

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Kartografie, geoinformatika a dálkový průzkum Země

CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Science

Department of Applied Geoinformatics and Cartography

Study programme: Cartography, Geoinformatics and Remote Sensing



TOPOGRAFICKÉ MAPOVÁNÍ SKALNÍCH ÚTVARŮ S VYUŽITÍM DAT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

TOPOGRAPHIC MAPPING OF ROCK FORMATIONS
WITH THE USE OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA

Dizertační práce / Ph.D. Thesis

RNDr. Jakub LYSÁK

Školitel dizertační práce / Ph.D. Thesis Supervisor

Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.

červen / June 2016

WE MAPS

INTERNATIONAL MAP YEAR 2015–2016

Tato práce byla dokončena v Mezinárodním roce mapy, jehož smyslem je celosvětová oslava mapy a její unikátní role v našem světě. Mezinárodní rok mapy, organizovaný Mezinárodní kartografickou asociací (ICA), představuje příležitost prokázat význam mapy a geografických informací ve vědě, technologiích a umění. Umístění loga do této práce je v souladu s doporučením České kartografické společnosti a vyjadřuje přihlášení se k myšlence uvedené akce.

Prohlašuji, že jsem předloženou dizertační práci zpracoval samostatně a že jsem řádně citoval všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Vybrané kapitoly této práce rozšiřují diplomovou práci autora, na kterou tato dizertace navazuje. Tvoří souhrnně jen velmi malou část celého textu a je u nich na tuto skutečnost upozorněno. Některé dílčí výsledky publikované v této práci vznikly v rámci studentských prací na PřF UK v Praze, jichž jsem byl vedoucí. Tyto části jsou v textu zřetelně označeny a uvedené práce jsou řádně citovány.

V Mostě dne 11. 6. 2016

Jakub Lysák

Poděkování

Tato práce by v předložené podobě nemohla vzniknout bez ochoty řady lidí, kterým bych na tomto místě rád poděkoval. Pokud není uvedeno jinak, přispěli svými znalostmi, zkušenostmi, radami či poskytnutím informací. Dík zasluhují zejména:

- školitelka mé práce Ing. Markéta Potůčková, Ph.D.,
- současné i bývalé vedení Zeměměřického úřadu, jmenovitě Ing. Karel Brázdil, CSc. a Ing. Danuše Svobodová, za jejich osvěcený přístup ke spolupráci s akademickou sférou,
- současní i bývalí zaměstnanci pardubického pracoviště Zeměměřického úřadu, konkrétně Mgr. Petr Dušánek, Ing. Oldřich Kafka, Mgr. Jakub Gamrát a Ing. Aleš Tippner,
- současní i bývalí zaměstnanci Odboru ZABAGED Zeměměřického úřadu, jmenovitě RNDr. Jana Pressová, Mgr. Jana Axmanová, Mgr. Pavel Šára, Mgr. Kateřina Novotná, Mgr. Petr Polášek a RNDr. Irena Rybová,
- současní i bývalí zaměstnanci sedlčanského pracoviště Zeměměřického úřadu, zejména RNDr. Ing. Michal Traurig, Ing. Jaroslava Bořkovcová, Ing. Hana Čandová, Ing. Tomáš Kubín, Petr Svoboda, Mgr. Iveta Skalická a Ing. Radek Mandovec,
- Mgr. Oldřich Holešinský ze Správy Národního parku České Švýcarsko,
- Irena Švehlová, prom. fil. a hist. ze Sekretariátu názvoslovné komise ČÚZK,
- kolegové z akademické sféry, zejména PhDr. RNDr. Jan Daniel Bláha, Ph.D. a Ing. Tomáš Bayer, Ph.D.,
- současní i bývalí studenti PřF UK v Praze, kteří pod mým vedením přispěli k vyřešení dílčích úkolů v rámci svých bakalářských či diplomových prací nebo projektů či jinak, zejména (v abecedním pořadí) Bc. Lucie Beranová, Bc. Karolína Fenclová, Bc. Martin Forman, Mgr. Lukáš Holman, Mgr. Lucie Hromádková, Mgr. Jakub Jaroš, Bc. Adéla Kiššová, Bc. Jan Pícek, Bc. Tereza Poláková, Mgr. Kamila Rohelová, Mgr. Michaela Šáková a Bc. Michaela Tomková,
- Mgr. Petr Hofman ze společnosti Mapy.cz,
- Claudia Kaiser-Weißbach ze saské národní mapovací agentury GeoSN,
- orientační běžci Mgr. Martina Tihonová a Ing. Tomáš Leštínský za poskytnutí map pro orientační běh ze svého archivu.

Můj dík dále patří také institucím, které pro účely této práce zapůjčily dále uvedená data:



Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha

data leteckého laserového skenování a produkty z nich odvozené, data ZABAGED, mapy a specializované výstupy z IS SMD



Správa Národního parku České Švýcarsko, Krásná Lípa

data z projektu GeNeSiS: digitální model terénu a digitální model povrchu, odvozené z dat leteckého laserového skenování, digitální ortofoto RGB a CIR

V neposlední řadě patří poděkování také mým nejbližším, kteří mi byli morální oporou při psaní práce, zejména ženě Zuzce, za její trpělivost a toleranci i ochotu v rámci terénního průzkumu zdolávat terén, který by za schůdný neoznačil ani ten největší optimista. Poděkování si zaslouží také další přátelé a známí, se kterými jsme společně strávili ve skalách značné množství času často i za velmi náročných podmínek.

Abstrakt

Práce se komplexním způsobem věnuje topografickému mapování skalních útvarů s využitím moderních technologií, od pořizování a zpracování dat leteckého laserového skenování (LLS) v těchto oblastech, přes navazující tvorbu obsahu topografických databází z těchto dat až po jejich kartografické zpracování do podoby topografické mapy. V úvodu práce jsou diskutovány otázky jejího významu pro praxi a souvislost topografického mapování skal s dalšími obory lidské činnosti.

Část týkající se LLS popisuje produkty odvozené z těchto dat, které jsou vhodné pro topografické mapování skal, a diskutuje specifika pořizování a zejména zpracování dat LLS v zalesněném členitém reliéfu. Podrobně jsou vysvětleny existující přístupy k řešení uvedené problematiky a identifikovány jejich nedostatky. Formou případových studií jsou prezentovány vlastní přístupy k řešení tohoto úkolu, zahrnující tři provedené a další tři navržené experimenty a hodnocení dosažených výsledků. Součástí jsou také doporučení týkající se mapování pískovcových skalních měst v Česku metodou LLS.

Topografická část práce popisuje současnou reprezentaci skal a souvisejících objektů v ZABAGED s vysvětlením historických souvislostí, analyzuje stávající data a identifikuje jejich nedostatky zejména ve vztahu k LLS. Rešerše shrnuje stávající přístupy k reprezentaci skal v zahraničních topografických databázích, jak s národním, tak s širším pokrytím. Klíčovou část představuje návrh vlastní metodiky pro reprezentaci skalních útvarů v topografické databázi, zahrnující popis jednotlivých typů objektů, ukázky jejich použití na typických tvarech skalního reliéfu a diskuzi možnosti získání těchto objektů, jednak automatizovaně s využitím dat LLS, jednak z dalších zdrojů, které jsou pro území Česka relevantní. Zařazen je experiment zaměřený na automatickou klasifikaci obvodových linií skalního terénu. Metodika byla otestována na několika modelových lokalitách; shrnuty jsou hlavní dosažené výsledky. Řešeny jsou i otázky týkající se geografického názvosloví skal, zahrnující zejména analýzu současného stavu v databázi Geonames a diskuzi možností doplnění tohoto názvosloví z horolezeckých databází. V rámci této části byl proveden experiment zaměřený na existující shodu těchto jmen.

Kartografická část práce začíná popisem tradičních metod analogové kartografie pro znázorňování skal, s důrazem na podrobné analytické zpracování žebříčkové manýry a konturové metody, sloužící následně jako podklad pro návrh jejich automatizace. Dále jsou popsány a porovnávány existující způsoby používané pro reprezentaci skal v digitální kartografii včetně technických detailů jejich realizace, se zvláštním důrazem na metodu používanou Zeměměřickým úřadem (ZÚ) na základních mapách jím vydávaných. Zařazena je také diskuze smyslu skalních šraf v současné digitální kartografii. Rešeršní část podrobně popisuje existující algoritmy pro znázorňování skal, resp. tvorbu šraf. Hlavní částí je návrh, podrobný popis, testování a diskuze praktické použitelnosti tří nově navržených algoritmů pro znázorňování skal (metody používané ZÚ na základních mapách, žebříčkové manýry a konturové metody), využívající navrženou reprezentaci informací o skalním terénu z topografické části práce.

Práce je zakončena obecnou vizí možného budoucího zpracování skalních útvarů v českém státním mapovém díle včetně návrhu její praktické realizace. Při řešení práce autor spolupracoval s odborníky ze ZÚ.

klíčová slova: skalní útvary, letecké laserové skenování, filtrace dat, full waveform analýza, digitální topografická databáze, ZABAGED, geografické názvosloví, topografická mapa, vizualizace výškopisu, znázorňování skal, skalní šrafy, digitální kartografie, státní mapové dílo

Abstract

This thesis focuses on topographic mapping of rock formations with the use of new technologies in a comprehensive manner, from airborne laser scanning (ALS) data acquisition and processing in rocky terrains, followed by their processing to the content of topographic databases and their cartographic processing in maps. The introduction discusses issues of importance for practice, and the relation between topographic mapping of rocks and other fields of human activity.

