym aspektom implementácie nástroja *Textured Painted Relief Tool – TPRT*, považujem za dôležité vysvetliť jeho koncepciu a aspoň približný princíp fungovania. Zložité a v zásade bezpredmetné je interpretovať úplnú chronológiu myšlienkových a pracovných postupov, ktoré s nimi súvisia. Tieto informácie sú, pokiaľ to situácia vyžaduje, súčasťou odpovedajúcich pasáží textu.

Štruktúra nástroja bola apriori určená samotným zadaním a predovšetkým cieľmi diplomovej práce. Využívanie konfiguračného súboru, špecifikácia vstupov, konkrétny výstup a predpoklad vytvorenia GUI predstavovali základné stavebné kamene vývojového plánu. Fundamentálnou ideou nástroja je *rozšíriť možnosti aplikácie ArcGIS Desktop 10.1* o proces *automatizovanej* tvorby farebného tieňovaného reliéfu s textúrou. Inými slovami povedané, vytvoriť rozšírenie či nadstavbu, ktorá využitím ArcGIS API (modul ArcPy) realizuje uvádzanú funkcionálnosť. Automatizáciu tohto procesu zaisťujú 4 skripty implementované objektovo orientovaným prístupom v jazyku Python:

- *TexturedPaintedRelief\_logic.py* – biznis model, implementuje všetky triedy nevyhnutné pre vytvorenie požadovaného výstupu. Modul nerieši kontrolu vstupných dát – očakáva užívateľské dáta v správnej forme. Je možné použiť ho ako samostatnú aplikáciu, užívateľ ale musí príslušné dáta a nastavenia korektne nadefinovať priamo v zdrojovom kóde. Takéto použitie je vhodné najmä v prípadoch dávkového spracovania – nastavenia sú zapísané priamo v kóde a nie je nutné zdĺhavo ich „zaklikávať“.
- *TexturedPaintedRelief\_interface.py* – grafické užívateľské rozhranie nástroja, spustiteľné z prostredia ArcMap alebo ako samostatná aplikácia. Poskytuje užívateľom pohodlný spôsob výberu geodát a zadania potrebných nastavení.
- *TexturedPaintedRelief\_validator.py* – modul určený pre kontrolu a validáciu užívateľských vstupov a konfiguračného súboru. Spolupracuje s modulom GUI, kedy sú všetky dáta a nastavenia kontrolované okamžite po ich zadaní. V prípade výskytu problému je užívateľ o situácii informovaný v stavovom riadku, ktorý sa nachádza na v spodnej časti dialógového okna.

- TexturedPaintedRelief\_addin.py – modul zajišťující spoluprácu nástroje s aplikáciou ArcMap.



Obrázok 4 Diagram prípadov použitia nástroja TPRT

Vstupnými premennými nástroja sú (uvádzané v poradí zadávania):

1. XML konfiguračný súbor
2. Digitálny model terénu (ESRI Grid alebo TIN)
3. Nastavenia textúr
  - ESRI Grid alebo SpafeFile, nad ktorým má byť textúra vytvorená
  - Typ textúry, ktorá má byť vygenerovaná
  - Typ povrchu, ktorý daná vstupná vrstva reprezentuje
  - Farba textúry
4. Nastavenia tieňovania
  - Azimut
  - Výška svetelného zdroja
  - Z – faktor
  - Modelovanie tieňov
  - Veľkosť bunky
  - Farba tieňovania
5. Umiestnenie a názov výstupu

Nástroj je distribuovaný vo forme *ArcGIS Python Add-in*, pričom jeho systémové požiadavky sú nasledovné:

- ArcGIS Desktop 10.1 + extenzie Spatial analyst a 3D Analyst
- Python 2.7 + moduly lxml 2.3.6 a wxPython 2.8

## 7.1 Konfiguračný súbor

Úlohou nástroja je prijať užívateľské vstupy (*TexturedPaintedRelief\_interface*), validovať ich vhodnosť (*TexturedPaintedRelief\_validator*) a odpovedajúcim spôsobom ich spracovať (*TexturedPaintedRelief\_logic*). Proces generovania farebného tieňovaného reliéfu s textúrou sa samozrejme musí riadiť pevnými pravidlami. Jednak sú to pravidlá popisujúce argumenty textúr a tiež pravidlá špecifikujúce hierarchiu vstupných vrstiev.

Argumenty textúr sa líšia v závislosti od druhu textúry. Vo všeobecnosti však definujú jej názov, typ a spôsob vykreslenia. Hierarchiu vstupných vrstiev popisuje len názov typu povrchu a tzv. Z-index. Z-index je, podobne ako v technológii kaskádových štýlov, *unikátna celočíselná definícia poradia vrstvy*, ktorá slúži k ich logickému usporiadaniu. V prípade nástroja TPRT je rozsah hodnôt indexu poradia daný intervalom <1; 999> a platí pravidlo, že čím väčšia je hodnota Z-index, tým vyššie bude daná vrstva umiestnená. Napríklad vrstva komunikácií (Z-index = 900) bude v celkovej hierarchii nad vrstvou vodstva (Z-index = 800), ktorá bude zase nad vrstvou lesov (Z-index = 600). Poradie vrstiev teda bude komunikácie – vodstvo – lesy.

K uchovaniu hore uvedených pravidiel slúži XML konfiguračný súbor. Pri zostavovaní tohto súboru je dôležité dbať na syntax XML a poradie a dátové typy jednotlivých parametrov. Štruktúru konfiguračného súboru nástroja TPRT definuje príslušná XML schéma, ktorá sa zároveň využíva k jeho validácii. Ukážka konfiguračného súboru spolu s korešpondujúcou XML schémou sú súčasťou dokumentácie nástroja (viď. Zoznam príloh).

## 8 Generovanie bumpmap textúr

V úvodných fázach riešenia projektu bola pozornosť venovaná základom práce s ArcGIS geoprocessingom a modulom ArcPy, pomocou ktorých sú textúry generované. Najväčší dôraz bol však samozrejme kladený na oboznámenie sa s postupmi a spôsobmi tvorby procedurálnych textúr v ArcGIS Spatial Analyst, ktoré navrhol *Jeffery Nighbert* (viď. kapitola 3.2.2). Prácu Jefferyho Nighberta najlepšie sumarizuje štúdia *Characterizing Landscapes for Visualization Through "Bump Mapping" and Spatial Analyst* (viď. [22]), z ktorej, okrem iného, po praktickej stránke vychádza aj táto diplomová práca. V uvádzanej práci autor vysvetľuje algoritmy generovania tzv. bodovo orientovaných (point based) procedurálnych textúr. Bodovo orientovaná textúra znamená, že prvotným krokom je vytvorenie rastru rozmiestnenia centroidov objektov textúry, resp. distribúcie objektov textúry. Nighbert uvádza postupy pre tvorbu textúr pravouholníkov, kužeľov a pologúľ; pričom pôvodné AML skripty boli v rámci nástroja Bump Map Tools (určený pre ArcGIS Desktop 9.3) prepísane do jazyka Python.

Aj napriek dostupnosti zdokumentovaných postupov a zdrojových kódov som pri vlastnom riešení generovania textúr narazil na niekoľko problémov, ktoré sú spoločné predovšetkým pre textúry kužeľov a pologúľ, resp. textúr z nich odvodených. Nižšie uvedené nedostatky a ich riešenie sú zo svojej podstaty esenciálne a boli kľúčom k úspešnému zvládnutiu produkcie bodovo orientovaných textúr. Práve z tohto dôvodu sú diskutované samostatne, vo všeobecnej rovine, pred detailným popisom jednotlivých textúr a ich ďalšieho spracovania. Jedná sa o problémy súvisiace so zmenami v ArcGIS API, inverziou a nekorektnou výškou textúr ako aj voľbou vhodnej veľkosti bunky rastru.

### 8.1 Problémy pri generovaní textúr

Prvý problém bol spôsobený rozsiahlymi zmenami v API, ktoré priniesol ArcGIS Desktop 10. Tieto zmeny sa týkali najmä premenovania alebo úplného vynechania niektorých funkcií a premenných, zmeny volania funkcií v skriptoch a podobne. Práve vypustenie premenných (pomocných rastrov)  $$$xmap^1$  a  $$$ymap^2$  z Raster Calculator znamenalo závažný problém. Uvedené premenné sú totiž súčasťou metódy pre vytvorenie

---

<sup>1</sup> X súradnica stredu aktuálnej bunky rastru, resp. riadkový index rastru.

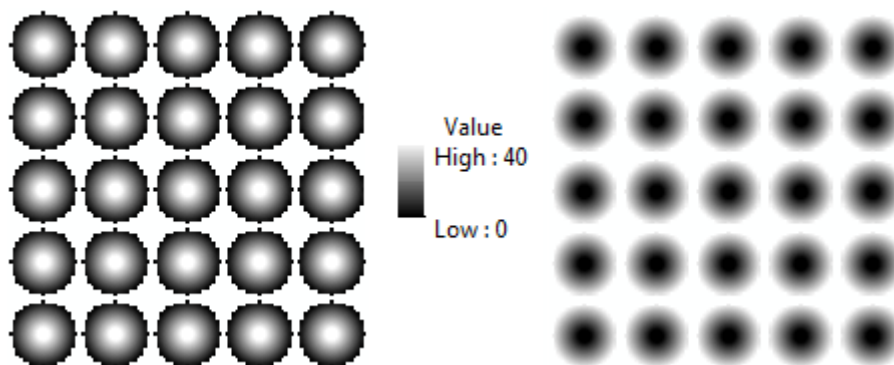
<sup>2</sup> Y súradnica stredu aktuálnej bunky rastru, resp. stĺpcový index rastru.

rastru rozmiestnenia centroidov objektov textúry. Veľmi šikovné a inteligentné riešenie ponúkol *William Huber* [9], ktorý na diskusnom fóre ESRI zverejnil jednoduchú ukážku ako dané rastre vytvoriť pomocou operácie Flow Accumulation a konštantného rastru:

```
xmap = FlowAccumulation(CreateConstantRaster(1))  
ymap = FlowAccumulation(CreateConstantRaster(64))
```

Konštantný raster o hodnote 1, resp. 64, na vstupe operácie Flow Accumulation znamená, že indexovanie má byť realizované v smere zľava doprava, resp. zhora dole. Pre viac informácií viď. oficiálna dokumentácia operácie Flow Accumulation.

Druhým nedostatkom bola prevrátená hodnota textúr. To znamená, že napríklad kužeľová textúra bola opačná – vrcholy jednotlivých kužeľov smerovali dole (hodnoty výškovej mapy boli prevrátené). Uvedený stav vyriešila jednoduchá inverzia danej textúry – zistenie maximálnej absolútnej hodnoty výškového poľa a následná oprava všetkých buniek rastru o túto zistenú hodnotu – operácia mapovej algebry: konštanta mínus raster.



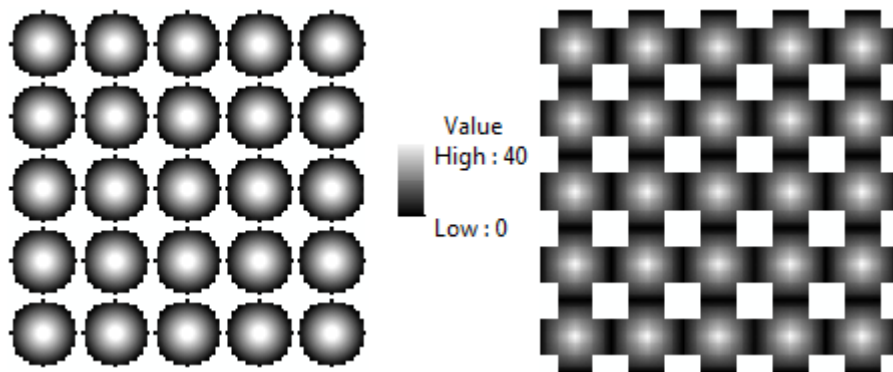
Obrázok 5 Porovnanie korektnej (vľavo) a inverznej (vpravo) kužeľovej textúry

Tretím problémom bola nekorektná výška objektov textúry. Chyba bola vyriešená zavedením korekčného koeficientu, ktorý dostaneme ako podiel maximálnej hodnoty výškového poľa a správnej (očakávanej) hodnoty. Následne je nutné opraviť celý raster, teda pôvodnú textúru s nesprávnou výškou vydeliť korekčným koeficientom.

Posledným problémom bolo stanovenie veľkosti pixlu textúry. V prípade pevnej veľkosti bunky pre všetky textúry vstupujúce do procesu sa silne prejavovala deformácia objektov textúry. Deformácia navyše závisela od tvaru objektu a pri rôznych objektoch mala odlišný prejav. Preto bolo nutné zaviesť spôsob výpočtu veľkosti bunky v závislosti



na textúre – konkrétna textúra si veľkosť bunky určuje autonómne. Podľa [16] je ideálny počet buniek pre vykreslenie objektov s kruhovou podstavou 11, teda *veľkosť bunky* = *priemer objektu* / 11. Ďalším aspektom súvisiacim s veľkosťou bunky je veľkosť objektov textúry. Platí všeobecné pravidlo rastrov – čím menšia bunka tým presnejšie znázornenie objektov, no za cenu zvýšenia výpočtovej náročnosti a objemu dát. Veľkosť objektu textúry sa pohybuje v rozmedzí  $\pm$  veľkosť bunky. Napríklad ak chceme kónickú textúru s kužeľmi o priemere 10m a veľkosť bunky je stanovená na 0,91m; reálny priemer kužeľa bude  $10m \pm 0,91m$ .



