

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



Jan PICEK

**VIZUALIZACE DIGITÁLNÍCH MODELŮ RELIÉFU
VYTVOŘENÝCH Z DAT LETECKÉHO LASEROVÉHO
SKENOVÁNÍ**

**VISUALIZATION OF DIGITAL TERRAIN MODELS MADE FROM
AIRBORNE LASER SCANNING DATA**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Lysák

Praha 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 9. 5. 2014

.....

Jan Pícek

Poděkování

Na tomto místě bych v první řadě rád velmi poděkoval vedoucímu práce panu RNDr. Jakubovi Lysákovi za veškerý čas a energii, kterou strávil při připomínkování práce a za cenné rady a zkušenosti při tvorbě jednotlivých kapitol. Dále pak ČÚZK, Ústavu archeologické památkové péče severozápadních Čech a oddílu orientačního běhu TJ Tatran Jablonec za poskytnutí dat pro tuto práci. V neposlední řadě patří velký dík mé rodině za podporu během celého studia.

Vizualizace digitálních modelů reliéfu vytvořených z dat leteckého laserového skenování

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je zhodnotit možnosti 2D vizualizace digitálních modelů reliéfu vytvořených z dat leteckého laserového skenování. Jednotlivé metody jsou podrobně popsány včetně jejich parametrů a variant. Důraz je kladen na metody využitelné pro topografické mapování (mapy pro orientační sporty) a pro kartografickou vizualizaci. Současně jsou všechny uvedené metody prakticky otestovány na různých datových sadách a územích s odlišnými typy reliéfu (rovina, horský terén, skalní město, oblast s negativními tvary terénu). Cílem práce je pro každý typ reliéfu najít vhodnou metodu, která nejlépe vystihuje charakteristické rysy v dané oblasti. Na příkladu map pro orientační sporty jsou rozepsány metody pro detekci různých typů objektů (skály, cesty, vodní toky aj.) z dat leteckého laserové skenování pomocí rastrových modelů reliéfu.

Klíčová slova: letecké laserové skenování, digitální model reliéfu, vizualizace, stínování

Visualization of digital terrain models made from airborne laser scanning data

Abstract

The aim of this study is to evaluate opportunities of 2D visualization of digital terrain models made from airborne laser scanning data. Each method is described in detail with other parameters and approach. The focus is put on methods which are useful for the topographic mapping (f. e. orienteering maps) and for cartographic visualization. All this methods are tested for different data and type of relief (plain, mountainous, rock city, area with negative shapes). The aim of study is to find the optimal method for each type of relief which expresses most of typical features. There are shown methods on the maps for orienteering sports for detection of different object from airborne laser scanning data.

Keywords: airborne laser scanning, digital terrain model, data visualization, hillshading

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	8
1 Úvod.....	10
2 Letecké laserové skenování	11
2.1 Hustota dat	12
2.2 Formát dat	13
2.3 Vizualizace LLS dat v softwaru ArcGIS a OCAD	13
3 Digitální model reliéfu	14
3.1 DMR v Česku.....	15
3.2 Celosvětová DMR.....	18
4 Metody vizualizace rastrových modelů reliéfu.....	20
4.1 Stínování.....	20
4.1.1 Základní typy stínovaného reliéfu	22
4.1.2 Tvorba stínovaného modelu	24
4.1.3 Přístupy ve stínování.....	27
4.1.4 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech	33
4.2 Barevná hypsometrie	35
4.2.1 Přístupy v barevné hypsometrii	35
4.2.2 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech	38
4.3 Sklon	40
4.3.1 Přístupy ve výpočtu sklonu.....	41
4.3.2 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech	43
4.4 Sky-view faktor	44
4.4.1 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech	45
4.5 Lokální reliéf.....	47
4.5.1 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech	48
4.6 Křivost	49
4.6.1 Přístupy ve výpočtu křivosti.....	50
4.6.2 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech	51
5 Úprava modelu	52
6 Vhodnost využití jednotlivých rastrových modelů pro různé typy reliéfu.....	55
6.1 Vizualizace rastrových modelů v horském reliéfu.....	56
6.2 Vizualizace rastrových modelů v rovinatém reliéfu	57
6.3 Vizualizace rastrových modelů ve skalních městech.....	58

6.4 Vizualizace rastrových modelů v reliéfu s negativními tvary terénu.....	59
7 Detekce objektů z rastrových modelů reliéfu pro mapy OB	61
8 Závěr	69
POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE DAT	70
SEZNAM PŘÍLOH	75

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ASCII	American standard code for information interchange (americký standardní kód pro výměnu informací)
CAD	Computer aided design (speciální grafické programy pro projektování)
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMP	Digitální model povrchu
DMR	Digitální model reliéfu
GIS	Geografický informační systém
GPS	Global positioning system (globální polohovací systém)
KRNAP	Krkonošský národní park
LLS	Letecké laserové skenování
LRM	Local relief model (lokální reliéf)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
OB	Orientační běh
PCA	Principal Components Analysis (analýza hlavních komponent)
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SVF	Sky-view faktor
TIN	Triangular irregular network (nepravidelná trojúhelníková síť)
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZM 10	Základní mapa ČR v měřítku 1 : 10 000

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

- Obr. 1 Princip skenování území metodou LLS
- Obr. 2 Srovnání DMR 4 a 5G s daty LLS od Správy KRNP
- Obr. 3 Stav aktualizace produktu DMR 5G
- Obr. 4 Vizualizace části území u Berouna pomocí vrstevnic
- Obr. 5 Směr osvětlení vztažený na světové strany
- Obr. 6 Stínovaný reliéf pod různými směry osvětlení
- Obr. 7 Stínovaný reliéf s různými sklony dopadajících paprsků
- Obr. 8 Srovnání základních typů stínovaných reliéfů s vrstevnicemi v pohoří Tobacco Root
- Obr. 9 Manuální stínovaný reliéf
- Obr. 10 Grafické znázornění výpočtu váhy u jednotlivých snímků stínování z různých směrů
- Obr. 11 Srovnání stínování s jedním směrem osvětlení a metody PCA
- Obr. 12 Stínovaný reliéf se světlejším tónem pro plochý terén
- Obr. 13 Stínovaný reliéf s několika úpravami místního charakteru
- Obr. 14 Srovnání stínovaného reliéfu, který je možné vytvořit v programu OCAD
- Obr. 15 Srovnání výstupů funkce stínovaného reliéfu v programu QGIS
- Obr. 16 Srovnání hypsometrických stupnic barev
- Obr. 17 Barevná hypsometrie při použití odlišných funkcí v programu ArcGIS
- Obr. 18 Možné výstupy barevné hypsometrie z programu OCAD
- Obr. 19 Výpočet sklonu na pravoúhlém trojúhelníku
- Obr. 20 Označení buněk pro výpočet sklonu ve čtverci 3×3
- Obr. 21 Srovnání výstupů funkcí Slope (ArcGIS) a Calculate Slope Gradient (OCAD)
- Obr. 22 Parametry výpočtu sky-view faktoru znázorněné na polokouli
- Obr. 23 Srovnání výstupů SVF při zadání odlišných parametrů
- Obr. 24 Srovnání stínovaného a lokálního reliéfu
- Obr. 25 Vymezení pojmů konvexní a konkávní tvar
- Obr. 26 Schéma profilové křivosti
- Obr. 27 Schéma horizontální křivosti

- Obr. 28 Rozdíly křivostí vytvořené v programu ArcGIS
- Obr. 29 Problém hromady větví na pasece
- Obr. 30 Úprava stínovaného reliéfu se zdůrazněním cesty
- Obr. 31 Srovnání stínování s topografickým obsahem po úpravě modelu
- Obr. 32 Území, které byly použité pro vizualizaci rastrových modelů
- Obr. 33 Srovnání metod s detekcí skal v Krkonoších
- Obr. 34 Srovnání rastrových modelů v rovinatém reliéfu
- Obr. 35 Srovnání dostupných map skalního města s kartografickou vizualizací pomocí LLS dat
- Obr. 36 Srovnání SVF, barevné hypsometrie a jejich kombinace
- Obr. 37 Detailní náhled kombinace barevné hypsometrie a SVF
- Obr. 38 Srovnání vrstevnic a stínování (Berounsko)
- Obr. 39 Vizualizace terénu s hustou sítí cest
- Obr. 40 Problém krátkých pěšin při detekci z rastrových modelů
- Obr. 41 Hranice krajinného pokryvu na rastrových modelech
- Obr. 42 Drobné anomálie v horském terénu na různých rastrových modelech
- Obr. 43 Detekce kamene pomocí barevné hypsometrie - srovnání
- Obr. 44 Kámen na místě anomálie barevné hypsometrie
- Obr. 45 Srovnání funkce Slope gradient a stínování v OCADu (horský reliéf)
- Obr. 46 Srovnání vrcholků a tvarů skalisek
- Obr. 47 Detekované prvky v zastavěné oblasti z DMR
- Obr. 48 Srovnání rastrových modelů k identifikaci vodních toků a zářezů

Tab. 1 Barevné intervaly jednotlivých výškových pásem A. Papena

Tab. 2 Klasifikace ploch dle sklonu

1 Úvod

Letecké laserové skenování (dále LLS) je současným fenoménem na poli kartografie a dálkového průzkumu Země. Data pocházející z LLS mají velké využití v komerční i státní sféře. Pokrok v mapování v porovnání s fotogrammetrií přinášejí zejména v zalesněných oblastech. Pro efektivní využití dat je třeba jejich vhodná vizualizace, která usnadní interpretaci a detekuje takové objekty, které pro zkoumaný jev nebo oblast potřebujeme. To je hlavní téma této bakalářské práce.

S daty LLS jsem se poprvé setkal v roce 2011 při přípravě mapy pro orientační běh (OB). Byl jsem fascinován jejich přesností v porovnání se Základní mapou ČR 1 : 10 000 a postupně objevoval další možnosti vizualizace. Téma předložené práce proto navazuje na mé praktické zkušenosti s touto problematikou, ale zároveň zahrnuje celou řadu postupů, se kterými jsem se setkal poprvé.

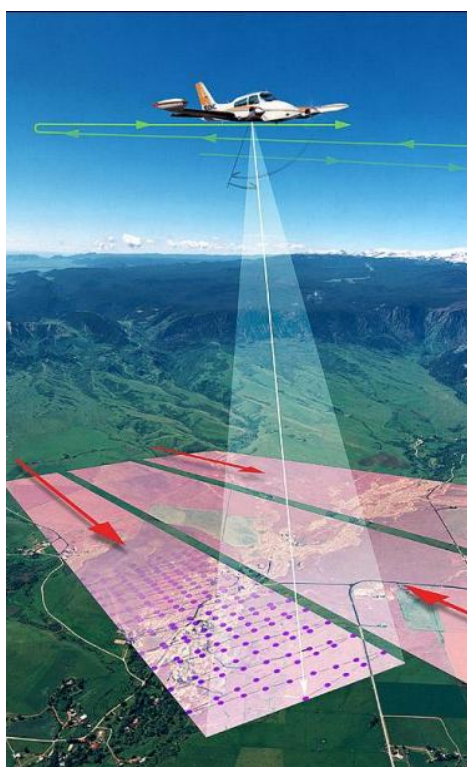
Cílem této bakalářské práce je poskytnout v rámci možností komplexní pohled na vybrané metody rastrových modelů reliéfu a zhodnotit jejich využitelnost pro odlišné typy reliéfu. Dalším cílem je vizualizovat jednotlivé rastrové modely tak, abychom z nich mohli interpretovat co nejvíce různých objektů, které jsou důležité pro podrobné topografické mapování.

Bakalářská práce je členěná do několika částí. V prvních kapitolách je krátce rozebrána problematika leteckého laserového skenování a digitálního modelu reliéfu. Důraz je kladen na podrobný popis rastrových modelů reliéfu. První skupinu modelů tvoří ty, které jsou implementovány do celé řady programů (stínování, barevná hypsometrie, sklon), dále jsou popsány i specifické modely, které vznikly v posledních letech a jsou postavené na datech pocházející z LLS (např. sky-view factor nebo lokální reliéf). Praktická část (kapitoly 5-7) se zabývá vizualizací a drobnou úpravou modelů, které jsou vhodné pro odlišné typy reliéfu (horský, rovinatý, skalní město, terén s negativními tvary). K testování bylo využito osm odlišných rastrových modelů, které byly popsány v první části bakalářské práce. Poslední kapitolou je detekce objektů z dat LLS při využití rastrových modelů na příkladu map pro orientační běh.

Pro praktickou práci byly použity 2 hlavní programy OCAD a ArcGIS, které byly doplňovány dalšími s ohledem na výběr modelu (RVT, QGIS aj.).

2 Letecké laserové skenování

Letecké laserové skenování představuje způsob, jak získat podrobná data o zemském povrchu. Princip spočívá ve vysílání svazků laserových paprsků odražejících se od zemského povrchu ze skeneru, který je připevněn na pohybujiícím leteckém nosiči (viz Obr. 1). Poloha bodu se určí z času mezi vysláním paprsku a dopadem zpátky na nosič, přičemž se využívá navigační systém GPS a inerciální měřicí jednotka pro aktuální polohu nosiče nad územím. Oproti fotogrammetrii metoda nevyužívá sluneční svit, LLS má vlastní zdroj záření (Šíma 2009).



Obr. 1: Princip skenování území metodou LLS

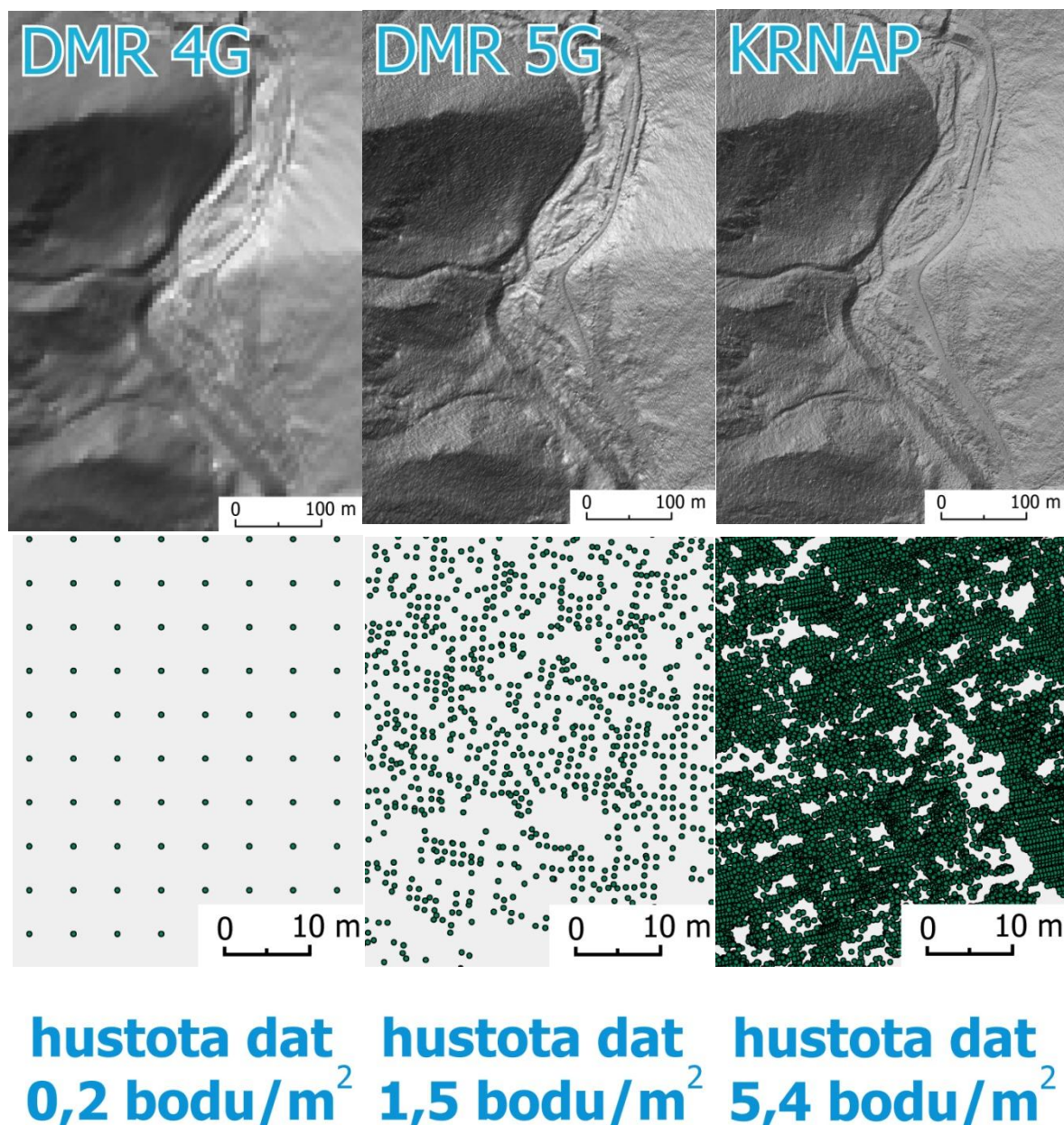
Zdroj: Smith (2014)

Technologie leteckého laserového skenování byla vyvinuta před více než 40 lety k mapování částic v atmosféře. Během 80. let minulého století došlo z důvodu vývoje GPS k zpřesňování polohy skenovací jednotky a začaly se zjišťovat i informace o zemském povrchu. Vedle leteckého skenování se uplatňovala i metoda pozemního skenování, kde byl povrch mapován s přesností 1 cm (NOAA 2012).

Data, která jsou pořízena LLS, mají podobu tzv. mračna bodů. Jsou netříděná, nerovnoměrně rozmístěná a pro další účely se musí zpracovat. Data o zemském terénu jsou základem pro tvorbu digitálního modelu reliéfu (DMR), přidané informace o výšce vegetace nebo budov pro digitální model povrchu (DMP).

2.1 Hustota dat

Důležitým parametrem LLS je hustota skenování, která závisí na výšce a rychlosti letu, frekvenci skeneru a počtu a velikosti překryvů letových pásů nad daným územím. Čím je hustota vyšší, výsledek je zpravidla lepší pro interpretaci dat. Volba hustoty by se ale měla odvíjet od vybraného jevu, který prostřednictvím LLS pozorujeme. Pro detekci archeologických nálezů je nutná hustota dat alespoň 1 bod/m² (John, Gojda 2013). Obrázek č. 2 porovnává stínované modely DMR 4G, DMR 5G a z dat LLS Správy KRNP, kde lze vypočítat, jak se na výsledcích podílí hustota dat.



Obr. 2: Srovnání DMR 4 a 5G s daty LLS od Správy KRNP.

Horní řada představuje stínovaný reliéf, dolní řada hustota jednotlivých bodů, z kterých stínování přes jejich interpolaci pochází (výřez). Zdroj dat: DMR 4G (2013), DMR 5G (2013), KRNP (2012), vlastní zpracování.

2.2 Formát dat

Binární formát, který zachovává všechny specifické informace (pořadí odrazu, jeho souřadnice, intenzita aj.) pro data LLS, je LAS (*.las nebo *.laz). Kromě uspořádání dat do tří sloupců představující prostorové souřadnice x , y a z , které však nalézáme i u dalších formátů, jsou jednotlivé body klasifikované do určitých tříd (terén, nízká a vysoká vegetace, budovy, voda, neklasifikováno aj.). Rozšířenější je ale formát ASCII (*.txt, *.xyz, *.asc) z důvodu větší kompatibility v běžných softwarech. Oproti formátu LAS se ale vyznačuje velkým objemem dat, proto zpracování je pomalejší (John, Gojda 2013). ČÚZK nabízí všechny tři produkty dat LLS ve formátu *.txt.

2.3 Vizualizace LLS dat v softwaru ArcGIS a OCAD

Data, která jsou v některém z uvedených formátů, je vhodné zpracovat do podoby DMR (TIN, rastr) pro další úpravy a vizualizaci. Jednotlivé programy se postupem zpracování LLS dat liší.

ArcGIS

Program ArcGIS oproti OCADu nabízí rozšířenější možnosti pro práci s daty LLS. Od verze 10.1 je k dispozici *LAS dataset*, který představuje sadu nástrojů pro zpracování a import velkého množství dat. Nevýhodou je možnost importu pouze dat ve formátu *.las nebo *.laz. V případě dat ve formátu ASCII se nejdříve z hodnot vytvoří shapefile funkcí *ASCII 3D to Feature Class*, kde kromě výstupního souboru zadáme souřadnicový systém, průměrnou vzdálenost bodů (povinný údaj) a vybereme oddělovač, který je použit u desetinných čísel. Poté můžeme zvolit interpolační metodu a vytvořit rastr. Druhá možnost je data interpolovat do podoby TIN (*Create TIN*). Za výškové pole vybereme *pole Z* a SF typ necháme *Mass_points*. Opět zvolíme příslušný souřadnicový systém a výstupní soubor. Poté zvolíme funkci *TIN to Raster* a nastavíme interpolační funkci (výchozí je lineární, lze změnit na interpolaci přirozeného souseda) a velikost buňky. Výsledný rastr lze okamžitě barevně tónovat nebo použít na různé vizualizace, které ArcGIS nabízí (stínování, orientace, lokální reliéf ad.). Tyto kroky odpadají, pokud máme k dispozici data v některém rastrovém formátu (např. *.TIFF).

OCAD 11

V OCADu v kartě *DEM* zvolíme položku *Import*, kde pomocí tlačítka *Add* přidáváme jednotlivé soubory, které chceme vizualizovat. Kromě formátů *.txt, *.las a *.xyz máme na výběr i *.asc a *.hgt. Po stisknutí *Analyze* dostává podrobné informace o souboru (souřadnice hranic dat, počet bodů, minimální a maximální hodnota) a také volíme upřesnění, že jsou data již určitým způsobem uspořádána nebo se jedná o surová data. Pokud data LLS mají jiný souřadnicový systém, než který je zvolený v daném souboru, změníme ho v položce *Coordinate system*. Poté soubor uložíme ve formátu *.ocdDEM a otevřeme přes položku *Open* v kartě *DEM*. Nyní lze zvolit vizualizační techniku (stínování, barevná hypsometrie, vrstevnice aj.) nebo export do formátů ESRI ASCII grid (*.asc) nebo ASCII grid XYZ (*.xyz). Možnosti vizualizace jsou oproti ArcGISu omezené.

3 Digitální model reliéfu

Digitální model reliéfu (dále jen DMR) je „*digitální reprezentace reliéfu zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu*“ (VÚGTK 2004).

Tvorba DMR je proces, při kterém se využívají výškopisná data, která nepokrývají celou zájmovou oblast (jedná se o relativně neuspořádanou množinu dat). Pro tvorbu kompletní reprezentace povrchu proto využíváme interpolační metody (v závislosti na rozložení a přesnosti známých výšek nebo charakteru terénu), kdy hodnota nadmořské výšky se odvozuje od známých hodnot z okolí (Rapant 2006).

DMR mají využití v řadě činností a profesí. Velmi důležitou roli hraje ve stavebnictví (výstavba mostů, dálnic) nebo vodohospodářství (projektování přehrad a vodních elektráren). Používá se také při modelování jevů, procesů a možných rizik v oborech jako jsou krajinná ekologie nebo životní prostředí (Kadlčíková 2007). V neposlední řadě slouží k určení různých statistik a charakteristik reliéfu využitelných v hydrologii, geomorfologii či geologii.

Mezi základy modely DMR patří grid a TIN, dále pak Terrain dataset v programu ArcGIS nebo DMR reprezentovaný vrstevnicemi.

Grid (rastr)

Model je většinou tvořen čtvercovou sítí bodů, kdy jedna ploška odpovídá dané výšce. Výhodou při výběru rastrového datového modelu jsou jednoduché algoritmy pro analýzy terénu (sklon, křivost, stínování aj.). Není vhodný pro rozlehlá území (z důvodu velkého objemu dat) a nehomogenní reliéf, kdy se nepřizpůsobí daným podmínkám (plošší terén obvykle vyžaduje jiné rozlišení než členitý reliéf).

Základní a výpočetně nejjednodušší metodou interpolace je *lineární*. Pracuje se s 3 body, které definují trojúhelníkovou plošku. Nevýhodou je, že výsledná reprezentace není hladká.

Mezi další používané interpolační metody patří *metoda vážené vzdálenosti* (IDW), kdy datům je přiřazena váha na základě vzdálenosti bodů. Největší je přímo u bodu o známé hodnotě a klesá s přibývajícím délkou a současně se interpolovaná hodnota přibližuje datovému bodu. Stejnou základní rovnici má i *metoda nejbližšího souseda*, liší se však váhovou funkcí, která využívá Thiessenovy polygony. U váhy metody *Kriging* závisí kromě vzdálenosti mezi měřenými body také na prostorovém uspořádání měřených bodů okolo místa předpovídané hodnoty (Křikavová 2009).

TIN

TIN je zkratka anglického *triangular irregular network* (nepravidelná trojúhelníková síť). Z dat jsou vytvořeny rovinné trojúhelníkové sítě, každý trojúhelník má jiný tvar s ohledem na prostorové rozlišení reliéfu. Hustší síť nalézáme v členitějším terénu, naopak v plošším terénu je hustota trojúhelníků menší. Z datových modelů TIN nejlépe reprezentuje povrch jako celek, na druhé straně není zcela vhodný pro analýzy terénu jako je sklon nebo stínování (Jedlička 2009).

Tvořit TIN můžeme také *lineární interpolací*. Další způsob představuje interpolační metoda *Voronoiovy diagramy* nebo též tzv. *Thiessenovy polygony*. Metoda rozdělí množinu bodů do polygonů, v každém je právě jeden bod. Polygon je vymezen na základě kolmic od spojnic jednotlivých bodů, přičemž jsou umístěny tak, aby v polygonu bylo území, které je bližší k měřenému bodu než k ostatním (Křikavová 2009).

Terrain dataset

Terrain dataset je speciální druh TINu v softwaru ArcGIS umožňující víceúrovňové rozlišení jednoho území díky tzv. terénním pyramidám. Pyramidy nabízejí schopnost generalizace v závislosti na měřítku mapy. Mezi další výhody patří úprava místních anomálií, přičemž nemusíme předělávat celý model. Lze pracovat s vysokým počtem výškových bodů (až bilion), proto je vhodné použít při zpracování dat LLS nebo fotogrammetrie (Childs 2011).

Mezi další modely patří DMR reprezentovaný vrstevnicemi, který pokrývá velkou část planety, ale s různou přesností (závisí na způsobu pořízení dat). Setkat se můžeme i s plátovým modelem pro DMR, který nahrazuje reliéf pláty.

3.1 DMR v Česku

V minulosti i v současnosti vzniká řada DMR na území České republiky. Liší se především svou kvalitou, přesností a pořizovací cenou. Vývoj začal v 50. letech 20. století, kde DMR byl vytvořen pro vojenské účely. Tehdejší grid měl velikost 1×1 km, v současné době je možno pořídit DMR 4G s gridem 5×5 m. Digitální modely reliéfu se stále vyvíjí a zpřesňují a do budoucna lze očekávat další pokrok.

DMR do roku 2010

DMR 1. generace (DMR-1)

Jedná se o nejstarší model reliéfu, který byl vytvořen československou armádou a kromě území České republiky pokrývá také střední Evropu. Velikost gridu je 1×1 km. Nadmořské výšky v uzlových bodech byly odvozeny tak, že se vzala nejvyšší nadmořská výška v příslušném čtverci. Body sítě byly odečítány z vrstevnic Topografické mapy ČR s měřítkem 1 : 200 000. Odhadovaná chyba činila až 30 m ve výšce.

DMR 2. generace (DMR-2)

2. generace DMR vytvořena pro vojenské účely je svým rozsahem menší (pokrývá území České republiky, Slovenska a pruh kolem státních hranic široký zhruba 50 km), ale přesnější. Velikost buňky je 100×100 m (uzlové body gridové sítě mají již skutečnou výšku), výšková přesnost je do 15 m. Jednotlivé body sítě vznikaly z podkladů Topografických map ČR v měřítkách 1 : 10 000 a 1 : 25 000.

DMR 2,5. generace (DMR-2,5)

Digitální model reliéfu 2,5. generace vychází z modelu DMR-2. Tento model byl zpřesněn a doplněn trigonometrickými body 1. - 5. řádu. Přesnost je 3-5 m v odkrytém terénu, 5-8 m v intravilánech a 10-15 m v zalesněných územích (Pavelka 2013).

DMR 3. generace (DMR-3)

Na rozdíl od předchozích je DMR 3. generace výškový model, který je ve formě nepravidelné sítě TIN získaný stereofotogrammetrickou metodou. Úplná střední chyba výšky je 1-2 m v odkrytém terénu i intravilánech a 3-7 m v zalesněných územích.

ZABAGED

Základní báze geografických dat (ZABAGED) je digitální geografický model území. Vedle výškopisné části obsahuje také polohopisnou část (sídlá, komunikace, vegetace, vodstvo, územní jednoty aj.). Výškopisná část ZABAGED vznikla digitalizací vrstevnic ze Základní mapy ČR 1 : 10 000 mezi lety 1995 a 2000. Výškopis pro tyto mapy pocházel z topografického mapování České republiky, které probíhalo na našem území v letech 1957 až 1965. Je zřejmé, že na některých místech muselo dojít k částečnému přepracování a aktualizaci výškopisu. Proto se v letech 2000 až 2005 s využitím fotogrammetrických metod a terénního šetření minimalizovaly hrubé chyby a současně došlo k doplnění modelu o terénní hrany násypů, výkopů, nádrží, břehů apod. Přesnost tzv. zpřesněného modelu ZABAGED je 0,7-1,5 m v odkrytém terénu, 1-2 m v intravilánech a 2-5 m v zalesněných územích. Výsledný projekt obsahuje 3 typy vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru území. Vrstevnice jsou doplněny dalšími objekty (hrany, jiné výškopisné body). V roce 2009 vznikl z těchto dat odvozený model ZABAGED - výškopis - grid 10×10 m, který představuje DMR v podobě pravidelné mříže 10×10 m trojrozměrně vedených bodů. Přesnost je 1,5-2,5 m v odkrytém terénu, 2-3 m v intravilánech a 3-7 m v zalesněných územích. ČÚZK nabízí oba modely ZABAGED ve formě mapového listu ZM 10 o rozloze 18 km² (ČÚZK 2010).