The ALS section describes products for topographic mapping of rocks derived from ALS data, and discusses the specifics of ALS data acquisition and processing in wooded rugged terrain. Existing solutions of this problem are explained and their limitations are identified. Author's own approaches to solving this task are presented as case studies, including three made a further three designed experiments with ALS data processing and evaluation of their results. Recommendation regarding mapping of sandstone landscapes in Czechia have been also addressed.

The topographic section describes the current representation of rocks and related objects in the ZABAGED database (Czech national digital topographic database), explains the historical context, analyzes this data and identifies their shortcomings in relation to the ALS. Research summarizes existing approaches for representation of rocks in foreign topographic databases, both on national and international level. The key part of this section is formed by the design of methodology for representation of rock formations in the topographic database, including the description of the individual objects types, examples of their use for typical rocky landforms and discussion of acquisition of these objects, partly automatically from ALS data, as well as from other sources relevant for the Czech territory. An experiment aimed at the automatic classification of the segments on perimeter of rocky terrain is included. The methodology has been practically tested on multiple model sites; the most important results of the evaluation are summarized. A chapter on geographic names of rocks, comprising an analysis of the current state of the Geonames database (Czech national geographic names database) and discussion regarding the possibility of adding new geographic names from climbing databases, is also included. An experiment focusing on the existing correspondence between these names has been performed.

The cartographic section describes the traditional analogue cartography methods for rock drawing, with an emphasis on detailed analytical processing, especially the ladder manner and the contour method, serving as the basis for the design of their automation. Description of existing methods used for representation of rocks in digital cartography including technical details regarding their implementation and their mutual comparison, with particular emphasis on the method used by the Czech Land Survey Office (LSO) on their base maps, form the following part of the section. The role of rock hachures in contemporary digital cartography is discussed. Research part includes thorough inspection of the existing algorithms for digital cliff and hachures drawing. The main part consists of the detailed explanation, testing and discussion of practical usage of three newly designed algorithms for digital rock drawing (based on the method used by LSO for base maps, the ladder manner and the contour method), using the proposed representation of rocky terrain from the previous topographic section.

The conclusion focuses on a general vision of a possible future treatment of rock formations in the Czech state map series including a plan for its practical realization. The work has been carried out in the cooperation with the experts from LSO.

keywords: rock formations, airborne laser scanning, data filtering, full waveform analysis, digital topographic database, ZABAGED, geographic names, topographic map, visualization of hypsography, cliff drawing, rock hachures, digital cartography, state map series

Obsah

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK	9
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM RÁMEČKŮ	14
1 ÚVOD	15
1.1 Cíle práce	16
1.2 Struktura práce	18
1.3 Jak číst tuto práci	19
1.4 Význam pro praxi	19
1.5 Topografické mapování skal v souvislostech s dalšími obory lidské činnosti	22
1.5.1 <i>Skály očima topografa</i>	22
1.5.2 <i>Skály očima geomorfologa</i>	24
1.5.3 <i>Skály očima horolezce</i>	28
1.5.4 <i>Skály očima geografa</i>	29
2 SKÁLY A LASEROVÉ SKENOVÁNÍ	32
2.1 Stručný úvod do laserového skenování	32
2.2 Využití dat LLS pro topografické mapování a kartografii	34
2.2.1 <i>Přímá vizualizace bodového mračna</i>	34
2.2.2 <i>Digitální model reliéfu</i>	34
2.2.3 <i>Produkty odvozené z DMR</i>	35
2.3 Specifika pořizování dat LLS ve skalách	40
2.4 Specifika zpracování dat LLS ze skal	42
2.5 Experimenty se zpracováním dat LLS ve skalních oblastech	48
2.5.1 <i>Data použitá pro experimenty</i>	48
2.5.2 <i>Využití doplňkových informací</i>	51
2.5.3 <i>Využití existujícího manuálně klasifikovaného bodového mračna</i>	56
2.5.4 <i>Kombinace doplňkových informací s robustní interpolací</i>	59
2.5.5 <i>Řešení převisů</i>	63
2.5.6 <i>Shlukování</i>	66
2.5.7 <i>Objektově orientovaná klasifikace</i>	67
2.6 Diskuze a závěry ke skalám a laserovému skenování	69
3 SKÁLY A DIGITÁLNÍ TOPOGRAFICKÉ DATABÁZE	72
3.1 Současný stav a historický vývoj v Česku	73
3.1.1 <i>Skály a související jevy v ZABAGED: současný stav</i>	73
3.1.2 <i>Skály a související jevy v ZABAGED: historické souvislosti</i>	75
3.1.3 <i>Problémy existující reprezentace skal v ZABAGED</i>	79
3.1.4 <i>Skály v DMÚ 25</i>	82
3.1.5 <i>Existující návrhy inovace reprezentace skal pro ZABAGED</i>	83
3.2 Současný stav mimo Česko	84
3.2.1 <i>Topografické databáze zahraničních národních mapovacích agentur</i>	84
3.2.2 <i>Standardy a databáze s celosvětovým pokrytím</i>	88
3.3 Další využitelné zdroje dat pro mapování skal	90
3.3.1 <i>Letecké snímky a ortofoto</i>	90
3.3.2 <i>Mapy pro orientační běh</i>	91
3.3.3 <i>Horolezecká literatura a databáze</i>	91
3.3.4 <i>Další specializovaná lokální data</i>	93
3.4 Návrh metodiky pro reprezentaci skalních útvarů	93
3.4.1 <i>Popis navrhovaných objektů</i>	94
3.4.2 <i>Obecný postup zpracování</i>	104

3.4.3	Typové příklady použití objektů	105
3.4.4	Možnosti automatizace získání objektů	109
3.4.5	Praktické testování navržené metodiky	116
3.4.6	Poznámky ke generalizaci reprezentace	120
3.5	Geografické názvosloví skal	121
3.5.1	Skály v Geonames	121
3.5.2	Možnosti využití horolezeckých databází pro geografické názvosloví skal	124
3.6	Diskuze a závěry ke skalám a digitálním topografickým databázím	128
4	SKÁLY A KARTOGRAFIE	131
4.1	Přístupy klasické analogové kartografie	131
4.1.1	Švýcarská metoda	133
4.1.2	Žebříčková manýra	138
4.1.3	Konturová metoda	143
4.1.4	Další metody	148
4.1.5	Shrnutí přístupů analogové kartografie	150
4.2	Kartografické zpracování bodových skalních útvarů	151
4.3	Stávající přístupy digitální kartografie	152
4.3.1	Polygony s výplní	155
4.3.2	Stínování a jeho varianty	157
4.3.3	Bodové symboly	160
4.3.4	Symboly na vertikálních liniích	161
4.3.5	Symboly na horizontálních liniích	162
4.3.6	Metoda používaná Zeměměřickým úřadem na základních mapách	163
4.3.7	Linie či polygony zachycující terénní hrany	172
4.3.8	Šrafy jako rastrová kresba	175
4.3.9	Šrafy jako liniová vektorová kresba	177
4.3.10	Šrafy jako polygonová vektorová kresba	178
4.3.11	Shrnutí a srovnání v praxi používaných metod	180
4.4	Kritický pohled na šrafy očima digitální kartografie	182
4.5	Automatizace kartografického znázorňování skal	183
4.5.1	Obecné problémy automatizace znázorňování skal	184
4.5.2	Existující algoritmy pro znázorňování skal	185
4.5.3	Existující algoritmy pro tvorbu šraf	190
4.6	Návrhy vlastních metod pro automatizaci kartografického znázorňování skal	193
4.7	Automatizace metody používané Zeměměřickým úřadem na základních mapách	194
4.7.1	Zpracování vnitřních hran a kontrola zpracovatelnosti polygonu	195
4.7.2	Rozdělení polygonu na horní a dolní část	196
4.7.3	Zpracování linií v dolní části	197
4.7.4	Zpracování symbolů pro horní část	197
4.7.5	Zpracování příčných čárek v dolní části polygonu	198
4.7.6	Přidání nepravidelnosti do výsledné reprezentace	200
4.7.7	Implementace a testování	202
4.7.8	Závěry k metodě	203
4.8	Automatizace žebříčkové manýry	204
4.8.1	Zpracování vnitřních hran	205
4.8.2	Přiřazení syntetických výšek hranám	205
4.8.3	Tvorba syntetického modelu reliéfu pro šrafování	208
4.8.4	Tvorba vertikálních šraf	210
4.8.5	Tvorba horizontálních šraf	216
4.8.6	Tvorba reprezentace u horní hrany	219
4.8.7	Stínování	221
4.8.8	Implementace a testování	226
4.8.9	Závěry k metodě	227
4.9	Automatizace konturové metody	229

4.9.1	<i>Výpočet šířky kontur</i>	229
4.9.2	<i>Zpracování zbylé plochy polygonu</i>	231
4.9.3	<i>Testování a závěry k metodě</i>	232
4.10	Diskuze a závěry ke skalám a kartografii	234
5	ZÁVĚR	236
	POUŽITÉ ZDROJE	240
	O AUTOROVI	247

Přehled použitých zkratk

ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMR	digitální model reliéfu
DMÚ 25	Digitální model území (v podrobnosti odpovídající mapě v měřítku 1 : 25 000)
DPZ	dálkový průzkum Země
GIS	geoinformační systém, geografický informační systém
IS SMD	Informační systém státního mapového díla
LLS	letecké laserové skenování
LRM	<i>local relief model</i> (lokální reliéf) = způsob vizualizace rastrového DMR
SVF	<i>sky view factor</i> („faktor výhledu“) = způsob vizualizace rastrového DMR
TIN	<i>triangulated irregular network</i> (nepravidelná trojúhelníková síť) = síť trojúhelníků pro povrchovou reprezentaci objektů
TM 10	Topografická mapa v měřítku 1 : 10 000
ZABAGED	Základní báze geografických dat = digitální vektorový geografický model území České republiky spravovaný Zeměměřickým úřadem
ZM 10 (25, 50)	Základní mapa České republiky v měřítku 1 : 10 000 (1 : 25 000, 1 : 50 000)
ZÚ	Zeměměřický úřad