Obrázok 6 Porovnanie textúry s vlastnou (vľavo) a pevnou (vpravo) veľkosťou bunky

Až po vyriešení diskutovaných nedostatkov a zapracovaní odpovedajúcich opráv do originálnych ukážok kódov bolo možné generovanie požadovaných procedurálnych textúr. Diplomová práca tak nie len preberá už realizované nápady, ale pridáva ich vylepšenia a vlastné prvky. K pôvodným textúram pravouholníkov, kužeľov a pologúľ som doplnil textúru ornej pôdy a náhodnú textúru plus líniovú a nulovú pseudotextúru. Detailným popisom všetkých nástrojov podporovaných textúr sa zaoberajú nasledovné podkapitoly textu. Uvádzané vzťahy výpočtu textúr sú zjednodušené tak, aby boli čo najjednoduchšie pochopiteľné.

## 8.2 Implementácia textúr

Rodičovskou triedou generovania textúr je trieda *Texture*, ktorá je súčasťou modulu *TexturedPaintedRelief\_logic.py*. Jej inštančnými argumentmi sú: *areaOfInterest*, *zIndex* a *colors* (viď. ďalej). Trieda *Texture* implementuje základné atribúty a metódy spoločné pre všetky textúry. Špecifické nastavenia a funkcie každá textúra implementuje nezávisle; resp. v prípade bodovo orientovaných textúr niektoré z nich dedí z rodičovskej triedy.

Atribúty triedy Texture:

- areaOfInterest – rastrová alebo vektorová vrstva, nad ktorou má byť daná textúra vytvorená (záujmové územie).
- zIndex – unikátne celé číslo definujúce poradie textúry.
- colors – slovník s vyjadrením RGB zložiek farby textúry.
- ďalšie, na užívateľovi nezávislé (automaticky vytvorené) atribúty: dataType, texture, landuse, cellSize.

Metódy triedy Texture:

- to\_raster() – konvertuje ESRI ShapeFile na ESRI grid.
- create() – generuje raster slúžiaci k prefarbeniu tieňovaného reliéfu, resp. vlastnú textúru. Každá z textúr túto metódu realizuje svojpomocne.

Jedným z potomkov triedy Texture je trieda *PointBasedTexture*. Jej inštančnými argumentmi sú argumenty rodičovskej triedy Texture plus: randomness, density a size (viď. ďalej). Trieda *PointBasedTexture* implementuje metódu a atribúty spoločné pre bodovo orientované textúry. Do tejto skupiny patria textúry pravouholníkov, kužeľov a pologúl; plus textúra ornej pôdy, ktorá je odvodená od hemisférickej textúry.

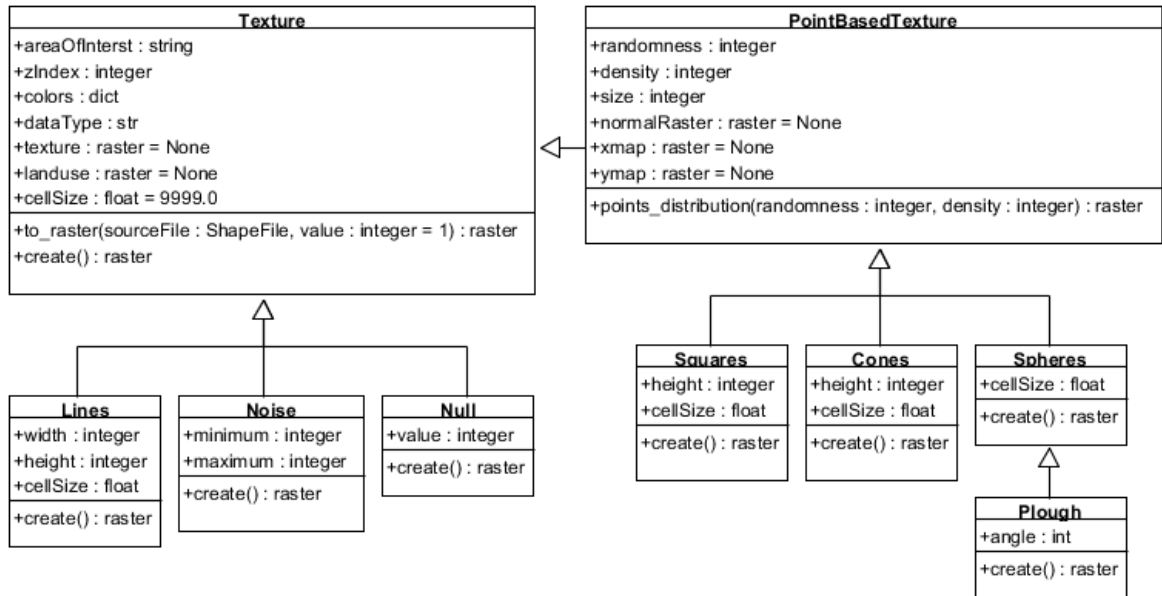
Atribúty triedy PointBasedTexture:

- randomness (náhodnosť) – typ distribúcie objektov. Je definovaná celým číslom, napr. 0 = pravidelná, 1 = mierne nepravidelná, 10 = veľmi nepravidelná distribúcia (viď. Obrázok 8).
- density (hustota) – vzdialenosť stredov objektov. Táto vlastnosť je zásadne ovplyvnená náhodnosťou.
- size (veľkosť objektu) – strana štvorca pri pravouholníkoch a priemer pri kužeľoch a pologuliach.
- ďalšie, automatizovane generované rastre:
  - normalRaster – raster náhodných hodnôt s normálnym rozdelením
  - xmap – riadkový index pre normalRaster
  - ymap – stĺpcový index pre normalRaster

Metóda triedy PointBasedTexture:

- `points_distribution()` – generuje raster distribúcie centroidov objektov textúry.

Ďalšími potomkami triedy Texture sú textúry, ktoré neboli prebrané z práce Jefferyho Nighberta, ale navrhnuté autorom tejto diplomovej práce. Konkrétne sa jedná o náhodnú textúru a nulovú a líniovú pseudotextúru.



Obrázok 7 Implementácia textúr

## 8.3 Bodovo orientované textúry

Prvým krokom pri tvorbe bodovo orientovaných textúr je zostrojenie rastru definujúceho rozmiestnenie centroidov objektov textúry, ktoré implementuje metóda `points_distribution()`. Distribúcia objektov textúry je závislá na 3 parametroch: `randomness` (náhodnosť), `density` (hustota) a `size` (veľkosť objektu).

Výpočet bodového rastru sa opiera o vzťah mapovej algebry (upravené podľa [22]):

$Con((Mod(xmap, Int(normalRaster * randomness + density)) == 0) \&$   
 $(Mod(ymap, Int(normalRaster * randomness + density)) == 0) \&$   
 $areaOfInterest, 1)$ ; kde

- `Con` – alternatíva ArcGIS geoprocessingu k podmienke `if/else`
- `Mod` – operácia vracajúca celočíselný zvyšok po delení

- Int – operácia zaisťujúca prevod desatinných na celé čísla



Obrázok 8 Efekt náhodnosti (v postupnosti zľava: náhodnosť = 0, 2, 5)

Daný vzťah teda najprv vypočíta súčin normálneho rastru a náhodnosti, ku ktorému pripočíta hustotu. Následne určí celočíselný zvyšok po delení  $xmap$ , resp.  $ymap$ , touto hodnotou a testuje nulový zvyšok. *Celý tento proces prebieha v rastru odpovedajúcejmu záujmovému územiu.* V prípade dosiahnutia nulového zvyšku je do daného pixlu zapísaná hodnota 1, ktorá indikuje splnenie všetkých podmienok. Bunky s hodnotou 1 predstavujú centroidy objektov textúry, od ktorých sa odvíja ich ďalšia tvorba.

### 8.3.1 Pravouholníková textúra

Pravouholníková textúra je prvým zástupcom bodovo orientovaných textúr. Odpovedá triede *Squares*, ktorá okrem argumentov rodičovských tried vyžaduje zadanie priestorovej výšky textúry (*height*). Pravouholníky sú vygenerované na základe vzťahu:

*FocalStatistics(points\_distribution(), NbrRectangle(size, size)) \* height*; kde



Obrázok 9 Nepravidelná pravouholníková textúra

- *FocalStatistics* – operácia počítajúca zadanú štatistiku pre každú bunku v stanovenom okolí. Ak nie je zadané inak, zisťovanou štatistikou je priemer.
- *NbrRectangle* – operácia tvoriaca susedstvo v tvare pravouholníka podľa zadaných parametrov.

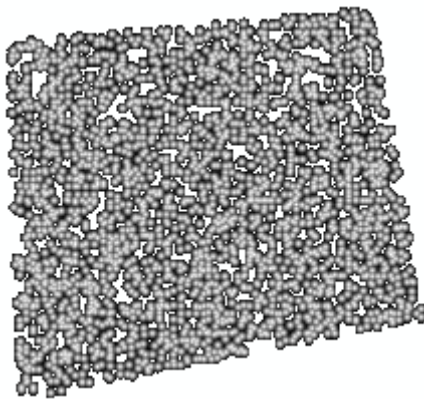
Textúra teda vznikne výpočtom priemeru v definovanom pravouholníkovom okolí každého bodu distribúcie. Na záver sú pravouholníky násobené výškou textúry, ktorá určuje ich priestorovú výšku. Veľkosť bunky je rovná veľkosti objektu textúry. Tento typ textúry je výpočtovo najjednoduchšia alternatíva bodovo orientovaných textúr. V mape sa môžu pravouholníky použiť pre znázornenie napr. skalnatých povrchov.

### 8.3.2 Kónická textúra

Ďalším zástupcom bodovo orientovaných textúr je kónická textúra. Implementuje ju trieda *Cones* a okrem argumentov rodičovských tried vyžaduje zadanie priestorovej výšky kužeľov (*height*). Kónická textúra je generovaná na základe týchto vzťahov:

$$\text{cones1} = \text{Abs}(\text{EucDistance}(\text{points\_distribution}(), \text{size}))$$
$$\text{cones} = (\text{maxHeight} - \text{cones1}) / (\text{maxHeight} / \text{height}); \text{ kde}$$

- Abs – operácia vráti absolútnu hodnotu bunky rastru.
- EucDistance – operácia, ktorá pre každú bunku vypočíta euklidovskú vzdialenosť k najbližšiemu zdroju.
- maxHeight – maximálna výška kužeľov cones1.



Obrázok 10 Nepravidelná kužeľová textúra

Kónická textúra vzniká v dvoch krokoch. V prvom kroku je vypočítaná absolútna hodnota euklidovskej vzdialenosti medzi centroidmi kužeľov a bunkami do vzdialenosti rovnaj polomeru kužeľa. No takto vygenerované kužele nemajú správnu výšku a sú prevrátené. Preto sú v druhom kroku použité už spomínané opravy – prevrátenie textúry a aplikácia korekčného koeficientu. Veľkosť bunky je vypočítaná delením priemeru kužeľa hodnotu 11, čím je zaistené, že priemer kužeľa bude vykreslený 11 pixlami. V mape

je možné kónickú textúru použiť ako reprezentáciu ihličnatých lesov.

### 8.3.3 Hemisférická textúra

Predposlednou z rady bodovo orientovaných a zároveň poslednou z pôvodných textúr Jefferyho Nighberta je hemisférická textúra. Odpovedá triede *Spheres* a k jej inicializácii nie sú okrem argumentov rodičovských tried nutné žiadne špeciálne parametre. Guľovú, resp. pologuľovú, textúru je možné vygenerovať podľa nasledujúcich vzťahov:

$$sphs = \text{SquareRoot}(\text{Power}(\text{size}, 2) - \text{Power}(\text{EucDistance}(\text{points\_distribution}(), \text{size}), 2))$$
$$\text{fix1} = \text{sphs} - \text{sphsMinimum}$$
$$\text{fix2} = \text{fix1Maximum} / (\text{size} * 2)$$

*spheres* = *fix1* / *fix2*; kde

- SquareRoot – operácia odmocnenia.
- Power – operácia umocnenia so zadaným exponentom.
- EucDistance – operácia, ktorá pre každú bunku vypočíta euklidovskú vzdialenosť k najbližšiemu zdroju.
- sphsMinimum – minimálna výška pologúl' sphs.
- fix1Maximum - maximálna výška pologúl' fix1.



Obrázok 11 Nepravidelná hemisférická textúra

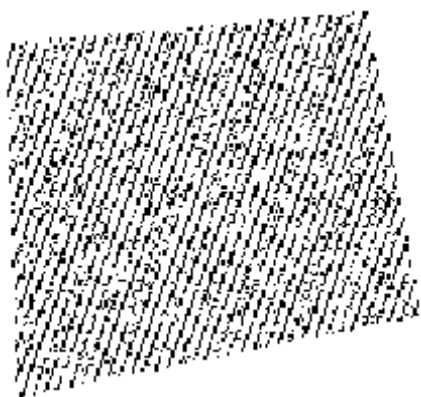
Generovanie hemisférickej textúry je výpočtovo najnáročnejšie. Výpočet opäť vychádza z určenia euklidovskej vzdialenosti nad distribúciou bodov, ktorá je tento krát navyše umocnená na druhú. Takto upravená euklidovská vzdialenosť je následne odpočítaná od druhej mocniny priemeru hemisféry. Výsledná hodnota tohto rozdielu je na záver odmocnená, čím získame efekt pologúl'. Opäť je však nutné aplikovať korekciu výšky textúry. Úprava *fix1* zaisťuje, aby minimálna hodnota pologúl' (okraj) bola

rovná 0. *Fix2* rieši korekciu výšky hemisfér (výška = priemer). Podielom týchto dvoch úprav dostane požadovanú pologuľovú textúru, ktorá je v mape vhodná najmä pre znázornenie listnatých lesov alebo nižších porastov. Veľkosť bunky je určená rovnakým spôsobom ako v prípade kónickej textúry.