Nové výškopisné modely ČR od roku 2010

„Jedním z hlavních nedostatků současných digitálních modelů reliéfu je jejich nedostatečná přesnost a vysoká míra generalizace, která neumožňuje s požadovanou přesností interpretovat objekty mikroreliéfu ani prostorově lokalizovat jiné geografické objekty v třídimenzionálních geografických informačních systémech“ (Brázdil 2010). Proto bylo potřeba vypracovat nové výškopisné mapování, které by bylo efektivní, ale současně dostatečně přesné. Díky spolupráci ČÚZK, Ministerstva zemědělství a obrany České republiky došlo k tvorbě nových výškopisných modelů, které pocházejí z dat leteckého laserového skenování. V současné době jsou k dispozici 3 produkty:

- Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)
- Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)
- Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G)

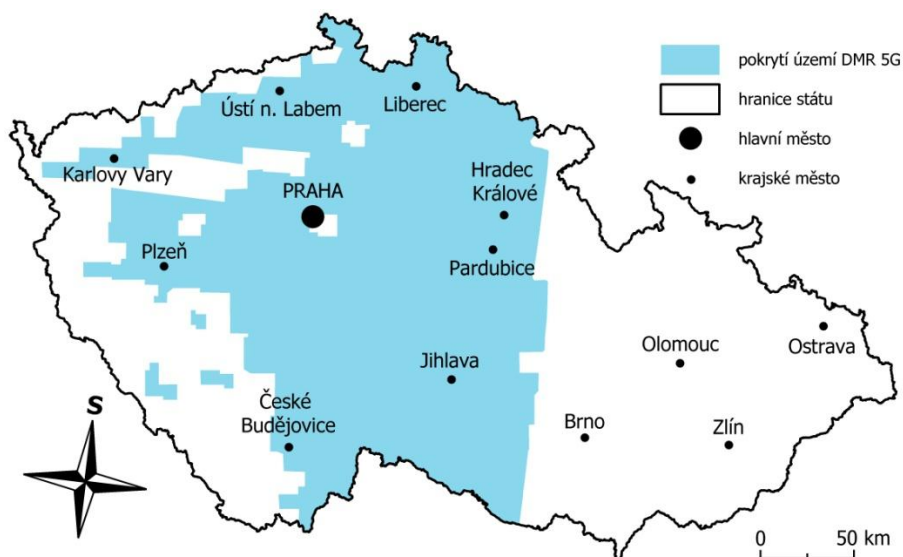
Produkt DMP 1G nebude dále rozebírán z důvodu jiného zaměření práce.

DMR 4G

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace je ve formě pravidelné sítě (grid) o rozměrech 5×5 m. V každém čtverci je vybrán pravděpodobný uzlový bod reliéfu (bod s nejnižší výškou), který splňuje podmínku, že se výrazně neodlišuje od ostatních. Pokud tomu tak není, předpokládá se chyba paprsku a je vybrán jiný uzlový bod. Výsledkem je nepravidelná síť uzlových bodů, které se interpolují právě v pravidelné síti 5×5 m pomocí interpolační funkce programu SCOP++ (Brázdil 2012a). Střední chyba modelu je po vyrovnání 0,3 m v otevřeném, resp. 1 m v zalesněném terénu. V důsledku generalizace do sítě 5×5 m je pochopitelné, že model nemůže vystihnout některé lokální terénní anomálie nebo objekty, které jsou půdorysně menší než 5 m. Tvorba DMR 4G byla zahájena v roce 2009 v pásmu Střed, v únoru 2014 bylo dokončeno zpracování celé České republiky.

DMR 5G

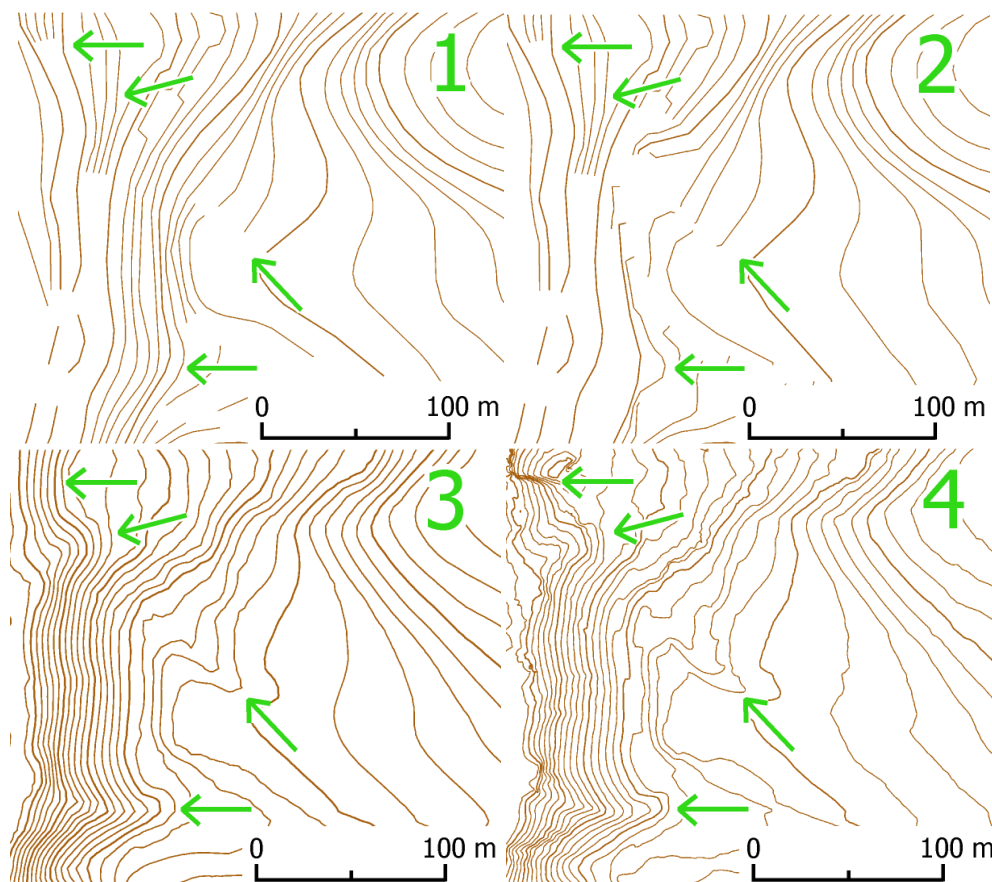
Digitální model reliéfu České republiky 5. generace je zpracován ve formě nepravidelně rozmístěných bodů pro možnost vytvoření trojúhelníkové sítě TIN. Model je vytvářen z dat, která prošla přes automatizovanou filtraci, manuální kontrolu a tzv. vyhlazování, které obsahovalo vybrání bodu s nejnižší výškou ve čtverci 1×1 m, odstranění nežádoucích lokálních nerovností (např. tvary vzniklé při ornici) a zředění původního mračna bodů (Dušánek 2014). Úplná střední chyba výšky v odkrytém reliéfu je 0,18 m, v zalesněném terénu 0,3 m. Výrazné odchylky se mohou objevit v hustším porostu (křoviny, nízké lesní školky). Hustota dat je 1,6 bodu/m² (Brázdil 2012b). Stejně jako u DMR 4G bylo u 5. generace zahájeno skenování v roce 2009, v současné době je zpracována zhruba polovina našeho území (viz Obr.3). Výdejní jednotky obou DMR odpovídají kladu listů Státní mapy 1 : 5 000 (SM 5), jedna představuje území o rozloze 5 km². Jsou vydávány v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv).



Obr. 3: Stav aktualizace produktu DMR 5G.

Stav k 2.5.2014. Zdroj dat: ArcČR 500 (2013), ČÚZK (2014a), vlastní zpracování.

Pokud není uvedeno jinak, praktická část této bakalářské práce je vytvořena na základě dat z DMR 5G. Na Obr. 4 je srovnání některých DMR na našem území pomocí vrstevnic.



Obr. 4: Vizualizace části území u Berouna pomocí vrstevnic.

Snímek 1 představuje původní výškopisnou část databáze ZABAGED, snímek 2 je upravenou verzí vzniklou v letech 2000-2005 (pouze vrstevnice). Dolní snímky vznikly z dat LLS, 3 je DMR 4G (velikost buňky 5 m), 4 DMR 5G (velikost buňky 1 m). Pro tvorbu DMR z dat DMR 4 a 5G byla použita lineární interpolace.
Zdroj dat: ZABAGED (2000, 2006), DMR 4G (2013), DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

3.2 Celosvětová DMR

Digitálních modelů reliéfu pokrývajících alespoň částečně naší planetu je velké množství. Za nejdůležitější jsou považovány modely ASTER a SRTM.

ASTER

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) je multispektrální skener nacházející na družici Terra obíhající Zemi ve výšce 705 km. Jedním z produktů je i tzv. globální digitální model reliéfu, na kterém spolupracuje japonské Ministerstvo financí, obchodu a průmyslu a americká kosmická agentura NASA. První verze DMR byla uvolněna v roce 2009 a představovala prostor mezi 83° severní a 83° jižní zeměpisné šířky. Pokrývá 99 % pevniny. Ve druhé verzi, která je

k dispozici od října 2011, došlo ke zlepšení produktu, přesto lze narazit na různé formy anomálií. Výšková přesnost je 20 m (ASTER 2012).

SRTM

The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) je mezinárodní projekt mapující výškové poměry na Zemi, na kterém se podílely NASA a NGA s přispěním německých a italských kosmických agentur. Nasnímáno bylo 80 % souše metodou radarové interferometrie v průběhu 11 dnů v únoru 2000, zpracování probíhalo více než dva roky. Maximální výšková přesnost je 12 m, prostorová 15 m (SRTM 2000). SRTM je zdarma ke stažení po čtvercích o velikosti 1° zeměpisné délky a 1° zeměpisné šířky. Ze SRTM vznikly i některé DMR na našem území, např. tzv. DMR ČR. Data byla upravena a došlo k odstranění některých chyb, které vznikly na hladkém rovném povrchu (ESRI 2013).

4 Metody vizualizace rastrových modelů reliéfu

4.1 Stínování

Stínování představuje běžně používanou metodu v kartografii, která slouží pro vyjádření výškopisu. Stínování je všeobecně rozšířený termín, ale přesnější označení pro uvedenou metodu je tónování z důvodu podobnosti s měnicími stíny ve skutečné krajině (Čapek a kol. 1992). V české literatuře (např. John, Gojda 2013) se můžeme setkat i s cizojazyčným termínem hillshade, popř. hill-shading. Pro účely této bakalářské práce bude užíván výraz stínování, název hillshade pouze v případě označení funkce v softwaru. Hlavní funkcí stínování je dodat mapě plastičnost a navodit prostorový vjem. Vyjádření terénu stínováním se přibližuje leteckému pohledu, proto výškopis podaný touto formou je pro laickou veřejnost srozumitelnější než vrstevnice či barevná hypsometrie. Oproti pohledu z letadla je ve výsledku vynecháno odražené světlo či třpytivé zvýraznění z důvodu čitelnosti.

Hlavní podstatou metody je představa, že na určité pozorované území dopadají světelné paprsky z imaginárního zdroje světla a nahrazují sluneční záření. Všechny paprsky dopadají na reliéf ze stejného směru a vytvářejí rozdíly v osvětlení. Intenzita tónu závisí na úhlu dopadu paprsku. V místech, kam paprsky dopadají kolmo, jsou znázorňovány nejsvětlejší tóny, naopak v oblastech, kam paprsky vůbec nedopadají, jsou tóny nejtmaší (Čapek a kol. 1992).

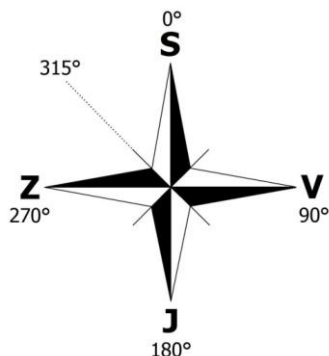
Stínování se používá pro vizualizaci převážně hornatých území, kde rozeznávání terénních detailů je snadnější. Na mapách v podhorských a nížinných oblastech je navíc často i další obsah v důsledku lidské činnosti (silnice, domy) a stínovaný reliéf by ztížil čitelnost. Právě proto se upravuje vzorec stínování pro rovinnatější oblasti. Stínovaný model reliéfu byl v minulosti využíván převážně na mapách menších měřítek (Horn 1981). Z modelu často nešlo určit přesné nadmořské výšky a hlavní funkcí bylo navodit základní představu o výškových poměrech na daném území. V současné době se jedná o jednu z nejrozšířenějších vizualizačních technik DMR a v důsledku jeho zpřesňování např. pomocí LLS dat poskytuje podrobné informace pro uživatele mapy. Stínování slouží k identifikaci komunikací, terénních zlomů, puklin a dalších tvarů mikroreliéfu pro mapy velkých měřítek. Výhodou stínování je snadný a rychlý výpočet a implementace do celé řady GIS softwarů.

Mezi hlavní parametry stínování patří:

- *směr osvětlení*
- *sklon dopadajících paprsků*
- *barva stínování*

Směr osvětlení

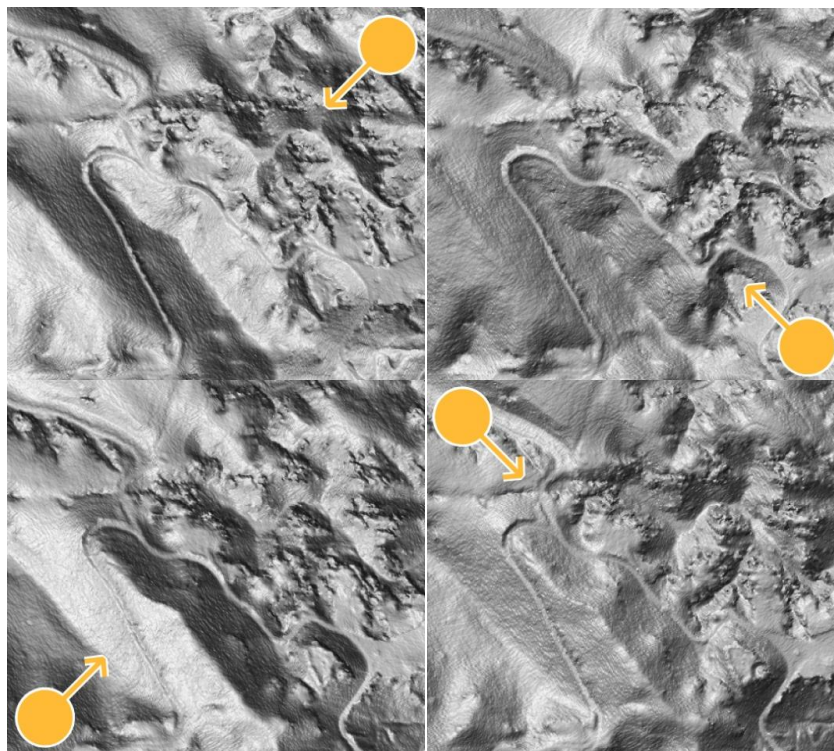
Směr osvětlení je definován jako úhel světelných paprsků, které vycházejí z fiktivního zdroje osvětlení (ve skutečnosti je to Slunce). Nabývá hodnot od 0° až 360°, kde 90° je východ a 270° západ (viz Obr. 5). Zpravidla se využívá (a je nastaven jako výchozí hodnota v mnoha GIS aplikacích) úhel 315° (severozápad), který poprvé zavedl Eduard Imhof (2007). Tento úhel odpovídá životním návykům člověka píšící pravou rukou.



Obr. 5: Směr osvětlení vztahovaný na světové strany.

Zdroj: vlastní zpracování

Severozápadní osvětlení není však jediné používané. Někteří kartografové preferují západní nebo jihozápadní osvětlení, které odpovídá reálnému osvětlení severní polokoule v odpoledních hodinách. Výjimečně se můžeme setkat s jižním osvětlením, které evokuje inverzní chápání reliéfu (Čapek a kol. 1992). Vizualizace stejného území pod jinými směry osvětlení je k vidění na Obr. 6.

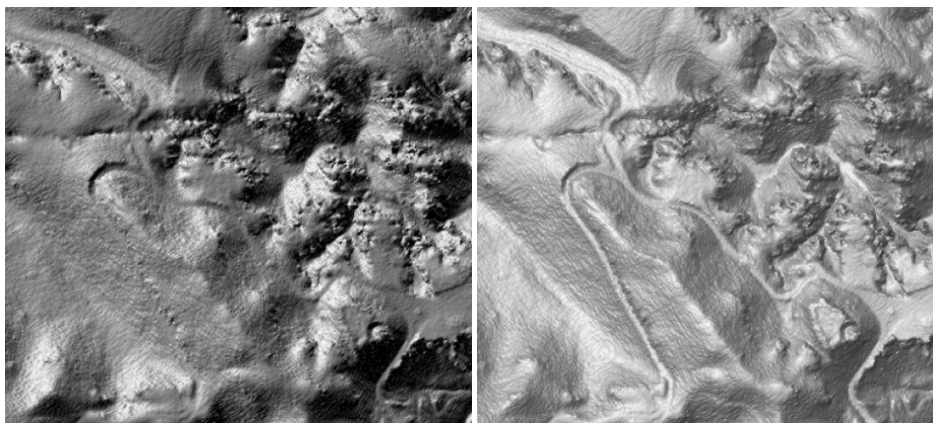


Obr. 6: Stínovaný reliéf pod různými směry osvětlení.

Nahoře úhel 45° (vlevo) 135° (vpravo), na dolních obrázcích úhel 225° a 315°. Sklon dopadajících paprsků je na všech snímcích 45°. Území pískovcového skalního města u zámku Hrubá Skála. Zdroj dat: DMR 5G (2013).

Sklon dopadajících paprsků

Sklon dopadajících paprsků představuje úhel mezi fiktivním zdrojem osvětlení a obzorem. Sklon dopadajících paprsků by měl být jednotný na celé mapě, aby se změnila intenzita tónu na celé ploše stejně (Čapek a kol. 1992). Nabývá hodnot od 0° (na horizontu) do 90° (v nadhlavníku), přičemž menší úhel se používá v pahorkatinách, pro horské oblasti se zvyšuje. Čím je úhel větší, tím jsou hůře vidět detaily (viz Obr. 7).



Obr. 7: Stínovaný reliéf s různými sklony dopadajících paprsků.

Vlevo sklon dopadajících paprsků 15°, vpravo 60°, směr osvětlení na obou snímcích je 315°. Území pískovcového skalního města u zámku Hrubá Skála. Zdroj dat: DMR 5G (2013).

Barva

Základní model stínování užívá šedé tónování. Intenzita tónu závisí na způsobu výpočtu stínování, obecně na úhlu dopadu paprsku. Pro zdůraznění některých veličin (např. orientace) se využívají také další barvy. Stejně tak u protilehlých svahů při přidání vzdušné perspektivy. Na německých a švýcarských mapách se lze setkat se žlutými osvětlenými svahy, pro zastíněné se používá šedá nebo modrošedá (Čapek a kol. 1992). Pokud jsou k dispozici alespoň 3 stínované snímky stejného území s odlišným směrem osvětlení, lze stínování složit z barevné kompozice tří barev (červená, zelená, modrá). Poté je však stínovaný reliéf nevhodný jako podklad pro mapu ke zvýšení její plastičnosti, ale může přinést nové informace k interpretaci objektů (Lukas, Weibel 1995).

4.1.1 Základní typy stínovaného reliéfu

Stínování při svislém osvětlení

Stínování při svislém osvětlení, označované za sklonové stínování (Čapek a kol. 1992) nebo za vertikální stínování (Böhm 2009), vychází tónování z principu „čím strměji, tím temněji“. Teoreticky je síla tónů šedi úměrná sklonu (vodorovné plochy jsou bílé), prakticky je aplikace metody omezená z důvodu velkých množství stupňů šedi, které člověk nerozezná, resp. nepřinesou mu žádnou informaci. Týká se to v obzvláště silně přetížených místech (Imhof 2007). Další nevýhodou je míra

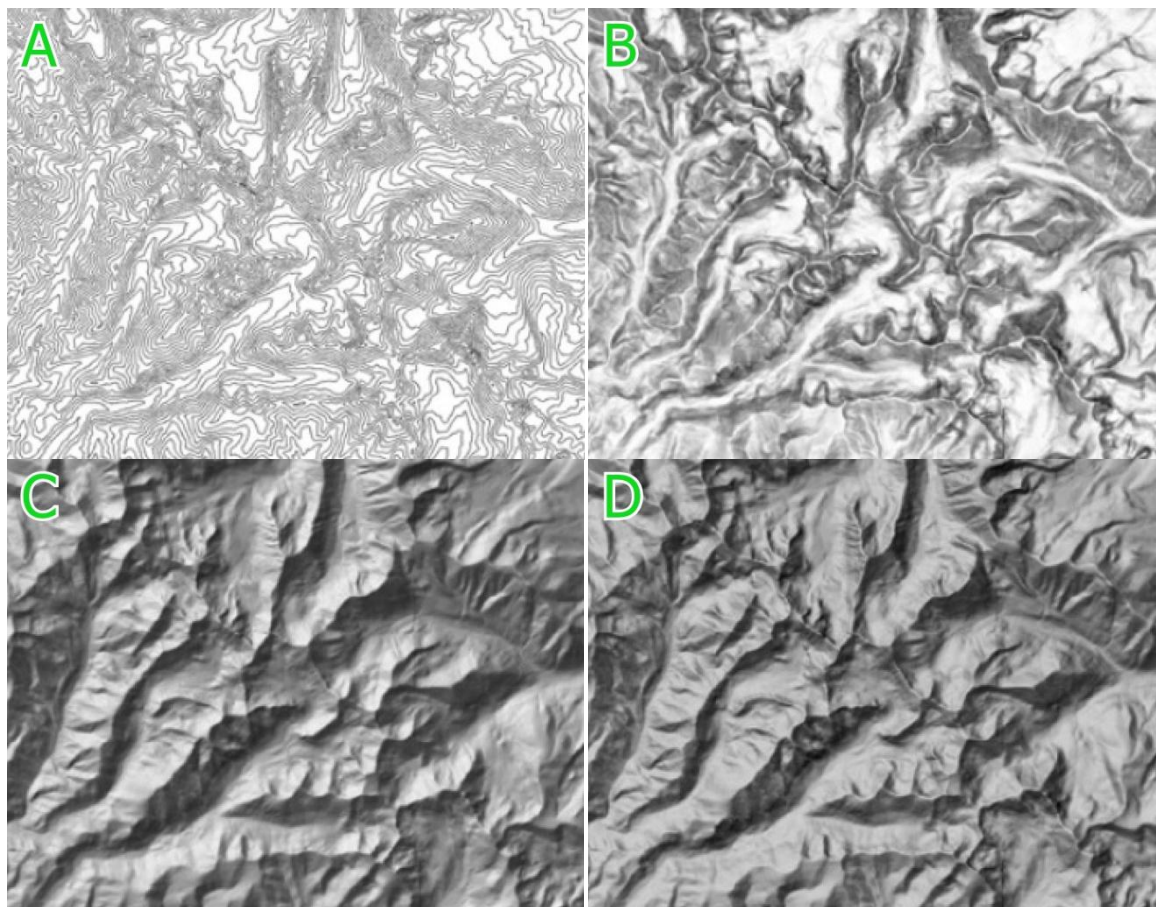
prostorového vjemu. Model nepůsobí dostatečně plasticky, a i proto se stínování při svislém osvětlení samostatně příliš nepoužívá.

Stínování při šikmém osvětlení

Stínování při šikmém osvětlení můžeme přirovnat k osvětlenému trojrozměrnému modelu, kdy se tóny světlé barvy nacházejí na přivrácených a tmavé jsou na odvrácených svazích reliéfu krajiny. Problémem jsou vodorovné plochy, jež v důsledku kolmo nedopadajících paprsků vykazují určitou míru stínu. Na rozdíl od stínování při svislém osvětlení poskytuje tento model dvě velké výhody. Jednak působí plasticky a také lze stejné území stínovat různými způsoby v závislosti na umístění zdroje virtuálního záření (Čapek a kol. 1992).

Kombinované stínování

Kombinované stínování vyniká bezprostředním vizuálním dojmem (viz Obr. 8). Pojí obě výše uvedené metody a je dnes nejvyužívanější. Do výpočtu intenzity tónu se promítají dvě proměnné, v první řadě směr osvětlení a současně i sklon svahu. Díky tomu vodorovné plochy zůstávají bílé. V minulosti se metoda přiblížila v nejvíce dokonalou formu stínování, v souvislosti i s tím, že se kombinovala s vrstevnicemi (Imhof 2007).



Obr. 8: Srovnání základních typů stínovaných reliéfů s vrstevnicemi v pohoří Tobacco Root. Obrázek A představuje vrstevnicový model, B stínování při svislém osvětlení, C stínování při šikmém osvětlení a D kombinované stínování. Zdroj: Kennelly (2008), upraveno

4.1.2 Tvorba stínovaného modelu

Ruční stínování

Ruční nebo také manuální stínování je základní a současně nejkvalitnější metoda. Lépe vykresluje přechody mezi tvary reliéfu a neobsahuje nežádoucí detaily (viz Obr. 9), které se mohou objevit u analytického stínování (Hurni a kol. 2001).

Kromě kvality topografického podkladu je třeba dodržet několik požadavků. Model by měl být tvarově stabilní, poskytovat dobrou kopii pro další reprodukci a pro tvorbu použít širokou škálu barev, od čistě bílé po tmavě černou. Jako měřítko se při práci používá 1,5× větší než finální kopie, což přináší kvalitnější výsledky.

Postup se skládá z několika částí. Stínování zpravidla probíhá na bílém hladkém papíru, který je většinou pokryt hliníkovou fólií k uchování kresby (Imhof 2007). Nejdříve se nanese orografické čáry, čímž vzniká terénní kostra, která rozčlení terén do jednotlivých částí. Postupně se v takto vytvořených oblastech vystínují makrotvary podle hlavního i vedlejšího směru dopadajících paprsků. Nakonec se tónují méně důležité tvary a lokální mikrotvary (Čapek a kol. 1992).

Kořeny ručního stínování a stínování obecně spadají do 17. století, kde na ní pracoval Hans Conrad Gyger. V jeho díle právě můžeme najít první pokusy o stínovanou mapu. Postupně se v 19. století začalo stínování používat na tzv. mapách švýcarského stylu. Za vynálezce stínování je ale považován Fridolin Becker. Vytvoření modelu osvětlení daného terénu je časově velmi náročná operace a ve spojení s topografií, která není postavená na matematických základech, se jedná spíše o intuitivní a pochopitelné stínování pro uživatele mapy (Jenny 2001). Významným mezníkem však jsou úpravy, které uvádí do světa Eduard Imhof (specifikace leteckého pohledu, použití barev, umístění zdroje osvětlení).



Obr. 9: Manuální stínovaný reliéf

Mapa švýcarské produkce v původním měřítku 1 : 50 000. Zdroj: Jenny (2001)

Fotomechanicky

Dlouhá léta byla snaha o začlenění pohledu z fotoaparátu do kartografických děl. První, kdo vyvinul stínování přímo z fotografie, byl Karl Wenschow v roce 1925 (Imhof 2007). Metoda označovaná jako „Wenschův proces“ spočívá v nafocení trojrozměrného modelu reliéfu a následně odstranění vržených stínů retuší. Při fotografování se model osvětlí buď jen jedním směrem (většinou od severozápadu) nebo následně i rozptýleným světlem (Čapek a kol. 1992). Metoda se dnes téměř nepoužívá, i kvůli velkým pořizovacím nákladům.

Automatizovaně – s využitím počítače

V druhé polovině 20. století se uplatňuje nový směr a zároveň velký pokrok ve stínovaných mapách. Objevuje se analytické (automatizované) stínování, které vychází z digitalizovaných vrstevnic nebo fotogrammetrického stereomodelu a fiktivního zdroje světla. Vyvinuly se odlišné metody s různými přístupy v oblasti počítačové grafiky a pro konkrétní potřeby kartografie. První člověk, který se systematicky zabýval touto problematikou, byl Pinhas Yoëli (Jenny 2001). Stanovil základní výpočet hustoty stínu terénního prvku, která je dána formulí (Yoëli 1971):

$$D = \log \frac{1}{\cos \alpha}$$

α úhel dopadu paprsku (nabývá hodnot 0° až 90°)

D optická hustota stínu

Pro α rovnající se 0 platí, že bylo dosaženo maximálního osvětlení, zatímco pro $\alpha=90^\circ$ žádné světlo nedopadlo na daný terénní prvek.

Dnes rozeznáváme 2 odlišné metody pro tvorbu automatizovaného stínovaného reliéfu: simulací Lambertova osvětlení a pomocí filtrace.

Lambertův model osvětlení

Model pracuje s jedním zdrojem a konstantním směrem osvětlení. Na Lambertově modelu osvětlení je postavená tvorba stínovaného reliéfu ve většině GIS aplikací. Šedotónové hodnoty jsou odvozené z kosinu úhlu dopadajícího paprsku (Kennelly 2008):

$$BV = 255 \cdot \cos \alpha$$

α úhel dopadu paprsku (nabývá hodnot 0 až 90°)

BV 8bit hodnota ve stupni šedi (nabývající hodnot 0 až 255)

Dnes je do výpočtu zahrnutá informace o sklonu a orientaci reliéfu vůči světovým stranám (Kennelly 2008):

$$BV = 255 \cdot \cos Z \cdot \sin S \cdot \cos(A - D) + \sin Z \cdot \cos S$$

Z	zenitový úhel (doplněk sklonu dopadajících paprsků do 90°)
S	sklon (ve °)
A	orientace terénu (ve °)
D	směr osvětlení
BV	8bit hodnota ve stupni šedi (nabývající hodnot 0 až 255)

Filtry

Technika filtrů vytváří stínovaný reliéf na principu matematických a logických operací, které jsou aplikovány na DMR. Dochází mj. k vytvoření filtrační matrice, která indikuje směr osvětlení. Směr osvětlení se často udává v tzv. námořních linkách, kde jedna představuje 1/32 kruhu. Výhodou filtrů je možnost vytvoření terénní reprezentace snadno a rychle, naopak stínování vytvořené filtrací se nehodí pro další zpracování z přítomnosti tmavých tónů.