Seznam obrázků

Obr. 1.	Členitá pískovcová krajina v Teplických skalách.	15
Obr. 2.	Vztah mezi nápadností skály a plochou, kterou zabírá v mapě.	23
Obr. 3.	Skalka (vlevo) a skalní stěna (vpravo).	24
Obr. 4.	Skalnatý svah (vlevo) a skalní žebra (vpravo).	25
Obr. 5.	Rokle (vlevo) a kar (vpravo).	25
Obr. 6.	Skalní věž (vlevo), skalní jehla (uprostřed) a skalní hřib (vpravo).	26
Obr. 7.	Pseudoškrapy (vlevo) a kamenné varhany (vpravo).	27
Obr. 8.	Skalní komunikační zářez (vlevo) a opuštěný etážový stěnový lom (vpravo).	28
Obr. 9.	Skalní věž (vlevo) a plotna (vpravo).	29
Obr. 10.	Výskyt skal v Česku.	30
Obr. 11.	Skály zahloubených říčních údolí (vlevo) a skály v krasu (vpravo).	30
Obr. 12.	Horský skalní reliéf ovlivněný činností ledovce.	31
Obr. 13.	Ukázka technických vrstevnic odvozených z dat LLS.	36
Obr. 14.	Ukázka stínovaného modelu reliéfu odvozeného z dat LLS.	37
Obr. 15.	Ukázka sklonu a orientace odvozené z DMR z dat LLS.	37
Obr. 16.	Ukázka LRM odvozeného z DMR z dat LLS.	39
Obr. 17.	Ukázka SVF a profilové křivosti odvozené z DMR z dat LLS.	40
Obr. 18.	Ukázka stínu při pořizování dat LLS v členitém pískovcovém terénu.	41
Obr. 19.	K ilustraci stínu (vlevo) a multipath efektu (vpravo).	42
Obr. 20.	Vliv hustoty bodového mračka na vizuální interpretaci skalního terénu.	45
Obr. 21.	Vliv prostorového uspořádání bodů na vizuální interpretaci skalního terénu.	45
Obr. 22.	Problémy s 3D vizualizací kolmých a převislých skalních stěn.	47
Obr. 23.	Srovnání hustoty bodů posledního odrazu v datech TUD a experimentálního skenování ZÚ v oblasti Adršpašských a Teplických skal.	50
Obr. 24.	Fotografie lokalit z testovacích oblastí v Prachovských skalách.	52
Obr. 25.	Histogramy hodnot C pro lokalitu střed z dat z roku 2008.	53
Obr. 26.	Srovnání DMR vytvořených na základě popsané filtrace a pouze na základě bodů posledního odrazu.	55
Obr. 27.	Fotografie testovací lokality Pravčická brána.	56
Obr. 28.	Srovnání DMR vytvořených z jednotlivých bodových mraček.	57
Obr. 29.	Srovnání výsledného DMR s modely původními.	58
Obr. 30.	K ilustraci problémů navrženého postupu.	59
Obr. 31.	Histogramy hodnot C pro body V a body L v datech ZÚ.	60
Obr. 32.	Váhová funkce použitá při robustní interpolaci.	62
Obr. 33.	K filtraci bodů a tvorbě DMR u převislých stěn.	64
Obr. 34.	Artefakty v TIN vznikající v oblasti převisů.	64
Obr. 35.	K vysvětlení navržené metody.	65
Obr. 36.	Ukázka výsledků segmentace bodového mračka.	67
Obr. 37.	K ilustraci objektivě orientované klasifikace.	68
Obr. 38.	K ilustraci problému naddimenzovanosti půdorysu skalních útvarů.	79
Obr. 39.	K ilustraci problému nesouladu polygonů skalních útvarů s novým výškopisem.	80
Obr. 40.	Problémy s vektorizací šraf v ZM 10 při prvotním naplnění databáze ZABAGED.	80
Obr. 41.	Vektorizace polygonů s dírou pomocí obvodové linie.	81
Obr. 42.	Srovnání skal v ZABAGED a v DMÚ 25.	82
Obr. 43.	Skalní útvary na ortofotu.	90
Obr. 44.	Ukázky náčrtů z horolezeckých průvodeců.	92
Obr. 45.	K ilustraci procentuálního pokrytí plochy.	99
Obr. 46.	Rozhodovací schéma pro výběr správného typu objektu.	104
Obr. 47.	Symbole pro jednotlivé typy objektů použité v kapitole 3.4.3.	105
Obr. 48.	Reprezentace jednoduché skalní stěny a skalního výchozu.	106
Obr. 49.	Lomová hrana ve skalní stěně.	106
Obr. 50.	Vystupující versus zahloubený objekt.	106
Obr. 51.	Reprezentace vystupujících objektů.	107

Obr. 52.	Reprezentace skalních hřebenů	107
Obr. 53.	Spádnicově protažené objekty ve svazích údolí	107
Obr. 54.	Pískovcová skalní stěna zachycená s rozdílnou mírou podrobnosti	107
Obr. 55.	Pískovcová skalní stěna s členitým terénem na okraji plošiny	108
Obr. 56.	Reprezentace skalních věží	108
Obr. 57.	Ukázka reprezentace složitějšího pískovcového terénu	109
Obr. 58.	Od směru spádu ke klasifikaci obvodu polygonu	110
Obr. 59.	K navrženému vylepšení klasifikace obvodových linií	113
Obr. 60.	Ukázka automatické detekce skalních stěn v pískovcovém skalním terénu	114
Obr. 61.	Problémy s automatizovaným odvozováním výšky dolní hrany z 2,5D modelu	116
Obr. 62.	Srovnání terénního šetření s informacemi odvozenými z dat DMR 5G	117
Obr. 63.	Oddělení samostatného objektu typu Skalní útvary v ZABAGED kvůli jménu	123
Obr. 64.	K ilustraci návrhu rozdělení objektu typu Skalní útvary na samostatné dotýkající se objekty	123
Obr. 65.	K ilustracím jmen částí skal	127
Obr. 66.	Ukázka klasického znázornění skal uváděná v některých českých učebnicích kartografie	131
Obr. 67.	Vrstevnice versus skalní šrafy	132
Obr. 68.	Švýcarská metoda kresby skal pro velehorský terén	133
Obr. 69.	Konstrukce reprezentace pro elementární plochu při kresbě švýcarskou metodou	134
Obr. 70.	Ukázka aplikace švýcarské metody na německých topografických mapách	134
Obr. 71.	K ilustraci stínování vrstevnic ve skalách	136
Obr. 72.	Švýcarská metoda kresby skal pro kras a ohlazený skalní terén	136
Obr. 73.	Nevelehorský skalní terén zachycený švýcarskou metodou	138
Obr. 74.	Ukázka typického znázornění skal žebříčkovou manýrou	139
Obr. 75.	Ukázka žebříčkové manýry pro nevelehorský skalní terén	139
Obr. 76.	K ilustraci problému „kartografické iluze“ u žebříčkové manýry	140
Obr. 77.	Ukázka nejednotnosti reprezentace skal na TM 10	141
Obr. 78.	Žebříčková manýra na polské topografické mapě v měřítku 1 : 10 000	141
Obr. 79.	Ukázka reprezentace členitějšího pískovcového reliéfu na ZM 10	142
Obr. 80.	Nejednotnost kresby skal na ZM 10	142
Obr. 81.	Ukázka konturové metody	143
Obr. 82.	Tvarové čáry v konturové metodě	144
Obr. 83.	Ukázky použití tvarových čar v konturové metodě	145
Obr. 84.	Ukázka předchůdce konturové metody	145
Obr. 85.	K ilustraci čtení informací z konturové metody	146
Obr. 86.	Porovnání konturové metody s ortofotem	147
Obr. 87.	Porovnání konturové metody s DMR a žebříčkovou manýrou	147
Obr. 88.	Ukázka kresby skal kombinací vrstevnic a šraf	148
Obr. 89.	Ukázka znázornění skal Brandstätterovou metodou	149
Obr. 90.	Znázornění skal v portugalském státním mapovém díle	150
Obr. 91.	Ukázky kartografických znaků pro bodové skály	152
Obr. 92.	Polygony zachycující půdorys s rastrovou výplní	156
Obr. 93.	Reprezentace skal pomocí podrobných půdorysných polygonů na mapách pro orientační běh	156
Obr. 94.	Ukázky reprezentace skal pomocí podrobných polygonů zachycujících půdorys	157
Obr. 95.	Pískovcový skalní terén znázorněný s využitím stínování	158
Obr. 96.	Reprezentace skal metodou bodových symbolů	160
Obr. 97.	Reprezentace skal pomocí vertikálních linií	161
Obr. 98.	Reprezentace skal pomocí horizontálních linií	162
Obr. 99.	Ukázka reprezentace skal vytvořené metodou ZÚ	164
Obr. 100.	Od linií ke šrafám metodou ZÚ	164
Obr. 101.	Horní symboly připomínající části stylizovaných šraf	164
Obr. 102.	Linie tvořené horními symboly	165
Obr. 103.	Symbol pro dolní linii s příčnými čárkami	165