### 8.3.4 Textúra ornej pôdy

Textúra ornej pôdy je odvodená od hemisférickej textúry a súčasne je prvou vlastnou textúrou. Aj napriek tomu, že sa jedná o potomka triedy Spheres, sú inštančnými argumentmi triedy *Plough* argumenty triedy *Texture* (argumenty *PointBasedTexture* sú automaticky dopočítané) plus *angle* (smer orania, odchýlka od Y osy,  $0^\circ$  = rovnobežka s osou Y) a *interval* (vzdialenosť medzi jednotlivými pásmi).

Generovanie tejto textúry je pomerne zložité a nie je možné charakterizovať ho použitím zjednodušených vzťahov. Z tohto dôvodu bude tvorba textúry ornej pôdy vysvetlená len slovné.



Obrázok 12 Textúra ornej pôdy

V prvej fáze je nutné vytvoriť pomocný raster – konštantný raster o hodnote 1, ktorý má však priestorový rozsah (*extent*) zväčšený tak, aby pokrýval celé záujmové územie v prípade rotácie o ľubovoľný uhol. Ďalej je nad pomocným rastrom vygenerovaný raster distribúcie objektov textúry. Uvádzaný raster je špecifický tým, že v prípade pospájania bodov na jednotlivých úrovniach do priamky by sme dostali rovnobežky s osou Y. Raster centroidov je ďalej rotovaný o zadaný uhol a orezaný rastrom záujmového územia, aby bol zachovaný pôvodný tvar. Nad týmto orezaným rastrom je na koniec vygenerovaná hemisférická textúra, ktorá je ďalej upravená tak, aby sa jej hodnoty pohybovali v intervale  $\langle -1, 0 \rangle$ .

### 8.3.5 Textúry o náhodnej veľkosti a výške

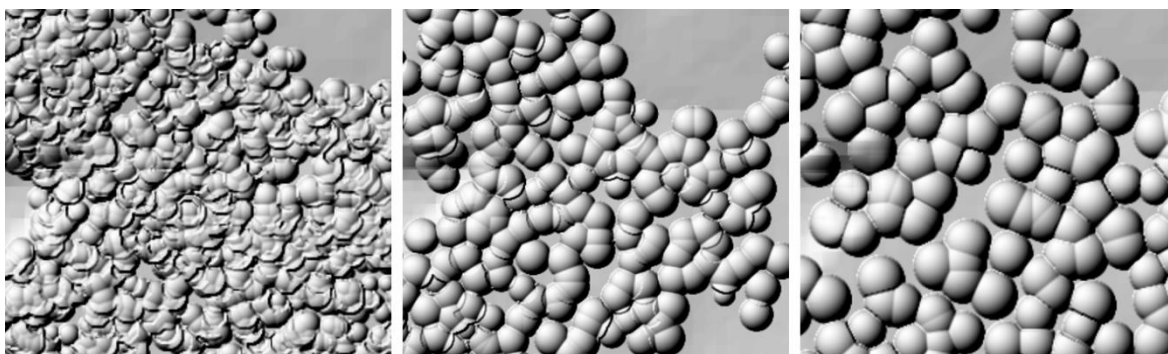
V rámci implementácie bodovo orientovaných textúr bola pozornosť venovaná aj generovaniu textúr o náhodnej veľkosti a výške. Pri pokusoch o dosiahnutie uvedeného cieľu boli vytvorené, resp. prevzaté a čiastočne upravené, dva postupy.

Prvý z nich bol založený na manipulácii s rastrovými dátami. Raster centroidov objektov textúry bol prevedený na NumPy<sup>3</sup> pole, z ktorého boli následne vyfiltrované

<sup>3</sup> Python modul určený k spracovaniu rozsiahlych vedeckých a matematických štruktúr a výpočtov. V ArcGIS Desktop tiež umožňuje tiež spracovanie rastrových dát.

všetky body predstavujúce stredy objektov. Ďalej by algoritmus pokračoval nad každým, osobitne extrahovaným, bodom aplikovaním už známej operácie euklidovskej vzdialenosti. Argumentom operácie by bolo vždy náhodne vybrané číslo z daného rozsahu. Na záver by bolo nutné vytvoreným objektom opraviť výšku a späťne ich pospájať do jedného rastu. Popisovaný postup je síce technicky realizovateľný; je však neefektívny, výpočtovo a časovo veľmi náročný a z týchto dôvodov nebol ďalej rozvíjaný.

Druhý postup kombinoval spracovanie rastrových a vektorových dát a bol prevzatý a upravený podľa [19]. Raster centroidov bol tentoraz prevedený na bodový ShapeFile. Následne boli do atribútovej tabuľky pridané stĺpce veľkosti a výšky objektu, ktorých hodnoty boli opäť náhodné čísla zo zadaného intervalu. Ďalej nasledovalo odfiltrovanie redundantných bodov – na základe vzdialenosti medzi bodmi v určitej špecifikovanej oblasti a pomocou SQL dotazu boli všetky nadbytočné body odstránené. Okolo zvyšných bodov bola vytvorená obalová zóna (buffer) na základe hodnoty veľkosti z atribútovej tabuľky. Obalové zóny boli následne rasterizované s tým, že hodnoty rastu reprezentovali veľkosť, resp. výšku, objektu. Na záver bola opäť aplikovaná operácia euklidovskej vzdialenosti, kedy sa vyššie zmienené rastre obalových zón použili ako maska. Takto vytvorené textúry však obsahovali rôzne neprirodzené artefakty (spôsobené prekrývaním objektov s rôznou výškou, vid'. Obrázok 13). Uvádzaný stav mierne zlepšilo dodatočné orezávanie obalových zón Thiesenovými polygónmi, čím boli objekty zmenené tak, aby sa zabránilo ich prekrývaniu. Nevýhodou a grafickým nedostatkom tejto úpravy bola priamková hranica susedných objektov. Podobne ako v predchádzajúcom prípade, aj tento postup je zdĺhavý, náročný a neponúka požadované výstupy; preto nebol ďalej rozvíjaný.

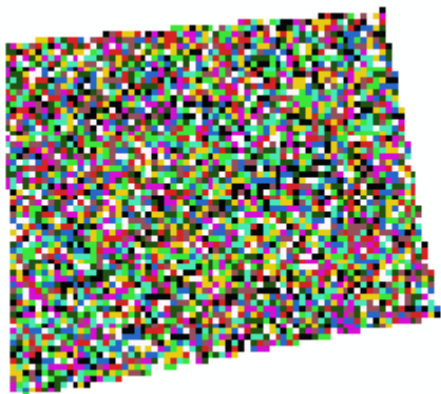


Obrázok 13 Hemisférická textúra o náhodnej veľkosti objektov; zľava textúra bez úprav, odfiltrované nadbytočné objekty a obmedzenie Thiesenovými polygónmi



## 8.4 Ďalšie textúry

### 8.4.1 Textúra šumu



Obrázok 14 Textúra šumu

Textúra šumu, resp. náhodná textúra je jednoduchou aplikáciou náhodného rastru. Odpovedá triede *Noise* a okrem argumentov rodičovskej triedy vyžaduje zadanie minimálnej a maximálnej výšky. Jej vytvorenie nie je výpočtovo náročné. Pomocou *Spatial Analyst* sa v rámci extentu záujmového územia vygeneruje náhodný raster s hodnotami zo zadaného rozsahu. Vzniknutý náhodný raster sa na záver oreže tak, aby odpovedal záujmovému územi.

Využitie tejto textúry je pomerne široké a silne závisí od zvoleného rozsahu hodnôt. Ak je zvolený interval hodnôt krátky, napr.  $\langle 0, 1 \rangle$ , môže byť náhodná textúra použitá ako reprezentácia plôch s jemnou textúrou (piesok, sneh, ...). Ak je naopak použitý širší interval, náhodná textúra môže reprezentovať zľahka zvlnené plochy (napr. lúky). Veľkosť bunky pri tejto textúre nie je explicitne stanovená, počíta sa s veľkosťou bunky vstupného digitálneho modelu terénu.

### 8.4.2 Pseudotextúra línií

Líniová pseudotextúra je implementovaná triedou *Lines* a okrem argumentov rodičovskej triedy vyžaduje zadanie šírky a výšky línií. Je navrhnutá a určená výhradne pre použitie s líniovým ShapeFile. Ak chceme napr. zobrazit' líniový ShapeFile reprezentujúci komunikácie, musíme použiť líniovú textúru s vhodnou šírkou a výškou. V skutočnosti nie je generovaná žiadna konkrétna textúra. Okolo daných línií je vygenerovaná obalová zóna (buffer) o špecifikovanej šírke, ktorá je následne konvertovaná na raster nesúci hodnoty výšky línie. Veľkosť bunky je určená ako  $1/2$  šírky línie.

### 8.4.3 Nulová pseudotextúra

Trieda *Null* k argumentom triedy *Texture* pridáva parameter *value*. Podobne ako v prípade línií, ani pri použití nulovej pseudotextúry nie je generovaný žiadny špecifický bumpmap raster. Princiálne je zadaná vrstva len reklasifikovaná, resp. v prípade

ShapeFile najprv konvertovaná na raster, podľa špecifikovanej hodnoty. Veľkosť bunky opäť nie určená implicitne – pracuje sa s veľkosťou bunky vstupného DEM. Ak je nutné do výstupu začleniť raster reprezentujúci napr. komunikácie (ktorých šírka je určená samotným rastrom) a potrebujete stanoviť len ich výšku, nulová textúra je ideálnym riešením, rovnako ako v prípade začlenenia polygónového ShapeFile reprezentujúceho vodné plochy.

## 9 Manipulácia s digitálnym modelom terénu

Spracovanie dát digitálneho modelu terénu sprostredkúva trieda *Dem*, ktorá je súčasťou modulu *TexturedPaintedRelief\_logic.py*. Inštančnými argumentmi triedy sú:

- Digitálny model terénu (*sourceFile*) – ESRI Grid alebo TIN s výškovými dátami záujmovej lokality.
- Nastavenia tieňovania – azimut (*azimuth*), výška svetelného zdroja (*altitude*), Z faktor (*zfactor*), modelovanie tieňov (*shadows*) a veľkosť bunky (*cellSize*).

Dem
+azimuth : integer
+altitude : integer
+zFactor : float
+shadows : boolean
+dem : raster
+extent : extent
+hillshade : raster = None
+add_textures(textures : list) : raster
+hillshade_to_percent(texturedDEM : raster) : raster

Obrázok 15 Implementácia triedy *Dem*

Hneď pri inicializácii objektu *Dem* je vstupný digitálny model terénu odpovedajúcim spôsobom spracovaný. Spracovanie sa odvíja v závislosti od formátu terénu. V prípade, že terén je vo vektorovej forme (TIN) je nutné previesť ho na raster. Ak je zadaný terén v rastrovom formáte, vykoná sa kontrola veľkosti bunky a v prípade potreby je terén

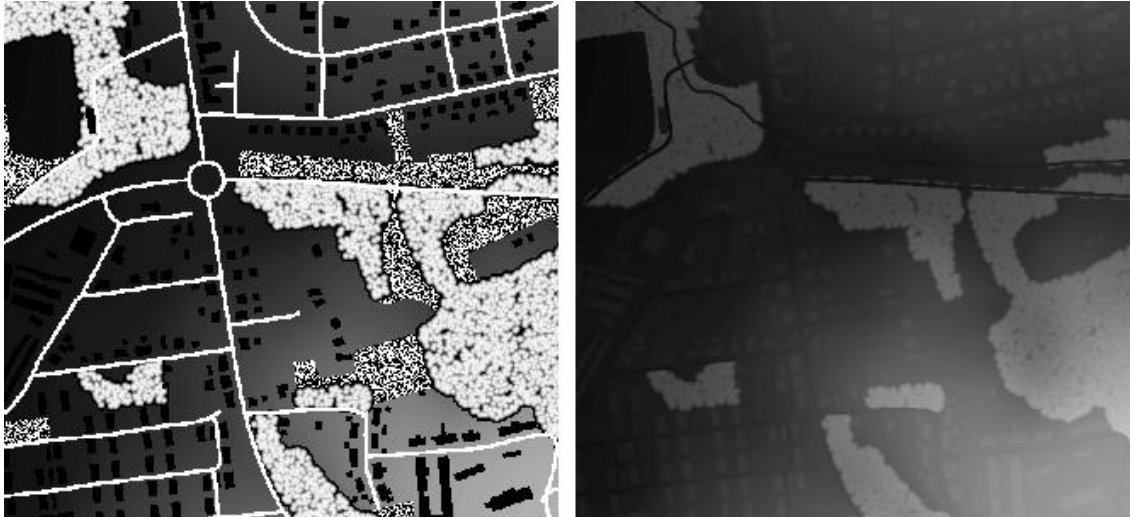
prevzorkovaný. Dôležitú úlohu opäť zohráva veľkosť bunky. Pre zjednodušenie ďalšieho spracovania je nutné, aby mal terén a všetky textúry, ako aj ostatné generované rastre, rovnakú veľkosť bunky. Korektnú veľkosť bunky rieši metóda *set\_cellSize()* triedy *Processor*, o ktorej bude reč neskôr. Súčasťou inicializácie je aj stanovenie priestorového rozsahu (*extent*), v rámci ktorého bude generovaný TPR. Operačný extent je samozrejme extentom spracovaného terénu, keďže nemá zmysel generovať textúry mimo toto územie.

Trieda *Dem* implementuje len dve, no z globálneho hľadiska zásadné, metódy.