Rozeznáváme 2 skupiny filtrů, FIR filtr (podle *finite impulse response*) a filtr gradientu. FIR filtr násobí každý pixel o určitý faktor, který se zasadí o celistvost prostředí. Filtry gradientu vypočítají odlišnosti v jednotlivých buňkách snímku a následně snižují či zvyšují ostrost mezi nimi. Filtry, které vytvářejí terénní reprezentace, nejsou běžně zabudované do GIS softwarů, výjimkou je např. program Vimage (Böhm 2009).

Další možnosti tvorby stínovaného modelu

Další možnosti jsou spíše neobvyklé a setkáme se s nimi zřídka. Jednou z technik je nastříkání zastíněných svahů barvou od jihovýchodu, přičemž se používá stříkácí pistole na stlačený vzduch. Zajímavostí je také reálné osvětlení zemského povrchu zachyceného např. na družicovém snímku. Nezbytné jsou ale úpravy, které musí následovat, jako retuše vržených stínů nebo odstranění třpytivého zvýraznění (Čapek a kol. 1992).

4.1.3 Přístupy ve stínování

Vývojem času se v důsledku některých problémů stínování (lineární tvary ve směru osvětlení, problém rovinatých ploch v horském terénu aj.) vyvinuly různé druhy nebo zlepšení, které uživateli přináší více informací nebo opravují nedostatky původního stínovaného reliéfu. Nejdůležitější úpravy se snaží shrnout tato část bakalářské práce.

A. Kombinované stínování z více směrů osvětlení

Stínování s osvětlením vycházející ze severozápadu je zakořeněno ve vnímání uživatelů map. Postupně se ve vývoji volil vedle tzv. hlavního směru osvětlení i vedlejší směr. Záměrem je odlišně tónovat např. i svahy, které v původním směru osvětlení byly zastíněné (zpravidla ty, které se táhnou ze severozápadu na jihozápad při severozápadním osvětlení). Rozhodnutí o směru osvětlení by mělo být učiněné na základě směru diagonály dominantního hřebenu a údolí (Čapek a kol. 1992). V případě potřeby více detailů ve specifických oblastech a vyřešení některých problémů vzniklých z osvětlení pouze jedním směrem, kombinujeme více stínovaných snímků stejného území.

Markovo stínování

Metoda kombinuje 4 směry osvětlení (225°, 270°, 315° a 360°), kdy sklon dopadajících paprsků je u všech modelů stejný, a to 30°. Pro každý pixel daného směru byla vypočítána určitá váha kombinující orientaci terénu a směr osvětlení:

$$w_{\theta_i} = \sin^2(\gamma - \theta_i)$$

θ_i	směr osvětlení (225°, 270°, 315° a 360°)
w_{θ_i}	váha daného směru osvětlení
γ	orientace bodu (ve °)

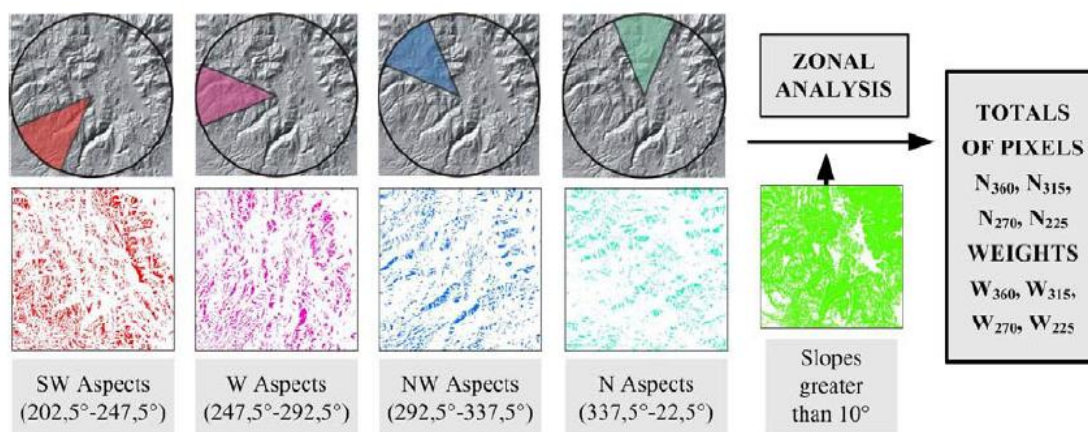
Tyto 4 snímky jsou integrovány do jednoho, který jednotlivým směrům přidá určitou váhu (od 0 do 1, přičemž součet musí být 1):

$$H_m = w_{360} \cdot H_{360} + w_{315} \cdot H_{315} + w_{270} \cdot H_{270} + w_{225} \cdot H_{225}$$

H_m	hodnota zapsaná v každé buňce rastru stínovaného modelu
w_{θ_i}	váha daného směru osvětlení, $\theta=225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ$
H_θ	orientace bodu (ve °), $\theta=225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ$

Váha je tedy stěžejní pro výsledek. Metodu použil R. K. Mark (1992) na zpracování stínovaného reliéfu na ostrově Hawaii, stínování vykazovalo ale problémy v horském terénu. Metoda byla proto následně několikrát upravována a zlepšována, např. o vyhlazení mapy orientace, která vznikla z DMR

(Lukas, Weibel 1995). Další varianty metody záleží na výpočtu váhy. Loisos a kol. (2007) definoval váhy pro jednotlivé směry jako procentuální podíl plochy zobrazeného území (resp. počet pixelů), které je z daného směru osvětleno se sklonem větším než 10° (vyloučeny jsou tedy rovné plochy nebo území s malým sklonem) na celkovém počtu vypočítaných pixelů u všech 4 směrů. Výpočet se provádí přes zonální analýzu (viz Obr. 10).



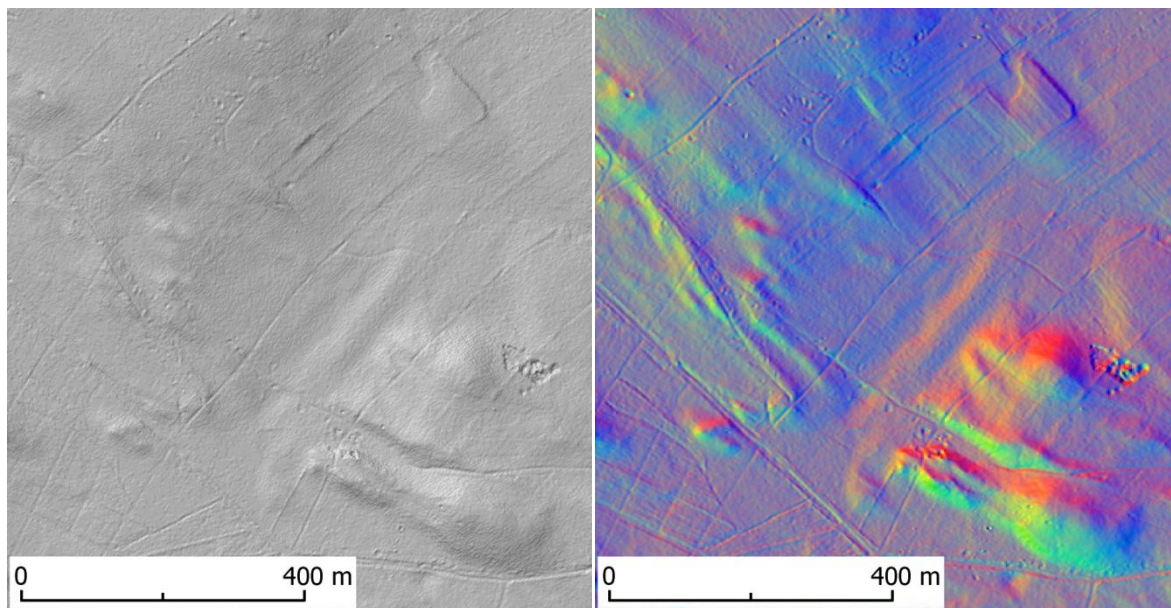
Obr. 10: Grafické znázornění výpočtu váhy u jednotlivých snímků stínování z různých směrů.

Zdroj: Loisos a kol. (2007)

Stínování s analýzou hlavních komponent (PCA)

Další metodou, která se snaží odstranit problémy stínování spojené se směrem osvětlení, je pomocí analýzy hlavních komponent (z anglického *Principal Components Analysis*, zkráceně PCA). PCA se používá pro analýzu jakýchkoliv statistických dat, kdy je cílem transformace větších množství prvků do menšího počtu proměnných, přičemž data popisují velmi podobně (jen s malou ztrátou informací). Tyto proměnné, které jsou nazývány hlavními komponentami, jsou lineární kombinací původních proměnných. První hlavní komponenta popisuje největší část rozptylu původních dat, druhá hlavní komponenta pak největší část rozptylu, která neobsahovala první hlavní komponenta atd. (Meloun 2014). Ve spojení se stínováním metoda využívá nejčastěji 16 směrů osvětlení (po $22,5^\circ$), každý snímek obsahuje trochu jiné informace o reliéfu. 16 směrů by mělo být dostatečné pro celkové pokrytí oblasti a pro zajištění správného výkladu (Devereux a kol. 2008). Interpretování 16 odlišných snímků by ale časově bylo velmi náročné, výsledek je proto zredukován do hlavních komponent. Většinou se jedná o tři, které obvykle obsahují okolo 95 % informací z původního souboru, tedy s minimální ztrátou. V prvních třech komponentech jsou totiž obvykle obsaženy podstatné informace, kdežto v dalších šum a různé odlišnosti (Devereux a kol. 2008). Výstupem bývá barevné RGB pásmo prvních tří komponentů nebo šedotónový snímek, který může být i pro každou komponentu zvlášť.

Stínování s analýzou hlavních komponent je vhodné pro odvozování informací o terénu, ale ne jako podklad do mapy pro zvýšení její plastičnosti, jak je patrné z Obr. 11.



Obr. 11: Srovnání stínování s jedním směrem osvětlení a metody PCA

Vlevo stínování se směrem osvětlení 315° a sklonem dopadajících paprsků 45° , vpravo stínování s analýzou prvních tří komponent při 16 směrech osvětlení. Srní u České Lípy. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

B. Stínování v horských oblastech

Při srovnání analytického a ručního stínování zjistíme, že při tvorbě automatizovaného snímku zejména v horských oblastech vzniká řada nedostatků, které jsou pro čtenáře místy matoucí a nepřináší žádné nové informace o charakteru terénu. Tudiž při analytických výpočtech se upustí od informace o sklonu svahu a zjednodušíme rovnici stínování postavenou pouze na orientaci terénu a směru osvětlení (Jenny 2001):

$$g_{ori} = \frac{\cos \alpha + 1}{2}$$

g_{ori} hodnota šedi odvozená z orientace (nabývá hodnot od 0 do 1)

α úhel mezi orientací svahu a směru osvětlení

V takovém případě jsou rovinnaté plochy v kopcovitém terénu tmavé, proto hodnotám šedi se v plochém území nadefinuje i světle šedý tón, který zlepšuje vzhled celého obrazu. Zde se již hodnoty sklonu na daném místě uplatňují (Jenny 2001):

$$g = w \cdot g_{ploch} + (1 - w) \cdot g_{ori}$$

g hodnota šedi (nabývá hodnot od 0 do 1)

g_{ploch} hodnota šedi v plochých oblastech (nabývá hodnot od 0 do 1)

w váha hodnoty vypočítána podle Arnetta (1999):

$$\begin{aligned} \text{pro } s > a & \quad w = e^{\ln\left(\frac{s-a}{90-a}\right)} \\ \text{pro } s \leq a & \quad w = 0 \end{aligned}$$

s sklon bodu (ve °)
 a maximální sklon bez stínování (ve °)



Obr. 12: Stínovaný reliéf se světlejším tónem pro plochý terén
 Zdroj: Jenny (2001)

C. Ostatní úpravy stínovaného modelu

Stínování s přidáním vzdušné perspektivy

Pro zvýšení plastičnosti mapy se do stínovaného modelu přidává tzv. vzdušná perspektiva (používá se také anglický ekvivalent *aerial perspective*). K dosažení tohoto efektu se 3 odlišným komponentům přidá určitá váha, která ovlivní výslednou hodnotu každého pixelu (Jenny 2001):

- *Váha relativní převýšení* se odvozuje v rámci výškového modelu, kdy nejnižší bod má hodnotu 0 a nejvyšší 1.

$$w_h = \frac{h_b - h_{min}}{h_{max} - h_{min}}$$

w_h váha relativního převýšení
 h_b výška bodu
 h_{min} minimální výška daného DMR
 h_{max} maximální výška daného DMR

- *Váha orientace svahu vůči směru osvětlení* nabývá hodnot mezi -1 (bod je vůči směru osvětlení v opačné orientaci) a 1 (orientace bodu je shodná se směrem osvětlení).

$$w_a = \cos \alpha$$

w_a váha orientace svahu vůči směru osvětlení

α úhel mezi orientací svahu a směrem osvětlení

- *Váha relativní polohy ve svahu* určuje polohu bodu (pixelu) na spádnicí, která je definována jako linie spojující dvě místa s maximálním sklonem. Pokud je délka spádnicí kratší než samotná vzdálenost mezi nejnižším naměřeným a pozorovaným bodem, bod neleží ve svahu a počítáme s váhou 0. Hodnota 1 znamená, že námi zvolený bod leží na vrcholu svahu. V ostatních případech váhu dopočítáváme podle vzorce:

$$w_p = \frac{l_{pod}}{l_{nad} + l_{pod}}$$

současně musí platit: $l_{nad} + l_{pod} \geq l_{min}$

w_p váha relativní polohy ve svahu

l_{pod} délka spádnicí pod počítaným bodem

l_{nad} délka spádnicí nad počítaným bodem

l_{min} spojnice nejnižšího a nejvyššího bodu v pozorované oblasti

Jednotlivé váhy od pak mezi sebou vynásobíme a přičteme ke klasicky vypočítané hodnotě šedi:

$$grey' = grey + w_h \cdot w_a \cdot w_p \cdot n$$

$grey'$ hodnota šedi zapsaná v každé buňce rastru po přidání vzdušné perspektivy

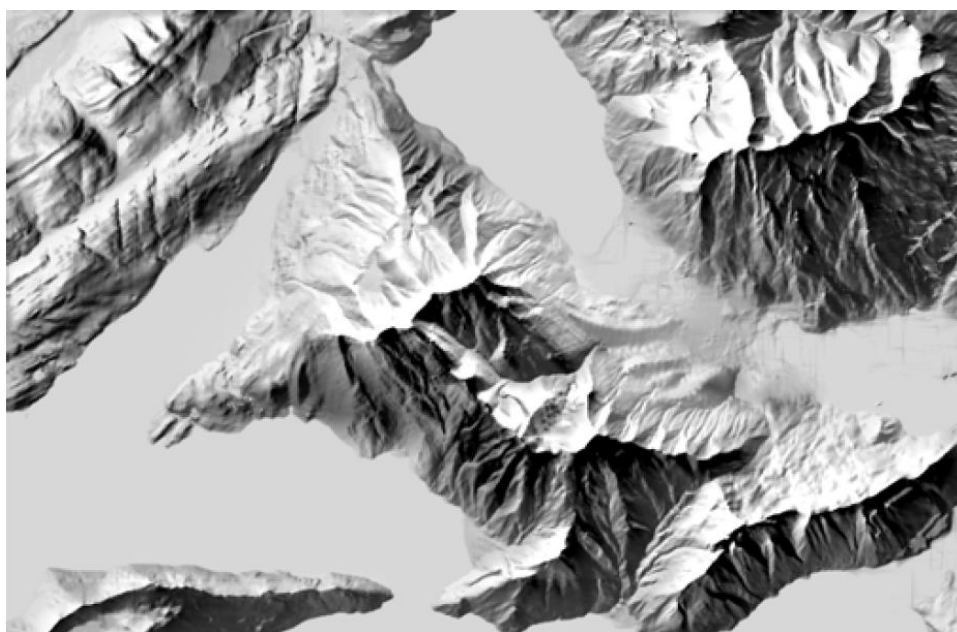
$grey$ hodnota šedi určená ze stínování

n síla vzdušné perspektivy volená uživatelem (v případě volby 0 není vzdušná perspektiva použita ve stínovaném modelu)

Kromě přidání vzdušné perspektivy v analytickém stínování se uplatňuje ve velkém měřítku i v manuálním stínování, kdy se zavádějí určité prvky do stínovaného reliéfu pro zvýšení plastického účinku mapy. Mezi úpravy patří stínování protilehlých svahů kontrastněji u hřbetnic, méně u údolnic, nebo slabé stínování dolních partií osvětlených svahů z důvodu odlišení od vodorovných ploch. V zájmu přidání vzdušné perspektivy se na některých mapách mohou osvětlené svahy odlišit i barevně (Čapek a kol. 1992).

Stínování s místními úpravami

Stínování s místními úpravami (*local adaptation*) znamená v původním obrazu vytvořit tzv. ohrady, které rozdělí snímek do několika navolených částí. V každé můžeme pozměnit parametry oproti původnímu nastavení, tudíž zvýraznit detaily, které nebyly vidět. Současně lze také některé prvky potlačit. Mezi časté úpravy patří změna směru osvětlení, sklon dopadajících paprsků nebo jiné zvýraznění oproti většině prostoru. Po uskutečnění změn se nová část znovu interpoluje z nových hodnot buněk. Kartografové místní úpravy dělali ve velkém při manuální práci na stínovaném modelu, postupně se začaly používat i pro automatizované stínování, kdy se využívají zkušeností z ručního stínování. Ohrada má v dnešním pojetí význam podobný jako v tradičních CAD aplikacích (Jenny 2001). Využití se nabízí v horských oblastech, kde jinak budou znázorněné rovné plochy a svahy s velkým sklonem (viz např. Obr. 13).



Obr. 13: Stínovaný reliéf s několika úpravami místního charakteru.

Zdroj: Jenny (2001)

4.1.4 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech

ArcGIS

Funkci lze nalézt v ArcToolboxu v kartě *3D Analyst Tools* a položce *Raster Surfaces*. Vstupem je rastrový DMR. Vlastní algoritmus zabudovaný v programu ArcGIS je následující (ESRI 2011):

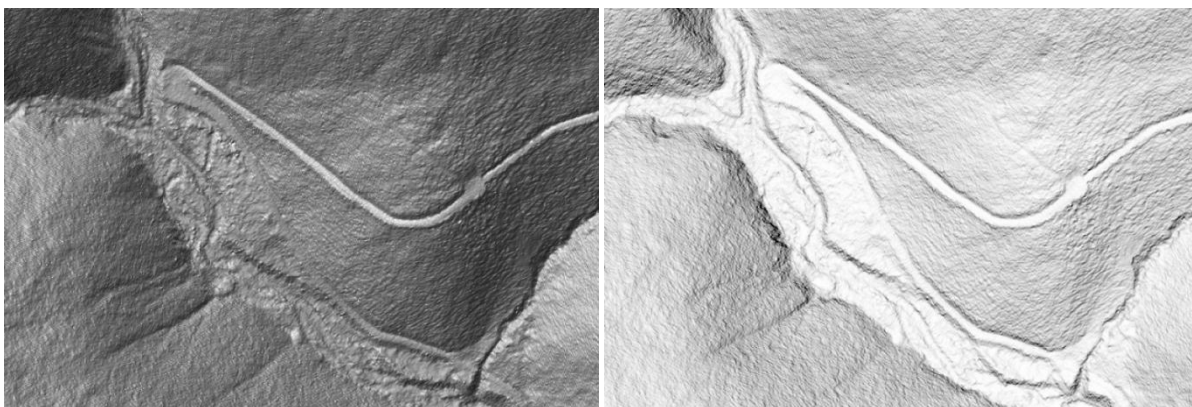
$$BV_{hillshade} = 255 \cdot (\cos Z \cdot \cos S) + \sin Z \cdot \sin S \cdot \cos(D - A)$$

<i>Z</i>	zenitový úhel (doplněk sklonu dopadajících paprsků do 90°)
<i>S</i>	sklon (ve °)
<i>A</i>	orientace terénu (ve °)
<i>D</i>	směr osvětlení (ve °)
<i>BV_{hillshade}</i>	8bit hodnota ve stupni šedi (nabývající hodnot 0 až 255)

Pokud hodnota *BV_{hillshade}* je menší než 0, výstupní hodnota bude 0.

OCAD

Program nabízí dva druhy stínování: při šikmém osvětlení (špatně označované za sklonové) a kombinované, ale zesvětlené (viz Obr. 14). Algoritmus pro výpočet není volně přístupný. Před vytvořením stínovaného reliéfu je zapotřebí vytvořit speciální DMR (*.ocdDEM). Vlastní funkce je k nalezení v horní liště pod kartou *DEM*. Stínovaný reliéf se vytvoří ve formátu *.TIFF (jiný formát OCAD nepodporuje).



Obr. 14: Srovnání stínovaného reliéfu, který je možné vytvořit v programu OCAD.
Vlevo je stínování při šikmém osvětlení (programem označované za sklonové), vpravo se nachází kombinované stínování. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

QGIS

Volně šiřitelný software QGIS nabízí několik funkcí pro práci s rastrovými modely, mezi nimi i stínovaný reliéf. Je dostupný v liště *Rastr* a v kartě *Analýza terénu*. Funkce má defaultně nastavený směr osvětlení 300° a sklon dopadajících paprsků 40° . Stínovaný reliéf lze vytvořit i přes kartu *Analýza* a volbu *DEM (modely terénu)*. Zde již paleta nástrojů, kterým se stínování může upravit, je rozšířenější. V nabídce je možnost vypočítat hrany (dává spíše neuspokojivé výsledky) nebo aplikace tzv. havraní metody místo standardně využívané Hornovy pro kalkulaci sklonu (jeden parametr funkce hillshade). Přednastavený směr osvětlení udává hodnotu 315° a sklon dopadajících paprsků 45° . Obě popsané funkce dávají odlišné výsledky při zadání stejných parametrů, jak lze vidět na Obr. 15.



Obr. 15: Srovnání výstupů funkce stínovaného reliéfu v programu QGIS.

Funkce stínovaného reliéfu vlevo k nalezení v kartě Analýza terénu, vpravo v kartě DEM (modely terénu). Stejně zadané parametry (SZ osvětlení, sklon dopadajících paprsků 45°). Pravý snímek je světlejší a některé struktury jsou zřetelnější. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Ostatní programy

Stínování je implementováno do řady programů, kromě dalších tradičních GIS softwarů (GRASS, SAGA GIS aj.) lze stínování vytvořit i v grafických programech využívaných spíše pro úpravy fotografií (např. Adobe Photoshop nebo Inkscape). Další možnosti nabízí software pracující s 3D grafikou (MapRender 3D, Blender). Rozborem dostupných programů pro stínování se zabývá např. Dan Van Dorn (2002).

4.2 Barevná hypsometrie

Jedná se o kartografickou techniku, při níž se plošně vybarvují jednotlivé výškové stupně, které jsou získány z průběhu hypsografické křivky reliéfu (vyjadřující vztah mezi plochou vrstevnic a jejich nadmořskou výškou). Barva je velmi důležitým nástrojem pro interpretaci výškopisných dat, uživatelé mapy by měla usnadnit vnímání reliéfu krajiny bez znalosti vrstevnic. Využití je hlavně u map středních nebo malých měřítek a nahrazuje tak vrstevnice, které by byly na těchto mapách zejména v horských oblastech přehuštěné (Řezníková 2013).

Počet intervalů výškových stupňů se volí v závislosti na typu území, měřítku nebo účelu mapy. Zpravidla se používá 6 – 10 intervalů, přesto mohou být i ve zvláštních případech (malých oblastech) dopočítány (Příkryl 2009):

$$I < 0,0003 \cdot M \cdot \tan \beta_{max}$$

<i>I</i>	počet intervalů
<i>M</i>	měřítko mapy
β_{max}	maximální sklon v dané oblasti (ve °)

Jednotlivé výškové vrstvy vybarvujeme podle hypsometrické stupnice barev. Pokud máme reliéf negativní (hloubkové vrstvy), využíváme batymetrickou stupnici barev. Ať již hypsometrickou nebo batymetrickou stupnici barev tvoří sled barev uspořádaných podle určitých zásad. Ve vývoji se vystřídaly různé přístupy, z nichž některé přetrvaly dodnes.

4.2.1 Přístupy v barevné hypsometrii

Kontrastní barevná stupnice

Cílem této metody bylo co nejvíce od sebe odlišit výškové stupně. Vznikla nejdříve (v době prvního barevného tisku), mnoho let před vývojem stínování a dalších výškopisných technik, které byly postupně včleněny do mapy vedle barevné hypsometrie. Objevovala se pouze na mapách menších měřítek. V Tab. 1 je znázorněná barevná škála Výškopisné mapy střední Evropy od autora A. Papena pocházející z roku 1853. Je patrně nejstarší mapou s kontrastní barevnou stupnicí.

Tab. 1: Barevné intervaly jednotlivých výškových pásem A. Papena

nadm. výška [m]	barva	nadm. výška [m]	barva
1624	červenohnědá	487	zelená
1460	žlutá	324	světle šedá
1300	tmavě šedá	162	světle hnědá
1136	bílá	130	sytě žlutá
974	hnědočervená	97	světle žlutá
812	tmavě modrá	65	světle modrá
649	červenofialová	32	šedivě okrová

Zdroj: Imhof (2007)

Stupňování na principu „čím výše, tím světleji“

Jedním z prvních autorů, který vymyslel barevnou škálu na principu „čím výše, tím světleji“ pro školní atlas, byl Emil von Sydow v roce 1847. Výhodou uvedeného postupu je stálost stupňování, které je přirozené pro kontinuitu povrchu terénu i přírodní výškové gradienty. Sydow nejdříve operoval s odstíny šedi, následně vytvořil gradaci následující barev (vzestupně): šedá, šedozeleň, žlutá bílá. Tento princip se ukázal jako částečně vhodný pro horské oblasti, kde se kombinoval se stínováním, naopak se nehodil do nížin, kde obvykle je mapa zahuštěná více detaily a při tmavém podkladu se stane nečitelnou.

Stupňování na principu „čím výše, tím tmavěji“

Opačný princip vznikl ve stejné době jako výše uvedený. Cílem bylo vytvořit světlejší nížinné části, kde jsou zastavěné oblasti, komunikace a řada dalších detailů a naopak horské oblasti s důrazným hnědým tónováním. Vznikl tedy koncept barev od nejspodnější bílé, přes světle hnědou až po tmavě hnědou. Tato gradace může být postavená na vzdušné perspektivě. Stejně jako v krajině totiž může pozorovat postupné zesvětlování tmavých tónů. Průkopníkem této metody je považován Franz von Hauslab, rakouský generál a kartograf.

Princip „čím výše, tím tmavěji“ ale také uplatňoval Ludwig Ravenstein, který vytvořil Hypsometrickou mapu Německa v měřítku 1 : 1 700 000 nebo mapu východních Alp v měřítku 1 : 250 000. Koncept se používá dodnes, především v jednobarevných mapách s různými výškovými stupni.

Standardní stupnice s upraveným spektrálním rozsahem

Ke konci 19. století byla stupnice barev popisovaná výše (princip „čím výše, tím tmavěji“) rozšířená do více stupňů. Tento, dnes velice často používaný, princip obsahoval barvy (vzestupně): tmavě modrá nebo šedozeleň, modrozelená, zelená, světle žlutozelená, žlutá, světle žlutohnědá, středně tmavě hnědá nebo červenohnědá, tmavě hnědá nebo červenohnědá.

Barevný rozsah podle Karla Peuckera

Posloupnost barev, která byla zavedena Karlem Peuckerem na začátku 20. století, je podobná části spektrálních barev. Jeho princip obsahoval následující barvy (vzestupně): šedá, šedozeleň, žlutozelená, zelenožlutá, žlutá, oranžovožlutá, červenooranžová, sytě červená. Peucker použil poprvé tuto barevnou stupnici v roce 1910 na mapu Jižního Tyrolska v měřítku 1 : 200 000. Podobné barevné rozložení použil pro svojí Hypsometrickou mapu Švýcarska J. M. Ziegler již v roce 1866.