Obr. 104.	Hřbetnice a údolnice zachycené metodou ZÚ.	166
Obr. 105.	Přístupy k řešení plošně rozsáhlejších polygonů.	166
Obr. 106.	Přístupy k řešení dlouhých úzkých polygonů orientovaných po spádnici.	166
Obr. 107.	Přístupy k řešení v případě rozdílné délky horní a horní hrany skály.	167
Obr. 108.	Srovnání digitální a analogové podoby ZM 10 v extrémně členitém pískovcovém terénu.	168
Obr. 109.	Ukázka zachycení pískovcového reliéfu metodou ZÚ.	168
Obr. 110.	Nejednotný způsob kresby pískovcových věží na digitální ZM 10.	169
Obr. 111.	Symboly pro znázornění skal na digitální ZM 25 a ZM 50.	169
Obr. 112.	K historickému vývoji horních symbolů na ZM 10.	170
Obr. 113.	Stejný pískovcový skalní terén zachycený metodou ZÚ třikrát jinak.	171
Obr. 114.	Návrh možného vylepšení kresby pískovcových plošin s využitím stávajících symbolů.	171
Obr. 115.	Reprezentace skalního útvaru pomocí zdůrazněné horní hrany.	173
Obr. 116.	GUI software používaného pro tvorbu topografických map v GeoSN.	173
Obr. 117.	Interakce vrstevnic a kontur.	174
Obr. 118.	Kresba skal pomocí polygonových objektů na mapách Ordnance Survey.	174
Obr. 119.	Skalní šrafy jako rastrová kresba.	176
Obr. 120.	Šrafy jako liniová vektorová kresba.	177
Obr. 121.	Šrafy jako liniová vektorová kresba s proměnlivou tloušťkou linie.	178
Obr. 122.	Šrafy jako polygonová vektorová kresba.	179
Obr. 123.	K ridge-line reprezentaci.	186
Obr. 124.	Výstup algoritmu pro vyplňování ploch šrafiemi ve stylu švýcarské manýry.	186
Obr. 125.	Reprezentace skal odvozená z DMR podle Dahindena (2008).	187
Obr. 126.	Generování šraf metodou Geisthövel, Hurni (2015).	187
Obr. 127.	Schéma pro změnu tloušťky šraf v práci Yang & Guo & Shen (2009).	188
Obr. 128.	Kresba šraf metodou Yang & Guo & Shen (2009).	188
Obr. 129.	Automatizovaná reprezentace šraf pomocí natočených vzorků podle IGN.	189
Obr. 130.	Znázornění skal s využitím metody texture shading.	190
Obr. 131.	Stínované šrafy vytvořené metodou Yoeli (1985).	190
Obr. 132.	Generování šraf metodou Regnauld & Mackaness & Hart (2002).	191
Obr. 133.	Generování šraf metodou Rohelová (2014).	192
Obr. 134.	Šrafy a terénní stupně.	192
Obr. 135.	Zpracování vnitřních hran.	195
Obr. 136.	K vysvětlení pojmů týkajících se zpracování jednotlivých částí polygonu.	196
Obr. 137.	K umístování horních symbolů do horního pásu.	198
Obr. 138.	K umístování příčných čárek.	199
Obr. 139.	Porovnání vytvořené reprezentace před (vlevo) a po aplikaci vylepšení (vpravo).	200
Obr. 140.	Princip algoritmu náhodného přesouvání středního bodu.	201
Obr. 141.	Příklad možného přiřazení syntetických výšek hranám.	205
Obr. 142.	K vysvětlení přiřazování výšek.	206
Obr. 143.	Relativní změny výšek mezi horními a dolními hranami.	208
Obr. 144.	TIN vytvořený z hran bez úprav.	209
Obr. 145.	K úpravě triangulace.	209
Obr. 146.	TIN po úpravách.	210
Obr. 147.	Vysvětlení generování vertikálních šraf vycházejících z horních hran.	213
Obr. 148.	Výsledné vertikální šrafy.	215
Obr. 149.	Rozdělení zpracovávaného polygonu na dílčí polygony podle vertikálních šraf.	216
Obr. 150.	K metodám určení klíčové délky při tvorbě horizontálních šraf.	217
Obr. 151.	Horizontální a vertikální šrafy.	219
Obr. 152.	Dva způsoby řešení reprezentace u horní hrany.	220
Obr. 153.	K ilustraci problému napojování rozdělených segmentů polylinie.	221
Obr. 154.	Základní idea stínování vertikálních šraf.	222
Obr. 155.	Schéma pro výpočet stínování vertikálních šraf.	223
Obr. 156.	Stínování reprezentace u horní hrany.	223

Obr. 157.	Základní idea stínování horizontálních šraf.....	224
Obr. 158.	Schéma pro výpočet stínování horizontální šrafy.....	225
Obr. 159.	Výsledná reprezentace napodobující žebříčkovou manýru.	225
Obr. 160.	K výpočtu šířky linií kontur a údolnic.....	230
Obr. 161.	Vysvětlení generování pomocných čar metodou rovnoběžek.	231
Obr. 162.	Vysvětlení generování pomocných čar metodou přechodových linií.....	232
Obr. 163.	Ukázka konturové metody zpracované automatizovaně.	233
Obr. 164.	Ukázka výsledku generování tvarových čar metodou přechodových linií.	233

Poznámky k obrázkům:

- fotografie, schémata a kresby, u nichž není uveden zdroj, jsou dílem autora,
- byla-li při tvorbě obrázku využita data, která nejsou přímo dílem autora, jsou tato data a jejich zdroj u obrázku vhodným způsobem citovány,
- u obrázků, u nichž to bylo možné a smysluplné, je uvedeno grafické měřítko. To neplatí pro mapy. Většina ukázek map v této práci byla převzata z internetu a byl k nim dohledán původní zdroj, který je citován. Z tohoto důvodu je obtížné dodržet původní měřítko originálu, někde je navíc výřez mapy úmyslně zvětšen, aby byly lépe patrné detaily reprezentace. Proto je informace o zvětšení, resp. zmenšení uvedena pouze v případě velké odlišnosti od měřítka originálu.
- pokud je u obrázku uveden jako zdroj projekt GeNeSiS, © TUD 2005, jde o data poskytnutá Správou Národního parku České Švýcarsko a k jejich prezentaci patří následující doložka:
 - název projektu (Interreg IIIA: „Geoinformační síť pro přeshraniční region národních parků České a Saské Švýcarsko“),
 - nositel projektu (Technická Univerzita v Drážďanech, Institut pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země, profesura dálkového průzkumu Země),
 - doba pořízení dat (duben 2005).

Seznam tabulek

Tab. 1.	Struktura záznamu v sdw souboru.....	50
Tab. 2.	Vlastnosti datových sad z testovacích lokalit.....	53
Tab. 3.	Hodnoty C a jejich použitelnost pro rozlišení terénních a mimoterénních bodů.....	54
Tab. 4.	Závislost mezi ignorovaným množstvím bodů V a výsledným počtem bodů L zahrnutých do výběru pro datovou sadu střed 2008.....	54
Tab. 5.	Použitelnost C při využití lokálních prahů.....	54
Tab. 6.	Parametry afinní transformace mezi daty TUD a ZÚ.....	57
Tab. 7.	Vývoj počtu objektů souvisejících se skalními útvary v ZABAGED.....	78
Tab. 8.	Analyzované topografické databáze národních mapovacích agentur.....	84
Tab. 9.	Údaje o testovacích lokalitách v experimentu s klasifikací obvodu polygonů.....	111
Tab. 10.	Výsledky experimentu s klasifikací obvodu polygonů.....	112
Tab. 11.	Typy objektů v Geonames související se skalními útvary.....	122
Tab. 12.	Vývoj počtu geografických jmen souvisejících se skalami v databázi Geonames.....	122
Tab. 13.	Počty pojmenovaných lezeckých objektů v jednotlivých databázích.....	124
Tab. 14.	Doporučené tloušťky kontur.....	144
Tab. 15.	Přehled metod pro digitální zpracování skal z pohledu náročnosti práce kartografa.....	181
Tab. 16.	Poloha vztažená k virtuálnímu počátku a relativní šířka příčných čárek použita při implementaci.....	199
Tab. 17.	Výsledky testování automatizace metody používané ZÚ pro základní mapy.....	202

Seznam rámečků

Box 1:	Zakázaná cesta na Pravčickou bránu.....	21
Box 2:	Kartografie a skály na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze.....	29
Box 3:	První zpracování dat LLS zalesněné pískovcové krajiny.....	46
Box 4:	Statistické údaje o objektech typu Skalní útvary z databáze ZABAGED.....	74
Box 5:	Kolik měří Milenci?.....	126
Box 6:	Vzdušná perspektiva.....	135
Box 7:	Švýcarská metoda kresby skal jako karikatura terénu.....	137
Box 8:	První použití konturové metody.....	146
Box 9:	Imhof versus Brandstätter: klasické versus geometrické pojetí znázorňování skal.....	149
Box 10:	Autorství metody pro kreslení skal na mapách Zeměměřického úřadu.....	170
Box 11:	Skály na serveru mapy.cz.....	180
Box 12:	Automatizace znázorňování skal jako kartografická výzva.....	184

1 Úvod

Skály představují nápadný, působivý a často dominantní krajinný prvek, který odedávna přitahuje pozornost lidí. Nedostupnost a bizarní vzhled skalních útvarů v minulosti inspiroval lidové pověsti, fantazie místních obyvatel přispěla k pojmenování leckdy i nevelkých skalních útvarů a divoké skalní scenérie nezdávka sloužily umělcům jako romantická předloha (Vítek, 2004). Ač měli v minulosti lidé z divokých skalních krajin obecně spíše strach, využívali je jako strategická místa pro stavbu opevněných sídel či jako místo úkrytu v době válek. Od doby romantismu začaly být některé skalní oblasti oblíbeným výletním cílem a turistický ruch se ukázal být způsobem, jak z jinak obtížně využitelné krajiny získat ekonomický užitek. To ostatně do značné míry platí i dnes, kdy ani samotné zhlédnutí krás Adršpašských, Teplických a Prachovských skal či Tiských stěn z oficiálního návštěvnického okruhu není zdarma. Fascinující a netuctová krajina přitahuje kromě výletníků také horolezce, trempy, romantiky a koneckonců také vědce. I emoce vzbuzující skalní svět totiž může být předmětem chladného rigorózního výzkumu z pohledu celé řady oborů lidské činnosti. Tato práce na skály pohlíží očima dálkového průzkumu Země (DPZ), geoinformatiky a kartografie.