Prvou z nich je metóda *add\_textures()*. Už z názvu metódy je jasný jej účel: spojenie textúr s terénom. Najprv sú vstupné textúry utriedené podľa hodnoty Z-index. Následne sú zoradené textúry predané, spolu s ďalšími vstupnými argumentmi, metóde *ArcGIS DataManagement MosaicToNewRaster()*. Táto ich spojí do jedného 32 bitového rastru<sup>4</sup> tak, že v prípade prekrývajúcich sa oblastí je viditeľná tá plocha, ktorá je v danom poradí

<sup>4</sup> 32 bitový znamienkový (signed) raster – kvôli možnosti uloženia negatívnych hodnôt textúr.

vyššie. Posledným krokom metódy `add_textures()` je spojenie textúr s terénom, vytvorenie bumpmapy (raster *texturedDem*). Operácia je realizovaná operátorom *Con*, ktorý v oblastiach nepokrytými textúrami zapíše do výsledného rastru výšku terénu, v ostatných prípadoch je ako DN hodnota pixlu zapísaný výsledok súčtu výšky terénu a výšky textúry.



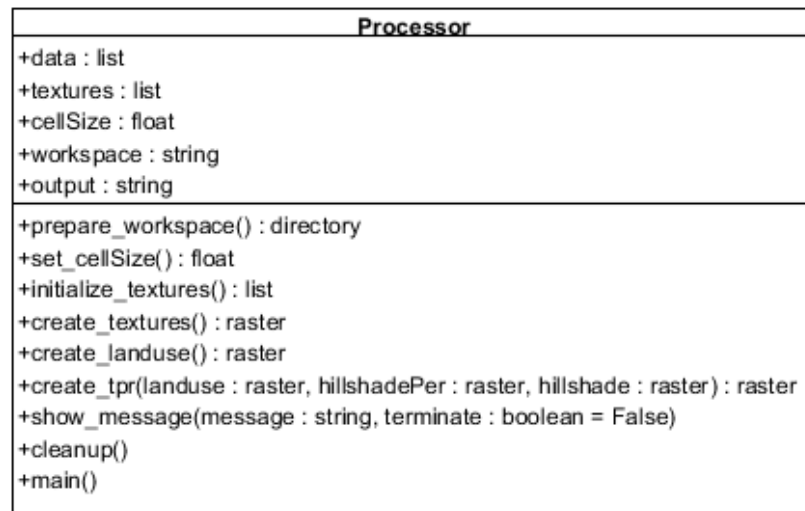
Obrázok 16 Digitálny model terénu a textúry pred sčítaním (vľavo) a po sčítaní (vpravo)

Druhou metódou triedy *Dem* je *hillshade\_to\_percent()*, ktorá produkuje tieňovaný reliéf a jeho percentuálnu alternatívu. Tieňovaný reliéf je vytvorený funkciou *Hillshade()* z extenzie *Spatial Analyst*. Vstupmi funkcie sú textúrovaný terén (raster *texturedDem*) a samozrejme ostatné atribúty, špecifikované pri inicializácii triedy. Okrem tieňovaného reliéfu, ktorý je jedným z atribútov objektu *Dem*, tvorí táto metóda aj už spomínanú percentuálnu alternatívu tieňovania. Percentuálne vyjadrenie vznikne vydelením tieňovaného reliéfu konštantou 255, čím sú hodnoty tieňovania prevedené na desatinné čísla z intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$ . Hodnota 255 nie je náhodná – jedná sa o maximálnu hodnotu 8 bitového rastru tieňovaného reliéfu. Percentuálny tieňovaný reliéf sa v záverečnej fáze tvorby TPR používa k dosiahnutiu farebných zmien jednotlivých povrchov.

## 10 Biznis model

Kompletný postup tvorby farebného tieňovaného reliéfu s textúrou implementuje trieda *Processor*, ktorá je súčasťou modulu *TexturedPaintedRelief\_logic.py*. Pre dosiahnutie tohto cieľu sú samozrejme využívané triedy *Texture* a jej potomkovia a trieda *Dem*. *Processor* je tak riadiaca trieda, ktorá zabezpečuje pracovný priestor nástroja a automatizované spracovanie vstupných dát. Jediným inštančným argumentom triedy *Processor* je práve zoznam (dátová štruktúra poľa) užívateľom definovaných dát, ktorého vytvorenie rieši modul *TexturedPaintedRelief\_interface.py* (viď. kapitola 11). Zoznam musí obsahovať dáta v korektnej forme, pretože trieda *Processor* nerieši kontrolu vstupných dát, ale priamo ich spracovanie. Pole užívateľských dát obsahuje:

- Terén a jeho parametre.
- Umiestnenie a formát výstupu nástroja.
- Nastavenia textúr.



Obrázok 17 Implementácia triedy *Processor*

Trieda *Processor* implementuje metódy:

- *prepare\_workspace()* – vytvára pracovný adresár nástroja.
- *set\_cellSize()* – stanovuje operačnú veľkosť bunky.
- *initialize\_textures()* – inicializuje objekty textúr.
- *create\_textures()* – generuje textúry a ďalšie súvisiace rastre.

- `create_landuse()` – generuje raster využitia povrchu.
- `create_tpr()` – generuje farebný tieňovaný reliéf s textúrou.
- `show_message()` – zaisťuje komunikáciu s dialógovým oknom nástroja.
- `cleanup()` – rieši vymazanie pomocných rastrov a pracovného adresára.
- `main()` – realizuje algoritmus automatizácie tvorby TPR.

Z užívateľom definovaných dát, resp. pomocou vybraných metód, nástroj pri inicializácii objektu `Processor` automaticky nastaví hodnoty atribútov:

- `textures` – pole objektov textúr.
- `cellSize` – operačná veľkosť bunky.
- `workspace` – pracovný adresár nástroja.
- `output` – cesta k výstupu nástroja.

V prvom rade sa jedná o inicializáciu objektov textúr, ktorú zaisťuje metóda `initialize_textures()`. Uvádzaná metóda postupne prechádza pole s nastaveniami textúr, pričom zároveň tvorí objekty textúr a pridáva ich do ďalšieho poľa, ktoré je jej výstupom. Práve vyriešenie otázky dávkovej inicializácie textúr bolo z pohľadu celkového fungovania nástroja veľmi dôležité. Problémom bol najmä rôzny názov a odlišné argumenty jednotlivých textúr. Jazyk Python však umožnil jednoduché a šikovné riešenie. Reťazec názvu triedy je vstupom operátoru `eval`, ktorý ho automaticky prevedie na prvok zdrojového kódu. Poradie spoločných argumentov všetkých textúr je dané triedou `Texture`, za nimi nasledujú zvyšné prvky daného poľa, ktoré predstavujú vlastné argumenty textúry. Týmto spôsobom dostane každá textúra všetky očakávané argumenty v správnom poradí. Vzniknuté pole s objektmi textúr je atribútom `textures`.

Každý z objektov textúr pri inicializácii okrem iného vypočíta aj vlastnú veľkosť bunky. Pri spracovaní rastrových dát je veľkosť bunky kľúčovou vlastnosťou a inak tomu nie je ani v prípade nástroja TPR. Preto je po inicializácii textúr nutné určiť operačnú veľkosť bunky, ktorá sa použije pre všetky nástrojmi generované rastre. Táto hodnota je stanovená metódou `set_cellSize()` ako minimum z veľkostí buniek jednotlivých textúr. V prípade, kedy žiadna zo zvolených textúr nenastavuje vlastnú veľkosť bunky, je použitá užívateľom definovaná bunka (viď. argumenty triedy `Dem`, kapitola 9). Operačná veľkosť bunky (atribút `cellSize`) musí byť známa skôr než sa pristúpi ku generovaniu textúr alebo

manipulácii s terénom, preto sú textúry najprv len inicializované, bez generovania konkrétnych rastrov.

Ďalej je metódou `prepare_workspace()` vytvorený pracovný adresár nástroja a nastavený atribút *workspace*. Nástroj pracuje súborovo – nepoužíva geodatabázu – preto je nutné pripraviť priečinok, do ktorého budú ukladané priebežné výstupy. Zložka s názvom „`tpscratch`“ je v stromovej štruktúre súborového systému vytvorená na rovnakej úrovni, na ktorej bude uložený výstup nástroja. V prípade predchádzajúceho zlyhania nástroja je pôvodná zložka aj svojím obsahom vymazaná a nahradená novou. Po ukončení činností súvisiacich s generovaním TPR je zložka `tpscratch` vymazaná.

Atribút *output* je prečítaný priamo z užívateľských dát a nie je žiadnym spôsobom upravovaný. Popisuje umiestnenie a formát výsledného rastu a súvisiacich súborov (*world file* a pomocné súbory generované ArcGIS geoprocessingom).

## 10.1 Postup generovania TPR

Algoritmus automatizácie generovania farebného tieňovaného reliéfu s textúrou realizuje metóda `main()`. Na úvod je overená dostupnosť extenzií *Spatial Analyst* a *3D Analyst*, ktorých nástroje sú aktívne využívané v procese tvorby TPR. V prípade úspešného overenia sú extenzie rezervované pre použitie a pristúpi sa k nastaveniu pracovného prostredia nástroja, inak je užívateľovi zobrazené chybové hlásenie. Pracovné prostredie – *environment* – nástroja je súbor nastavení informujúcich ArcGIS geoprocessing o spôsobe spracovania vstupných dát, ktorý je nutné špecifikovať pred samotnou manipuláciou s dátami. V skutočnosti sa jedná najmä o predanie hodnôt atribútov nastavených už pri inicializácii objektu `Processor`:

- Operačná veľkosť bunky – atribút `cellSize`.
- Pracovný adresár – atribút `workspace`.
- Prepisovanie existujúcich výstupov – povolené.
- Pridávanie priebežných výstupov do mapy (platí v prípade spustenia z ArcMap) – zakázané (do mapy je pridaný len výsledný TPR).

Ďalej je v rámci prípravných prác inicializovaný objekt triedy Dem a špecifikovaný ďalší z environment argumentov – operačný extent, ktorý odpovedá priestorovému rozsahu digitálneho modelu terénu.

Na prípravné práce plynule nadväzuje generovanie priebežných rastrových výstupov. Užívateľ je na túto situáciu upozornený správou "*Starting processing!*" v stavovom riadku nástroja, resp. v okne štandardného výstupu. Užívateľ je vo všeobecnosti informovaný o generovaní jednotlivých strategických rastrov (textúry, bumpmapa, tieňovaný reliéf, ...), resp. o chybách, ktoré sa v procese ich tvorby vyskytli. Následne sú metódou *create\_textures()* vytvorené požadované textúry. Uvádzaná metóda najprv vytvorí pomocné rastre (xmap, ymap a normalRaster, vid' kapitola 8.2). Z dôvodu optimalizácie sú pomocné rastre generované len raz v priestorovom rozsahu operačného extentu a sú spoločné pre všetky textúry. Metóda ďalej prechádza pole objektov textúr (atribút Processor.textures) pričom textúram nastavuje operačné atribúty (z hľadiska programovania sa jedná o preťaženie atribútov) cellSize, xmap, ymap a normalRaster. Na záver pre každú textúru volá metódu *create()*, ktorá na pamäťovom médiu počítača vytvorí raster textúry a zároveň cestu k nemu nastaví ako hodnotu príslušného atribútu. Vygenerované textúry sú ďalej spracované metódou *add\_textures()*, ktorá ich zlúči s digitálnym modelom terénu. Následne je metódou *hillshade\_to\_percent()* nad bumpmapou vytvorený tieňovaný reliéf a jeho percentuálna alternatíva.