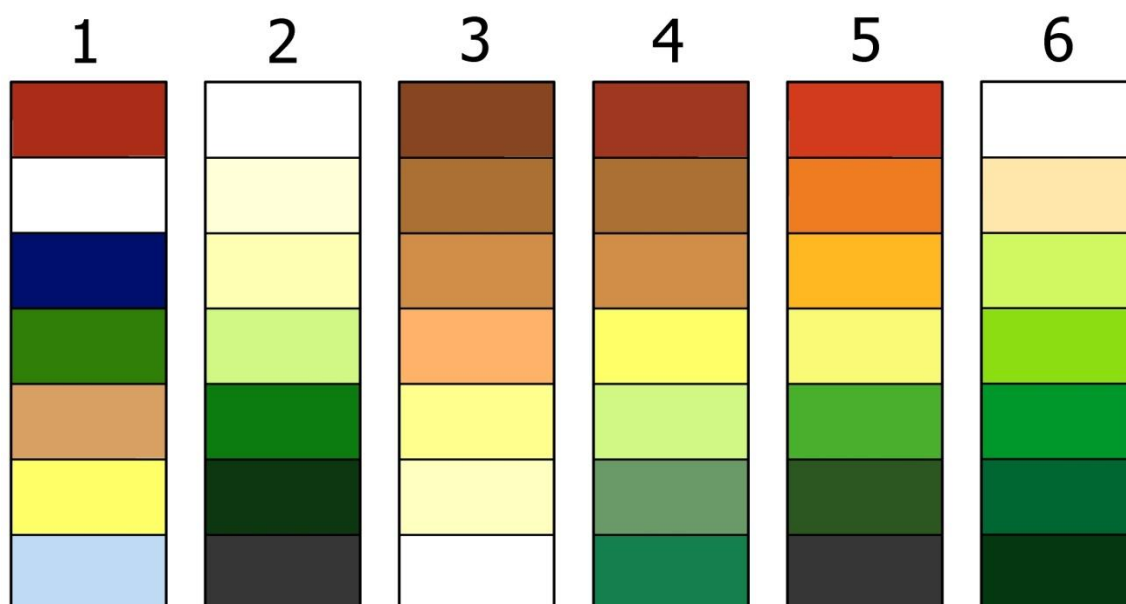
Barevný rozsah pro mapy středních a velkých měřítek se stínováním

Tento typ byl vyvíjen několik let pro horské terény hlavně ve Švýcarsku pro mapy v měřítkách od 1 : 10 000 do 1 : 500 000. Barvy se snaží být přirozené, oblasti věčného sněhu a ledu jsou obecně

znázorněny bíle. Barevná kombinace je následující (vzestupně): nazelenale šedomodrá, modrozelená, zelená, nažloutlá zelená, nazelenale žlutá, načervenalé žlutá, bílá (zároveň pro oblasti věčného sněhu a ledu). Na vrcholu a v oblastech se skálami nebo sutěmi je pak růžová, oranžová nebo hnědá, ale velmi světlá. V údolích je navíc výrazné stínování, které je kombinováno s nádechem odpovídající barvy (Imhof 2007).

Problém nastává při spojení dvou rastrů - stínovaného reliéfu a barevné hypsometrie. V případě dvou vrstev s nastavením určité průhlednosti dochází ke ztrátě barevnosti a současně k potlačení některých jemných tvarů, které lze vidět na samostatném stínovaném reliéfu. Proto se aplikuje technika *Pan-sharpening*, která digitálně pojí oba obrazy vedoucí jak k maximální podrobnosti na straně jedné (prvky terénní mikroreliéfu ze stínování), tak k zachování barevnosti (stupně barevné hypsometrie). Výsledné rozlišení je stejné jako stínovaný reliéf (ESRI 2012).

Obrázek 16 srovnává všechny uvedené hypsometrické stupnice barev.



Obr. 16: Srovnání hypsometrických stupnic barev.

1 - kontrastní barevná stupnice, 2 - stupňování na principu „čím výše, tím světleji“, 3 - stupňování na principu „čím výše, tím tmavěji“, 4 - standardní stupnice s upraveným spektrálním rozsahem, 5 - barevný rozsah podle Karla Peuckera, 6 - barevný rozsah pro mapy středních a velkých měřítek se stínováním. Zdroj: Imhof (2007), vlastní zpracování.

Barevné tónování pro batymetrické mapy

Na batymetrických mapách se obvykle znázorňuje podmořský nebo jezerní reliéf, a proto se často používá modrá barva pro vyjádření hloubky. Se snižující nadmořskou výškou je odstín modré tmavší. Zpravidla se volí 5 až 6 intervalů. Pokud je podvodní reliéf komplikovaný, pro znázornění se používá až 8 nebo 9 odstínů. Další zvýraznění nejhlubší vrstvy může být dosaženo přidáním dalších barev, např. zelené nebo žluté. Na některých mapách se můžeme také setkat s fialovým dnem. Tyto úpravy podněcují vjem hloubky a vizuálně působí podobně jako nahnědlé vrcholky hor na hypsometrických mapách (Imhof 2007).

4.2.2 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech

ArcGIS

Uplatnit barevnou hypsometrii v softwaru ArcGIS lze pro rastr i TIN (pro TIN s omezenými možnostmi). Na vrstvu, kterou chceme barevně škálovat, klikneme pravým tlačítkem v *Table of Contents* na *Properties* a přejdeme do karty *Symbology*. V pravém sloupci vybereme požadovaný způsob vytvoření barevné hypsometrie:

- *podle unikátních hodnot*
Každé hodnotě je přidělena barva s omezením na 65536 unikátních hodnot v souboru, proto pro velký počet dat není vhodná (např. nelze pracovat s celým listem DMR 4G nebo DMR 5G). Využití má např. při klasifikaci povrchu.
- *klasifikací*
Podle klasifikační metody (např. přirozené hranice, geometrické intervaly, manuální aj.) se hodnoty buněk seskupí do tříd, jejichž počet nastaví uživatel. Barevné schéma, které je přednastaveno, lze různě editovat a ukládat.
- *roztažením barevné škály*
Z nabídky lze vybrat barevnou stupnici, která je aplikována tak, že data jsou vykreslena spojitě. Můžeme nastavit i určité mezní hodnoty s vybranou barvou.
- *použitím diskrétních barev*
Tato volba je podobná jako při vizualizaci podle unikátních hodnot, ale díky větší škále unikátních hodnot se jedná o účinnější metodu (ESRI 2014a). V nabídce zadáme počet použitých barev a barevné schéma, barvy v mapě se zobrazí náhodně. Po určitém úseku, který je definován unikátními hodnotami, se barvy začnou opakovat. Pro účely práce s LLS daty je to nejlepší metoda z důvodu možnosti identifikace některých drobných detailů.

Barevné schéma u všech zmíněných metod lze uložit a následně importovat v dalších projektech. Srovnání výstupů lze vidět na Obr. 17.



Obr. 17: Barevná hypsometrie při použití odlišných funkcí v programu ArcGIS.
Barevná hypsometrie vytvořená klasifikací do 10 tříd (vlevo), roztažením barevné škály (uprostřed), použitím diskrétních barev (255 barev). Zdroj dat: DMR 5G (2013).

OCAD 11

Software OCAD verze 11 umožňuje vytvořit několik typů barevné hypsometrie, prostředky pro tvorbu jsou ale omezené. Jedna z možných cest je vygenerovat mapu automatizovaně ve formátu TIFF bez uživatelského zásahu. Jediný faktor, který může uživatel ovlivnit, je velikost buňky při tvorbě DMR. Pokud již máme zanalyzovaný a vložený DMR (ve formátu *.ocdDem) v prostředí programu OCAD, přejdeme do karty *DEM* a vybereme *Create Hypsometric Map*. Zde máme dvě možnosti:

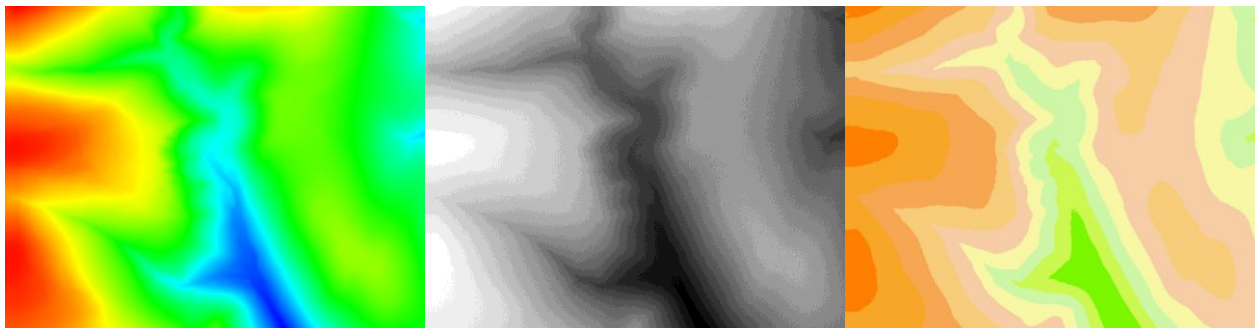
- šedá hypsometrická mapa
- barevná hypsometrická mapa

Barevnost a rozpětí intervalů je plně v režii softwaru. Barevné rozložení je nastaveno pro všechny typy terénu, proto výsledek je podobný na rovinatějším i v hornatém území, pro účely interpretace terénu je nevhodné (viz Obr. 18). Buňkám s nejnižší hodnotou nadmořské výšky je přiřazena černá na šedé a tmavě modrá na barevné hypsometrické mapě, buňkám s nejvyšší nadmořskou výškou pak bílá, resp. červená barva.

Další možností je klasifikovat terén do několika stupňů, což je pro tvorbu map větších měřítek přirozenější a dává nám lepší výsledek. Přejdeme znovu do karty *DEM* a tentokrát zvolíme položku *Classify Vegetation Height*. Jak postupně zjistíme, klasifikovat nemusíme jen výšku vegetace, ale obecně DMR. Zde znovu máme na výběr, ať již klasifikaci v barvách šedi nebo manuální, kde barvy a intervaly definujeme sami. OCAD 11 nabízí tři různé klasifikace v barvách šedi:

- Lineární
- Kvadratická negativní
- Kvadratická pozitivní

Z hlediska uživatele je zajímavá volba manuální klasifikace (v OCADu označována jako barevná klasifikace). Pomocí navolení jednotlivých tříd intervalů nadmořských výšek a barev vytvoříme barevnou hypsometrii dle uživatelského nastavení. Výhodou je pak možnost importu kategorií z formátu *.txt, kde si nadmořské výšky i barvy můžeme připravit. Nicméně první třída musí začínat s nadmořskou výškou 0, i když není v DMR obsažena.



Obr. 18: Možné výstupy barevné hypsometrie z programu OCAD.

Vlevo barevná a uprostřed šedá hypsometrická mapa, kde barvy a intervaly volí automaticky OCAD, manuální klasifikace vpravo. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

4.3 Sklon

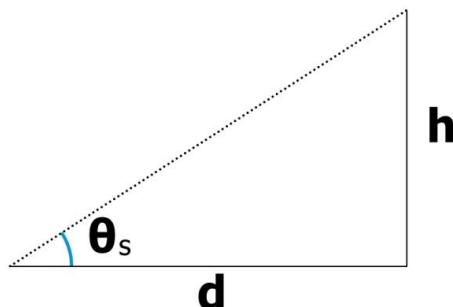
Sklon představuje další možnost vizualizace z DMR a přináší informaci o svažitosti terénu. Nejčastěji je definován úhlem (případně se uvádí v procentech), který svírá rovina horizontální a vertikální složky mezi pozorovanými body. Sklon může být určen jako jediný normálový vektor nebo se skládat ze dvou složek, gradientu sklonu a orientace svahu. Gradient sklonu vyjadřuje míru změny nadmořské výšky v území, orientace horizontální směr této změny (Jones 1998). Základní výpočet sklonu je kalkulován přes pravoúhlý trojúhelník:

$$\tan \theta_s = \frac{h}{d}$$

Sklon lze také vyjádřit v procentech:

$$\theta_p = \frac{h}{d} \cdot 100$$

θ_s	sklon (ve °)
θ_p	sklon (v %)
h	výškový rozdíl (v m)
d	vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem (v m), viz Obr. 19



Obr. 19: Výpočet sklonu na pravoúhlém trojúhelníku.

Zdroj: vlastní zpracování

Jedná se o situaci v 1D. Pokud je sklon 45°, parametry h a d jsou stejně dlouhé. Pro výpočet ve specializovaných softwarech se používá dvojrozměrný nebo trojrozměrný povrch a do výpočtu se obvykle zahrnují dvě složky, gradient sklonu a orientace (Zhou, Liu 2004):

$$S = \arctan \sqrt{f^2(x) + f^2(y)}$$

$$A = 270^\circ + \arctan \left(\frac{f(y)}{f(x)} \right) - 90^\circ \cdot \left(\frac{f(x)}{|f(y)|} \right)$$

S	gradient sklonu (ve °)
A	orientace (ve °)
$f(x), f(y)$	funkce vypočítané na základě hodnot z okolních buněk (kapitola 4.3.1)

Jednoduchý odhad, kde je největší nebo nejmenší sklon v námi definovaném místě, lze provést podle vrstevnic. V místech s největší hustotou vrstevnic bude sklon největší, žádný v oblastech bez vrstevnic. Současně se jedná o důležitý morfometrický ukazatel určující míru intenzity geomorfologických projevů (Demek 1987). Z hodnot sklonu můžeme určit charakteristický objekt, který se v místě nachází (terénní stupeň, stěna aj.). Jednotlivé intervaly sklonu jsou charakteristické ve vztahu k fyzicko-geografickým poměrům, jak lze vysledovat podle Tab. 2.

Tab. 2: Klasifikace ploch dle sklonu

Typ plochy	Sklon
Rovinné plochy	0-2°
Mírně skloněné plochy	2-5°
Značně skloněné plochy	5-15°
Příkře skloněné plochy	15-25°
Velmi příkře skloněné plochy	25-35°
Srázy	35-55°
Stěny	více než 55°

Zdroj: Demek (1987)

4.3.1 Přístupy ve výpočtu sklonu

Jednotlivé přístupy upravují rovnici představenou v úvodu kapitoly. Pro určení buněk ve čtverci 3×3 je použito následující označení podle Obr. 20.

B7	B8	B9
B4	B5	B6
B1	B2	B3

Obr. 20: Označení buněk pro výpočet sklonu ve čtverci 3×3.

Zdroj: vlastní zpracování podle Zhou, Liu (2004)

Pro níže uvedené rovnice je užíváno označení:

- B_x hodnota nadmořské výšky v dané buňce
 g prostorové rozlišení

Havraní metoda

Algoritmus tzv. havraní metody spočívá ve výpočtu gradientu sklonu a orientace ze 4 sousedních výškových bodů v rastru. Východozápadní i severojižní gradient je vyjádřen parametry h a d mezi přilehlými buňkami v daném směru (východ-západ a sever-jih). Z těchto koeficientů jsou pak dopočítány hodnoty gradientu sklonu a orientace svahu (Zhou, Liu 2004):

$$f(x) = \frac{B6 - B4}{2 \cdot g}$$

$$f(y) = \frac{B8 - B2}{2 \cdot g}$$

Metodu poprvé popsali Fleming a Hooper, následně navazovali Unwin nebo Zevenbergen s Thornem (Jones 1998).

Hornova metoda

Hornův přístup navazuje na havraní metodu, přičemž ale využívá k výpočtu 8 nejbližších buněk. Algoritmus spočívá v průměru tří svislých a vertikálních hodnot buněk bez započítání vždy buňky uprostřed. Výsledek bude více hladký než u havraní metody (Lee, Clarke 2005):

$$f(x) = \frac{B3 - B1 + B6 - B4 + B9 - B7}{6 \cdot g}$$

$$f(y) = \frac{B7 - B1 + B8 - B2 + B9 - B3}{6 \cdot g}$$

Hornova metoda je implementována v celé řadě programů (Jones 1998).

Metoda převrácených vzdáleností

Metoda je drobnou modifikací Hornovy metody spočívající ve dvojnásobné váze výpočtu vertikálních a svislých hodnot, které jdou přes centrum čtverce 3×3. 8 nejbližších buněk pro stanovení hodnoty sklonu zůstává. Metodu popsal Unwin (1981):

$$f(x) = \frac{B3 - B1 + 2 \cdot (B6 - B4) + B9 - B7}{8 \cdot g}$$

$$f(y) = \frac{B7 - B1 + 2 \cdot (B8 - B2) + B9 - B3}{8 \cdot g}$$

Metoda největšího klesajícího gradientu

Metoda je postavená na komparaci osmi sousedních buněk, ze kterých se vyberou dvě, které mají největší klesající gradient (nejvíce se změnila nadmořská výška). Hodnoty orientace odpovídají azimutu z centrální buňky, tj. nabývají hodnot 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° nebo 315°. Algoritmus metody představuje jednoduchou a rychlou analýzu buněk 3×3 (Jones 1998).

4.3.2 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech

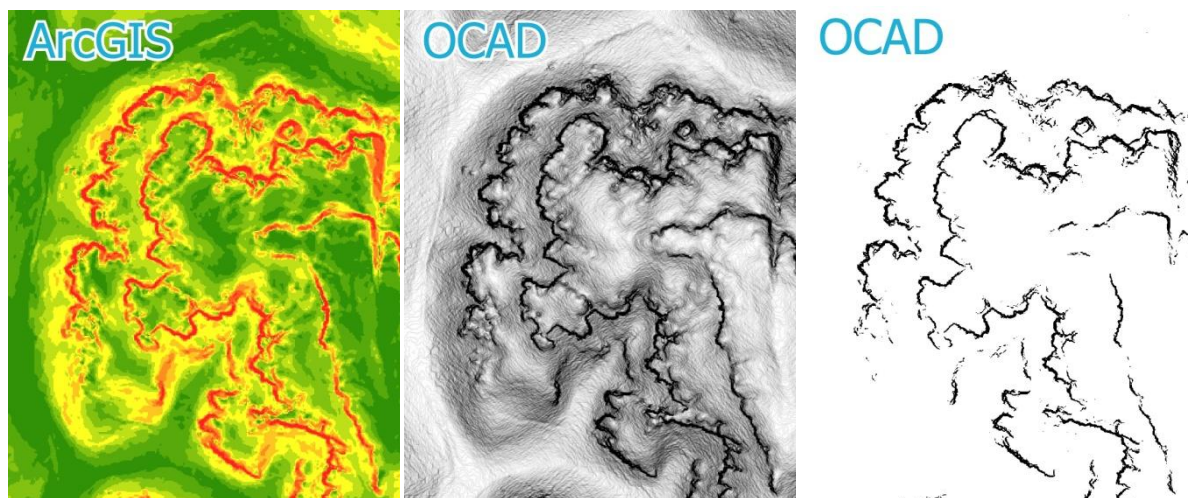
ArcGIS

ArcGIS využívá pro výpočet sklonu Hornovu metodu, která bere informace z hodnot v 8 nejbližších buňkách, kterým je přiřazena určitá váha. Funkce *Slope* je v *ArcToolboxu* pod položkou *3D Analyst Tools* a *Raster Surface*. Kromě vložení rastrového DMR a složky výstupního souboru je možnost výběru formátu hodnot sklonu (buď stupně nebo procenta). Po zpracování můžeme v *Layer Properties* nastavit barevnou škálu pro jednotlivé intervaly sklonu nebo nastavit několik diskrétních hodnot pro možnou detekci objektů (jako v OCADu).

OCAD 11

Na rozdíl od programu ArcGIS neumí OCAD barevně rozlišit jednotlivé stupně (viz Obr. 21), jednoduše ale vyhodnotí buňky s určitou hodnotou sklonu. Funkce *Calculate Slope Gradient* je k nalezení v kartě DEM, pro výpočet jsou dvě možnosti:

- Spojitý šedotónový model s uživatelsky možným nastavením mezní hodnoty, od které jsou buňky s vyšší hodnotou sklonu černé.
- Buňky, které mají sklon větší než stanovená mez, se obarví do černa, ostatní zůstávají bílé. Vhodné pro detekci významných terénních stupňů nebo skal.



Obr. 21: Srovnání výstupů funkcí *Slope* (ArcGIS) a *Calculate Slope Gradient* (OCAD).
Vlevo barevně, uprostřed černobíle odlišené jednotlivé stupně, vpravo je černě vyjádřen sklon buněk větší než 45°. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

4.4 Sky-view faktor

Je pochopitelné, že nelze vidět stejnou část oblohy na hřebenu a v hlubokém údolí. Z této myšlenky vychází metoda sky-view faktor, která se snaží novým způsobem vizualizovat výškopisná data a v určitých ohledech překonat problémy stínování. V české literatuře se můžeme setkat také s označením faktor výhledu (např. John, Gojda 2013). Pro účely této bakalářské práce je použit název sky-view faktor nebo zkratka SVF.

SVF je definován v části viditelného nebe nad pozorovaným územím, simuluje rozptýlené výpočtem. Do každého pixelu rastru se запиše taková hodnota, která odpovídá, jak velkou část oblohy lze z daného místa vidět. Čím má daná lokalita omezenější výhled, tím je plocha ve výsledku tmavší, naopak v místech s dobře viditelnou oblohou je světlejší (Zakšek a kol. 2011).

Při výpočetních operacích musíme předpokládat, že jasnost na celé polokouli je stejná, neexistuje žádný další zdroj osvětlení v daném směru a zemské zakřivení je minimální (maximálně 10 km).

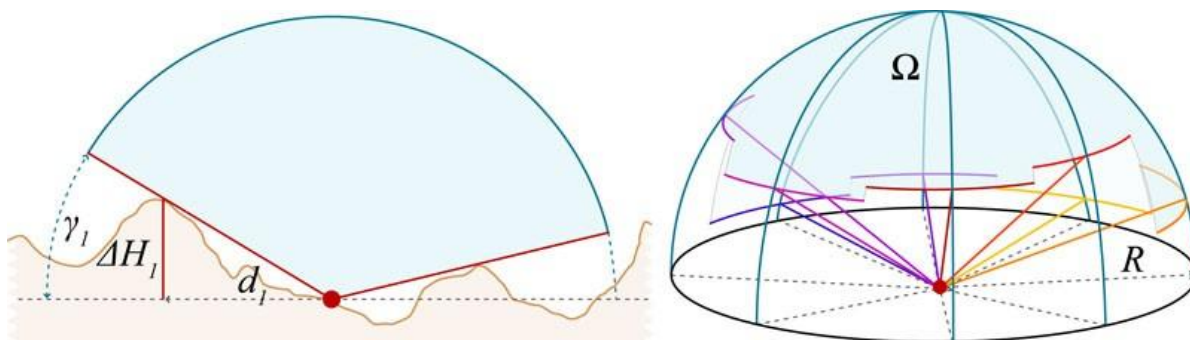
Nejvhodnější opatření pro vyjádření části viditelné oblohy je prostorový úhel Ω , který měří, jak se určitý objekt jeví pozorovateli. Pokud budeme uvažovat, že úhel vertikální elevace nad horizontem γ_i je stejný pro všechny směry osvětlení daného místa, pak viditelné nebe je omezené povrchem kužele (viz Obr. 22). Prostorový úhel lze vyjádřit následovně (Zakšek a kol. 2011):

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sin \gamma_i}{n}\right)$$

Pokud prostorový úhel normalizujeme na nebeskou polokouli, vzorec můžeme upravit. Výpočet hodnoty SVF pro každý pixel je následovný:

$$SVF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sin \gamma_i}{n}$$

γ_i	úhel vertikální elevace nad horizontem ve směru i
n	počet směrů osvětlení na daném místě
SVF	sky-view faktor (nabývá hodnot od 0 do 1)



Obr. 22: Parametry výpočtu sky-view faktoru znázorněné na polokouli.

Zdroj: Zakšek a kol. (2011)

Hodnoty SVF blízké k 1 představují místa, z kterých je vidět téměř celá polokoule, kdežto hodnoty přibližující se 0 nabývají v hlubokých údolích nebo depresích. V důsledku uvedeného faktu lze velice dobře rozlišit konvexní a konkávní tvary reliéfu. Výpočet SVF je také závislý na zvoleném poloměru horizontu. Čím je větší, tím se jedná o více generalizovanější výsledek. Ten se používá např. pro meteorologické účely, kde se volí poloměr okolo 10 km. S malými poloměry horizontu (5-10 m) se můžeme setkat při práci na interpretaci drobných tvarů reliéfu nebo pro identifikaci míst pro archeology (Kokajl a kol. 2011).

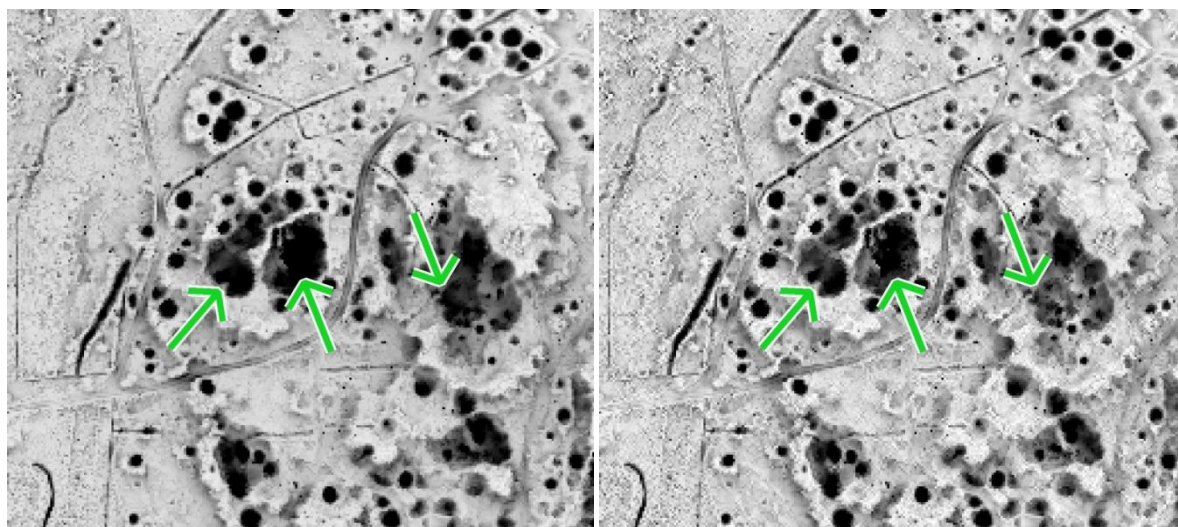
V důsledku výpočtů hodnot z mnoha směrů se jedná o časově náročnou operaci. Z toho důvodu byly provedeny pokusy ke zjednodušení, např. přes analýzu sklonitosti reliéfu. Nicméně se ukázalo, že vhodnost metody je pouze pro data s nízkým rozlišením (Tian a kol. 2001).

SVF je geofyzikální parametr, proto se nepoužívá jenom pro vizualizaci výškopisných dat v kartografii, ale uplatňuje se v mnohých oborech, kde je důležitá míra oslunění, resp. ovlivnění dlouhodobného ozařování do okolí skrz překážky. Jedním z příkladů může být určování dostupnosti signálu GPS v reálném čase, které je ovlivněno zástavbou nebo lesní porostem. Rozsáhlé prostorové analýzy ukázaly, že bez GPS se v podstatě SVF neobejde (Chen a kol. 2010). V silniční meteorologii pak k určení míst, které jsou pro dopravu nebezpečné v souvislosti s počasím (náledí, jinovatka). Jsou to nadjezdy, přejezdy nebo lesní úseky. Ty mají nízký SVF z důvodu stínění, a proto může vozovku pokrývat led déle. Opačný případ je u mlhy, která v důsledku omezeného úniku záření nedosahuje takové hustoty v lese jako v otevřené krajině (Sulan 2012). Pro určení SVF se využívají fotografie ve tvaru „rybí oko“, v časovém bloku dochází k drobným změnám (růst stromů, odlistění). Nepřímo určení SVF lze i pomocí termálního mapování (Sulan, Škuthan 2005). SVF také nachází uplatnění v urbánní klimatologii pro charakterizaci překážek, které zabraňují vyzařování z určitých objektů v zastavěných oblastech, a tím podněcují vznik tepelného ostrova města. Uplatňují se dva výpočty SVF, vliv samotných budov a také vliv všech ostatních překážek. SVF tak napomáhá k predikci minimálních teplot v prostředí městské zástavby a k odhadu intenzity tepelného ostrova města (Dobrovolný, Krahula 2012). Další uplatnění nacházíme např. v hydrologii, geomorfologii nebo v lesnictví.

4.4.1 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech

Vizualizace SVF je implementována do softwaru pro dálkový průzkum Země ENVI+IDL nebo do volně šiřitelného programu SAGA GIS zaměřeného na modelování a analýzy ve fyzické geografii. Současně je možné využít program Relief Visualization Toolbox (RVT), který se spustí bez instalace. Při spuštění programu je nutné nahrát DMR ve formátu *.TIF nebo *.TIFF. V uživatelském rozhraní lze ovlivnit a nastavit 2 hlavní kritéria. V první řadě se jedná o počet hledaných směrů osvětlení horizontu. Rolovací menu udává tři možnosti 8, 16 a 32, ale položka je editovatelná a lze tedy nastavit vlastnoručný počet směrů. Výpočetní čas se zvyšuje úměrně podle počtu směrů (RVT 2013). Druhým parametrem je velikost poloměru horizontu (viz Obr. 22, parametr R). Zadává se v pixelech, pro detekci malých objektů je vhodné nastavit poloměr mezi 5-20 pixely (přednastaveno je 10). Dále máme možnost odstranit i šum, na výběr jsou tři úrovně odstranění - nízká, střední a vysoká. Výsledný

snímek vytvořený metodou SVF se uloží ve stejném adresáři jako původní *.TIFF soubor. Výše uvedené parametry ale výsledek tolik neovlivní (viz Obr. 23), lze tedy ponechat přednastavené hodnoty.



Obr. 23: Srovnání výstupů SVF při zadání odlišných parametrů.

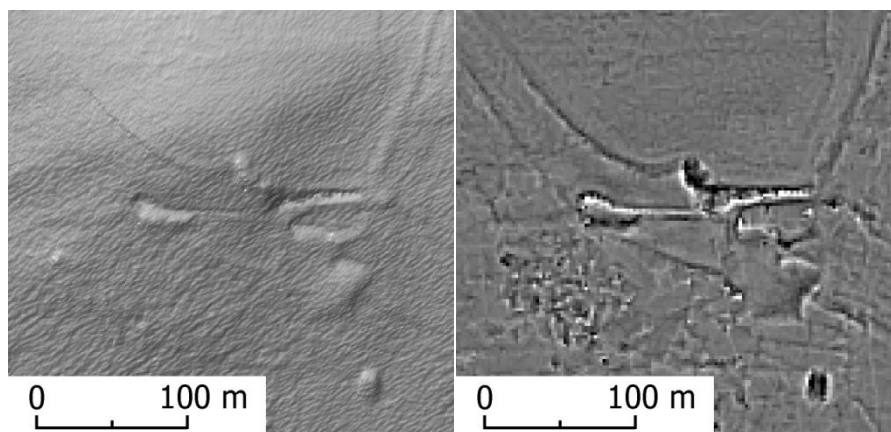
Vlevo SVF se 4 hledanými směry osvětlení a velikostí poloměru horizontu 10px, vpravo SVF se 16 hledanými směry osvětlení a velikostí poloměru horizontu 100px. Šipky poukazují na drobné odchylky. Zdroj dat: ArchaeoMontan (2013a), vlastní zpracování.