Obr. 1. Členitá pískovcová krajina v Teplických skalách.

Pohled na severní část Skalního ostrova, jedné z nejhůře přístupných skalních plošin v Česku, tvořenou bizarně tvarovanými skalními útvary. Mapy této a dalších částí Teplických skal se objevují na řadě míst v práci.

Významnou roli mezi českými skalami hrají pískovcová skalní města, v jejichž výskytu představuje Česko evropskou velmoc (Härtel et al., 2007). Česká křídlová pánev, považovaná za nejrozsáhlejší oblast pískovcového reliéfu v Evropě, zasahuje svými částmi i do sousedního Saska a Polska; její převážná část leží ale na našem území. Vytváří zde monumentální typ krajiny s vysokými skalními stěnami, labyrinty hlubokých a úzkých roklí vyplněných sutí, bizarně tvarované skalní věže a jehly a plošiny rozčleněné trhlinami (viz ilustrační obr. 1). To vše je doplněno řadou dalších a často unikátních jevů z oblasti neživé i živé přírody, které se souhrnně označují jako pískovcový fenomén. S ohledem na středoevropské klimatické podmínky je naprostá většina tohoto terénu s výjimkou nejextrémnějších stanovišť pokryta vegetací, většinou jehličnatou.

Pro topografy a kartografy představovalo mapování takového terénu velmi obtížný úkol. Kvůli složitému přístupu a obecně zanedbatelnému významu těchto území nedávalo příliš smysl je podrobně mapovat klasickými geodetickými metodami. S ohledem na zakrytí velké části terénu vegetací situaci příliš nepomohlo ani letecké snímkování a fotogrammetrie. I podrobné topografické mapy pískovcových krajin tak obsahovaly řadu bílých míst, umně maskovaných idealizovanou kresbou skalních šraf, místy připomínajících spíše umělecké dílo než geometricky přesnou reprezentaci reality. Znázorňování skal – nejen pískovcových – bylo jednou z oblastí, se

kteřou se klasická kartografie vypořádávala dlouho a obtížně. Hlavní důvod těchto problémů je zcela prozaický: do roviny mapy se její tvůrce snaží zachytit objekt, který má převládající vertikální rozměr. Skály jsou při tom často výrazným terénním prvkem, který by tedy logicky měl vynikat i na mapách. Trvalo dlouho, než byly nalezeny kartografické vyjadřovací prostředky, které by znázorňování skal uspokojivě vyřešily. Jejich ruční tvorba je ale poměrně zdlouhavá a pracná, vyžaduje přinejmenším značnou dávku praxe, ne-li dokonce jistý talent, a je považována za disciplínu na hranici kartografie a umění (Čapek, 1973, s. 1).

Léta zažitá tradiční kartografické postupy změnil příchod nových technologií – zejména geoinformačních systémů a digitální kartografie. Obojí vede ke snazší, rychlejší a efektivnější tvorbě map. Pro zpracování naprosté většiny mapového obsahu jsou tyto technologie ideální. To ovšem neplatí o znázornění skal. Tradičně poměrně svobodné vyjadřovací prostředky pro skály je obtížné uchopit tak, aby bylo možné jejich mapový obraz produkovat efektivně a zároveň zachovat množství informace jako při ruční tvorbě. Digitální kartografie se s tímto problémem dosud akceptovatelným způsobem nedokázala vypořádat. To je jeden důvod pro vznik této práce.

Druhým důvodem je další nová technologie – laserové skenování. Ta se na přelomu 20. a 21. století vyvinula z experimentální do provozuschopné podoby. Nejinovativnější vlastností této technologie z pohledu topografického mapování je, že dokáže „nahlédnout“ pod vegetaci a zachytit detaily terénu ukryté pod ní, byť s určitými omezeními. To představuje samozřejmě výrazný kvalitativní posun z hlediska možnosti mapování skal, obzvláště zalesněných pískovcových skalních měst.

Se znalostí důvodů pro vznik této práce lze v následujících kapitolách podrobněji popsat její cíle, strukturu, návod, jak ji číst, a také odpovědět na otázku, komu a jakým způsobem mohou její výsledky v praxi posloužit. Na závěr úvodní části je pak zařazena kapitola přibližující skalní útvary z pohledu různých oborů lidské činnosti, které se skalami souvisejí.

1.1 Cíle práce

Obecným cílem předkládané dizertační práce je komplexním způsobem přispět k řešení problematiky získávání a vizualizace prostorových informací o skalních útvarech. Řešení je do značné míry postaveno na datech leteckého laserového skenování (LLS) a zahrnuje celý proces od získávání dat, přes jejich zpracování až po závěrečnou kartografickou prezentaci na topografických mapách velkých a středních měřítek. Klíčovými výstupy práce jsou návrhy nových metodik, resp. vhodných postupů pro získávání a prezentaci informací o skalních útvarech s využitím soudobých moderních technologií (LLS, digitální topografické databáze, digitální kartografie), přičemž se klade důraz na automatizaci prováděných operací. Podstatnou součástí práce je proto návrh vlastních postupů, resp. algoritmů a jejich testování nad reálnými daty, které by měly prokázat uplatnitelnost navržených postupů v praxi.

Práci lze rozdělit na tři hlavní části, v dalším textu označované jako sekce. První sekce se zabývá pořizováním a zpracováním dat o skalních útvarech pořízených s využitím technologie LLS. Druhá sekce se týká reprezentace informací o skalách v prostorových databázích a třetí se věnuje kartografické vizualizaci těchto dat. Práce je zaměřena na typy reliéfu, které se vyskytují na území Česka (s důrazem na pískovcová skalní města) a rovněž do značné míry zohledňuje velmi dobrou zmapovanost a dostupnost různých prostorových dat na našem území. Důvodem pro toto zaměření je snaha autora o snazší využití výsledků v praxi.

První sekce se zabývá skalami a laserovým skenováním. Hlavním cílem této části práce je odpovědět na otázku, jakým způsobem lze data LLS pořízená v členitém a zalesněném terénu

spolehlivě automaticky filtrovat, resp. klasifikovat, tj. jak odlišit odrazy pocházející od terénu (do nichž patří i odrazy od skalních útvarů) a od vegetace, příp. ostatních objektů. Tato část je zaměřena převážně na pískovcová skalní města. K dílčím cílům této části práce patří:

- identifikace specifických problémů spojených s pořizováním dat LLS v tomto typu terénu a navržení postupů, které mohou tyto problémy zmírnit nebo eliminovat,
- identifikace specifických problémů, které vznikají při zpracování dat LLS v tomto terénu při využití stávajících postupů,
- navržení možných řešení, resp. zmírnění těchto problémů, a jejich otestování nad reálnými daty,
- diskuze nad reálnými možnostmi praktického řešení filtrace.

Experimentální část této sekce je psána formou případových studií, tj. popisuje jednotlivé experimenty provedené přímo autorem, případně vzniklé na základě autorových myšlenek v rámci studentských prací, které autor předkládané dizertace vedl.

Druhá sekce se týká skal a digitálních topografických databází. Hlavním cílem této části práce je najít vhodný způsob reprezentace informací o skalních útvarech v digitálních topografických databázích tak, aby byla získatelná z dat LLS (a případně z dalších, v podmínkách Česka dostupných prostorových i neprostorových dat) a byla použitelná i pro kartografické účely. Dílčí cíle této sekce jsou následující:

- popsat stávající reprezentaci skal v českých digitálních topografických databázích (s důrazem na ZABAGED) a identifikovat její nedostatky, zejména ve vztahu k LLS,
- popsat a analyzovat různé způsoby zachycení skalních útvarů v relevantních zahraničních topografických databázích, resp. v topografických databázích s celosvětovým pokrytím,
- navrhnout způsoby reprezentace skal vhodné pro podrobné digitální topografické databáze (např. ZABAGED), tj. popsat a specifikovat jednotlivé typy objektů, jejich atributy, navrhnout způsob, jakým budou získány z produktů odvozených z dat LLS, případně z dalších dat, a diskutovat možnosti automatizace tvorby těchto objektů,
- navrhnout postupy zpracování pro složité případy, zejména pro komplikovaný terén pískovcových skalních měst,
- navržené způsoby prakticky otestovat nad reálnými daty a lokalitami a diskutovat jejich silné a slabé stránky a doporučení z hlediska ZABAGED,
- prozkoumat stav geografického názvosloví skal v databázi Geonames, navrhnout možnosti jeho doplnění z horolezeckých databází a literatury a identifikovat možné problémy, které s tím souvisejí.

Sekce týkající se digitálních topografických databází využívá výsledky sekce týkající se dat LLS, protože možnosti tvorby navržených objektů z velké části přímo závisí na vlastnostech dat LLS. Ač je tato část poměrně úzce propojena s produkty Zeměměřického úřadu (dále jen ZÚ), zejména ZABAGED a Geonames, snahou autora je prezentovat dostatečně obecný a variabilní návrh, který je aplikovatelný i pro lokální mapování skalních oblastí.