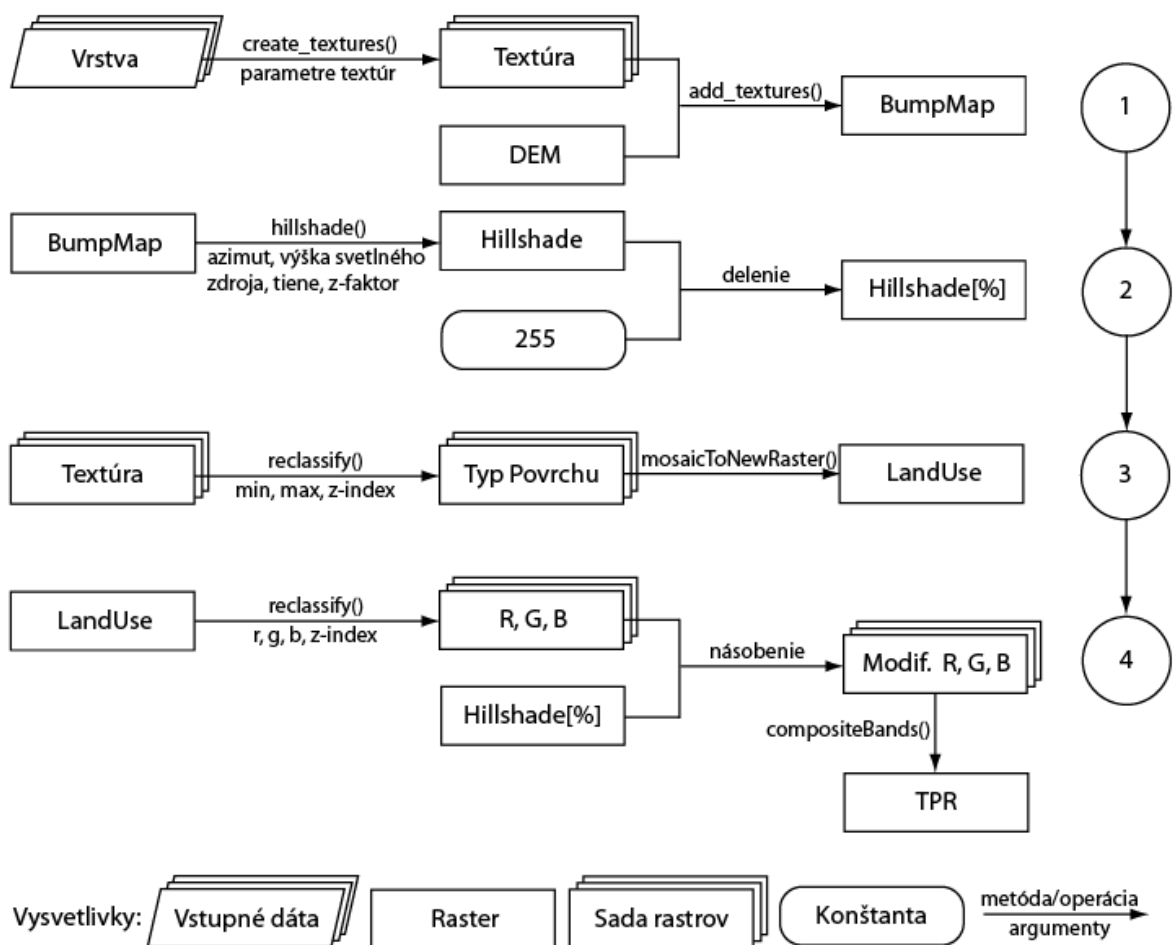
Algoritmus pokračuje vytvorením rastru typov povrchu, ktorý generuje metóda *create\_landuse()*. Rastre textúr sú najprv reklasifikované na hodnoty Z-indexu a zmenený raster je v danom objekte textúry nastavený ako atribút *landuse*. Následne sú rastre typov povrchov zoradené podľa hodnoty Z-index a, tak ako v prípade generovania bumpmapy, spojené do jediného rastru metódou ArcGIS DataManagement *MosaicToNewRaster()*. Týmto spôsobom vznikne 16 bitový raster<sup>5</sup>, v ktorom sú jednotlivé povrchy identifikované na základe hodnoty Z-index. Poslednou aplikovanou je metóda *create\_tpr()*, ktorá rieši vyfarbenie tieňovaného reliéfu a vytvorenie výsledného RGB rastru. V prvom kroku je vytvorené trojzložkové pomocné pole, ktoré obsahuje dvojice hodnôt Z-index a číselné vyjadrenie príslušnej RGB zložky. Následne je toto pole prechádzané a postupne sú tvorené jednotlivé rastre predstavujúce RGB komponenty. Landuse raster je

---

<sup>5</sup> 16 bitový (unsigned) raster – pretože hodnoty Z-index sa pohybujú rádo vo stovkách.



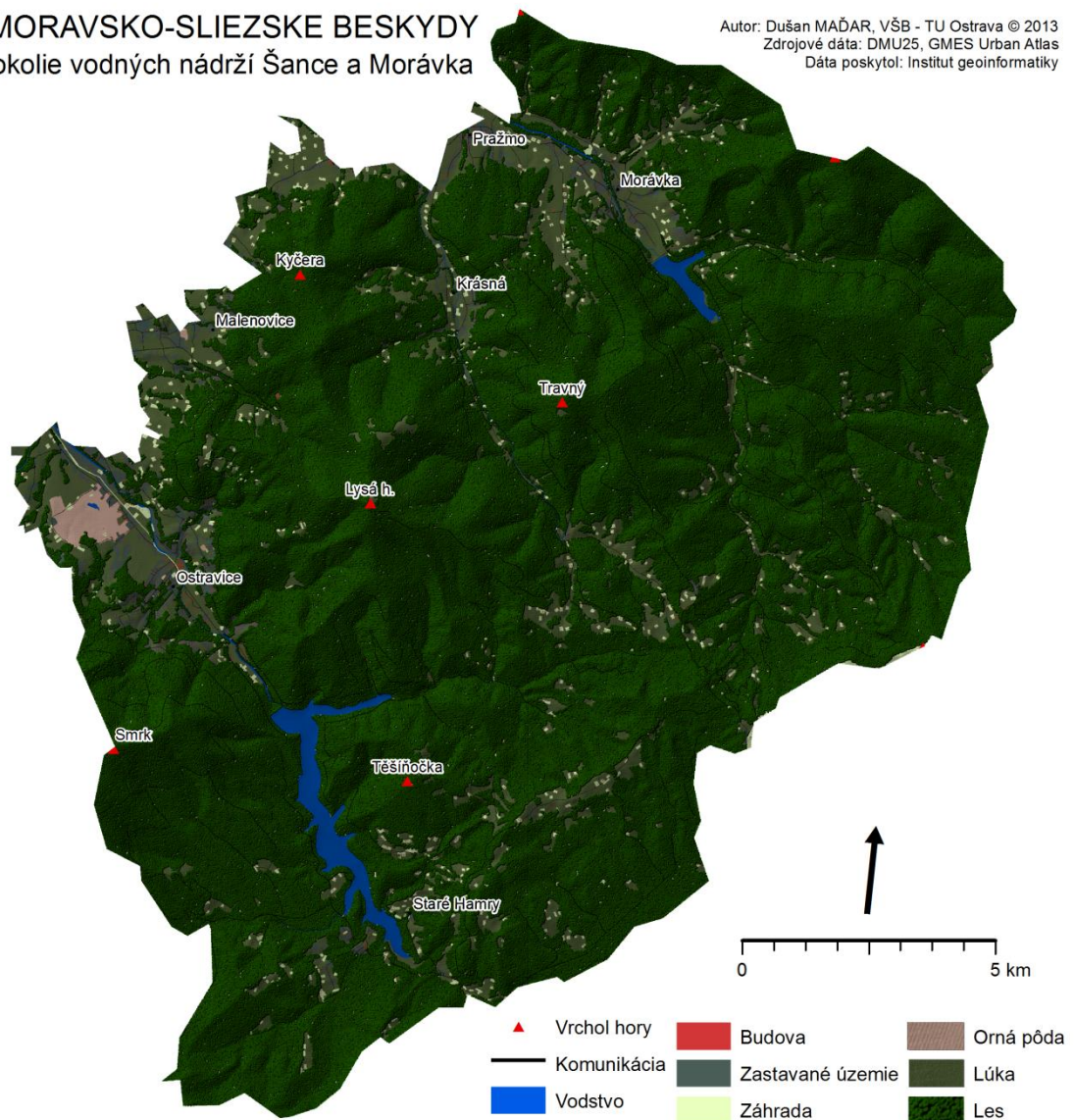
reklasifikovaný z hodnoty Z-index na farebný kód danej RGB zložky a vynásobený tieňovaným reliéfom v percentách, čím sa dosiahne odpovedajúca zmena farby. Posledným krokom metódy `create_tpr()` je spojenie 8 bitových rastrov v červenom, zelenom a modrom spektre do jedného farebného rastru. Túto úlohu realizuje opäť ArcGIS DataManagement, tentoraz metóda `CompositeBands()`. Úspešné vytvorenie farebného tieňovaného reliéfu s textúrou je užívateľovi oznámené správou "*Processing finished!*" spolu s informáciou o trvaní celého procesu. Na záver sú uvoľnené rezervované extenzie Spatial a 3D analyst a použitá metóda `cleanup()`, ktorá implementuje vymazanie vzniknutých objektov (a tým uvoľnenie geoprocessing zámkov) a tiež odstránenie pracovného adresára.



Obrázok 18 Zjednodušený kartografický model vysvetľujúci generovanie TPR

## MORAVSKO-SLIEZSKÉ BESKYDY okolie vodných nádrží Šance a Morávka

Autor: Dušan MAĎAR, VŠB - TU Ostrava © 2013  
Zdrojové dáta: DMU25, GMES Urban Atlas  
Dáta poskytol: Institut geoinformatiky



Obrázok 19 Ukážka výstupu nástroja TPRT doplnená o štandardné prvky mapovej kompozície

## 10.2 Optimalizácia generovania TPR

V procese vývoja nástroja bola pozornosť samozrejme venovaná aj optimalizácii jeho výkonu a rýchlosti ako aj ladeniu chýb. Niektoré prístupy prispievajú k zvýšeniu výkonu viac iné menej, niektoré sa nepodarilo úspešne dokončiť, resp. aplikovať.

Prvým vylepšením je vytvorenie len jednej trojice rastrov `normalRaster`, `xmap` a `ymap`, ktoré sa používajú pri tvorbe bodovo orientovaných textúr. Pôvodne tieto rastre generovala každá textúra zvlášť s použitím extentu daného záujmového územia. Upravený spôsob generuje dané rastre len raz v rámci extentu použitého digitálneho modelu terénu.

Tým, že sú rastre vygenerované len raz, sa celý proces skraca o čas potrebný k ich vytvoreniu a uloženiu, a to aj napriek tomu, že sú vytvorené s použitím väčšieho priestorového rozsahu.

Dlhodobým testovaním sa ďalej ukázalo, že použitie súborovej geodatabázy je pomalšie ako klasický súborový prístup. Geodatabáza určite má svoje jednoznačné výhody (viď. [10]), avšak tieto nenašli v prípade nástroja TPRT svoje uplatnenie.

Vylepšením z rady kozmetických je používanie celých čísiel pri definícii parametrov textúr a aplikácia bilineárneho prevzorkovania v spracovaní rastrových dát. Dlhodobé testovanie opäť ukázalo, že používanie desatinných čísiel neprináša pridanú hodnotu a zmeny v textúrach je možné pozorovať až v prípade editácie ich parametrov v rádoch jednotiek. Na vznik pásov v rastrových dátach (textúry, hillshade, ...) bolo upozornené v [16]. Príčinou je voľba metódy najbližších susedov v operácii prevzorkovania. Uvádzaný problém odstraňuje použitie bilineárnej metódy, ktorá podáva najestetickéjšie výsledky.

Potencionálne najprínosnejšou optimalizáciou by bola realizácia paralelného spracovania dát. V rámci tejto iniciatívy boli naštudované a vyvinuté postupy paralelného spracovania rastrových dát, ktoré sú zverejnené na webovej stránke autora a v prílohách diplomovej práce. Spomínané postupy využívajú moduly ArcPy a Multiprocessing a ich výsledkom je badateľné zrýchlenie určitých úloh geoprocessingu (prevzorkovanie rastru). Ich zapracovanie do nástroja TPRT bolo žiaľ neúspešné. Problémom bol predovšetkým objektový prístup riešenia nástroja, ktorý vždy vyústil do „PicklingError“. Pretože sa uvádzaný problém nepodarilo vyriešiť a prepísanie nástroja funkcionálnym prístupom by bolo skôr kontraproduktívne, nebola táto optimalizácia ďalej rozvíjaná. Pokrok v tomto smere neprinieslo ani paralelné spracovanie na úrovni ArcPy, ktoré je novinkou v ArcGIS Desktop 10.1. Podľa dokumentácie, viď. [26], túto možnosť podporuje len určitá skupina nástrojov geoprocessing, ktoré nástroj TPRT očividne nevyužíva.

## 11 Grafické uživatelské rozhraní nástroja

Logika nástroja je implementovaná modulom `TexturedPaintedRelief_logic.py`. Štandardne sú programy, resp. skripty, napísané v jazyku Python ovládané z príkazového riadku. Pre zjednodušenie ovládania a odtienenie užívateľov od, hoci triviálnej, editácie zdrojového kódu bolo prostredníctvom frameworku wxPython vytvorené vlastné dialógové okno nástroja. Voľba na wxPython a celkovo tzv. *Pure Python* riešenie padla z viacerých dôvodov. Prvým argumentom boli obmedzené možnosti ArcToolboxu. Toolboxy sú štandardne používané pre tvorbu rozhrania k vlastným nástrojom geoprocessingu. Ich hlavnou nevýhodou je ale nemožnosť jednoduchého rozšírenia o špecifické prvky užívateľského rozhrania, ktoré boli koncepciou nástroja vyžadované. Druhým dôvodom bolo pridanie Pythonu k jazykom podporujúcim rozšírenia (add-ins) v ArcGIS Desktop 10.1. Nebolo tak nutné použitie a osvojenie si jazyka C# a technológie ArcObjects.

Jedná sa teda o kompromisné riešenie, ktoré má samozrejme aj svoju negatívnu stranu. Tou je v prípade wxPython neschopnosť rozoznať a zobrazit' geografické dáta tak, ako sme na to pri ESRI produktoch bežne zvyknutí. Rastre vo formáte ESRI Grid alebo digitálne modely terénu vo formáte ESRI TIN sú štandardne ukladané vo vlastnej, kontajnerovej, zložke. wxPython však nedokáže rozoznať, že sa jedná o zložku s geografickými dátami a v danom dialógovom okne ju zobrazí klasickým spôsobom. Užívateľ tak na zložky predstavujúce geografické dáta nie je upozornený napríklad zmenou ikony. Podobná situácia je aj v prípade vektorových súborov typu ShapeFile, kedy sú v dialógovom okne okrem samotného \*.shp súboru zobrazené aj všetky príbuzné súbory (\*.dbf, \*.prj, ...). Súčasťou frameworku wxPython ďalej nie je dialógové okno, ktoré by umožňovalo výber ako adresárov tak aj konkrétnych súborov. Z tohto dôvodu sú pre výber vrstiev textúr vytvorené dva ovládacie prvky – jedno tlačidlo pre výber vektorových (ShapeFile) a druhé pre výber rastrových (ESRI Grid) geografických dát.

## 11.1 Kontrola a validácia užívateľských vstupov

Kontrola a validácia užívateľských vstupov realizovaná triedou *Validator*, je premetom modulu *TexturedPaintedRelief\_validator.py*. Validátor spolupracuje výhradne s modulom grafického rozhrania, kedy sú v závislosti na krokoch užívateľa kontrolované vstupné dáta. Hodnoty atribútov triedy sú podľa potreby prepísané konkrétnou metódou.