4.5 Lokální reliéf

Lokální reliéf (též užívána zkratka LRM podle anglického *local relief model*) je metoda založená na identifikaci jemných rysů nebo drobných terénních anomálií. Současně dochází k odstranění makrotvarů z původního povrchu. Metoda se rozvíjí v posledních letech při dostupnosti digitálních výškopisných dat (zvláště dat LLS), protože v minulosti, kdy topografické podklady neobsahovaly podrobná data, bylo obtížné vytvořit LRM za vzniku plnohodnotných výsledků.

Princip spočívá ve vydělení prvků lokálního reliéfu, které jsou pro nás stěžejní z DMR. Může se jednat o zářezy terénu, terasy nebo malé prohlubně. Tyto tvary reliéfu by byly při další práci odstraněny různými filtry, ale pro nás jsou významné. Hodnoty prvků reliéfu z DMR odečteme z původního DMR. To má za následek, že dostáváme odlišnou mapu obsahující pozitivní a negativní hodnoty jiné než ve skutečnosti. Proto následují další úpravy. V druhém kroku vymezíme hranice mezi pozitivními a negativními lokálními tvary reliéfu a najdeme místa, která se po odstranění rovnají 0. Pokud tato místa, resp. jejich hodnoty vyjme z DMR a současně ostatní místa interpolujeme, máme DMR, které je bez prvků lokálního reliéfu. Odečtením takto vzniklého DMR od původního DMR vznikne tzv. lokální reliéf. Jednotlivé anomálie jsou odděleny od rozsáhlých krajinných forem, tedy slouží k lepší interpretaci objektů.

Před zautomatizováním postupu LRM se k identifikaci tvarů využívalo stínování s kombinací jednotlivých směrů osvětlení (srovnání LRM se stínováním na Obr. 24). Z jižního směru dostáváme inverzní terén, který v určitých případech je vhodný, ale v kombinaci s dalšími směry se stírají rozdíly mezi negativními a pozitivními tvary terénu, a proto pro určení lokálního reliéfu je spíše nevyhovující. Jednotlivé lokální anomálie jsou velmi závislé na světelné podmínky, a proto ne všechny jsou vidět (Hesse 2010).



Obr. 24: Srovnání stínovaného a lokálního reliéfu.

Dva odlišné výstupy stejného území: vlevo stínovaný reliéf se směrem osvětlení 315° a sklonem dopadajících paprsků 45°, vpravo lokální reliéf vzniklý funkcí Focal Statistics v ArcGISu. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Významnou měrou posouvá LRM hranici poznání v archeologii, pro kterou tato metoda byla vytvořena. Využívá se pro hledání, mapování a sledování archeologických nalezišť. Dnes lze principy lokálního reliéfu vztáhnout i do jiných oborů (např. geomorfologie). Obecně metoda nachází velké uplatnění při pozorování velkých krajinných celků bez možnosti průzkumu a nacházení strukturních anomálií. Nevýhodou může být zahrnutí byť i menších množství malých přírodních tvarů, které nemají kontext v daném reliéfu, případně detekce antropogenních tvarů (Holata, Plzák 2013).

Vzniklý lokální reliéf by ale měl být zasazen do prostředí, a proto na pozadí jako pomocný a současně srovnávací model se používá stínovaný model. Lokální reliéf je pak barevný a vystupuje z šedotónového snímku. Lze ho využít pro další analýzu jako je určení výškových profilů na daném (většinou velmi malém) území. Výsledný model je pro uživatele méně intuitivní než stínování nebo SVF (Zakšek a kol. 2011).

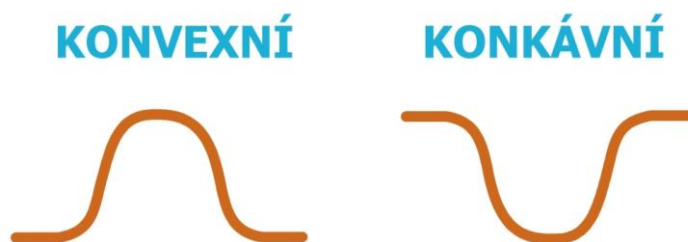
4.5.1 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech

Lokální reliéf se v jednoduché podobě může vytvořit v prostředí ArcGIS. Nástroj *Focal Statistics*, který se nalézá v ArcToolboxu v sekci *Spatial Analyst Tools* a položce *Neighbourhood*, vypočítá pro každou buňku původního souboru statistický údaj z buněk kolem něj. Vstupním souborem je rastrový DMR, uživatel nastaví velikost a tvar oblasti buněk, které pro každý pixel program bude kalkulovat. Je potřeba také změnit jednotky na *Meters* a jako statistický činitel necháme defaultně nastavený průměr. Tímto způsobem vznikne vyhlazený DMR, od kterého odečteme původní DMR funkcí *Minus*. V prvním řádku přidáme právě vzniklý vyhlazený rastr, do druhého nahrajeme původní DMR a vzniká výsledek. Lze také využít již vytvořených toolboxů, např. Local Relief Model (LRM) Toolbox for ArcGIS (Novák 2014).

Mezi další programy, které mají implementována funkce LRM, patří výše popisovaný RVT. Nástroj pro tvorbu lokálního reliéfu také obsahuje software GRASS.

4.6 Křivost

Křivost terénu je důležitý ukazatel konvexnosti nebo konkávnosti reliéfu. Stává se užitečnou funkcí pro identifikaci oblastí s rychlou změnou sklonu nebo orientace svahu (Kennely 2008). Mnozí autoři uvádí, že neexistuje přesná definice (např. Jenness 2013 nebo Blaga 2012). Zaměňují se i pojmy konkávní a konvexní. Pro tuto kapitolu jsem se držel označení Demka (1987), viz Obr. 25.



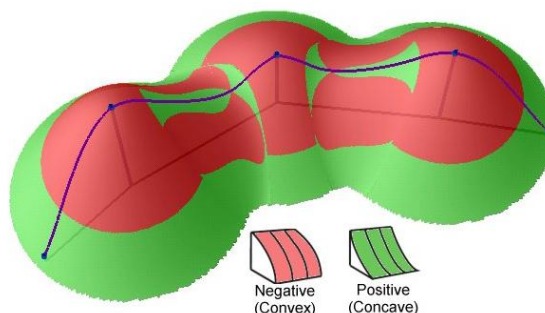
Obr. 25: Vymezení pojmů konvexní a konkávní tvar.

Zdroj: vlastní zpracování podle Demka (1987).

Křivost obsahuje informace srovnatelné s modelem stínovaného reliéfu, který je osvětlen více směry. Model je zpravidla znázorněn v šedotónovém provedení, jiná varianta představuje použití tmavě modré pro konkávní povrch, bílé pro ploché povrchy a tmavě červená pro konvexnost (Wood 1999). Křivost může také sloužit jako doplnění pro mapy vzniklé stínováním (Kennely 2008). Je popsána řada typů křivosti, mezi často implementované do tradičních GIS softwarů patří profilová a horizontální křivost. K dalším důležitým z hlediska morfometrických analýz řadíme křivost tangenciální, podélnou, průřezovou, maximální nebo minimální.

Profilová křivost

Profilová nebo též vertikální křivost je rovnoběžná se směrem maximálního sklonu (viz Obr. 26). Je definována mírou změny sklonu a z geomorfologického hlediska ovlivňuje rychlost vody po povrchu a tím i výsledný pohyb sedimentů. Hodnota zakřivení může být buď záporná (poukazuje na konvexní tvar v místě buňky), kladná (vypočítaná hodnota pro konkávní tvary) a nebo rovnající se 0. To je ukazatelem lineárního povrchu (ESRI 2010).

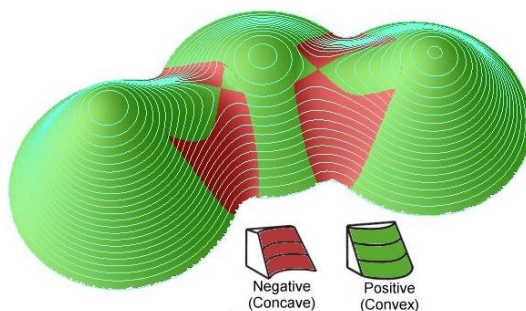


Obr. 26: Schéma profilové křivosti.

Zdroj: ESRI (2014b)

Horizontální křivost

Horizontální (planární) křivost je kolmá ke směru maximálního sklonu (ESRI 2010). Odráží rychlost změny svahu v porovnání s izohypsou. Může být popsána jako hypotetické zakřivení vrstevnice v dané buňce, proto je někdy označovaná jako vrstevnicová křivost (Blaga 2012). Kladná hodnota v buňce představuje konvexní tvar, který oproti profilové křivosti je definován v horizontální směru. V případě záporné hodnoty se jedná o konkávní tvar. Nulová hodnota opět představuje lineární povrch (ESRI 2010).



Obr. 27: Schéma horizontální křivosti.

Zdroj: ESRI (2014b)

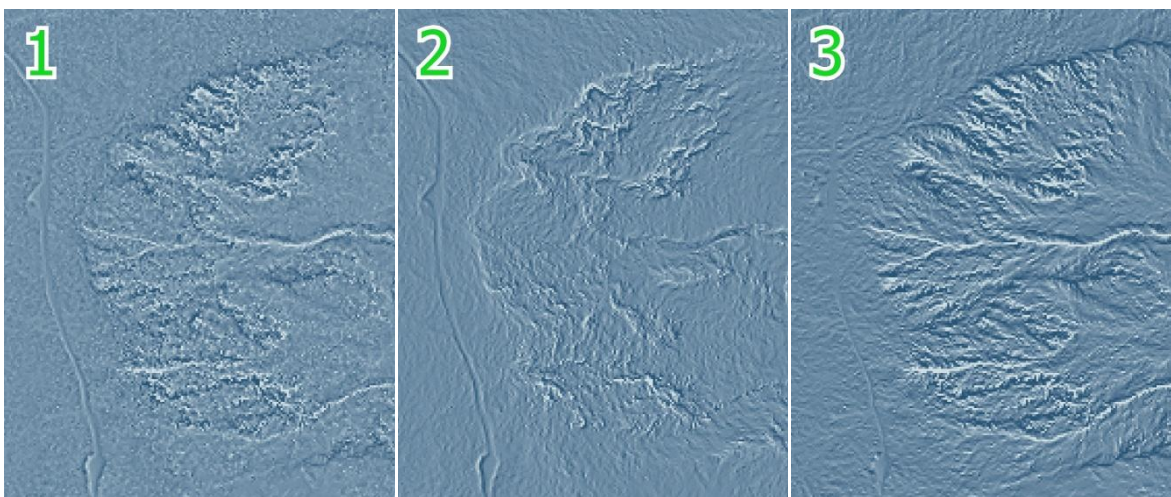
4.6.1 Přístupy ve výpočtu křivosti

Křivost je druhá derivace výškových hodnot povrchu, vyjádřit se může také jako sklon, který je uplatněn na sklonu (funkce sklonu je použita na rastr sklonu). Výpočet křivosti každé hodnoty probíhá přes 9 rastrových buněk v mříži 3×3. Výpočetní operace je velice náročná a není předmětem této práce. Rozlišujeme dva hlavní přístupy, které lze najít v dostupných GIS softwarech, *Evansův* (dále EP) a *Zevenbergen-Thornův* (ZTP) přístup (podle Jenness 2013). Základní odlišnost je v počtu parametrů polynomické rovnice, EP využívá 6, ZTP 9 parametrů. ZTP je proto vhodnější pro oblasti s větším množstvím zakřivení.

4.6.2 Možnosti vizualizace v kartografických softwarech

ArcGIS využívá Zevenbergen-Thornův přístup pro výpočet křivosti. Kromě výše uvedených křivostí obsahuje nástroj pro kombinaci obou křivostí, který je důležitý pro přesnější určení toku (ESRI 2010). Křivost vzniklá kombinací je také výchozí ve funkci *Curvature*. Profilová a horizontální křivost je volitelná možnost.

Pro uvedenou ukázkou (Obr. 28) byla kvůli větší odlišitelnosti použita bílá barva pro konvexní tvary, pro konkávní tmavě modrá a pro rovinné plochy světle modrá barva.



Obr. 28: Rozdíly křivostí vytvořené v programu ArcGIS.

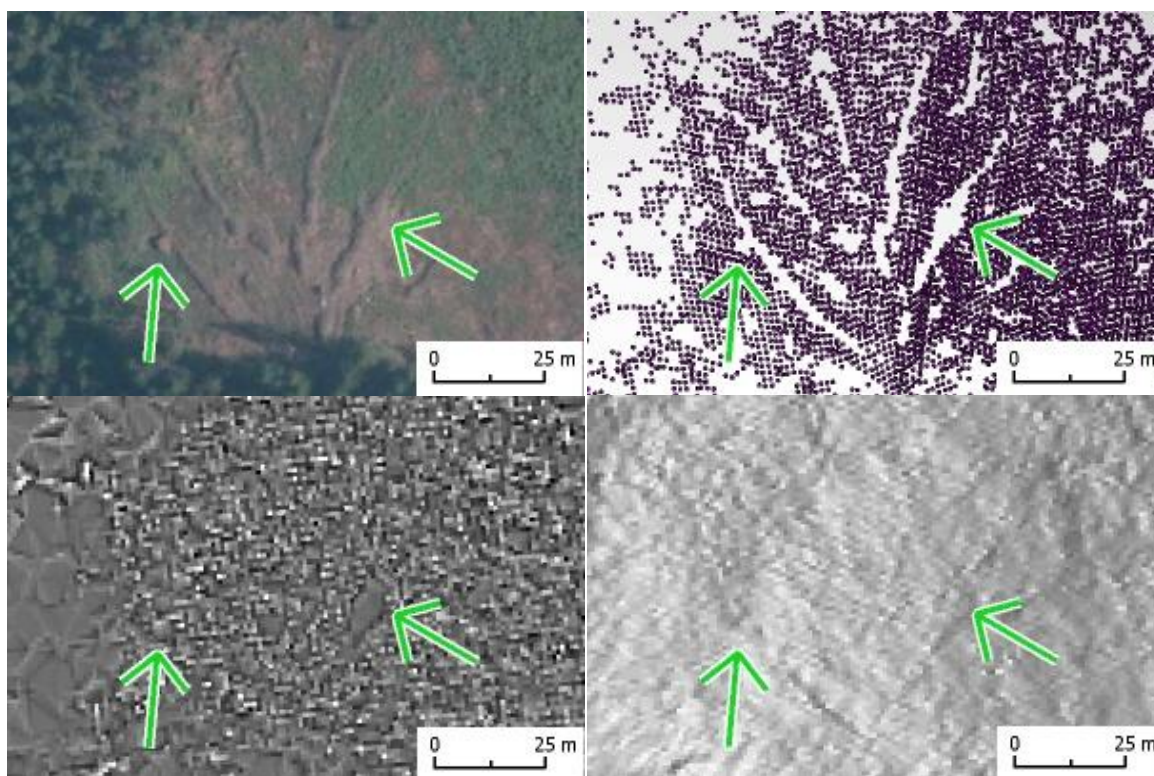
1) kombinovaná křivost, 2) horizontální křivost, 3) profilová křivost. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Dále je funkce křivosti zabudována v řadě GIS programech, např. ve volně šiřitelných SAGA GIS, GRASS GIS nebo MICRODEM.

5 Úprava modelu

Rastrové modely reliéfu, které byly v předešlých kapitolách popsány, slouží k dvěma hlavním účelům. Jednak jsou podkladem k interpretaci a detekci objektů, které jsou využité pro další zpracování tematických map (např. pro mapy pro orientační běh) nebo jako vrstva pro kartografická díla ke zvýšení plastičnosti (např. stínování na turistických mapách). Modely mohou vykazovat určité problémy a pro další analýzy se vyplatí jejich úprava.

Při LLS zachytává svazek paprsků různorodé objekty a povrchy (oranice, vegetace, hromady větví aj.). V určitých oblastech se můžeme setkat s nesprávnou klasifikací nebo odstraněním hodnot při zpracování mračna bodů. Na ukázkový případ se lze podívat na obrázku č. 29, kde na pasece byly nepravidelně rozmístěné hromady větví, paprsek je při skenování detekoval, ale při manuální kontrole byly body reprezentující hromady odstraněné. V DMR došlo k interpolaci hodnot v těchto místech, ale díky okolní hustotě bodů identifikujeme tvar, který může uživatele zmást pro další zpracování.

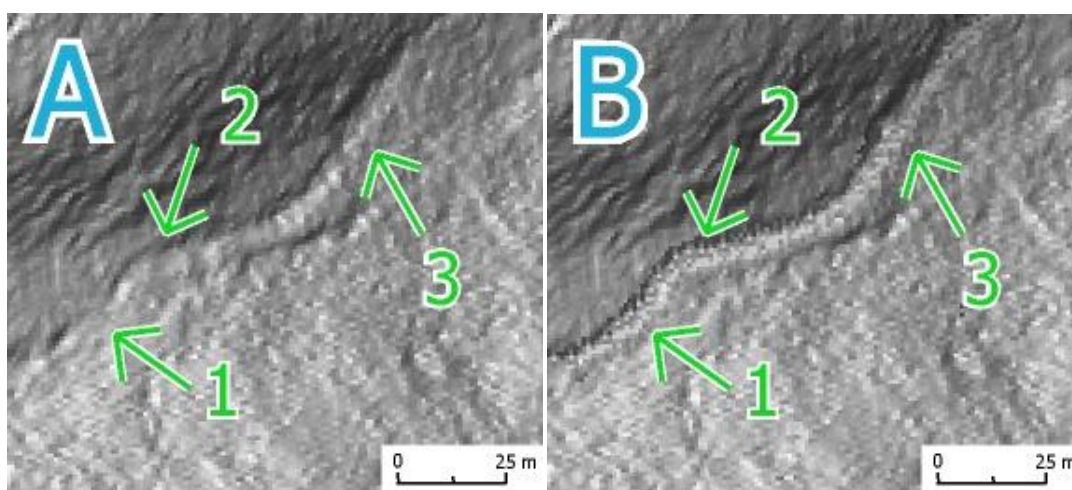


Obr. 29: Problém hromady větví na pasece.

Vlevo nahoře ortofoto, vpravo mračno bodů. Dole vlevo lokální reliéf a vpravo stínovaný reliéf.
Zdroj: ČÚZK (2014b), DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Další možné riziko skrývají linie (komunikace, vodní toky aj.), které mohou být v některých oblastech přerušené. Kromě výše uvedených možných problémů je fakt, že mračno bodů, které máme k dispozici, nemuselo zasahovat do všech ohybů. Bod mohl být v těsné blízkosti linie a díky interpolaci došlo k zakrytí cesty. Úsek, který z modelů nevyčteme, lze doplnit z ortofota (v lese často problém),

ale většinou nezbývá nic jiného než terénní průzkum ve spojení s měřením. Na základě měření v přírodě vznikl nový model stínování (viz obr. 30 B) se zdůrazněním cesty. Úpravy proběhly v prostředí softwaru GIMP. Program obsahuje nástroj tzv. *klonovacího razítka*, které funguje na principu kopie jedné oblasti a otisknutí na jiné místo. Z pohledu stínovaného modelu se pro kopii stala místa, kde cesta je dostatečně výrazná. Mezi volitelné parametry klonování patří procentuální podíl krytí nebo velikost stopy. Mezi další vhodné nástroje patří *rozostření/zaostření* k potlačení nežádoucích anomálií. Nevýhodou je ztráta georeference při úpravě v GIMPu. Jedná se o příklad identifikace a zvýraznění cesty, stínovaný model ale není vhodný pro doplnění mapy.



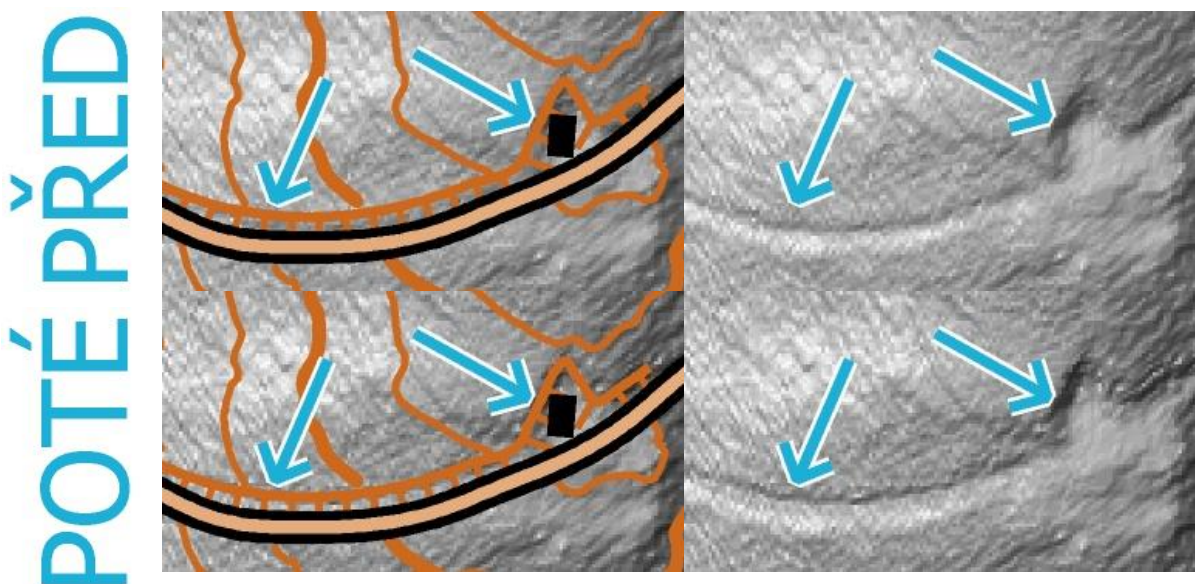
Obr. 30: Úprava stínovaného reliéfu se zdůrazněním cesty.

Na snímku A znázorňuje **1** úsek, kde cesta lze identifikovat po určitých částech, **2** úsek, kde cesta není vůbec znatelná, **3** jasná identifikace cesty. Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Jedním z úskalí může být také podklad rastrového modelu pod různé typy map. Nese informaci o výškopisu a současně se uživateli snaží navodit prostorový vjem. V případech testovaných se nejčastěji jedná o stínování, případně barevnou hypsometrii. Model v některých místech nemusí respektovat zásady tvorby původní mapy (minimální vzdálenost dvou stejných objektů a jejich odsunutí, použití méně výrazných vyjadřovacích prostředků pro znázornění bodových objektů aj.).

Úprava na Obr. 31 spočívala v posunutí hrany u silnice, aby byla v souladu s terénním stupněm na topografické mapě. Kromě úpravy v grafickém softwaru je jednou z možností změnit vstupní data nebo dodat hranu jako další vstup při tvorbě TINu. První postup spočívá v importování bodů do ArcGISu jako *shapefile* s následnou úpravou v editačním módu. Mračno bodů na daném kousku bylo obarveno podle nadmořských výšek a současně podkladem byl původní stínovaný reliéf s vyznačenou hranou, která měla být výsledkem úpravy. Po přesunu bodů se funkcí *Export Feature Attribute to ASCII* soubor převede zpátky do formátu *.txt nebo *.xyz. Následně můžeme vytvořit stínovaný reliéf z nově vytvořeného DMR. Tmavší hrana vytvořená stínováním poté padne na místo, kde prochází liniový prvek vyjadřující výrazný terénní stupeň. Jiný postup vede přes vytvoření TINu

s nastavením dalších parametrů. Kromě vstupních bodů tzv. *Mass points* zadáme i další soubor s vytvořenými hranami (a v atributové tabulce nadmořskou výškou každé linie) a typem *Hard line*. Poté TIN můžeme převést na rastr a vytvořit požadovaný model reliéfu.



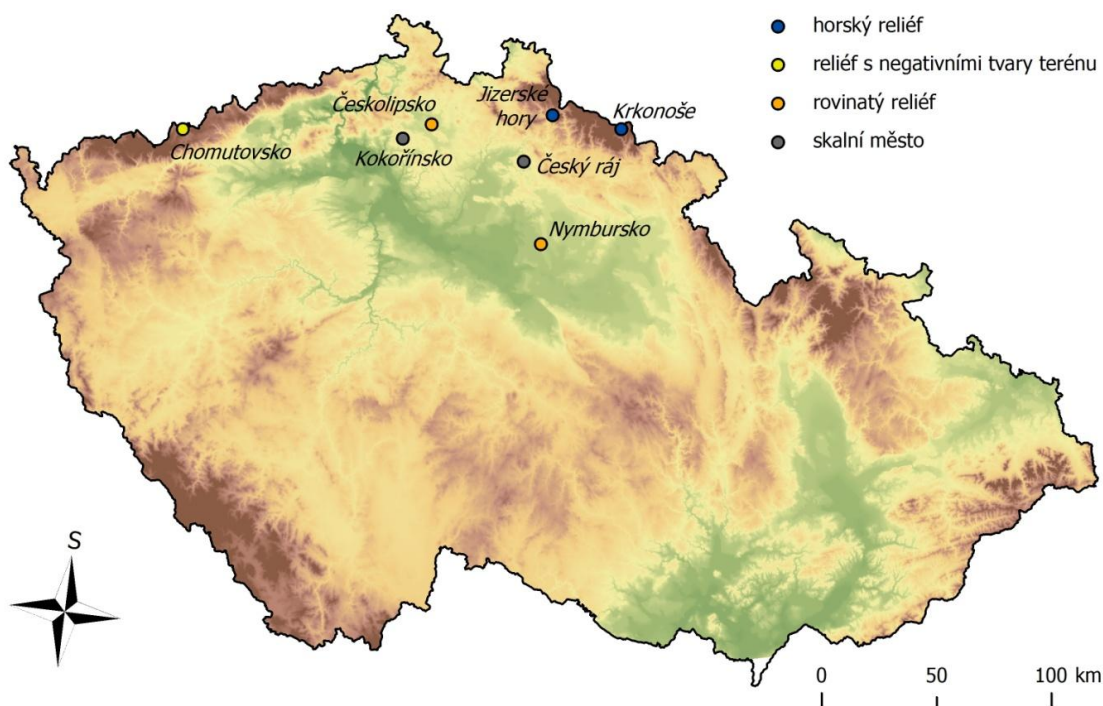
Obr. 31: Srovnání stínování s topografickým obsahem po úpravě modelu.
Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

6 Vhodnost využití jednotlivých rastrových modelů pro různé typy reliéfu

Pro tuto kapitolu bakalářské práce byly zvoleny 4 typy odlišných reliéfů krajiny, pro které jsem zjišťoval vhodné metody pro vizualizaci za účelem podrobného topografického a výškopisného mapování:

- horský reliéf
- rovinatý reliéf
- skalní město
- reliéf s negativními tvary terénu

Území, na kterých se testování provádělo, se nacházejí v severní části České republiky (viz Obr. 32). První tři typy byly reprezentovány vždy dvěma oblastmi, které však spojoval charakter reliéfu. Byla použita data DMR 5G (2013) od ČÚZK s hustotou dat přibližně 1,6 bodu/m². Pro čtvrtou oblast byla vybrána malá lokalita Kremsiger (bývalé ložisko železné rudy a stříbrné žíly v okrese Chomutov), která byla naskenována v rámci projektu ArchaeoMontan – Středověké hornictví v Sasku a Čechách. Hustota dat dosahuje 20 bodů/m² (ArchaeoMontan 2013b).



Obr. 32: Území, které byly použité pro vizualizaci rastrových modelů.

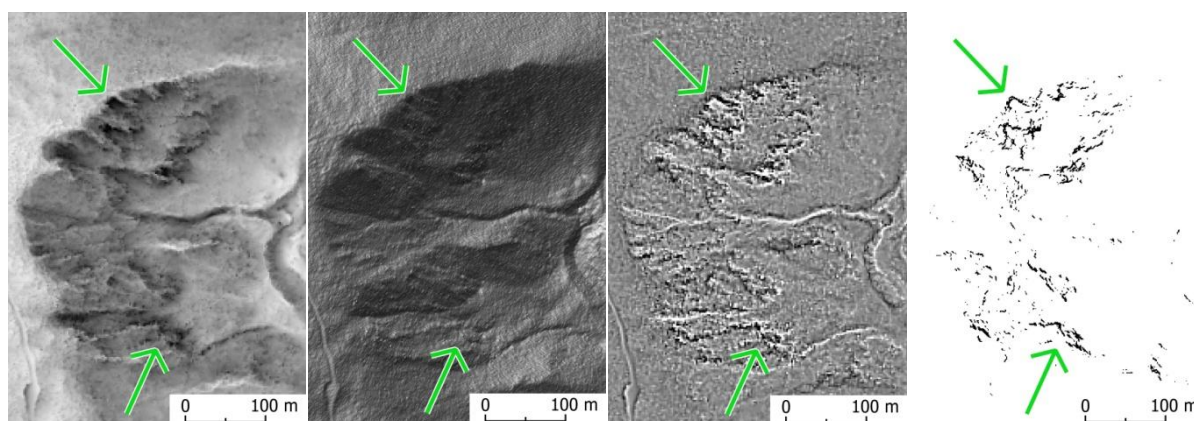
Zdroj dat: ArcČR 500 (2013), vlastní tvorba

Pro jednotlivé oblasti byly použity následující metody: stínování při směru osvětlení 315° a 45° (vždy také testován sklon dopadajících paprsků optimální pro daný terén), stínování s analýzou hlavních komponent (PCA), lokální reliéf, barevná hypsometrie, křivost, sky-view factor (SVF) a sklon. Bylo využito postupů popisovaných v úvodní části bakalářské práce v programech ArcGIS, OCAD a RVT. Ukázky všech použitých metod pro každý typ reliéfu jsou v Příloze 1.