Třetí a nejrozsáhlejší sekce se věnuje skalám z pohledu kartografie. Hlavním cílem této části práce je nalezení vhodného způsobu kartografické reprezentace skal na topografických mapách velkého měřítka (z pohledu geodeta středního měřítka, viz Čapek a kol., 1992), která by byla podobná tradičně používaným skalním šrafám, a přitom by bylo možné ji zkonstruovat buď zcela automaticky, nebo alespoň s minimem interaktivní práce. Tato sekce má následující cíle:

- popsat postupy tradiční analogové kartografie pro znázorňování skal z pohledu informatika, s tím, že je důraz kladen na postupy používané v českém státním mapovém díle,
- popsat, analyzovat a z pohledu možné algoritmizace zhodnotit v praxi používané postupy pro znázorňování skal v soudobé digitální kartografii, opět s důrazem na postupy používané při zpracování českého státního mapového díla,
- navrhnout prakticky použitelná řešení uvedeného problému, s tím, že využijí reprezentace skal pomocí objektů navržených v druhé sekci této práce, a tato řešení otestovat a zhodnotit.

V rámci cílů práce považuje autor za vhodné uvést rovněž motivaci pro vznik této práce a zasadit jí do kontextu soudobého výzkumu v oblasti geoinformatiky. Důležitý impuls pro vznik dizertace představoval Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky (Brázdil, 2009), jehož zahájení časově odpovídá počátku psaní předkládané práce. Přinesl bezprecedentně podrobné a přesné zmapování výškopisu na území celé republiky. Nový výškopis má pro české státní mapové dílo řadu důsledků a přináší mnoho nových možností a výzev. Inovace zpracování skalních útvarů jako určité extrémní části reliéfu s využitím podrobných informací, které nebyly nikdy předtím k dispozici, je jen jednou z nich. Ač v současné době laserové skenování představuje rutinně používanou technologii a to i včetně zpracování dat, stále zůstávají nevyřešené otázky zejména okolo jejich zpracování v extrémně členitém terénu (což je i případ pískovcových skalních měst), kde stávající postupy nedávají ideální výsledky. V oblasti digitální kartografie je jednou z oblastí výzkumu automatizace tradičních kartografických postupů v oblasti vizualizace a generalizace prostorových dat, do které patří i problematika znázorňování skal. Tím tato práce vcelku zapadá do kontextu aktuálních problémů řešených ve světě geoinformatiky a kartografie na národní, ale i mezinárodní úrovni.

1.2 **Struktura práce**

Poměrně široké zaměření práce sahající od oblasti DPZ, přes topografické databáze až po digitální kartografii přináší výhody i nevýhody.

Komplexní propojení jednotlivých částí celého geoinformačního procesu od získávání dat až po jejich závěrečnou vizualizaci by mělo představovat výhodu, a sice z toho důvodu, že jednotlivé části na sobě zásadním způsobem závisí. Bez důkladné znalosti kvality podkladových dat nelze spolehlivě odvozovat topografickou informaci, na niž je pak následně závislé kartografické zpracování. Na druhou stranu jde i v praxi o poměrně oddělené podobory geoinformatiky, což do určité míry limituje možnost jít v jednotlivých oblastech do velké hloubky, protože rozsah práce by překročil akceptovatelnou mez. Relativně velmi úzké a striktní zaměření na skalní útvary vede nebo by alespoň podle autorova názoru mělo vést k tomu, že práce není v žádné oblasti příliš povrchní, ani extrémně dlouhá.

Popsanému širšímu rozkročení odpovídá i zvolená struktura práce. Jde o tři do určité míry nezávislé, ale na druhou stranu navzájem provázané sekce. Každá sekce se pak blíží tradiční struktuře vědecké práce. Obsahuje tedy rešeršní část popisující současný stav problematiky jak z pohledu výzkumu, tak z pohledu praxe, identifikuje nedostatky stávajících postupů, navrhuje možná vylepšení včetně různých variant, testuje tyto návrhy, diskutuje dosažené výsledky a přináší závěrečná doporučení jak z pohledu dalšího výzkumu, tak z pohledu praxe. V závěru každé sekce je také uvedeno, co z pohledu autora přináší příslušná část práce pro obor nového.

Kromě již zmíněných sekcí má práce úvodní část, věnovanou diskuzi smyslu podrobného mapování skal, která dává odpověď na otázku, komu by měl výsledek sloužit. Přináší také pohled na skály očima různých oborů lidské činnosti, pro které jsou skalní útvary zajímavé (geomorfologové, horolezci atd.) a které používají odlišnou terminologii, kterou je vhodné alespoň stručně vysvětlit. Mimo uvedené tři sekce stojí také obecný závěr celé práce, shrnující nejpodstatnější obecné aspekty, doporučení a vize dalšího rozvoje týkající se celého procesu mapování skalních útvarů obecně.

Části této práce byly publikovány jako samostatné články v různých časopisech (i v různých jazycích), případně v rámci dalších dokumentů zpracovaných autorem, případně autorským kolektivem, jehož byl autor součástí. Pokud byl text příslušné kapitoly takto publikován, je na to na jejím začátku upozorněno. Některé části textů jsou pak v takových kapitolách přímo převzaty do textu práce. Práce tak představuje kombinaci publikovaných článků a nepublikovaných prací, aktualizovanou a doplněnou o další dosud nepublikované výsledky tak, aby výsledný text tvořil logicky konzistentní celek.

1.3 Jak číst tuto práci

Text práce je doprovázen poměrně velkým množstvím obrázků, které by měly přispět k lepšímu pochopení celé problematiky. Obrázky jsou z toho důvodu přímo součástí textu, kde je na ně odkazováno, nikoliv v přílohách. Pokud se obrázek nevyskytuje bezprostředně u textu, ke kterému se vztahuje (což bývá z toho důvodu, že má význam pro vysvětlení více jevů), je u odkazu na něj pro pohodlí čtenáře uvedeno také číslo stránky, kde ho nalezne. Díky obrázkům se práce může jevit rozsáhlejší, než ve skutečnosti je.

Pro větší přehlednost jsou vybrané části práce barevně odlišeny. Důležité části navržených algoritmů jsou v modrých rámečcích. Ukázky jsou psány v pseudokódu, vycházejícího ze syntaxe jazyka Python, v němž byla převážná většina navržených algoritmů implementována:

Název algoritmu

```
[dx, dy] = [1, 1] // nastavení iničiálního směru na severovýchod
while numLoop < 1000:
  ...
```

Ve žlutých číslovaných rámečcích jsou uvedeny zajímavé souvislosti a příklady rozšiřující či doplňující základní text práce. Lze je chápat jako určitou moderní formu tradičně používaných poznámek pod čarou. V některých případech může být diskutabilní, zda je jejich zařazení ve striktně odborném geoinformatickém textu dizertace vhodné či nikoliv. Autor práce se rozhodl je zařadit z toho důvodu, že umožňují nahlížet na problematiku v širších souvislostech a prezentovat z pohledu tématu práce zajímavé informace až kuriozity v kontextu odborného výzkumu. V textu práce je na tuto souvislost upozorněno. Při čtení práce lze tyto části bez problémů přeskočit, protože nemají zásadní vliv na porozumění zbytku textu.

Box X: Zajímavá souvislost

První použití popisované metody datované rokem 1965 se autorovi podařilo nalézt v článku...

1.4 Význam pro praxi

S ohledem na autorovu snahu o praktické zaměření práce je na místě otázka, komu a k jakému účelu mohou být podrobné informace o skalách užitečné a do jaké míry má v praxi smysl je získávat. Obecně lze považovat údaje o skalním terénu v podobě digitálních geografických dat či mapy za užitečné pro všechny, kteří se v tomto terénu pohybují. Lze sem jistě zařadit zejména:

- přírodovědce zkoumající dané lokality (botanici, zoologové, ale třeba i geomorfologové a geologové),
- historiky a archeology zkoumající pozůstatky lidské činnosti (osídlení pod převisy, skalní rytiny, ...)
- osoby trávící ve skalách svůj volný čas, zejména horolezce hledající skály k výstupům, případně další návštěvníky-příznivce více či méně extrémní turistiky, pohybující se volně terénem mimo cesty,
- složky integrovaného záchranného systému, které mohou být nuceny se sem vydat v případě, že se někdo z předchozích skupin dostane do problémů, ale třeba i z důvodů lesních požárů apod.
- pracovníky orgánů ochrany přírody (částečně se překrývající s prvními dvěma skupinami, ale navíc také třeba stráž ochrany přírody).

Každý z potenciálních uživatelů prostorových dat o skalách je bude podle svého zaměření typicky využívat k mírně odlišnému účelu. Obecný význam těchto informací je ale podobný. Slouží zejména pro:

- orientaci a plánování pohybu ve skalním terénu zejména mimo komunikace, která může být extrémně složitá. V praxi to znamená umět odpovědět na otázky typu „*kudy se lze z místa X dostat nejnázem na místo Y?*“, „*lze se z místa A dostat na místo B přes C?*“, „*je tato rokle průchodná po dně, po úbočích nebo vůbec?*“, „*lze se touto trhlinou dostat na horní hranu skal nebo je neprůchodná?*“, „*je tato skalní bariéra přehrazující údolí někudy překonatelná bez lezení?*“. Argument, že pohyb mimo komunikace v takovémto terénu nedává příliš smysl, protože je obtížný a často i z důvodů ochrany přírody zakázaný, není úplně správný, protože praxe potvrzuje, že výše uvedené skupiny lidí na něm zájem mají.
- informace pro lokalizaci ve skalním terénu, jednak ve smyslu vyznačování bodů zájmu (přesná poloha výskytu konkrétní rostliny, zajímavého geomorfologického jevu, skalní rytiny, skalní věže apod.), jednak ve smyslu zjištění informace typu „*nacházím se zde*“. Se současnými technologiemi je tato role zdánlivě zbytečná, neboť ji lze nahradit GPS/GNSS, ovšem praktické fungování těchto technologií v úzkých zalesněných roklích pískovcových skalních měst je značně omezené, popřípadě vůbec žádné.
- „odbornější“ využití zejména pro účely prostorových analýz (geomorfologie, botanika, ...), plánování managementu lokalit, propagaci (tvorba 3D vizualizací, map apod.) a dokumentaci území.