<b>Validator</b>
+message : string +state : boolean +default : integer
+validate_config(configFile : string) : string, boolean +read_config(configFile : string) : list, list +test_geodata(sourceFile : string) : string, boolean +test_line_shapefile(sourceFile : string) : boolean +test_hillshading_options(option : string, value : integer) : string, boolean, integer +test_write_access(path : string) : string, boolean

Obrázok 20 Implementácia triedy *Validator*

Atribúty triedy *Validator*:

- message – správa o výsledku konkrétnej metódy.
- state – finálny stav, resp. úspech/neúspech (True/False), konkrétnej metódy.
- default – prednastavená hodnota kontrolovaného parametru.

Metódy triedy *Validator*:

- *validate\_config()* – validuje XML konfiguračný súbor proti príslušnej XML schéme. Najprv je kontrolovaná syntax konfiguračného súboru (dokument musí byť „well formed“) a následne je vykonaná kontrola definície textúr a typov povrchu. Metóda vracia správu s detailnými informáciami o prípadných chybách a finálny stav jej priebehu.
- *read\_config()* – prečíta informácie zapísané v konfiguračnom súbore a upraví ich do podoby vhodnej pre ďalšie spracovanie. Metóda vracia pole s nastaveniami textúr a pole s nastaveniami typov povrchov.
- *test\_geodata()* – testuje existenciu a podporu geografických dát (nástroj podporuje len formáty ESRI ShapeFile, Grid a TIN). Vracia informácie o stave a príslušnú správu.

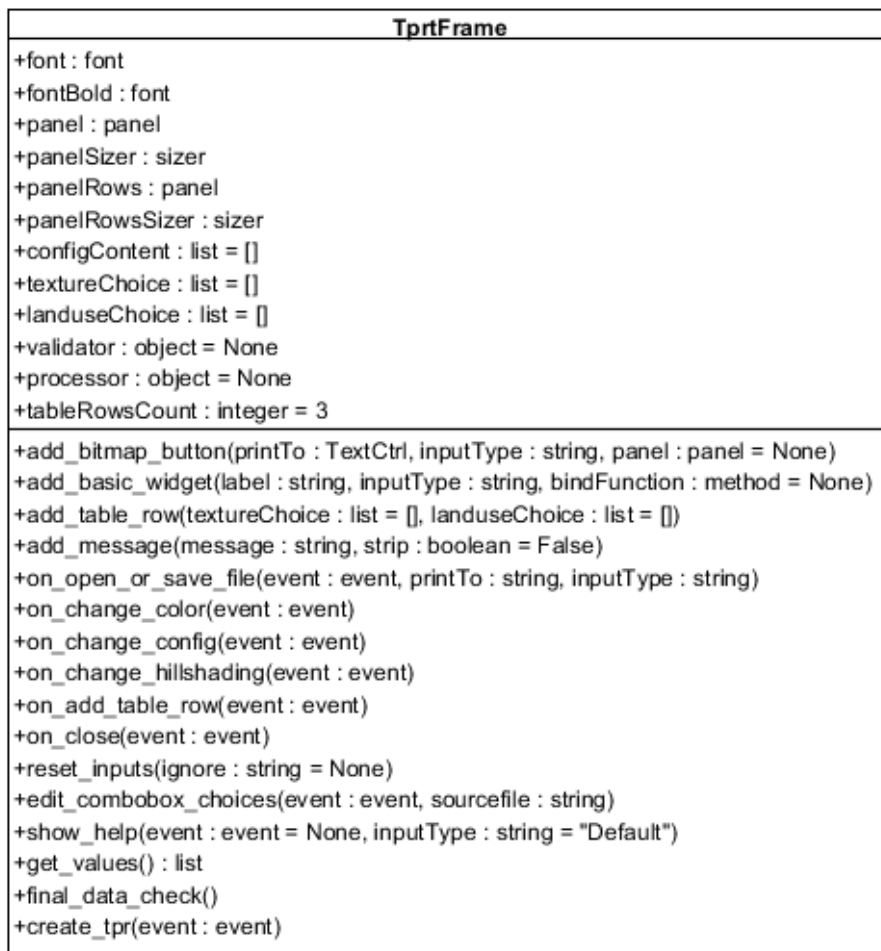
- `test_line_shapefile()` – testuje či daný ShapeFile obsahuje línie; vracia booleovskú hodnotu True/False.
- `test_hillshading_options()` – validuje hodnoty azimutu a výšky svetelného zdroja. Vracia stav a v prípade zadania neplatných parametrov správu a pôvodnú hodnotu. Prednastavené hodnoty sú zapísané v premenných metódy.
- `test_write_access()` – testuje možnosť zápisu do zložky; vracia stav a v prípade potreby aj odpovedajúcu správu.

## 11.2 Implementácia GUI

Grafické užívateľské rozhrania nástroja TPRT realizuje trieda *TprtFrame*, ktorá je implementovaná modulom *TexturedPaintedRelief\_interface.py*. Popis atribútov a metód tejto triedy hrá z hľadiska logiky systému vedľajšiu úlohu, no GUI ako také je z pohľadu užívateľského pohodlia dôležitá súčasť nástroja. Stručný popis atribútov a metód triedy *TprtFrame* v závere kapitoly dopĺňa stavový diagram GUI nástroja (viď. Obrázok 23).

Atribúty triedy *TprtFrame*:

- `font` – systémový font.
- `fontBold` – systémový font určený k formátovaniu nadpisov sekcií.
- `panel` – hlavné okno rozhrania, v ktorom sú umiestňované prvky GUI.
- `panelSizer` – objekt nastavení rozloženia hlavného okna rozhrania.
- `panelRows` – čiastkový panel, zapuzdrujúci prvky nastavenia textúr.
- `panelRowsSizer` – objekt nastavení rozloženia panelu nastavenia textúr.
- `configContent` – pole s obsahom konfiguračného súboru.
- `textureChoice` – názvy textúr prečítané z konfiguračného súboru.
- `landuseChoice` – názvy typov povrchov prečítané z konfiguračného súboru.
- `validator` – objekt triedy *Validator*, ktorý slúži ku kontrole užívateľských dát.
- `processor` – objekt triedy *Processor*, ktorý slúži k vytvoreniu TPR.
- `tableRowCount` – počet riadkov tabuľky s nastavením textúr.



Obrázok 21 Implementácia triedy TprtFrame

Metódy triedy TprtFrame je možné rozdeliť do troch skupín. Prefix „add“ znamená, že metóda pridáva prvky užívateľského prostredia alebo ho aktualizuje. Predpona „on“ predstavuje odozvu systému na aktivitu užívateľa. Treťou skupinou sú metódy, ktoré riešia pomocné a prevádzkové funkcie. Konkrétne sa jedná o metódy:

- `add_bitmap_button()` – pridá do rozhrania bitmapové tlačidlo, ktoré grafika sa mení v závislosti na type vstupu. K tlačidlu je pridaná aj funkcia odozvy na kliknutie a informačná pomôcka (tooltip – nefunguje v ArcMap). Používa sa v `add_basic_widget()` a `add_table_row()`.
- `add_basic_widget()` – pridá do rozhrania základný prvok tvorený nadpisom, jednoriadkovým textovým poľom a obrázkovým tlačidlom. Textové pole je zviazané s funkciou zobrazenia nápovedy (odozva na kliknutie).
- `add_table_row()` – pridá do tabuľky nastavení textúr ďalší riadok. Jeden riadok tabuľky pozostáva z jednoriadkového textového poľa pre zobrazenie

vybranej vrstvy, tlačidla pre pridanie vektorových dát, tlačidla pre pridanie rastrových dát, roletového menu s výberom typu textúr, roletového menu s výberom typu povrchu a pravouholníkom pre výber farby textúry. Všetky uvedené prvky ponúkajú aj príslušnú nápovedu.

- `add_message()` – v stavovom riadku zobrazí správu pozostávajúcu z časovej značky a odpovedajúcej správy predanej konkrétnou metódou. Používa sa v `on_open_or_save_file()`, `on_change_config()`, `on_change_hillshading()` a `final_data_check()`.
- `on_open_or_save_file()` – zobrazuje dialógové okno pre výber súboru či zložky alebo pre uloženie súboru, v závislosti na type vstupu. V prípade zadania geografických dát je volaná príslušná funkcia triedy `Validator`, ktorá ich adekvátnym spôsobom otestuje. Ďalej je v prípade zadania vrstvy textúry zmenená ponuka pre výber typu textúry tak, aby nemohlo dôjsť k nesprávnej kombinácii typu priestorových dát a typu textúry. Popisovaná zmena je aplikovaná v závislosti na type vstupných geodát (línioví alebo polygónový `ShapeFile`, `raster`). V prípade zadania výstupu nástroja je testovaná možnosť zápisu do zvolenej zložky. Metóda tiež aktualizuje náležité prvky užívateľského rozhrania a stavový riadok. Používa sa v `add_bitmap_button()`.
- `on_change_color()` – zobrazuje dialógové okno pre výber farby textúry a aktualizuje farbu daného prvku rozhrania.
- `on_change_config()` – metóda realizuje odozvu na zmenu konfiguračného súboru. Pri každej zmene tohto súboru je najprv celý formulár zresetovaný. Ďalej je zadaný konfiguračný súbor podrobený validácii. Za predpokladu úspešnej validácie sú aktualizované ponuky s výberom typov textúr a typov povrchov ako aj hodnoty atribútov `textureChoice` a `landuseChoice`. Opäť je aktualizovaný aj stavový riadok.
- `on_change_hillshading()` – odozva na zmenu prednastavených hodnôt azimutu a výšky svetelného zdroja. V prípade zadania nekorektných hodnôt sú použité pôvodné hodnoty a užívateľ je na situáciu upozornený v stavovom riadku.
- `on_add_table_row()` – reakcia pri kliknutí na tlačidlo pridať riadok tabuľky. Metóda pridá ďalší riadok tabuľky s nastaveniami textúr pričom pri každom

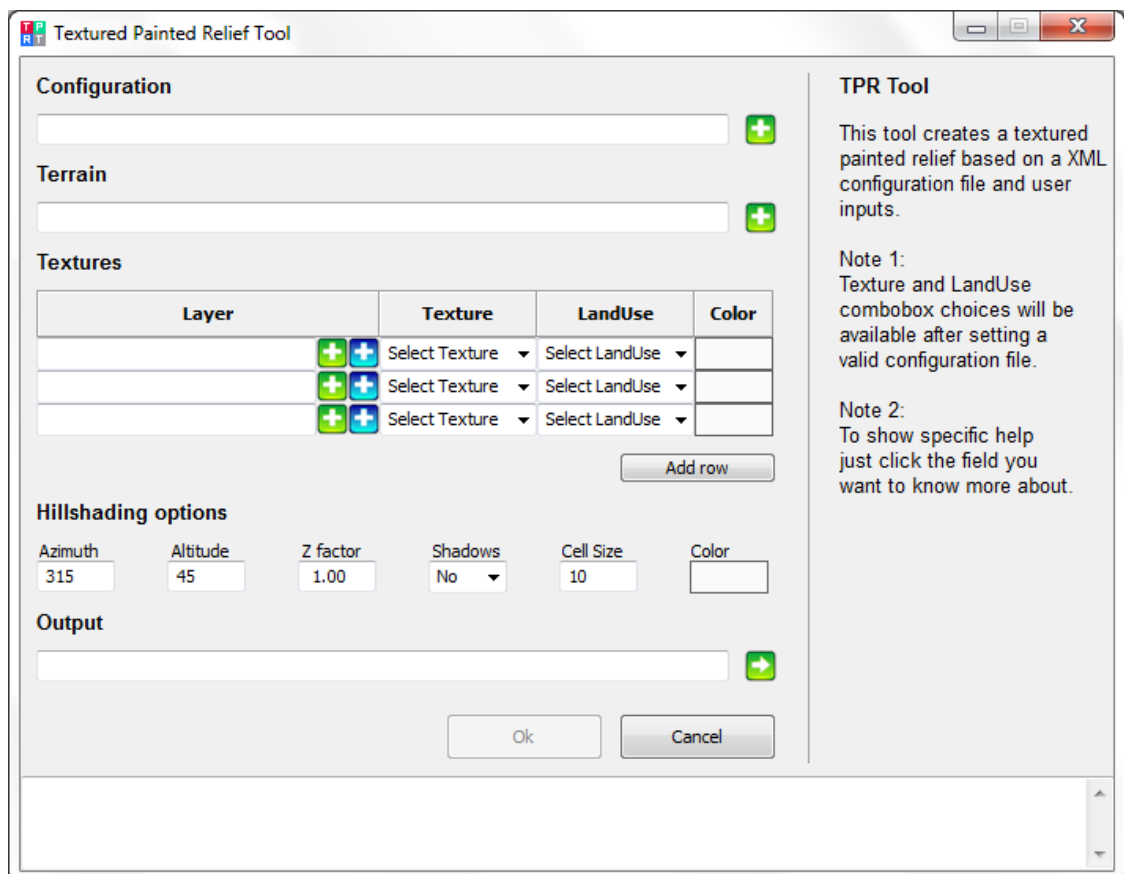


pridání zároveň navýši hodnotu atribútu `tableRowCount`. Maximálny počet riadkov tabuľky je nastavený na 10. Pri dosiahnutí tohto počtu je tlačidlo pre pridávanie ďalších riadkov deaktivované.