6.1 Vizualizace rastrových modelů v horském reliéfu

Horský reliéf je ze všech typů pro vizualizace nejzajímavější, protože některé charakteristické jevy pojí s ostatními (rovinatá místa ve vyšších nadmořských výškách na hřebenech, oblasti s velkým výskytem skal). Mezi typické rysy horských terénů patří velké rozdíly v nadmořských výškách, výskyt kamenů nebo skalních útvarů a řada drobných vodních toků s velkým spádem (tato problematika je rozebrána v kapitole 7). Bylo také zjišťováno, jak jednotlivé metody rozeznávají velké terénní celky (hřbety, údolí, vrcholové partie hor).

Ve skalních městech lze rozeznat tvar a velikost skal i jinými metodami než pomocí modelu sklonu. V horském reliéfu však najdeme řadu případů, kde pomocí metod jako je stínování nebo SVF nepoznáme, že se jedná o skály (viz Obr. 33). Z lokálního reliéfu nebo křivosti lze vyčíst nepatrné terénní stupně, ale určitě ne tvar a velikost. Důvody hledáme v geomorfologické stavbě reliéfu a druhu horniny. Sklon je tedy velice důležitou metodou při práci v horském reliéfu.



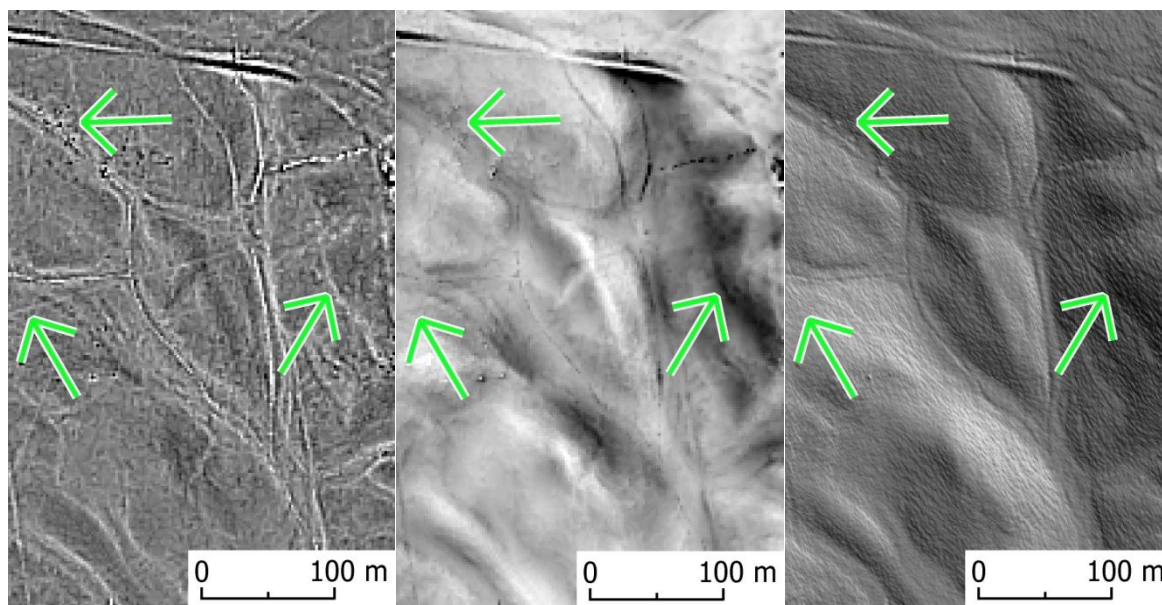
Obr. 33: Srovnání metod s detekcí skal v Krkonoších.

Vlevo SVF (16 hledaných směrů osvětlení horizontu), stínování (směr osvětlení 315°, sklon dopadajících paprsků 45°), lokální reliéf a sklon (větší než 45°). Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Barevná hypsometrie má v horském reliéfu větší opodstatnění než v rovinatém terénu (může nahradit přehuštěné vrstevnice), přesto je spíše nevyužitelná pro detekci mikrotvarů nebo mapu velkého měřítka. I když stínování obsahuje méně detailů, ze snímku pochopíme, kde se na území nacházejí velké makrotvary - údolí, hřbet, vrchol kopec. Pro sklon dopadajících paprsků byl zjištěn optimální rozsah mezi 45° a 60°. Podobné informace lze vyčíst i ze SVF, díky většímu barevnému rozpětí (od bílé po černou) jsou mezi jednotlivými částmi reliéfu větší rozdíly a pro uživatele názornější. Naopak na lokálním reliéfu nebo křivosti nepoznáme, kde se nachází vrchol nebo kde je nejnižší místo v určité oblasti. Tyto metody ale obsahují informace o drobných tvarech jako jsou rýhy, kameny nebo malé cesty. Stínování s analýzou hlavních komponent sice odstraňuje problémy stínování s osvětlením z jednoho směru, ale nelze vyčíst takové množství anomálií jako u lokálního reliéfu. Navíc konkávní a konvexní tvary splývají, často nelze určit, zda se jedná o hřbet či údolí.

6.2 Vizualizace rastrových modelů v rovinatém reliéfu

U rovinatého reliéfu jsem se zaměřil na pozorování drobných anomálií (drobné deprese, skalky), zda je dané metody reflektují, a na úplnost linií (vodní toky, silnice, pěšiny, průseky).



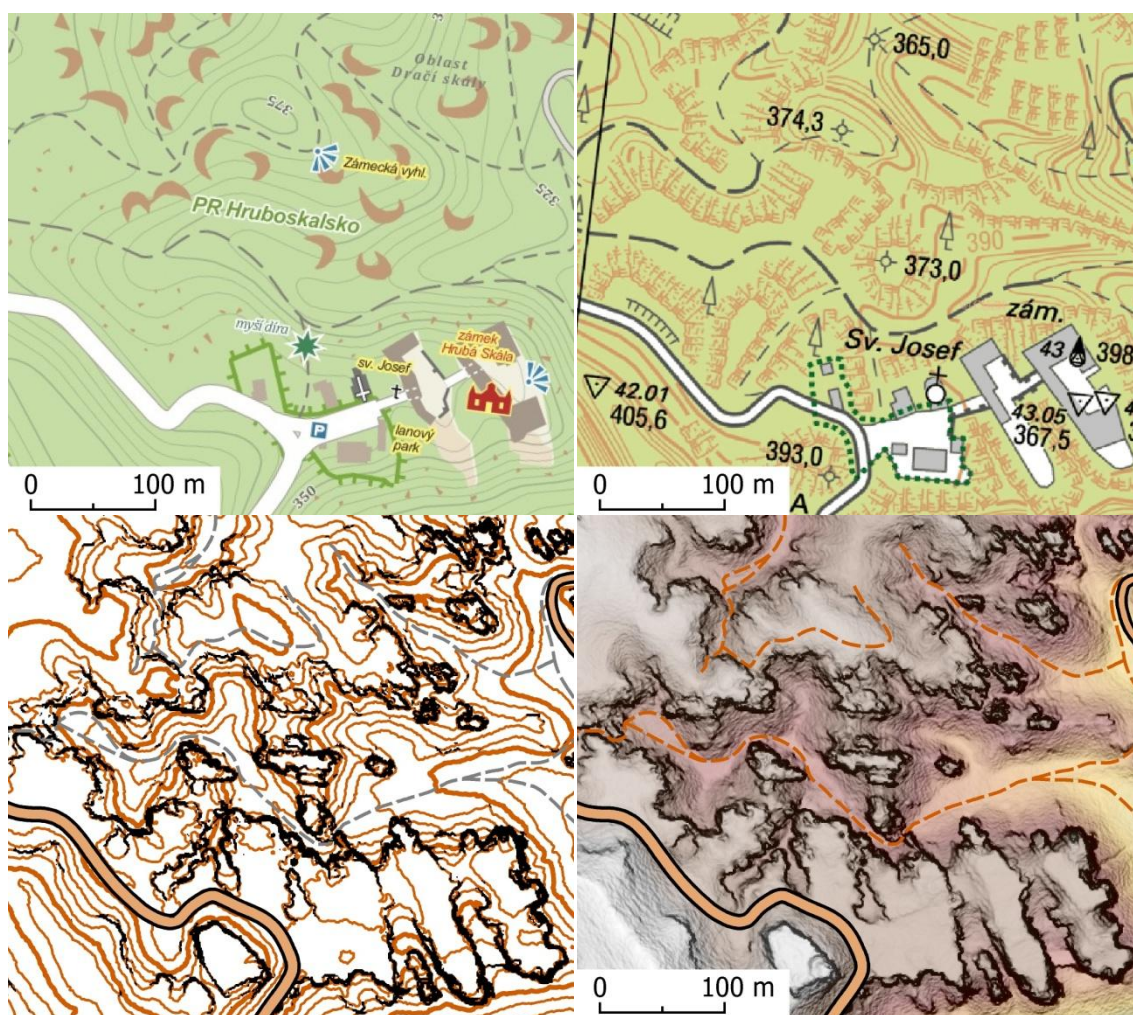
Obr. 34: Srovnání rastrových modelů v rovinatém reliéfu.

Vlevo lokální reliéf, uprostřed SVF a vpravo stínovaný reliéf (směr osvětlení 45°, sklon dopadajících paprsků 15°). Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Stínování dopadlo ve srovnání s ostatními metodami špatně (viz Obr. 34). Řada menších pěšin nebo drobných útvarů, které lze vidět na lokálním reliéfu nebo SVF, byly neznatelné a to i přesto, že problémy způsobené osvětlením jedním směrem byly brány v potaz. Nejvíce detailů bylo detekováno ze sklonu dopadajících paprsků mezi 5 až 15°. Právě lokální reliéf se zdá jako nejlépe použitelným v rovinatém prostředí. Obsahuje nejvíce prvků terénu, které mohou být dobrými pojičky pro další zpracování topografického obsahu, a zobrazuje všechny linie (resp. při použití jiné metody nelze vyčíst více). Místy lze ale cestu zaměnit za hranu terénu nebo hřbetnici, proto je dobré ověřit všechny detekované linie se stínovým modelem nebo SVF. Alternativou může být křivost, ale některé detaily na modelu chybí. Podobné rysy najdeme i na modelu SVF, kde různé typy anomálií na konvexních tvarech reliéfu identifikujeme stejně jako u lokálního reliéfu, detekce objektů v údolí nebo v depresích je omezenější. Sklon není zcela optimální metoda pro rovinaté oblasti, je přínosný tam, kde se na území vyskytují terénní hrany nebo skály. V určitých místech lze i vysledovat zářezy linií, ale nelze se na metodu v uvedeném ohledu spolehnout. Barevná hypsometrie je téměř nepoužitelná pro vizualizaci v rovinatém terénu. Pro znázornění výškopisu je lepší využít vrstevnice, kterých není tolik a nezatěžují topografický obsah. V případě aplikace barevné hypsometrie je na zvážení počet intervalů, kterých by mělo být podstatně méně než v horském reliéfu v rámci stejné rozlohy území.

6.3 Vizualizace rastrových modelů ve skalních městech

Pro tuto část byla vybrána skalní města v Českém ráji a Kokořínsku. Podobné vlastnosti lze najít i v dalších pískovcových lokalitách u nás, vizualizace skal nebo skalních měst s jinou geologickou minulostí má svá odlišná specifika. Díky velkým možnostem modelů ve spojení s kvalitními daty z LLS lze skalní město velice dobře a přesně znázornit na mapách velkých nebo středních měřítek. Na Obr. 35 jsou dvě možné vizualizace a srovnání se Základní mapou ČR v měřítku 1 : 10 000 a turistickou mapou ze serveru Mapy.cz. Pro turistickou mapu, která by případně mohla vzniknout z dat LLS podle uvedených metod, by skály měly být více generalizované. K detekci cest a silnic byly použité metody lokální reliéf a stínování se směrem osvětlení 315° a 225°.



Obr. 35: Srovnání dostupných map skalního města s kartografickou vizualizací pomocí LLS dat.

Nahoře dostupné mapy skalního města u Hrubé Skály (vlevo turistická mapa ze serveru www.mapy.cz, vpravo ZM10). Dolní snímky představují vizualizaci pomocí LLS dat. Vlevo je použitý model sklonu (černě vybarveny buňky rastru se sklonem více jak 45°) ve spojení s vrstevnicemi (interval je po 5 m), vpravo model sklonu, barevná hypsometrie a stínování. K dispozici je i dostatečný prostor na topografický obsah.

Zdroj: Seznam.cz (2014), ČÚZK (2014c), DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Pro oblasti se skalnatým reliéfem je typická malá plošná rozlehlost. Skalní města pokrývají oproti horským nebo rovinatým reliéfům velmi malá území a metoda, která je vhodná pro vizualizaci skal a dalších podobných objektů, musí zachycovat nejen skalnatý reliéf, ale také okolní terén tak, aby skalní útvary byly z modelu dobře patrné. Z těchto důvodů je nevhodné použití barevné hypsometrie, lze ji užít pouze pro doplnění stínování. Barevná hypsometrie neobsahuje v různých variantách podstatné informace o skalních objektech (např. tvar nebo velikost) a nelze je zcela bezpečně odlišit od okolního reliéfu. Také SVF nedává zcela uspokojivé výsledky. Na modelu SVF lze vyčíst některé menší průchody, ale obecně špatná viditelnost (na které je metoda postavená) v oblastech skalního města dělá snímek nečitelným a vyčteme méně detailů.

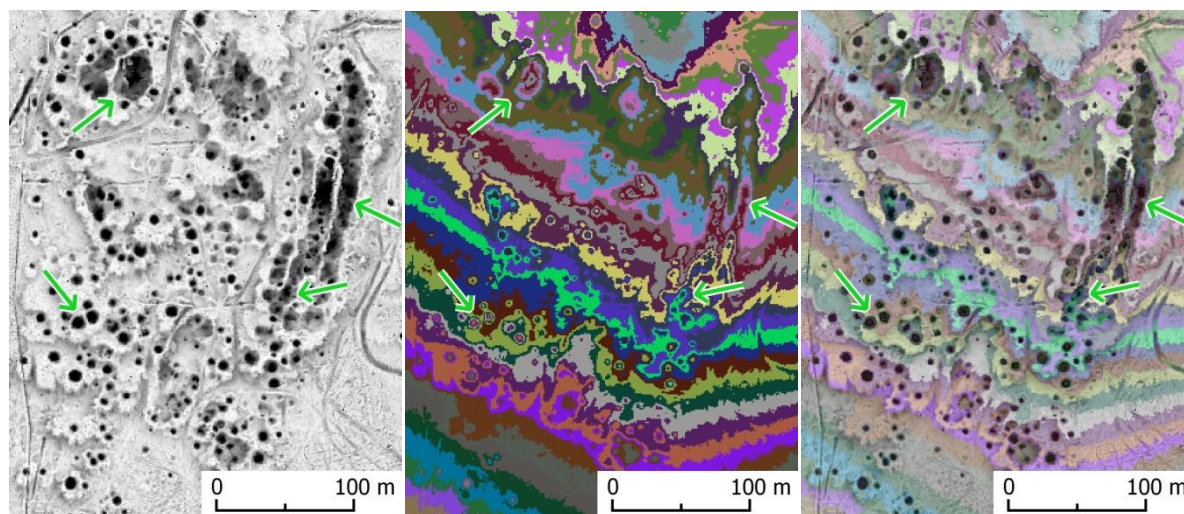
Z testování vyplývá, že nevhodnější je využití stínování a sklonu. Stínování při šikmém osvětlení dobře rozliší skalnatou oblast od ostatního reliéfu a detekuje jednotlivé skály. Pro stínování je vhodné využít více směrů osvětlení. Parametr sklonu dopadajících paprsků je lepší volit vyšší (mezi 45° a 60°). Na nižším úhlu je oblast tmavší a v případě stínování jako podkladu pod turistickou nebo jinou tematickou mapu velkého měřítka by topografický obsah byl hůře čitelný. Na druhé straně sklon dopadajících paprsků o větším úhlu než 65° je rovněž nevhodný, protože některé skalní útvary nejsou rozeznatelné. Stínování lze ve skalnatém reliéfu nahradit i křivostí, nejlépe profilovou. Křivost představuje generalizovanější pohled na jednotlivé skály a je vhodná pro mapy středních měřítek. V případě horizontální křivosti interpretace tvaru skal nebo průchodů není téměř možná. Podobných výsledků jako profilová křivost dosahuje i model lokálního reliéfu.

Ze sklonu můžeme naopak interpretovat tvary jednotlivých skalních bloků, obzvlášť pokud vybereme jen ty buňky, které dosahují určeného minimálního sklonu (více v sekci Skalní útvary v kapitole 7).

6.4 Vizualizace rastrových modelů v reliéfu s negativními tvary terénu

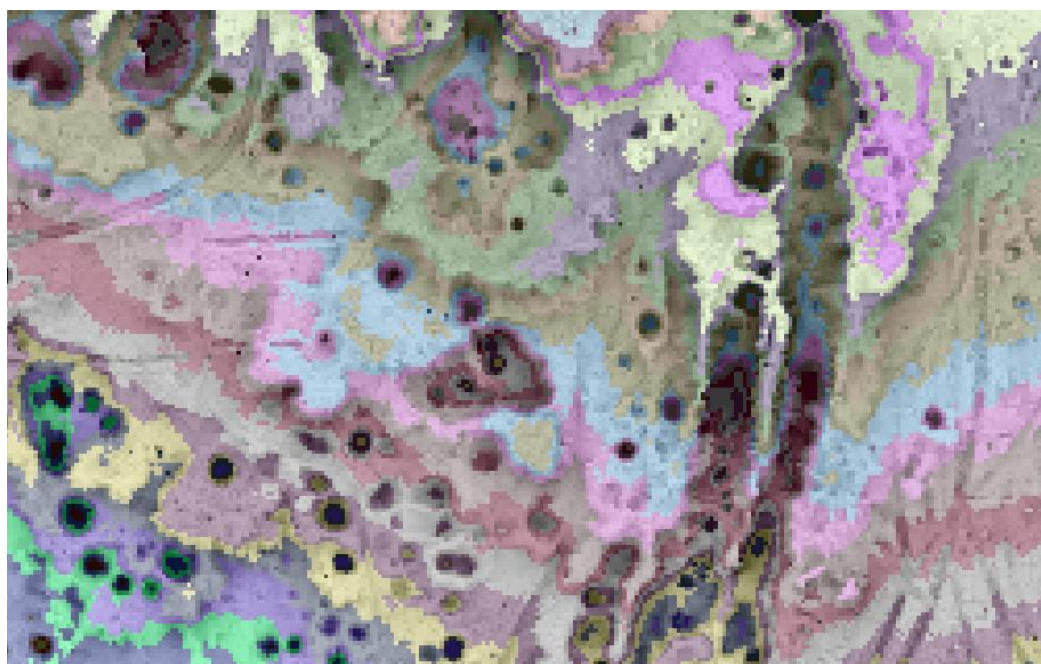
Reliéf s negativními tvary terénu s různou mírou stupňovitostí je pro Českou republiku netradiční. V omezené míře se lze s ním setkat v Moravském krasu a současně v několika malých oblastech, kde původně probíhala těžba surovin. Vizualizace je spíše typická pro krasová území na Slovensku, Slovinsku, příp. Chorvatsku. Možná i proto je pro vizualizaci velice vhodný model SVF, který vymyslel tým slovinských vědců. SVF jednak vystihuje tvary a velikost jednotlivých oblastí a současně rozezná deprese od okolí. Nevýhoda ale spočívá, že nelze rozeznat úplné dno. Naopak barevná hypsometrie s nastavením diskretních barev (v počtu 255) v softwaru ArcGIS tuto vlastnost má, barevně odliší nejspodnější vrstvy negativních celků. Obě metody je proto vhodné kombinovat do jednoho snímku. První možnost je nastavit transparentnost SVF s pozadím barevné hypsometrie nebo pomocí techniky *Pan-sharpening* popisovaná v kapitole 4 (Přístupy barevné hypsometrie). Z důvodu velmi tmavých spodních vrstev depresí (malá viditelnost), kde současně má být vidět i jiná barva znázorňující hloubku, jsem se rozhodl pro první variantu. Transparentnost SVF je 40%.

Na obrázku 36 jsou znázorněny obě součásti kombinovaného modelu a model samotný, šipky upřesňují nejvýraznější změny oproti původnímu SVF. Detailnější náhled pak lze vidět na Obr. 37.



Obr. 36: Srovnání SVF, barevné hypsometrie a jejich kombinace.

Zdroj dat: ArchaeoMontan (2013a), vlastní zpracování.



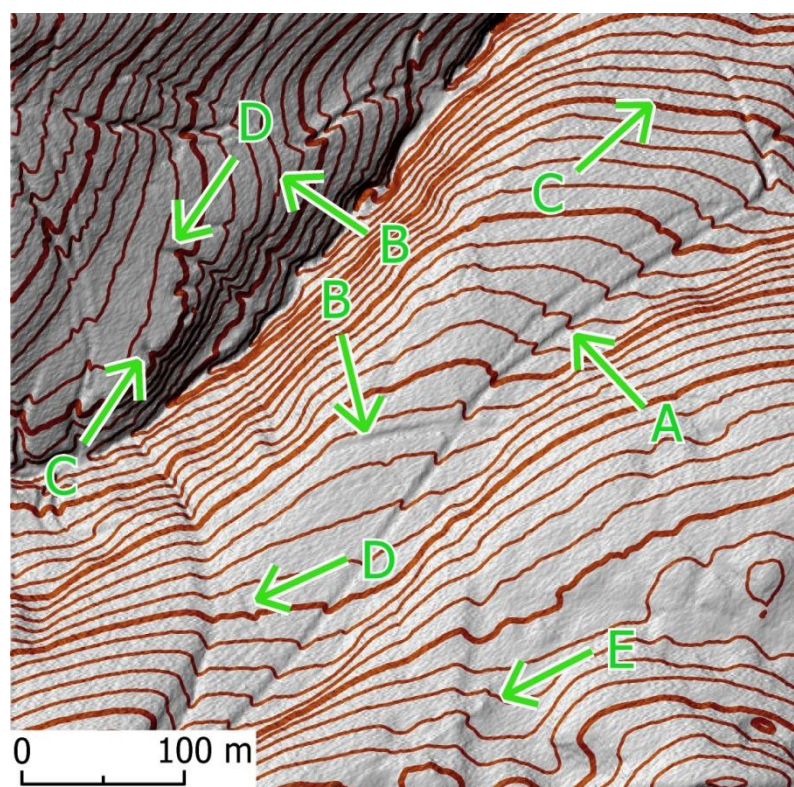
Obr. 37: Detailní náhled kombinace barevné hypsometrie a SVF.

Zdroj dat: ArchaeoMontan (2013a), vlastní zpracování.

Metoda se dá dále upravit pomocí jiné barevné škály a počtu barev, záleží ale na reliéfu, který interpretujeme. Pro některé části by transparentnost SVF mohla být menší, protože barevná hypsometrie zakrývá tvary. Podobných výsledků dosahuje stínování s analýzou hlavních komponent, ale vystouplost depresí způsobuje inverzní chápání reliéfu. Metody jako lokální reliéf nebo křivost zobrazují jednotlivé deprese, ale místy splývají s okolím, i v případě změny z šedotónového obrázku na barevný.

7 Detekce objektů z rastrových modelů reliéfu pro mapy OB

Zásadní přínos pro mapy v orientačním běhu (OB) mají data pocházející z LLS. Dochází ke zlepšení výškopisu, ale také v polohopisu, zejména v komplikovaných skalnatých oblastech (Krtička, Lenhart 2012). Pro mapování se využívají vrstevnice vygenerované z DMR, které z dat LLS vytvoří specializované softwary. Ostatní metody se používají zřídka a pokud ano, pak pouze stínování v jednom směru osvětlení. Srovnání vrstevnic s metodou stínování lze vidět na Obr. 38.



Obr. 38: Srovnání vrstevnic a stínování (Berounsko).

Vrstevnice mají základní interval 2 m, stínování směr osvětlení 315°. Pro tvorbu DMR využita lineární interpolace s velikostí buňky 1 m. Na ukázce jednotlivá písmena znázorňují výhody, které lze interpretovat pouze ze stínování: A) komunikace vedoucí napříč terénem, B) komunikace vedoucí po rovině, C) malá deprese, D) objekt mikroreliéfu, který není při daném základním intervalu vrstevnic zachycen, E) drobný terénní tvar táhnoucí se z JZ na SV.

Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Srovnání znázorňuje výhody stínování oproti vrstevnicím, které dobře interpretují výškopis, ale nepomáhají kartografovi tolik s polohopisem. Některé problémy by mohly být řešeny podrobnějším intervalem vrstevnic.

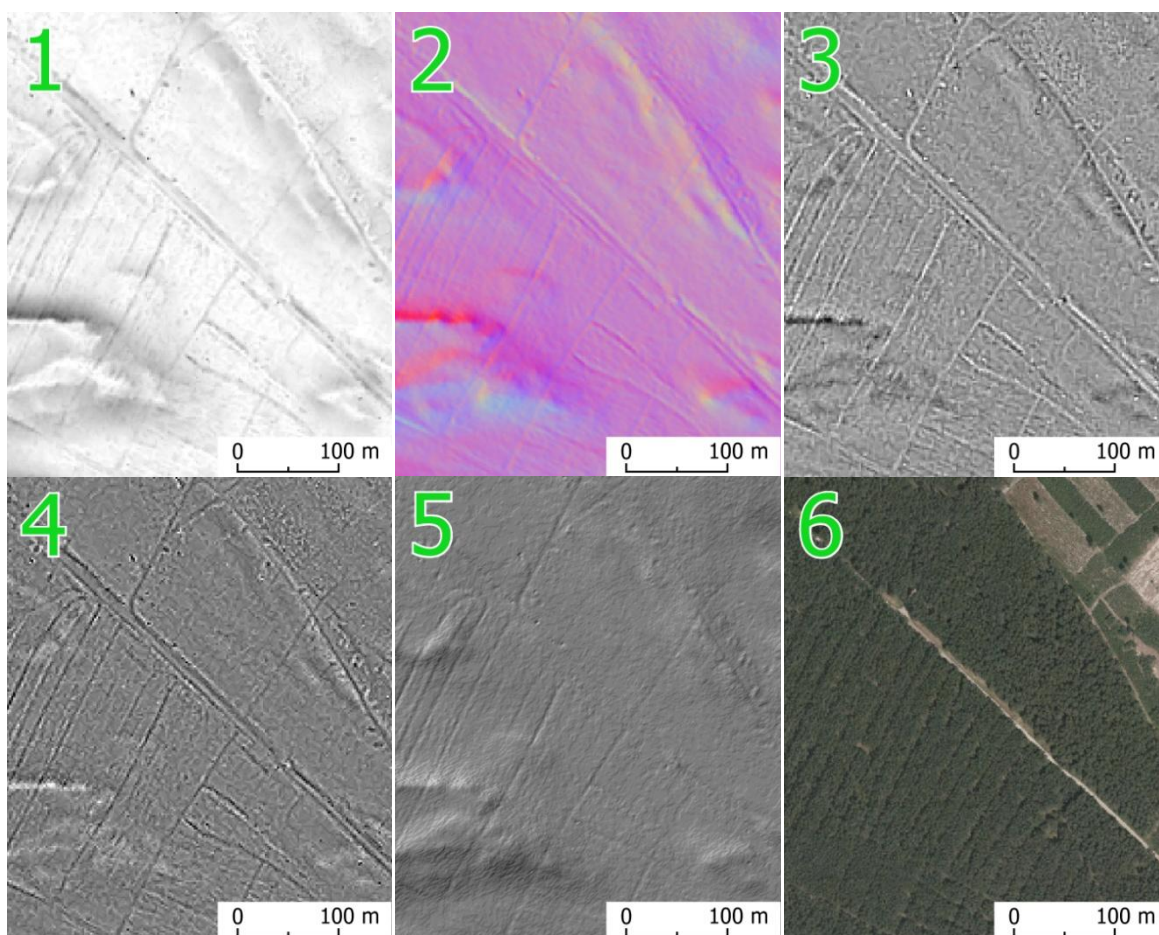
Kromě stínování se uplatňují i další metody, které byly představeny v úvodu. Kapitola navazuje na diplomovou práci Kristýny Leimerové (2011), která se podobným způsobem snažila detekovat prvky pro databázi ZABAGED (vodstvo, terénní reliéf, vrstevnice). Uvádí možnosti a doporučení pro

interpretaci daných tříd, jednotlivé kroky provádí v programu ArcGIS. Mapami pro OB s využitím dat LLS se ve své diplomové práci zabýval i Pavel Hradec (2014), k identifikaci objektů se ale omezil jen na práci v softwaru OCAD 11.

Pro účely kapitoly byly jednotlivé prvky na mapě pro orientační běh rozděleny do několika kategorií.

Komunikace

Větší komunikace (železnice, silnice, cesty) lze dobře identifikovat z ortofota, obzvláště pokud se nachází v otevřené krajině. V případě členitého terénu průběh komunikace vyčteme z vrstevnic, ale ne vždy zachytíme přesný tvar. Proto je dobré využít rastrové modely, které zpřesňují cesty nebo pěšiny nejen pro mapy pro orientační běh, a to zejména v zalesněných oblastech. Na zvolené metodě ani tolik nezáleží, protože stínování, SVF, lokální reliéf nebo křivost dávají podobné výsledky (viz Obr. 39). Pro identifikaci cest v horském terénu lze i částečně použít model sklonu. V rovinaté oblasti, kde cesta není v korytě, vhodnost využití SVF je diskutabilní. Problémy u stínování s osvětlením z jednoho směru byly již v této práci popisovány.