Pro zajímavost lze uvést, že podrobné informace o skalním terénu mohou přinášet i určitá negativa, resp. se dostávat do přímého konfliktu se zájmy ochrany přírody. To nastává v situaci, kdy na chráněném území mimo oficiálně přístupné cesty leží turisticky zajímavý objekt (vyhlídka, jeskyně, převis), o jehož přesné poloze či existenci vůbec se všeobecně příliš neví a způsob, jak se k němu dostat, není na první pohled v terénu příliš zřetelný. Zveřejnění takové lokality v mapě pak informuje veřejnost nejen o její existenci, ale v kontextu s dalším obsahem mapy obvykle i o způsobu, jak se k ní dostat. To může přinést problémy. V případě skal zvýšená návštěvnost znamená obvykle sešlap vegetace a následnou erozi, která v případě pískovcových krajin může snadno nabýt extrémní podoby, riziko poškozování chráněných druhů rostlin a rušení až úhyn chráněných druhů živočichů, případně i poškozování specifických jevů vázaných na pískovcový fenomén (kořenové krápníky) nebo lokalit zajímavých z historického hlediska (skalní rytiny, převisy s archeologickými nálezy).

Box 1: Zakázaná cesta na Pravčickou bránu

Pravčická brána v Českém Švýcarsku (viz též kapitolu 2.5.1) je známou a vyhledávanou turistickou atrakcí. Turistický ruch se zde ve větší míře začal rozvíjet již na začátku 19. století. Kromě cest z české strany (od Hřenska a později i po Gabrielině stezce od Mezní Louky) sem vedla i cesta *Fremdenweg* (Cizinecká cesta) ve směru ze Saska. Vydlážděná cesta s dodnes patrnými schůdky a můstky přes rokle a rozsedliny zůstala hlavní a velmi frekventovanou přístupovou cestou ve směru ze Saska až do roku 1945. Po roce 1950 se stala součástí zakázaného hraničního pásma. Ani po uvolnění poměrů po roce 1990 a ani po vstupu České republiky do Schengenského prostoru v roce 2007 se situace nijak nezměnila: tentokrát z důvodů polohy v první zóně národního parku. Cesta směřovala podél česko-saských hranic jednak přímo na vrchol Pravčické brány, jednak do turistického areálu Sokolí hnízd postaveným pod bránou. V závěrečném exponovanějším úseku proto byly odstraněny podlážky můstků a vybudována mříž zabráňující vstupu do turistického areálu. I přes kontroly ze strany Správy národního parku dosahuje roční počet ilegálně průchozích mezi 1000–1500 osob (údaje na základě měření v letech 2005 a 2006), s maximy v období německých státních svátků. S ohledem na to, že se tato cesta v turistických mapách neobjevuje a převážná část nedisciplinovaných turistů je z Německa (podle kvalifikovaných odhadů je poměr Němci : Češi přibližně 9:1), nabízí se zde možná souvislost se zmiňovanými mapami Rolfa Böhma. V souladu s jeho pravidly v mapách jím vydávaných totiž cesta zachycena je.



Výřez z mapy R. Böhma *Grosser Zschand* 1 : 10 000 (3. vydání z roku 2009) zachycující část cesty *Fremdenweg*. V mapě je zřetelně uvedeno, že jde o zakázanou cestu (*Verboten* = zakázáno, *Verbotene Aussicht* = zakázaná vyhlídka).

Tvůrce mapy je pak nucen řešit morální dilema mezi určitou formou cenzury v mapě zveřejněných informací (obzvláště v situaci, kdy je tvůrcem mapy instituce zabývající se ochranou přírody) a snahou objektivně a v maximálním možném rozsahu zachytit realitu. Příkladem prvního přístupu může být oficiální mapa Národního parku České Švýcarsko v měřítku 1 : 25 000 (z roku 2009, vydavatel o. p. s. České Švýcarsko na kartografickém podkladu Geodézie On Line), která má v první zóně (kde je dovoleno pohybovat se pouze po značených cestách) odstraněné všechny neznačené komunikace. Příkladem druhého přístupu jsou mapy dr. Rolfa Böhma z německého Bad Schandau. Ten zpracovává podrobné a mezi turisty velmi populární mapy zejména z oblastí Saského Švýcarska podle striktní zásady, že v mapě je zachyceno vše podle skutečného stavu v terénu, který nemá nic společného s tím, zda je daná lokalita oficiálně přístupná či nikoliv (viz rámeček Box 1: Zakázaná cesta na Pravčickou bránu). Správa Národního parku Saské Švýcarsko z toho přístupu vůbec nadšená není, což se v minulosti projevovalo například různými naschválý ohledně prodeje Böhmových map v infocentrech národního parku.

S ohledem na snadnost zveřejňování, sdílení a vyhledávání takových informací na internetu a to i v podobě mapy, resp. prostorových dat (třeba na OpenStreetMap či stránkách věnovaných geocachingu) či prosté informace na sociálních sítích se ovšem jakákoliv podobná cenzura ukazuje

jako dlouhodobě neudržitelná. To se netýká jen skal. Vhodnějším řešením se tak jeví spíše vysvětlovací kampaň a morální apel na návštěvníky oblasti spojený s určitou přidanou hodnotu (fungujícím příkladem jsou projekty pozorování vzácných druhů dravců v Českém Švýcarsku či v Teplických skalách), hlídání zakázaných cest spojené s pokutováním nedisciplinovaných návštěvníků, případně promyšlená likvidace umělých pomůcek, bez nichž nelze příslušné úseky cest zdolat.

1.5 Topografické mapování skal v souvislostech s dalšími obory lidské činnosti

V této kapitole budou vysvětleny některé pojmy týkající se skal, se kterými se operuje v dalším textu práce, a to z pohledu různých oborů lidské činnosti, protože stejné pojmy v nich mohou být vnímány různě. Tato kapitola a ostatně i celá práce řeší pouze ty objekty, jejichž velikost je aspoň v řádu prvních jednotek metrů, čímž se stávají relevantními pro topografické mapování. S ohledem na zaměření práce se tato kapitola zabývá pouze těmi jevy, se kterými se lze setkat na území Česka.

Pojmem **skála** je obecně označován výchoz pevných hornin vystupující na povrch, případně nad povrch terénu (geolog by řekl „*vycházející na den*“). Aby bylo možné výchoz označit za skálu, je třeba, aby měl určité minimální rozměry (alespoň v řádu metrů) a byl pevně spojen s podložím. Pokud objekt není spojen s podložím, je označován jako blok, balvan či kámen. Geomorfologové tyto pojmy důsledně rozlišují podle velikosti: bloky jsou tvořeny úlomky o velikosti převážně nad 1 m, balvany v rozmezí 25 cm–1 m a kameny do 25 cm (Balatka & Rubín, 1986). Všeobecně se ale tyto pojmy volně zaměňují, bloky se běžně označují jako balvany, a například známý Váňův kámen u Kopřivnice je skála. Skála je útvarem přírodním, vzniklým přirozenými geologickými procesy. V praxi může být ale velmi obtížné odlišit před delší dobou antropogenně vzniklý objekt od přírodního, protože mohl být do značné míry přetvořen přírodními procesy. Týká se to například skalních stěn v opuštěných kamenolomech.

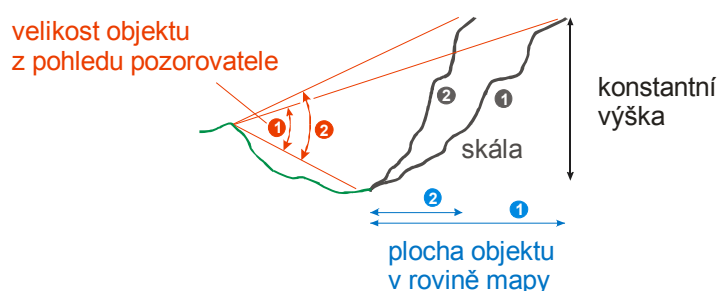
1.5.1 Skály očima topografa

Předmětem zájmu topografa jsou objekty (též prvky, předměty šetření, jevy) na zemském povrchu. Patří sem i objekty reliéfu. Topografa zajímá jejich aktuální stav, přesná poloha, rozměry a další vlastnosti důležité z hlediska popisu mapovaného území. V topografické praxi jsou objekty, které nás v této práci budou zajímat, označovány jako **skalní útvary** a zařazovány mezi prvky mikroreliéfu. Z pohledu topografického mapování jsou skály významné zejména ze dvou důvodů: tvoří překážku při pohybu terénem, a protože jsou často velmi nápadné, slouží jako orientační prvek. Z pohledu průchodnosti terénu je relevantní při topografickém mapování zachytit rozčlenění skal s důrazem na průchodná místa, kterými lze překážku zdolat nebo kudy ji lze obejít. Odlišení míst, kde vystupuje hornina má smysl i z toho důvodu, že od určitého sklonu je strmý svah tvořený hlinitým terénem ještě schůdný, kdežto skalní povrch o stejném sklonu je schůdný pouze s významně větším rizikem pádu, případně není bez horolezeckého vybavení schůdný vůbec. To je dáno jeho materiálovými vlastnostmi. Z hlediska orientace zejména ve volném terénu mimo komunikace pak má smysl zachytit i malé, ale nad terén výrazně vystupující objekty, které jsou morfologicky nápadné. Mají-li navíc charakteristický tvar a jsou v souvislosti s ním pojmenované, je jejich význam z hlediska orientace o to větší. U rozsáhlejších skalních útvarů je žádoucí z hlediska orientace zachytit také jejich celkový charakter, tj. zda jde o skalní stěnu, skalnatý hřeben apod.