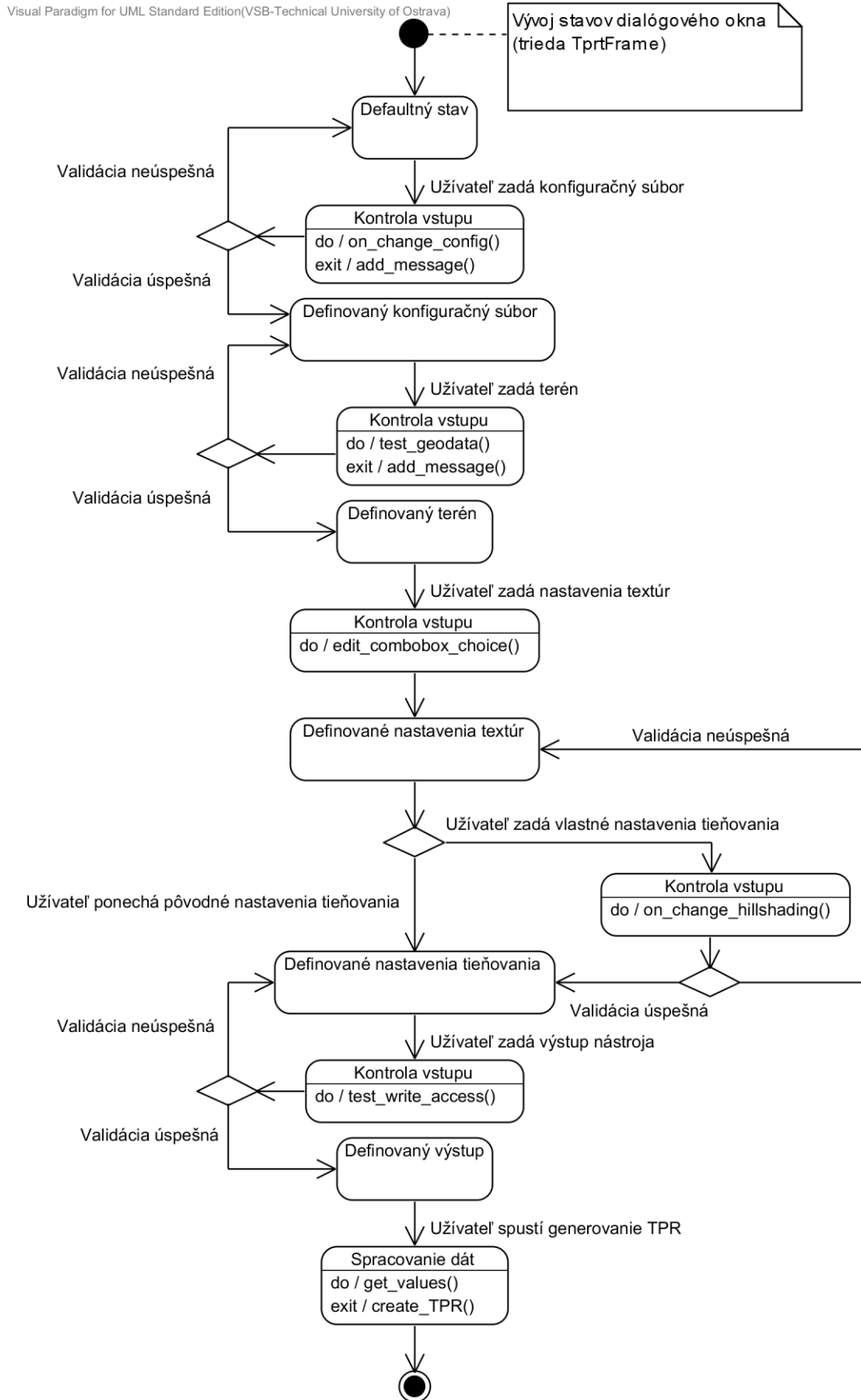
- `on_close()` – odozva na vypnutie dialógového okna klasickým spôsobom alebo kliknutím na tlačidlo „Close“. Metóda rozoznáva dva druhy vypnutia dialógu. Objekt okna je kompletne zmazaný v prípade, ak je TPRT spustený ako samostatná aplikácia. Pri ďalšom spustení sa celé okno vytvorí znova. Ak však TPRT beží v prostredí ArcMap nie je možné použiť uvedený spôsob, pretože objekt okna nie je možné zmazať (dôvodom je princíp fungovania ArcGIS Python add-ins, resp. frameworku wxPython). Preto je celý formulár najprv zresetovaný do pôvodného stavu, v prípade nutnosti zmazaný objekt realizujúci logiku nástroja (atribút `processor`) a dialóg na záver skrytý. V prípade opätovného spustenia nástroja sa znova zobrazí to isté, avšak zresetované okno.
- `reset_inputs()` – ako napovedá názov, metóda realizuje reset GUI do pôvodného stavu. Používa sa v `on_close()` a `on_change_config()`.
- `edit_combobox_choices()` – edituje výber typov textúr v závislosti na type vstupných geografických dát. Jedná sa najmä o odstránenie možnosti zvoziť líniovú textúru s nelíniovými dátami. To znamená, že ak užívateľ zadá ako vrstvu textúry líniový ShapeFile, pri výbere typu textúry bude mať k dispozícii len líniové textúry. Naopak, v prípade nelíniových dát budú na výber všetky typy textúr, s výnimkou líniových. Metóda je aktívnou súčasťou `on_open_or_save_file()`.
- `show_help()` – zaisťuje zobrazenie, resp. aktualizáciu, nápovedy. Používa sa v `add_basic_widget()`, `add_table_row()` a `on_change_color()`.
- `get_values()` – metóda implementuje prebratie užívateľských dát z GUI a ich úpravu a naformátovanie do podoby vyžadovanej triedou `Processor`. Hlavnou úlohou je transformácia názvov typov textúr a povrchov na ich konkrétne parametre načítané z konfiguračného súboru. Dôležité je uviesť, že v prípade nezadania vrstvy, typu textúry alebo povrchu nebude daný riadok s nastaveniami textúry zaradený do spracovania. Používa sa v `create_tpr()` a vracia otestované, konvertované a doplnené dáta.

- `final_data_check()` – testuje zadanie všetkých potrebných dát a ich správnosť. Za predpokladu kladného výsledku testu aktivuje tlačidlo pre spustenie generovania TPR. Podmienkami sú zadanie konfiguračného súboru, terénu a minimálne jednej korektné nastavenej textúry. Metóda je použitá v `add_basic_widget()` pri zadávaní cesty a názvu výstupu, kedy sú dáta podrobené kontrole a jej výsledok je zobrazený užívateľovi.
- `create_tpr()` – inicializuje atribút procesor a tým objekt triedy Processor, spúšťa vytvorenie farebného tieňovaného reliéfu s textúrou podľa užívateľom stanovených parametrov. Predáva a zobrazuje odpovedajúce správy o generovaní TPR stavovému riadku.

Pri implementácii GUI nástroja boli použité voľne dostupné obrázky tlačidiel prevzaté z webu <http://www.iconarchive.com>. Postup spustenia z ArcMap a popis prvkov GUI je súčasťou dokumentácie nástroja (viď. Zoznam príloh).

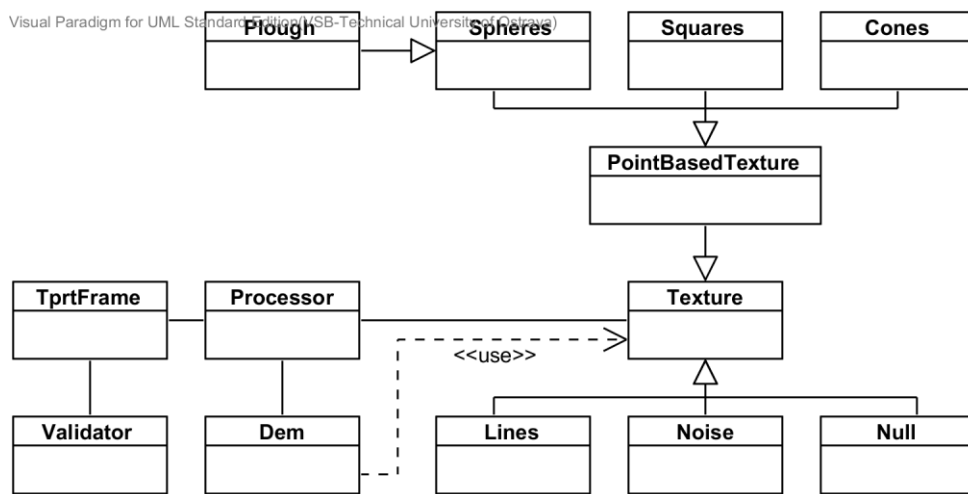


Obrázok 22 Grafické užívateľské rozhranie nástroja TPRT



Obrázok 23 Stavový diagram GUI nástroja TPR

Po zadaní odpovídajících vstupov a spustení generovania TPR, môže rozhranie nástroja dočasne prejsť do režimu bez odozvy. Tento stav trvá len kým sú vykonané prípravné práce (vytvorenie workspace, inicializácia textúr, ...) a ďalej je rozhranie normálne použiteľné. O priebehu a dĺžke trvania jednotlivých spracovávaných úloh je užívateľ opäť informovaný v stavovom riadku. Výstupný raster, spolu s príslušnými world a pomocnými súbormi, je umiestnený v zadanej zložke a v prípade, že TPRT beží z prostredia ArcMap je tiež pridaný do aktuálneho projektu.



Obrázok 24 Zjednodušený diagram tried nástroja TPRT

## 11.3 Spolupráca s ArcMap

Spoluprácu nástroja TPRT s ArcMap, resp. možnosť jeho spustenia z rozhrania tejto aplikácie, rieši modul TexturedPaintedRelief\_addin.py. Modul bol kompletne prebratý z rozšírenia RenameDataFrame [32], ktoré bolo predstavené na oficiálnom ESRI blogu a slúžilo ako ukážka možnosti spolupráce wxPython s ArcGIS. Kľúčová je spolupráca modulov PythonAddins a PySimpleApp. Spomínaný príspevok však v čase písania tejto diplomovej práce už nebol k dispozícii online, preto nie je uvedený ani v zozname použitej literatúry.

## Záver

Cieľom diplomovej práce bolo automatizovať tvorbu farebného tieňovaného reliéfu s textúrou. Výsledkom procesu vývoja je TPRT – Textured Painted Relief Tool. Jedná sa o rozšírenie (add-in) ArcGIS implementované objektovým prístupom čisto v jazyku Python. Nástroj je postavený na báze postupov a princípov navrhnutých Jefferym Nighbertom. Pomocou modulu ArcPy realizuje generovanie procedurálnych textúr a ich ďalšiu manipuláciu až po vytvorenie cieľového výstupu. Vďaka frameworku wxPython disponuje intuitívnym grafickým užívateľským rozhraním, ktoré je možné spustiť z prostredia ArcMap alebo ako samostatnú aplikáciu. TPRT tak rozširuje, v čase finalizácie tejto diplomovej práce, skromnú ponuku aplikácií či nástrojov pre vizualizáciu priestorových dát pomocou textúr. Prináša pohodlný a jednoduchý spôsob pre efektné znázornenie geografických informácií v 2D priestore, to všetko v závislosti na preferenciách užívateľa zapísaných v konfiguračnom súbore.

V priebehu implementácie a testovania nástroja bolo overené, že pravdepodobnosť úspechu a neúspechu vytvorenia realistického znázornenia záujmovej lokality je skutočne 50:50. Vizualizácia zemského povrchu prostredníctvom textúrovania nie je vhodná pre všetky typy územia. Nástroj podáva dobré výsledky najmä v miestach s členitejším terénom, v ktorých prevládajú prírodné prvky krajiny. Veľmi dôležitá je samozrejme dostupnosť kvalitných dát, adekvátne nastavenia textúr a správne aplikovaná farebná schéma, ktorá hrá z pohľadu efektivity znázornenia najdôležitejšiu rolu.

TPRT dokáže spracovať len formáty ESRI ShapeFile, Grid a TIN, čo vyplýva zo skutočnosti, že pilotná verzia nástroja je koncipovaná ako extenzia ArcGIS. Budúci vývoj nástroja by tak mohol smerovať k rozšíreniu podporovaných formátov vstupných dát. Ďalším zaujímavým vylepšením by mohlo byť generovanie textúr založené na dátach v atribútových tabuľkách vstupných vrstiev. Príkladom môže byť textúra rôzne vysokých budov alebo odlišný smer orby jednotlivých polygónov v prípade textúry ornej pôdy. Užívateľský komfort by vylepšilo vytvorenie dialógu umožňujúceho výber ako súborových tak kontajnerových geodát, spolu s ich vizuálnym odlišením od ostatných súborov a zložiek. Priestor pre vylepšovanie nástroja je tak skutočne rozmanitý, podstatné je však zladenia funkčných možností spolu s pohodlným a jednoduchým ovládaním.