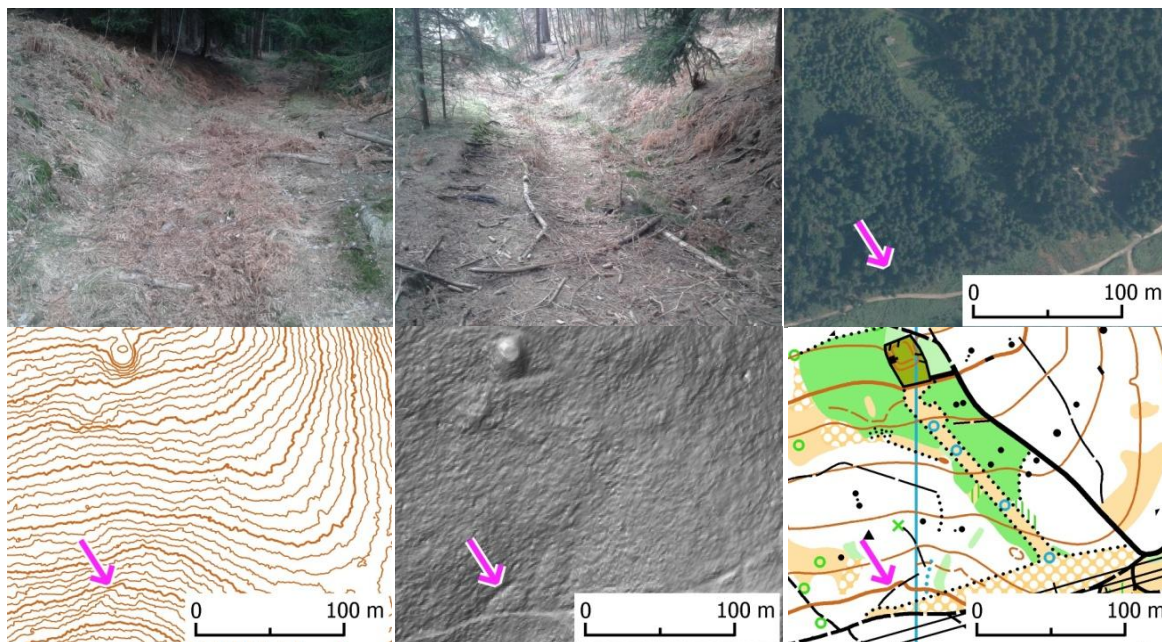


Obr. 39: Vizualizace terénu s hustou sítí cest.

1) sky view factor, 2) PCA, 3) lokální reliéf, 4) křivost, 5) stínování (směr osvětlení 315°, sklon dopadajících paprsků 20°) a srovnání s ortofotem (6).

Zdroj: DMR 5G (2013), ČÚZK (2014b), vlastní zpracování.

Nevýhodou rastrových modelů jsou malé a krátké pěšiny, které mohou místy připomínat terénní tvar (malou depresi, rýhu apod.). Na obr. 40 je ukázka možné záměny cesty s jiným objektem.



Obr. 40: Problém krátkých pěšin při detekci z rastrových modelů.

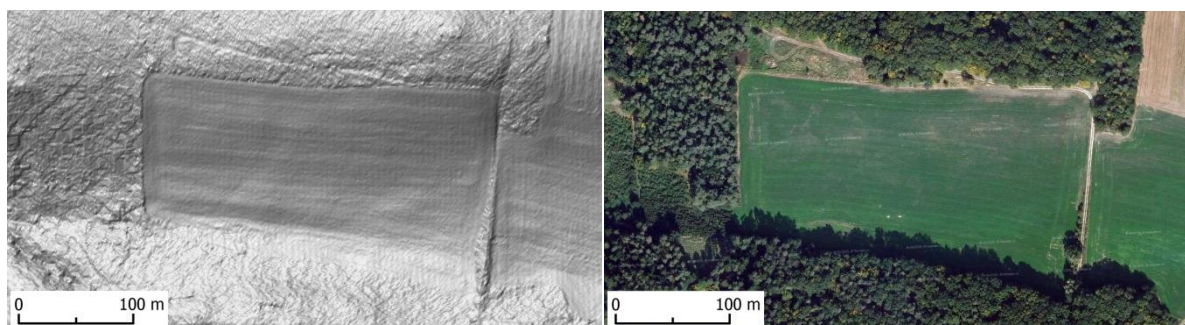
První dva horní snímky představují fotografie z terénního průzkumu, vpravo nahoře ortofoto, dole vlevo vrstevnice s intervalem po 1 m, uprostřed stínovaný reliéf a úplně vpravo výsledná mapa pro orientační běh.

Foto: archiv autora.

Zdroj: DMR 5G (2013), ČÚZK (2014b), Pícek (2014), vlastní zpracování.

Odlišení krajinného pokryvu

K odlišení jednotlivých typů vegetace (listnatý×jehličnatý les atp.), se nejčastěji používá digitální model povrchu (DMP) nebo ortofoto. Díky různé hustotě dat v otevřené krajině a současně jiné struktuře povrchu představují rastrové modely odvozené z DMR dobrou alternativu v rozeznání výrazných hranic mezi lesem a loukou nebo polem (to je případ Obr. 41), dále pak mezi zastavěnou plochou a jiným krajinným pokryvem.



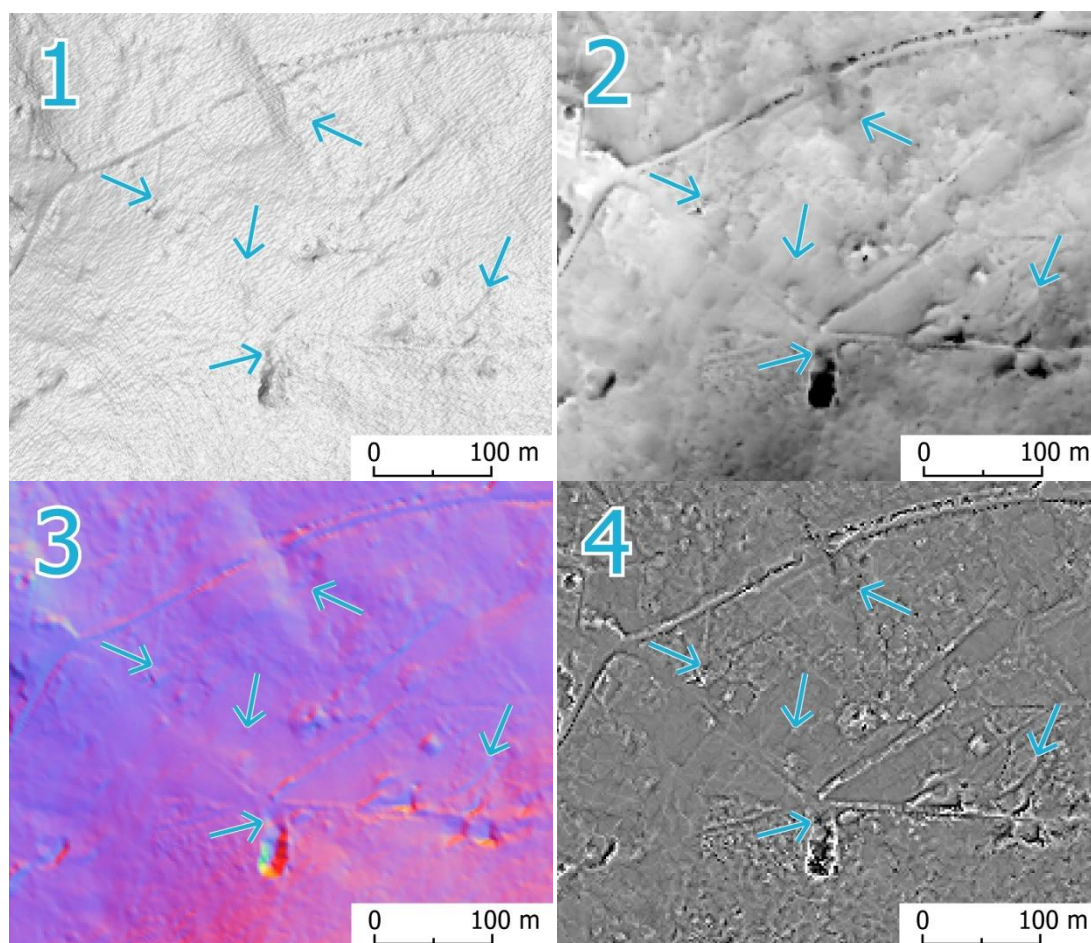
Obr. 41: Hranice krajinného pokryvu na rastrových modelech.

Vlevo stínovaný reliéf se směrem osvětlení 315°, vpravo ortofoto.

Zdroj: DMR 5G (2013), ČÚZK (2014b).

Kameny, kupy, malé deprese

Testování ukázalo, že pro detekci malých útvarů je dobré kombinovat více metod. Pro jasnou identifikaci prvku je nezbytné absolvovat terénní průzkum. Rozlišení, zda se jedná o pozitivní nebo negativní tvar reliéfu se hůře zjišťuje přes stínované modely nebo SVF, lépe přes lokální reliéf, barevnou hypsometrii nebo křivost. Na obrázku 42 jsou modrými šipkami označeny některé anomálie, které jsou na různých modelech vyjádřeny odlišně nebo nejsou vidět vůbec.

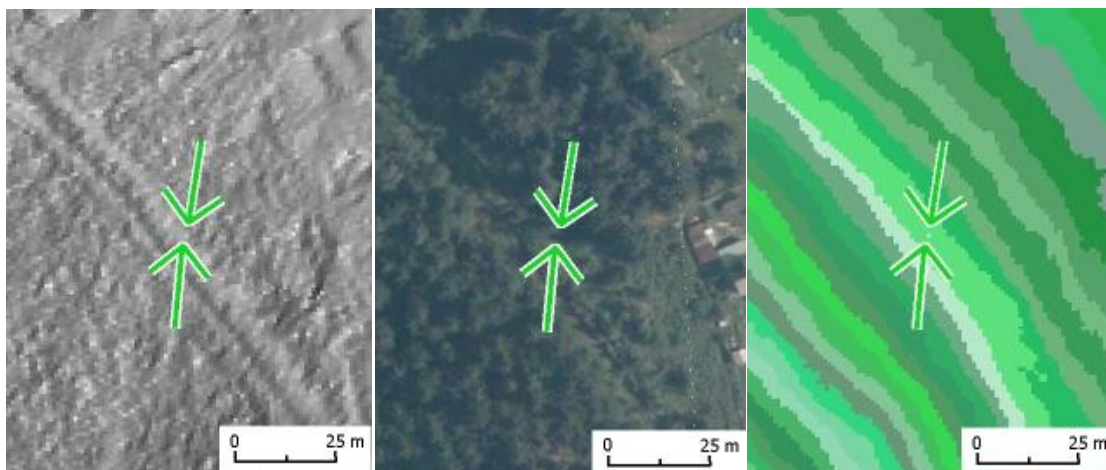


Obr. 42: Drobné anomálie v horském terénu na různých rastrových modelech.

1) stínování (směr osvětlení 315°), 2) SVF, 3) PCA, 4) křivost.

Zdroj: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Zajímavým poznatkem bylo objevení několika objektů pomocí barevné hypsometrie. Při použití diskrétních barev v softwaru ArcGIS lze některé drobné tvary identifikovat i přes tuto metodu. Podmínkou je plochá oblast okolo objektu a co nejmenší velikost buňky při tvorbě rastru (to ale platí i u jiných metod). Příkladem může být obrázek 43, na kterém byl díky barevné hypsometrii určen malý objekt. Při terénním průzkumu bylo zjištěno, že se jedná o kámen (Obr. 44). Na stínovaném snímku vysledujeme určitý bod v místě kamenu, ale obdobných je v okolí velké množství.



Obr. 43: Detekce kamene pomocí barevné hypsometrie - srovnání.

Vlevo snímek vytvořený stínováním se SZ osvětlením a 45° sklonem dopadajících paprsků, uprostřed ortofoto a vpravo barevná hypsometrie vytvořená použitím diskretních barev (255). Stínování a barevná hypsometrie byly odvozeny z DMR o velikosti buňky 1 m lineární interpolační metodou. Zdroj: DMR 5G (2013), ČÚZK (2014b).

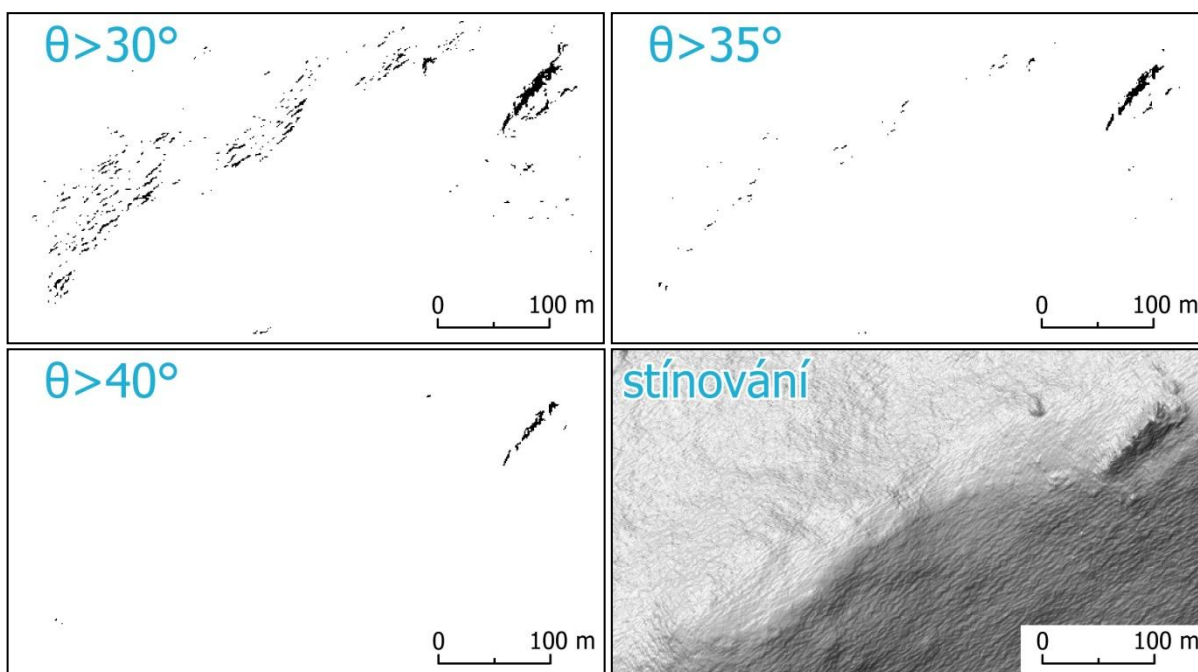


Obr. 44: Kámen na místě anomálie barevné hypsometrie.

Foto: archiv autora

Skalní útvary

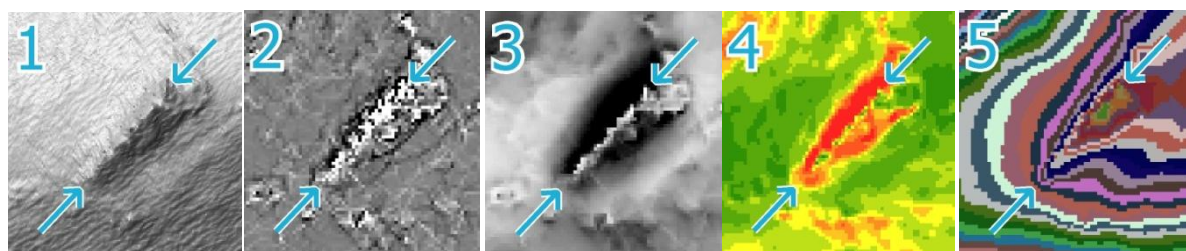
Jak již bylo uvedeno v kapitole 6, pro zachycení plochy skal je vhodné použít model sklonu. Skalní útvary pro orientační běh jsou mapovány již od výšky 1 m. Proto je dobré zvolit nižší hodnotu sklonu, která určí mez, kdy se buňky rastru obarví do černa (v OCADu), resp. podle nastavení uživatele (v ArcGISu). OCAD má přednastaveno 45°. Záleží na typu terénu, ale pro horský se osvědčilo nastavit sklon mezi 30 a 35° (viz Obr. 45), pro skalní města mezi 40 a 45°. Nižší úhel nepřináší další výsledky, jen obsah, který po většinou nežádoucí (na místě případného srážu nic zajímavého nenalezneme). Záleží také na kvalitě a hustotě dat.



Obr. 45: Srovnání funkce Slope gradient a stínování v OCADu (horský reliéf).

Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Další nadstavbou je zmapování vrcholů nebo náhorních plošin skalisek. Ze srovnání vychází nejlépe stínování, které uživateli navozuje plastický vjem a dobře simuluje reálný pohled. Nesmíme však zvolit směr osvětlení rovnoběžný se svahem skalního útvaru, jinak dojde k zastínění. K podrobnému vymapování reliéfu náhorní plošiny pomůže výše popsaný sklon, ale i barevná hypsometrie. Modely SVF nebo křivosti jsou spíše nevhodné, jak lze vysledovat na Obr. 46.



Obr. 46: Srovnání vrcholků a tvarů skalisek.

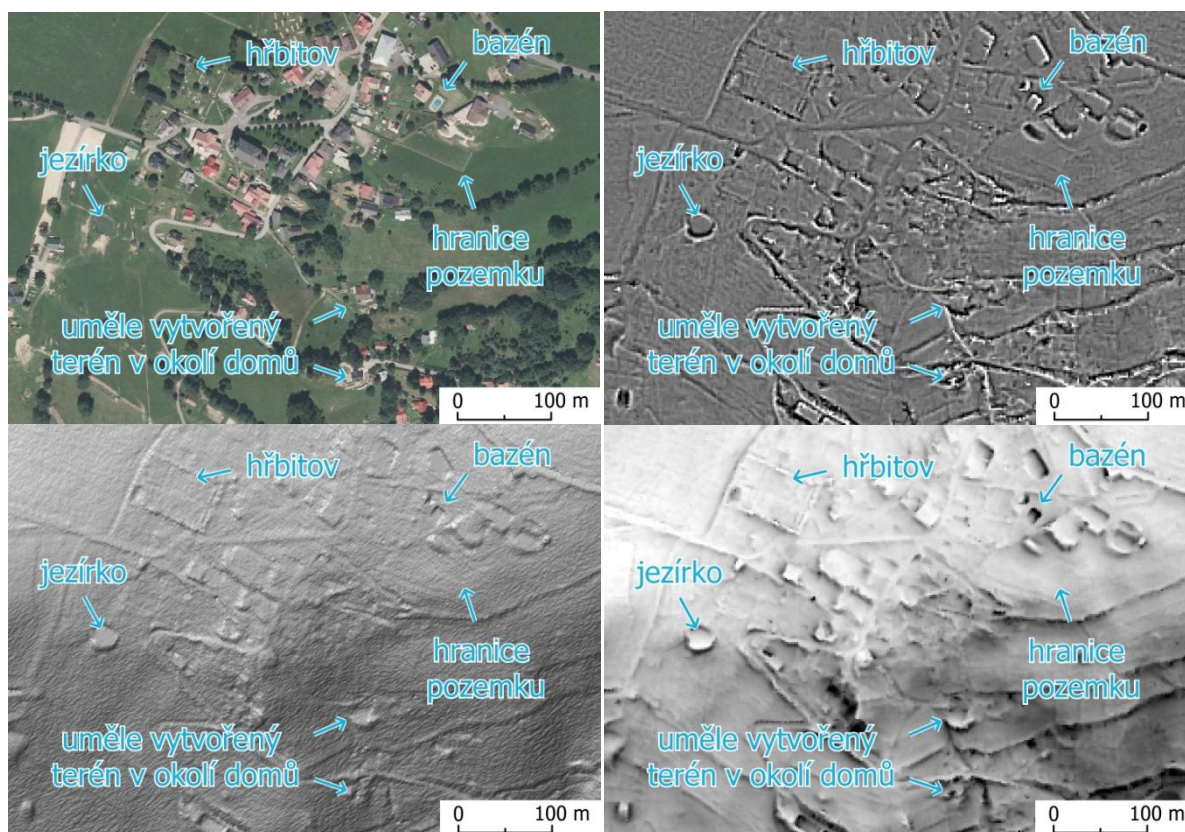
1) stínování se směrem osvětlení 315° 2) křivost 3) SVF 4) sklon 5) barevná hypsometrie.

Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

Zastavěná oblast

Budovy jsou v rámci DMR 4G nebo DMR 5G (jak výšky, tak tvar) vyfiltrovány a informace obsahuje jiný produkt ČÚZK, DMP 1G. Další tvary, které se nacházejí poblíž lidských obydlí jsou však z modelů zřejmé. Může se jednat o hranice pozemků, bazény, hřbitov, hřiště, parkoviště aj. Pro identifikaci těchto oblastí slouží lokální reliéf, křivost, méně detailů je patrné ze SVF a stínování (vlivem malé

viditelnosti, resp. z důvodu použití pouze jednoho směru osvětlení). Celkově se ale všechny metody dají použít (vyjma barevné hypsometrie nebo sklonu). Jednotlivé oblasti lze lépe interpretovat za pomoci ortofota, na kterém ale i v zastavěné oblasti nemusí být vše zřejmé a modely vzniklé z dat LLS obsahují více informací (např. na ortofotu není vidět celá zídka u hřbitova kvůli zastínění stromů nebo terénní nerovnosti kolem jednotlivých domů).



Obr. 47: Detekované prvky v zastavěné oblasti z DMR.

Vlevo nahoře ortofoto, vpravo lokální reliéf, dole stínování (směr osvětlení 315°) a SVF.
Zdroj: ČÚZK (2014b), DMR 5G (2013).

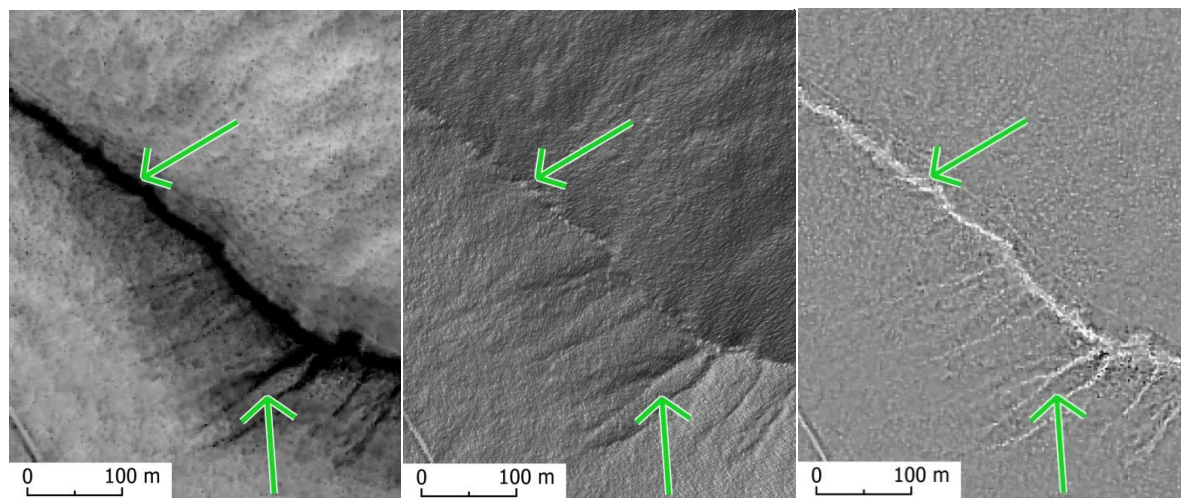
Zářezy terénu, vodní toky

Vodní toky nebo drobné zářezy (bývalá koryta řek, rýhy vzniklé geomorfologickými činiteli nebo hluboká, ale úzká údolí) se v určitých případech mohou při interpretaci zaměnit za komunikace. Ne zcela dobré výsledky vykazuje SVF oproti stínování v přesném vedení zářezů v terénu nebo určování vodních toků v údolí. Jak lze vysledovat na Obr. 48, z důvodu horší viditelnosti v určité oblasti koryta, je velká část tmavá, a tudíž není vidět tvar vodního toku nebo rýhy.

Pro určení tvaru vodního toku je proto nejlepší stínovaný reliéf, je nutné ale dát pozor na směr toku, aby nedošlo k částečnému zastínění. K lepší identifikaci určitých zákrutů je dobré zvolit menší sklon dopadajících paprsků (15-25°). Pro některé případy lze využít stínování se směrem osvětlení 150°-200° (tzv. inverzní reliéf), kde vodní tok představuje hřbetnici.

Čím je vodní tok nebo zářez širší, tím spíše uplatníme i metodu lokálního reliéfu. Můžeme odvodit tvar i průběh a oproti stínování metoda nabízí větší kontrast s okolním prostředím. Na druhé

straně ale z lokálního reliéfu neurčíme, jakým směrem vodní tok teče, pokud to není evidentní z jiných charakteristik (např. šířka nebo počátek toku, z vrstevnic, ...).



Obr. 48: Srovnání rastrových modelů k identifikaci vodních toků a zářezů.

Vlevo SVF, uprostřed stínovaný reliéf ve směru osvětlení 315° a sklonu dopadajících paprsků 45° a vpravo lokální reliéf.

Zdroj dat: DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

8 Závěr

Vizualizace rastrových modelů, které pocházejí z dat LLS, byla hlavním tématem bakalářské práce. V rešeršní části byly představené jednotlivé rastrové modely. Praktická část se zabývala vhodnou úpravou modelů pro odlišné typy reliéfu s důrazem na charakteristické rysy a přírodní podmínky a pro detekci objektů využitelných pro podrobné topografické mapování.

Z výsledků je zřejmé, že žádná použitá metoda není zcela univerzální a výběr je závislý na typu sledovaných objektů v krajině, případně charakteru reliéfu. Vzniká řada nových metod, které se snaží novým způsobem vizualizovat data pocházející z LLS za účelem získání nových informací (kromě uvedených i např. *red relief image maps* a další), přesto nově vyvíjené metody zcela nenahradí základní stínování nebo barevnou hypsometrii. Navíc velkou výhodou stínování oproti ostatním metodám je v jeho dostupnosti, funkce hillshade je zabudována ve většině GIS softwarech.

Dalším cenným výsledkem práce je detekce odlišných druhů objektů z dat LLS s využitím různých metod vizualizace. I přes označení dat LLS jako výškopisných, mají pro některé tematické mapy větší využití v polohopisu, kdy z dat za příhodných podmínek velmi přesně interpretujeme komunikace, skalní útvary nebo vodní toky. I přes velké zpřesnění a identifikování řady objektů z dat LLS pro mapy pro orientační běh nebo jiné mapy velkého měřítka, je nezbytný terénní průzkum. Rozlišení mezi kupou a kamenem, ale často i mezi zářezem, malou pěšinou nebo drobným údolím je velmi komplikované. Možným řešením je využití dostupných internetových aplikací, které některé tyto problémy mohou částečně vyřešit (Ptačí pohled na serveru Mapy.cz, Google street view, ...), v otevřené krajině zcela jistě ortofoto. Aplikace jsou ale omezené (Ptačí pohled pouze v okolí velkých měst, Google street view většinou nezasahuje do lesa).

Autor práce doufá, že dosažené výsledky a poznatky by mohly být uplatněny v praxi. Ve státní sféře se uvedené metody a principy mohou použít pro doplnění nebo ke korekci geografické databáze ZABAGED nebo jiných státních děl. Jednalo by se hlavně o zpřesňování komunikací nebo identifikaci objektů v zalesněných prostorech. Dále uvedené metody najdou uplatnění při plánování velkých komunikací (dálnice, železnice), při kterém se mohou najít drobné anomálie povrchu, které by ztížily výstavbu. V soukromé sféře se některé postupy dají převzít pro tvorbu turistické mapy nebo map velkých měřítek. Ve spojení s novými technologiemi (tzv. chytré telefony, GPS aj.) by mohly být podkladem pro hry ve volné přírodě (např. geocaching). V oblasti map pro orientační běh vedou výsledky k zpřesnění i zrychlení při terénní práci. Příprava podkladů však zabere zhruba o 50 % více času než obvykle.

Práce by mohla být v budoucnosti rozšířena o další části. V souvislosti s dobrou dostupností produktu, který nabízí ČÚZK (DMP 1G), je zde prostor pro využití digitálního modelu povrchu k detekci hranic krajinného pokryvu nebo budov. Tyto úpravy jsou další úrovní pro zpřesňování současných databází a map. V některých místech by mohly odstraňovat nedostatky leteckých snímků.

POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE DAT

- ArcČR 500 (2013): Digitální geografické databáze, verze 3.1. ARCDATA PRAHA, Praha.
- ARCHAEMONMONTAN (2013a): Středověké hornictví v Sasku a Čechách. Ústav archeologické památkové péče severozápadních Čech, v.v.i. © EU, program Cíl3, projekt ArchaeoMontan.
- ARCHAEMONMONTAN (2013b): Středověké hornictví v Sasku a Čechách. Dostupné z: <http://www.archaeomontan.eu/cs/das-projekto-projektu.html> (staženo 20.4.2014).
- ARNET, F. (1999): Ústní rozhovor. In: Jenny, B. (2011): An Interactive Approach to Analytical Relief Shading. *Cartographica*, 38, č. 1–2, s. 70.
- ASTER (2012): ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. Dostupné z: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (staženo 30.3.2014).
- BLAGA, L. (2012): Aspects regarding the signifiacnce of the curvature types and values in the studies of geomorphometry assisted by GIS. *Annals of the University of Oradea - Geography Series*, 12, č. 2, s. 327–337.
- BÖHM, R. (2009): Vimage - Brief Documentation. Dostupné z: http://www.boehmwanderkarten.de/vimage/doc/vimage_manual_boehm_hauthal.pdf (staženo 4.12.2013).
- BRÁZDIL, K. (2010): Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Příspěvek ve sborníku GIS Ostrava 2010, Ostrava, 7 s. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf (staženo 2.1.2014).
- BRÁZDIL, K. (2012a): Technická zpráva k Digitálnímu modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G). Zeměměřický úřad, Pardubice. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G_15012012.pdf (staženo 25.11.2013).
- BRÁZDIL, K. (2012b): Technická zpráva k Digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). Zeměměřický úřad, Pardubice. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf (staženo 25.11.2013).
- ČAPEK, R. a kol. (1992): Geografická kartografie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 373 s.
- ČÚŽK (2010): Základní báze geografických dat České republiky – úvod. ČÚŽK. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(iofb3q550gcy4qavrxbz42t\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(iofb3q550gcy4qavrxbz42t))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24) (staženo 5.1.2014).

- ČÚZK (2014a): Stav aktualizace DMR 5G. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/default.aspx?ck=1&conf=0&SID=&wmcid=603&serverconf=meta> (staženo 2.5.2014).
- ČÚZK (2014b): Prohlížeč služba WMS - Ortofoto. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx (staženo 25.4.2014).
- ČÚZK (2014c): Prohlížeč služba WMS - ZM 10. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx (staženo 25.4.2014).
- DEMEK, J. (1987): Obecná geomorfologie. ACADEMIA, Praha, 476 s.
- DEVEREUX, B. J. a kol. (2008): Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. ANTIQUITY, 82, č. 316, s. 470–479.
- DMR 4G (2013): Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G). ČÚZK, Praha.
- DMR 5G (2013): Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). ČÚZK, Praha.
- DOBROVOLNÝ, P., KRAHULA, L. (2012): Vliv geometrie zástavby na pole teploty vzduchu a intenzity tepelného ostrova města na příkladu Brna. Meteorologické zprávy, 65, č. 2, s. 51–57.
- DORN, D. V. (2002): Software for relief shading. Dostupné z: <http://www.reliefshading.com/software/index.html> (staženo 20.4.2014).
- DUŠÁNEK, P. (2014): Nové výškopisné mapování České republiky. Příspěvek ve sborníku GIS Ostrava 2014, Ostrava, 6 s. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2014/sbornik/papers/gis2014526faa8a434ef.pdf (staženo 12.4. 2014).
- ESRI (2010): Using curvature rasters to enhance terrain representation. Dostupné z: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/using-curvature-rasters-to-enhance-terrain-representation/> (staženo 5.4.2014).
- ESRI (2011): How Hillshade works. Dostupné z: <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z000000z2000000.htm> (staženo 23.11.2013).
- ESRI (2012): An alternative to overlaying layer tints on hillshades. Dostupné z: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2012/03/08/an-alternative-to-overlaying-layer-tints-on-hillshades/> (staženo 2.4.2014).
- ESRI (2013): Digitální model reliéfu ČR. Dostupné z: <http://www.arcddata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/digitalni-model-reliefu-cr/> (staženo 29.12.2013).
- ESRI (2014a): ArcGIS Help 10.1 - Renderers used to display raster data. Dostupné z: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009t0000006r000000> (staženo 31.3.2014).
- ESRI (2014b): Raster Curvature. Dostupné z: http://www.et-st.com/et_surface/userguide/Raster/ETG_RasterCurvature.htm (staženo 5.4.2014).
- HESSE, R. (2010): LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. Archaeological Prospection, 17, č. 2, s. 67–72.

- HOLATA, L., PLZÁK, J. (2013): Examinace procesu optimalizace „archeologicky korektních“ způsobů vyhodnocení dat z leteckého laserového skenování zalesněné krajiny. Potenciál filtrace surových dat, problematika interpolačních algoritmů a způsobů vizualizace antropogenních tvarů v digitálních modelech reliéfu. In: Gojda, M., John, J. a kol.: Archeologie a letecké laserové skenování krajiny. Plzeň, s. 49–79.
- HORN, B. (1981): Hill Shading and the Reflectance Map. *Cartographica*, 38, č. 1–2, s. 67–75.
- HRADEC, P. (2014): Využití výškopisných laserových dat poskytovaných ČÚZK k mapování pro orientační běh. Diplomová práce. Katedra geomatiky FS ČVUT, Praha, 77 s.
- HURNI, L. a kol. (2001): Interactive Analytical Shading and Cliff Drawing: Advances in Digital Relief Presentation for Topographic Mountain Maps. Příspěvek na Mezinárodní kartografické konferenci 2011, Peking, 8 s. Dostupné z: http://www.cartography.oregonstate.edu/pdf/2001_Hurni_et_al_ica.pdf (staženo 22.12.2012).
- CHEN, L. a kol. (2010): Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 32, č. 1, s. 121–136.
- CHILDS, C. (2011): Terrain datasets - The top 10 reasons to use them. Dostupné z: <http://www.esri.com/news/arcuser/0311/files/terrain.pdf> (staženo 22.4.2014).
- IMHOF, E. (2007): *Cartographic Relief Presentation*. ESRI Press, California, 388 s.
- JEDLIČKA, K. (2009): Úvod do GIS – Zpracování dat II. Prezentace. FAV ZU, Plzeň, 51 s. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/Prezentace/09-InterpolaceTvorbaDMRTopologickeCisteniDatGeneralizace.pdf> (staženo 30. 1. 2014).
- JENNESS, J. (2013): DEM Surface Tools. Dostupné z: <http://www.jennessent.com/downloads/DEM%20Surface%20Tools%20for%20ArcGIS.pdf> (staženo 5.4.2014)
- JENNY, B. (2001): An Interactive Approach to Analytical Relief Shading. *Cartographica*, 38, č. 1–2, s. 67–75.
- JOHN, J., GOJDA, M. (2013): Principy leteckého laserového skenování a jeho využití pro dálkový archeologický průzkum. In: M. Gojda, J. John a kol.: Archeologie a letecké laserové skenování krajiny, s. 8–20.
- JONES, K. H. (1998): A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM. *Computers & Geosciences*, 24, č. 4, s. 315–323.
- KADLČÍKOVÁ, J. (2007): DMR a jeho vizualizace. PŘF UP, Olomouc, 15 s. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/Sekce7/Kadlcikova_GIS-Ostrava07.pdf (staženo 30. 1. 2014).
- KENNELLY, P. J. (2008): Terrain maps displaying hill-shading with curvature. *Geomorphology*, 102, č. 3–4, s. 567–577.

- KOKAJL, Ž. a kol. (2011): Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models. *ANTIQUITY*, 85, č. 327, s. 263–273.
- KRNAP (2012): Snímkování a skenování území KRNAP a jeho ochranného pásma. Geodis, Brno.
- KRTIČKA, L., LENHART, Z. (2012): Využití dat leteckého laserového skenování pro tvorbu map pro orientační běh. Příspěvek na semináři kartografů, Brada. Dostupné z: http://www.orientacnibeh.cz/volny/maprada/seminar/5_VyuzitiLLSProMapovani_Krticka.pdf (staženo 15.3.2014)
- KŘÍKAVOVÁ, L. (2009): Interpolace bodových dat v GIS. Bakalářská práce. Katedra mapování a kartografie FS ČVUT, Praha, 55 s.
- LEE, S. J., CLARKE, K. C. (2005): An Assessment of Differences in Algorithms For Computing Fundamental Topographic Parameters. Dostupné z: http://www.cartogis.org/docs/proceedings/2005/lee_clark.pdf (staženo 20.4.2014)
- LEIMEROVÁ, K. (2011): Detekce vybraných tříd prvků ZABAGED z DMR leteckého laserového skenování. Diplomová práce. Katedra geoinformatiky PŘF UP, Olomouc, 46 s.
- LOISIOS, D. a kol. (2007): A methodology for creating Analytical hill-shading by combining different lighting directions. Příspěvek na Mezinárodní kartografické konferenci 2007, Moskva, 10 s. Dostupné z: http://users.ntua.gr/bnakos/Data/Section%205-6/Pub_5-6-52.pdf (staženo 10.3.2014).
- LUKAS, K., WEIBEL, R. (1995): Assessment and improvement of methods for analytical hillshading. Příspěvek na Mezinárodní kartografické konferenci 1995, Barcelona, s. 2231–2240. Dostupné z: http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC1995/PDF/Cap430.pdf (staženo 12.12.2013).
- MARK, R.K. (1992): Multidirectional, oblique-weighted, shaded relief of the Island of Hawaii. Dostupné z: <http://pubs.usgs.gov/of/1992/of92-422/of92-422.pdf> (staženo 27.2.2014).
- MELOUN, M. (2014): Analýza hlavních komponent (PCA). Dostupné z: <http://meloun.upce.cz/docs/research/chemometrics/methodology/4cmetody.pdf> (staženo 27.4.2014).
- NOAA (2012): An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications. Dostupné z: http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/_/pdf/lidar101.pdf (staženo 22.4.2014).
- NOVÁK, D. (2014): Local Relief Model (LRM) Toolbox for ArcGIS. Dostupné z: https://www.academia.edu/5618967/Local_Relief_Model_LRM_Toolbox_for_ArcGIS (staženo 25.4.2014).
- PAVELKA, K. (2013): Letecké laserové skenování v ČR a možnosti využití dat pro dokumentaci historické těžby nerostných surovin. FS ČVUT, Praha, 20 s. Dostupné z: <http://fgm.fsv.cvut.cz/data/RIV/j%C3%A1chymovsko.pdf> (staženo 28.12.2013).
- PICEK, J. (2014): Mapa pro orientační běh Proseč. 1 : 10 000. KČT TJ Tatran Jablonec, Jablonec n/N. Digitální verze.

- PŘÍKRYL, M. (2009): Možnosti zobrazení výškopisu ČR v programu ArcGIS. Bakalářská práce. Katedra mapování a kartografie FS ČVUT, Praha, 51 s.
- RAPANT, P. (2006). Geoinformatika a geoinformační technologie. Hornicko-geologická fakulta Vysoké školy báňské - TU Ostrava, Ostrava, 513 s.
- RVT (2013): Relief Visualization Toolbox Readme. Dostupné z: http://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/rvt_1.0_0.pdf (staženo 11.3.2014).
- ŘEZNÍKOVÁ, I. (2013): Analýza možnosti využití digitálního modelu terénu 5G pro tvorbu TM 1 : 25 000. Diplomová práce. Katedra mapování a kartografie FS ČVUT, Praha, 101 s.
- SEZNAM.CZ (2014): Turistická mapa na serveru Mapy.cz. Dostupné z: <http://www.mapy.cz> (staženo 25. 4. 2014).
- SMITH, A. (2014): Airborne Laser Scanning: Remote Sensing with LiDAR. Dostupné z: <http://classes.css.wsu.edu/soils374/ppt/lidar2.pdf> (staženo 12.4.2014).
- SRTM (2000): The Shuttle Radar Topography Mission. Dostupné z: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf (staženo 30.3.2014).
- SULAN, J. (2012): Příručka silničního meteorologa. Dostupné z: portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/weather_links/Pocasi/Silnice/ManualSilnicni.doc (staženo 17. 2. 2014).
- SULAN, J., ŠKUTHAN, M. (2005): Silniční meteorologie v provozu Českého hydrometeorologického ústavu. Meteorologické zprávy, 58, č. 2, s. 33–40.
- ŠÍMA, J. (2009): Abeceda leteckého laserového skenování. GeoBusiness, 8, č. 3, s. 22–25.
- TIAN, Y.Q. a kol. (2001): Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect. Agricultural and Forest Meteorology, 109, č. 1, s. 67–74.
- UNWIN, D. (1981): Introductory Spatial Analysis. Methuen, Londýn a New York, 212 s.
- VÚGTK (2004): Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí na Internetu. Terminologická komise ČÚZK. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/termkom/termsl.html> (staženo 1.12.2013).
- WOOD, J. D. (1999): Visualisation of scale dependencies in surface models. Příspěvek na International Cartographic Association Annual Conference, Ottawa. Dostupné z: <http://www soi.city.ac.uk/~jwo/ica99/> (staženo 5.4.2014).
- YOĚLI, P. (1971): An experimental electronic system for converting contours into hill shaded relief. International Yearbook of Cartography, 11, s. 111–114.
- ZABAGED (2000): ZABAGED - výškopis - vrstevnice. ČÚZK, Praha.
- ZABAGED (2006): ZABAGED - výškopis - zpřesněný model. ČÚZK, Praha.
- ZAKŠEK, K. a kol. (2011): Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. Remote Sensing, 3, č. 2, s. 398–415.
- ZHOU, Q., LIU, X. (2004): Error Analysis on Grid-Based Slope and Aspect Algorithms. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70, č. 8, s. 957–962.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Srovnání metod rastrových modelů reliéfu pro odlišné typy reliéfu
Příloha 2 CD s elektronickou verzí práce

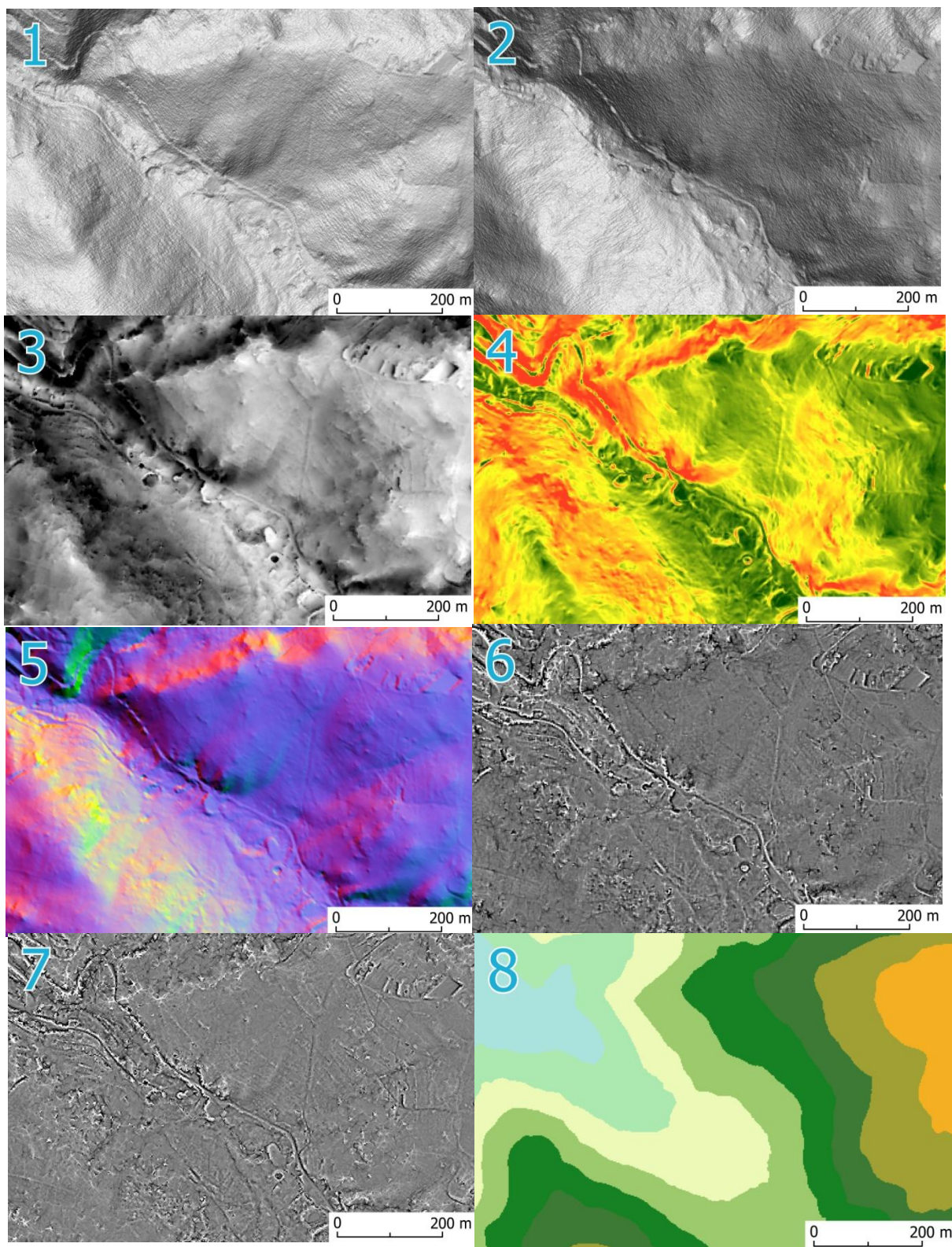
Příloha 1: Srovnání metod rastrových modelů reliéfu pro odlišné typy reliéfu

Jednotlivé číslice u daných typů reliéfů znamenají odlišný rastrový model:

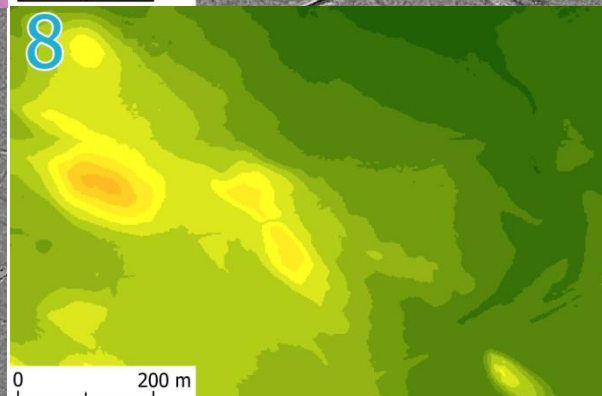
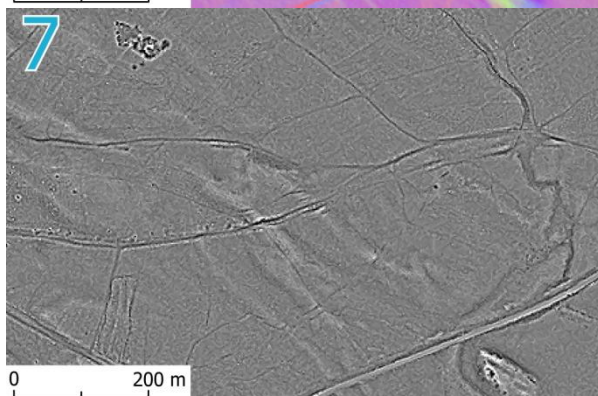
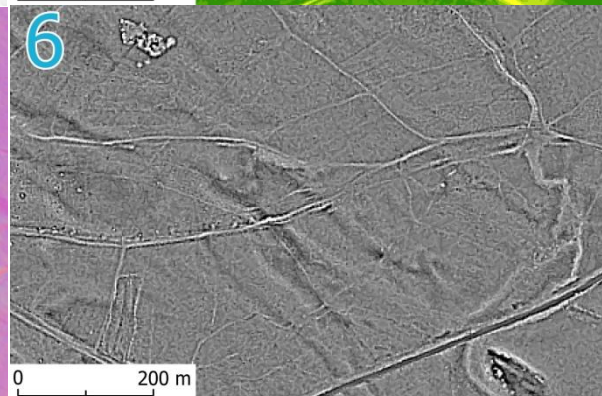
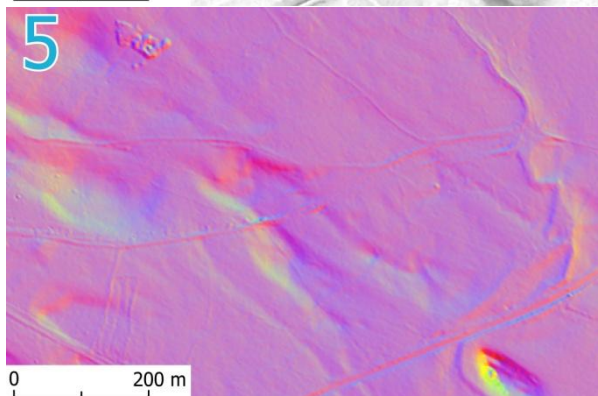
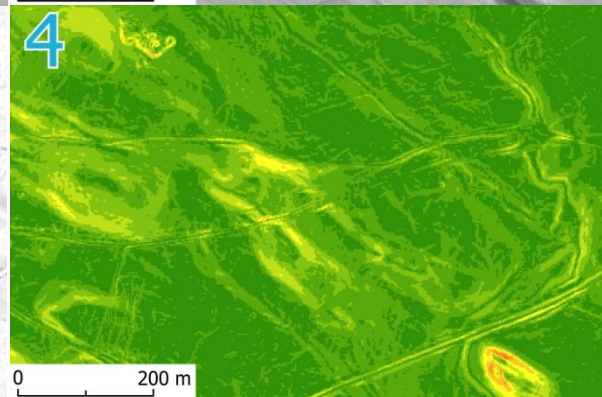
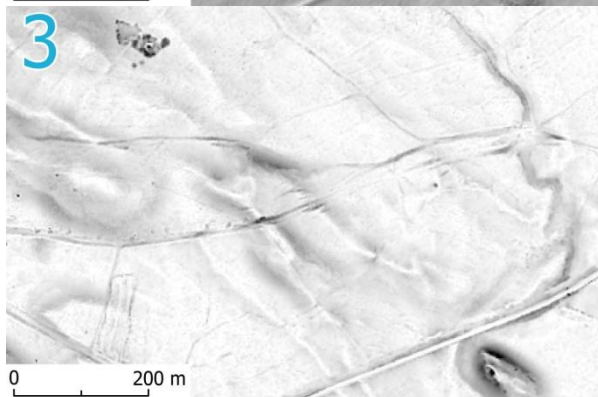
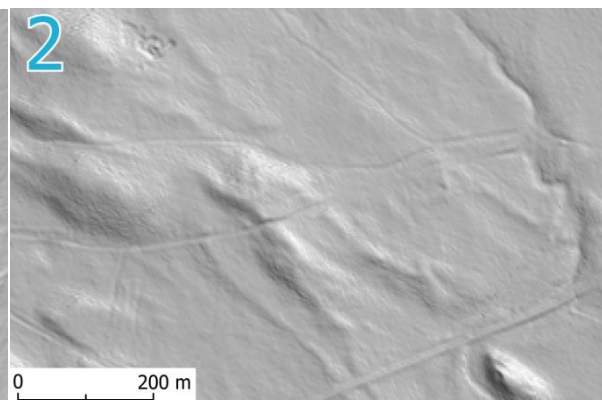
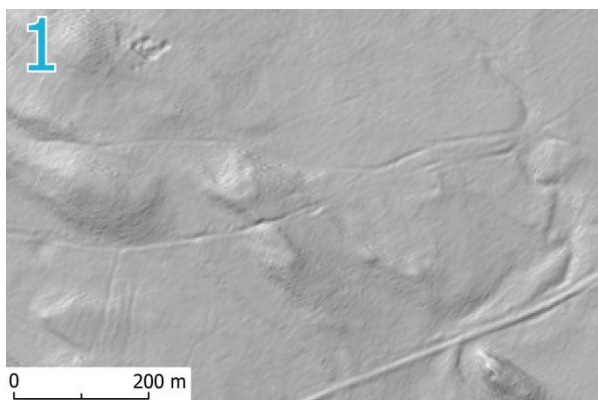
- 1 stínování (směr osvětlení 315°, sklon dopadajících paprsků 45°)
- 2 stínování (směr osvětlení 45°, sklon dopadajících paprsků 45°)
- 3 SVF
- 4 sklon
- 5 stínování s analýzou prvních tří komponent při 16 směrech osvětlení
- 6 lokální reliéf
- 7 křivost
- 8 barevná hypsometrie

Zdroj dat: ArchaeoMontan (2013a), DMR 5G (2013), vlastní zpracování.

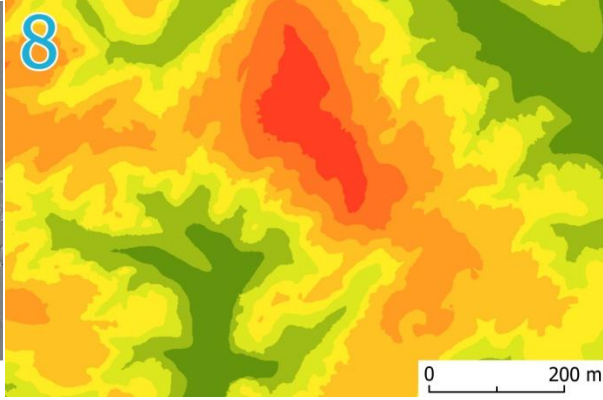
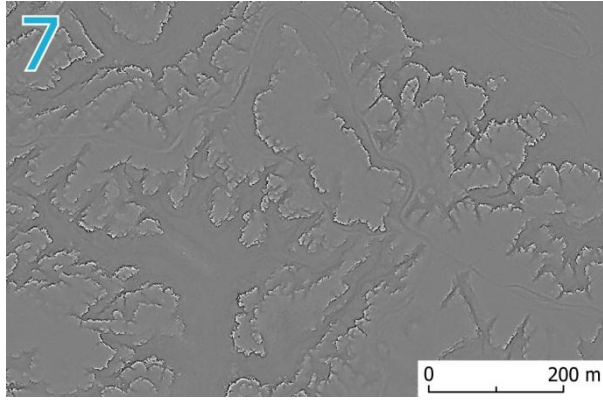
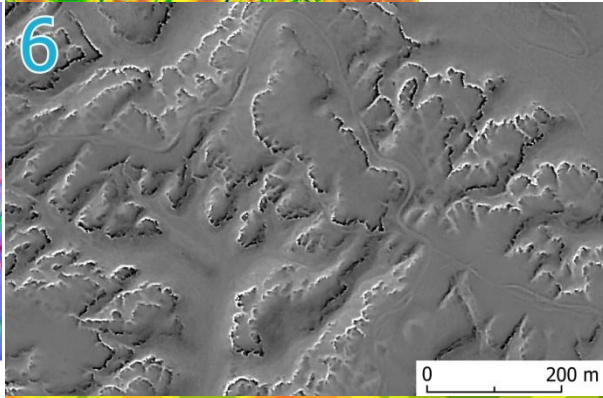
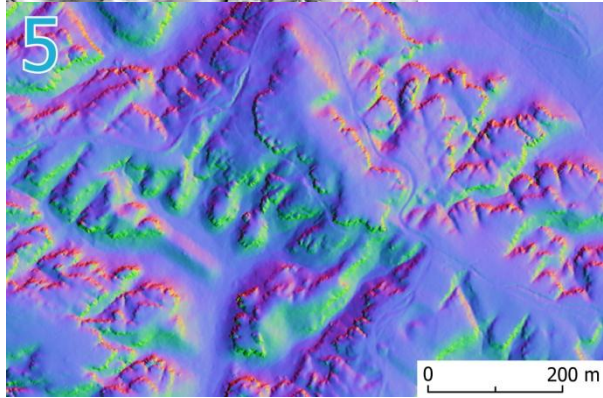
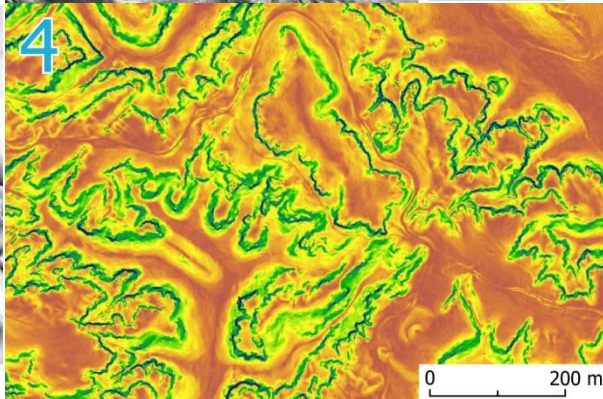
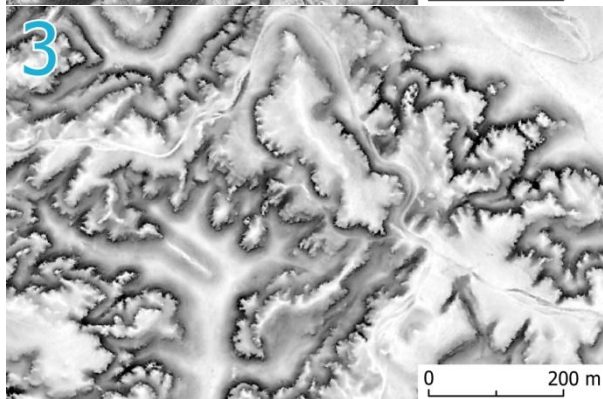
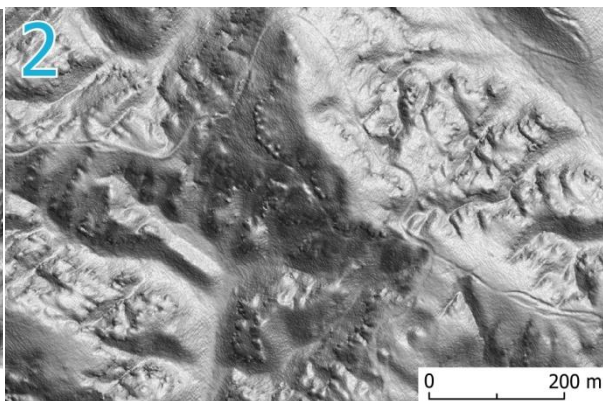
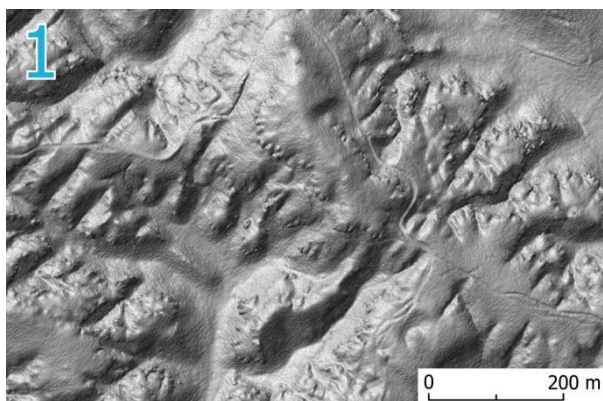
Horský reliéf



Rovinatý reliéf



Skalní město



Reliéf s negativními tvary terénu