## Zoznam literatúry a použitých zdrojov

- [1] *About Python* [online]. 2013 [cit. 2013-02-07]. Python. Dostupné na WWW: <<http://www.python.org/about/>>.
- [2] *Add-ins for ArcGIS Desktop 10* [online]. 2010-05-05 [cit. 2013-02-08]. Esri. Dostupné na WWW: <<http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/05/05/add-ins-for-arcgis-desktop-10/>>
- [3] *Adobe Illustrator* [online]. 2013 [cit. 2013-02-07]. Stahuj. Dostupné na WWW: <[http://www.stahuj.centrum.cz/grafika\\_a\\_design/tvorba\\_grafiky/vektorove\\_editory/a\\_dobe-illustrator/](http://www.stahuj.centrum.cz/grafika_a_design/tvorba_grafiky/vektorove_editory/a_dobe-illustrator/)>.
- [4] *ArcMap* [online]. 2012 [cit. 2013-02-07]. ArcData. Dostupné na WWW: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/arcgis-for-desktop/aplikace-arcgis-for-desktop/#ArcMap>>.
- [5] BLIŠŤAN, Peter: *Úvod do počítačovej grafiky a CAD systémov* [online]. Košice: TUKE Košice, 2004. 72 s. [cit. 2013-02-12]. Dostupné na WWW: <<http://sk.scribd.com/doc/12694129/13/Bitmapove-%E2%80%93-rastrove-formaty>>. ISBN 80–8073–249–3
- [6] BRABEC, Stanislav: *Grafika v UNIXu - bitmapové formáty TIFF a JPEG* [online]. 2002-01-07 [cit. 2013-02-13]. Root. Dostupné na WWW: <<http://www.root.cz/clanky/bitmapove-formaty-tiff-jpeg/>>.
- [7] *ESRI ArcInfo Grid* [online]. 2011-10-24 [cit. 2013-02-13]. Digital preservation. Dostupné na WWW: <<http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/fdd000281.shtml>>.
- [8] *GeoTIFF - A standard image file format for GIS applications* [online]. 2005 [cit. 2013-04-14]. GIS Development. Dostupné na WWW: <<http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/mi03117.htm>>.
- [9] HUBER, William: *Generate a grid of latitude values* [online]. 2011-03-02 [cit. 2013-03-01]. ArcGIS Resources. Dostupné na WWW: <<http://forums.arcgis.com/threads/3644-Generate-a-grid-of-latitude-values?p=74307&viewfull=1#post74307>>.
- [10] CHILDS, Colin: *The Top Nine Reasons to Use a File Geodatabase* [online]. 2009. [cit. 2013-04-08]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://www.esri.com/news/arcuser/0309/files/9reasons.pdf>>.

- [11] *Introduction to XML* [online]. 2013 [cit. 2013-02-07]. w3schools. Dostupné na WWW: <[http://www.w3schools.com/xml/xml\\_what\\_is.asp](http://www.w3schools.com/xml/xml_what_is.asp)>.
- [12] JANÁK, Robert: *PNG - dokonalý formát pro přenos obrazových dat* [online]. 2002-10-14 [cit. 2013-02-12]. Interval. Dostupné na WWW: <<http://interval.cz/clanky/png-dokonal-y-format-pro-prenos-obrazovych-dat/>>.
- [13] KRŠEK, Přemysl: *Textury 3D Objektů* [online]. 2004-04-21 [cit. 2013-02-16]. VUT. Dostupné na WWW: <[http://podfuck.net/dokumenty/stazeni\\_souboru/932/ZPG\\_10\\_prednaska.pdf](http://podfuck.net/dokumenty/stazeni_souboru/932/ZPG_10_prednaska.pdf)>.
- [14] *lxml - XML and HTML with Python* [online]. 2005 [cit. 2013-02-07]. lxml. Dostupné na WWW: <<http://lxml.de/index.html>>.
- [15] MOLYNEUX, Craig: *Technical Tips - Bumpmapping* [online]. 2007 [cit. 2013-02-09]. Spatial Vision. Dostupné na WWW: <<http://www.spatialvision.com.au/index.php/technical-tips/125.html>>.
- [16] NAGI, Rajinder et al.: *ArcGIS bump map model* [online]. 2009 [cit. 2013-03-05]. ESRI. Dostupné na WWW: <[http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/resources/presentations/Buckley\\_2009\\_NACISPCD\\_Sacramento.pdf](http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/resources/presentations/Buckley_2009_NACISPCD_Sacramento.pdf)>.
- [17] NAGI, Rajinder: *Introducing the ArcGIS bump map tools* [online]. 2010-01-21 [cit. 2013-02-09]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/01/21/introducing-the-arcgis-bump-map-tools>>.
- [18] NIGHBERT, Jeffery: *A concise history of bump mapping* [online]. 2010-01-27 [cit. 2013-02-26]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/01/27/a-concise-history-of-bump-mapping/>>.
- [19] NIGHBERT, Jeffery: *Bump mapping* [online]. 2010 [cit. 2013-03-31]. ESRI. Dostupné na WWW: <[http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/resources/presentations/Nighbert\\_2010\\_ESRIUC\\_SanDiego.pdf](http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/resources/presentations/Nighbert_2010_ESRIUC_SanDiego.pdf)>.
- [20] NIGHBERT, Jeffery: *Creating Beautiful "Painted Relief" Using Arc/Info* [online]. 1999 [cit. 2013-02-26]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap182/p182.htm>>.
- [21] NIGHBERT, Jeffery: *Characterizing Landscapes for Visualization Through Bump Mapping and Spatial Analyst* [online]. 2009-09-10 [cit. 2013-02-26]. ESRI. Dostupné na WWW: <[http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/resources/presentations/Nighbert\\_2003\\_ESRIUC\\_SanDiego.pdf](http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/resources/presentations/Nighbert_2003_ESRIUC_SanDiego.pdf)>.

- [22] NIGHBERT, Jeffery: *Characterizing Landscapes for Visualization Through “Bump Mapping” and Spatial Analyst* [online]. 2003-08-05 [cit. 2013-02-26]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc03/p0137.pdf>>.
- [23] NIGHBERT, Jeffery: *Using “Materials and Textures” in Cartographic Presentations A.K.A. “Bump Mapping”* [online]. 2002 [cit. 2013-02-26]. Commission on Mountain Cartography. Dostupné na WWW: <[http://www.mountaintcartography.org/mt\\_hood/pdfs/nighbert\\_bump2.pdf](http://www.mountaintcartography.org/mt_hood/pdfs/nighbert_bump2.pdf)>.
- [24] NIGHBERT, Jeffery: *Using ArcGIS to Apply Textures and Materials to Relief Backdrops in Cartographic Presentations* [online]. 2002 [cit. 2013-02-09]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc02/pap0400/p0400.htm>>.
- [25] *Notepad++* [online]. 2013 [cit. 2013-02-07]. Notepad++. Dostupné na WWW: <<http://notepad-plus-plus.org/>>.
- [26] *Parallel Processing Factor (Environment setting)* [online]. 2012-10-29 [cit. 2013-04-16]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/001w0000004m000000>>.
- [27] PATTERSON, Tom: *Getting Real: Reflecting on the New Look of National Park Service Maps* [online]. 2002-06-16 [cit. 2013-02-22]. Commission on Mountain Cartography. Dostupné na WWW: <[http://www.mountaintcartography.org/mt\\_hood/pdfs/patterson1.pdf](http://www.mountaintcartography.org/mt_hood/pdfs/patterson1.pdf)>.
- [28] *Pseudo-natural Maps* [online]. 2013-01-12 [cit. 2013-02-09]. Oregon State University. Dostupné na WWW: <<http://cartography.oregonstate.edu/pseudo-natural/>>.
- [29] *Pyscripter* [online]. 2010 [cit. 2013-02-07]. Google. Dostupné na WWW: <<http://code.google.com/p/pyscripter/>>.
- [30] RAMSETH, Ben: *Python in ArcGIS: An Introduction* [online]. 2011 [cit. 2013-02-07]. ESRI. Dostupné na WWW: <[http://proceedings.esri.com/library/userconf/serug11/papers/tw/serug\\_2011\\_python\\_in\\_arcgis\\_introduction.pdf](http://proceedings.esri.com/library/userconf/serug11/papers/tw/serug_2011_python_in_arcgis_introduction.pdf)>
- [31] RAPANT, Petr: *Geoinformatika a geoinformační technologie* [online]. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2006. 500 s. [cit. 2013-02-12]. Dostupné na WWW: <[http://gis.vsb.cz/rapant/publikace/knihy/GI\\_GIT.pdf](http://gis.vsb.cz/rapant/publikace/knihy/GI_GIT.pdf)>. ISBN 80-248-1264-9.



- [32] *RenameDataFrame* [online]. 2012-05-03 [cit. 2013-04-09]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=36b471bafaf54892abbca0e7f0e2b917>>.
- [33] SANDVIK, Bjørn: *Creating a shaded relief map of New Zealand* [online]. 2012-09-28 [cit. 2013-02-09]. Thematic map blog. Dostupné na WWW: <<http://blog.thematicmapping.org/2012/09/creating-shaded-relief-map-of-new.html>>.
- [34] SKŘIVAN, Jaromír: *GIF, JPEG a PNG - jak a kdy je použít?* [online]. 2002-05-16 [cit. 2013-02-12]. Interval. Dostupné na WWW: <<http://interval.cz/clanky/gif-jpeg-a-png-jak-a-kdy-je-pouzit/>>.
- [35] *Slovníček pojmů z literatury a mluvnice - Realismus* [online]. 2009-09-16 [cit. 2013-02-22]. Český-jazyk. Dostupné na WWW: <<http://www.cesky-jazyk.cz/slovnicek-pojmu/realismus/>>.
- [36] STRACHOTA, Pavel: *Mapování textur* [online]. 2010-04-28 [cit. 2013-02-16]. CVUT. Dostupné na WWW: <[http://saint-paul.fjfi.cvut.cz/base/public-filesystem/admin-upload/POGR/POGR2/11.mapovani\\_textur.pdf](http://saint-paul.fjfi.cvut.cz/base/public-filesystem/admin-upload/POGR/POGR2/11.mapovani_textur.pdf)>.
- [37] *Visual Paradigm for UML* [online]. 2013-01-25 [cit. 2013-03-26]. Visual-Paradigm. Dostupné na WWW: <<http://www.visual-paradigm.com/product/vpuml/>>.
- [38] *What is a Python add-in?* [online]. 2012-10-29 [cit. 2013-02-08]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html//014p00000025000000>>.
- [39] *What is wxPython?* [online]. 2005 [cit. 2013-02-07]. wxPython. Dostupné na WWW: <<http://www.wxpython.org/what.php>>.
- [40] *World files for raster datasets* [online]. 2012-07-30 [cit. 2013-02-13]. ESRI. Dostupné na WWW: <<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html//0B009t00000028000000>>.
- [41] *XSD (XML Schema Definition)* [online]. 2005 [cit. 2013-02-07]. SearchSOA. Dostupné na WWW: <<http://searchsoa.techtarget.com/definition/XSD>>.
- [42] ŽÁRA, Jiří et al.: *Moderní počítačová grafika*. 2. vyd. Brno: Computer Press, 2004. 626 s. [cit. 2013-02-18]. ISBN 80-251-0454-0.

## Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Princíp získania hrboľatej textúry [42].....	6
Obrázok 2 Eduard Imhof – Valensee, 1938 [28] .....	9
Obrázok 3 Index realizmu mapových prvkov [27] .....	11
Obrázok 4 Diagram prípadov použitia nástroja TPRT .....	20
Obrázok 5 Porovnanie korektnej (vľavo) a inverznej (vpravo) kužeľovej textúry .....	23
Obrázok 6 Porovnanie textúry s vlastnou (vľavo) a pevnou (vpravo) veľkosťou bunky ...	24
Obrázok 7 Implementácia textúr .....	26
Obrázok 8 Efekt náhodnosti (v postupnosti zľava: náhodnosť = 0, 2, 5).....	27
Obrázok 9 Nepravidelná pravouhelníková textúra .....	27
Obrázok 10 Nepravidelná kužeľová textúra .....	28
Obrázok 11 Nepravidelná hemisférická textúra.....	29
Obrázok 12 Textúra ornej pôdy .....	30
Obrázok 13 Hemisférická textúra o náhodnej veľkosti objektov; zľava textúra bez úprav, odfiltrované nadbytočné objekty a obmedzenie Thiesenovými polygónmi .....	31
Obrázok 14 Textúra šumu .....	32
Obrázok 15 Implementácia triedy Dem .....	34
Obrázok 16 Digitálny model terénu a textúry pred sčítaním (vľavo) a po sčítaní (vpravo)	35
Obrázok 17 Implementácia triedy Processor .....	36
Obrázok 18 Zjednodušený kartografický model vysvetľujúci generovanie TPR.....	40
Obrázok 19 Ukážka výstupu nástroja TPRT doplnená o štandardné prvky mapovej kompozície.....	41
Obrázok 20 Implementácia triedy Validator .....	44
Obrázok 21 Implementácia triedy TprtfFrame .....	46
Obrázok 22 Grafické užívateľské rozhranie nástroja TPRT .....	49
Obrázok 23 Stavový diagram GUI nástroja TPRT .....	50
Obrázok 24 Zjednodušený diagram tried nástroja TPRT .....	51

## Zoznam príloh

Jedinou přílohou diplomovej práce je CD, ktoré obsahuje:

- táto diplomová práca vo formáte PDF
- zložka ArcpyRasterMultiprocessing
  - zložka ArcpyRasterMultiprocessing.htm\_files – súbory web stránky ArcpyRasterMultiprocessing.htm
  - zložka SampleData – ukázkové dáta
  - ArcpyRasterMultiprocessing.htm – web stránka s popisom skriptu
  - ArcpyRasterMultiprocessing.py – vlastný skript
- zložka TPRT
  - zložka Addin – obsahuje rozšírenie TPRT.esriaddin vrátane zdrojových skriptov, obrázkov GUI a ďalších potrebných súborov
  - zložka Documentation
    - cfg.xml (ukážka konfiguračného súboru)
    - cfg.xsd (XML schéma ukázkového konfiguračného súboru)
    - TPRT Documentation.pdf
    - TPRT Cartographic Model.png
    - TPRT Class Diagram.png
  - zložka InstallPythonModules
    - lxml-2.3.6.win32-py2.7.exe
    - wxPython2.8-win32-unicode-2.8.12.1-py27.exe