V minulosti mělo zachycení skalních útvarů na topografických mapách také význam z pohledu praktického využití informací o výškopisu, protože jejich výskyt obvykle indikoval místa

s extrémním sklonem a členitostí reliéfu, kde byla míra spolehlivosti určování výšek odečítáním hodnot z topografické mapy nižší než v běžném terénu. To dnes s ohledem na digitální modely reliéfu (DMR) odvozené z dat LLS přestává platit, protože touto technologií lze (byť s určitými omezeními) změřit výšky stejně spolehlivě na strmých srázích i v běžném terénu.

Výhodou skal z pohledu topografického mapování je v podmínkách Česka jejich relativně velká stálost v čase. Nové objekty vznikají spíše výjimečně. Kromě lidskou činností vzniklých skalních stěn v lomech a při stavbě komunikací připadá v úvahu jejich vznik skalním řícením či odstraněním hlinitého nadloží skály při extrémních událostech typu povodně. Skalním řícením mohou skály i zanikat, resp. měnit se na kamenné akumulace. V případě skalnatých srázů může na některých typech hornin dojít k jejich zvětrání a zarostení vegetací do té míry, že skalní výchoz přestane být patrný.



Obr. 2. Vztah mezi nápadností skály a plochou, kterou zabírá v mapě.

Předpokládejme konstantní výšku objektu a stejnou vzdálenost pozorovatele od jeho paty. Čím je objekt strmější, tím zabírá pozorovateli větší část výhledu a tím se jeví jako nápadnější. S plochou objektu v rovině mapy je tomu ale právě naopak, tedy nápadnější z objektů zabírá plochu menší.

Zdroj: Schrader (1911) cit. v Dahinden (2008).

Jinou neobvyklou vlastností skal z pohledu objektů topografického mapování je jejich často převládající vertikální rozměr nad rozměrem horizontálním. To způsobuje určité problémy při vlastním mapování a následném kartografickém zpracování, protože i extrémně vysoký a tedy nápadný objekt může mít v rovině mapy poměrně zanedbatelný půdorys. Navíc čím je objekt strmější a tím i nápadnější, tím je jeho půdorys menší (viz obr. 2).

Zajímavý problém představuje průchodnost pískovcových skalních měst (o nich též dále v kapitole 1.5.2), která může být mimo komunikace velmi problematická. Typický příčný profil rokle v pískovcové krajině vypadá následovně. Její nejvyšší partie tvoří relativně rovná, ale na okrajích rozčleněná skalní plošina přecházející do hlinitého terénu. Pod ní se nachází kolmá až převíslá skalní stěna. Níže ve strmém, ale převážně hlinitém svahu se pak vyskytují kamenné akumulace vzniklé opadem ze stěn. Nejnižší část tvoří vlastní hlinité či písčité dno rokle. Skalní stěny mohou tvořit i více pater nad sebou. V případě širších roklí vede schůdná cesta po jejich dně. V případě, že je rokle užší a skalní stěny jsou vzhledem k její šířce relativně vysoké, mohou kamenné akumulace vyplňovat i dno rokle. V tom případě je vhodnější nejít přímo po dně, ale pokusit se nalézt cestu ve strmých bočních svazích rokle, kde je množství kamenných akumulací o něco nižší. Je-li rokle velmi úzká a v celém příčném profilu vyplněná sutí, může být zcela neprůchodná, případně průchodná pouze podzemními prostory pod balvany a bloky. K problémům s průchodností mohou přispět prahy na dně rokle v jejím podélném profilu. V případě neschůdnosti po dně může být užitečné vystoupit na skalní plošinu nahoře nad roklí. Nejvyšší pravděpodobnost úspěchu výstupu je obvykle v závěru rokle, kde bývají stěny nižší a může mezi nimi být sice strmý, ale hlinitý a tedy průchodný terén. Případně je možné se pokusit o nalezení průchodu ve skalní stěně rokle některou prolukou mezi skalními bloky či puklinou ve stěně.

Z hlediska hodnocení průchodnosti terénu nad roklí může být okraj skalní plošiny neschůdný z důvodů jeho rozčlenění trhlinami, ty je pak nutné obcházet. V případě, že mezi dvěma sousedními roklami zůstane jen poměrně úzká plošina, pukliny z obou stran se propojí a není možné je obejít vůbec. Pokročí-li eroze ještě dále, přechází plošina do soustavy věží, jejichž stěny spadají až na dno rokle. Cesta po takovém členitém hřebenu je velmi obtížná. Pokračující zvětrávání mezi věžemi postupně vytvoří dostatečně široké průchody, které se překryjí zvětralinami a vznikne tak hlinitý terén. Pak se průchodnost terénu postupně zlepšuje.

Pro reliéf pískovcových skalních měst je z hlediska průchodnosti typická odlišná situace při úpatí skal, kde mohou být trhliny příliš úzké a tedy neprůchodné, a na jejich vrcholech, kde mohou být naopak příliš široké a tím nepřekonatelné. V úvahu přichází i opačná situace. Z tohoto důvodů mapování pískovcových skalních měst „shora“, ať s využitím fotogrammetrie či LLS bude mít z hlediska detailního zachycení reálné průchodnosti terénu vždy principiální omezení.

1.5.2 Skály očima geomorfologa

Geomorfolog zpravidla nehovoří o skalních útvech, ale o skalních tvarech ve smyslu tvarů (těž forem) zemského povrchu. Právě tvary a jejich vznik a vývoj jsou předmětem jeho zájmu. V této kapitole budou představeny vybrané skalní tvary zpracované podle (URL 1) a doplněné s využitím práce Balatka & Rubín (1986) a dalších zdrojů. Z pohledu geomorfologie jde o mezofomy; mikroformy (tvary typu voštiny, skalní mísy atd.) a makroformy (tvary typu pohoří apod.) nejsou v textu zahrnuty z důvodů nízké relevantnosti z pohledu topografického mapování. Výběr respektuje význam tvarů z hlediska topografického mapování a nezahrnuje tvary tvořené nezpevněnými kamennými úlomky, které jsou v podobném stylu popsány v článku Lysák (2015a).

Nejprve budou představeny objekty vzniklé přirozenými procesy. Nejmenším skalním tvarem je **skalní výchoz**, obvykle vystupující z plochého povrchu nebo svahu jako mírná elevace. Nemá svislé nebo vyšší strmé stěny a bývá nižší než 1 m. **Skalka** (obr. 3 vlevo) naproti tomu vystupuje obvykle ve strmějších svazích, je vyšší (0,6–5 m) a má alespoň jednu stranu svislou. Větší objekty se pak označují jako skály; pro skály větších rozměrů vyčnívající nad okolí, případně také skupinu několika skal, bývá používán všeobecný (nevědecký) pojem **skalisko**. Z hlediska topografického mapování mají význam pouze objekty od určité minimální velikosti a výšky, které jsou užitečné při orientaci.



Obr. 3. Skalka (vlevo) a skalní stěna (vpravo).
Vpravo Chrámové stěny v Teplických skalách.

Nápadný prvek v terénu představují **skalní stěny** (obr. 3 vpravo), obvykle strmé (se sklonem nad 55°), případně i převislé. Mohou mít podobu **skalního defilé**, strmé až svislé skalní stěny představující přirozený odkryv v délce několika desítek až stovek metrů a o výšce od několika

metrů do desítek metrů. Skalní stěna se odlišuje od **skalnatého svahu** (obr. 4 vlevo); ten má zpravidla nižší sklon (30–50°) a vystupují v něm drobné skalky a skalní výchozy v kombinaci s hlinitým terénem. Pojmy skalní a skalnatý budou i v dalším textu odlišovány ve smyslu, že *skalní* znamená tvořený z převažující části vystupující horninou, a *skalnatý* mix vystupující horniny a hlinitého terénu (stejně jako např. Pilous, 2009).



Obr. 4. Skalnatý svah (vlevo) a skalní žebra (vpravo).

Skalnatý svah je pouze v popředí, oblast Sv. Jana pod Skalou v Českém krasu. Vpravo Bílá skála u Štěchovic.

K vystupujícím tvarům spíše větších rozměrů patří **skalní ostroh**, výběžek dlouhý desítky až první stovky metrů, ohraničený strmými svahy až skalními stěnami či **skalní hřeben** (areta), protáhlý rozeklaný skalní masiv, spadající zvolna z vrcholu do údolí. Nebývá dobře schůdný, ale je rozčleněn na řadu věží, jehel a hrotů oddělených tzv. štrbinami. Příbuzným tvarem typicky menších rozměrů je **skalní žebro** (obr. 4 vpravo), které obvykle spadá ze svahu srážně. Skalní žebra větších rozměrů se označují jako **rozsochy**.



Obr. 5. Rokle (vlevo) a kar (vpravo).

Vlevo jedna z bezejmenných postranních roklí ústících do Vičí rokle v Teplických skalách, vpravo Labské jámy v Krkonoších.

K vhloubeným tvarům větších rozměrů lze zařadit **rokle** (obr. 5 vlevo), vytvořené erozí tekoucí vody a často protékané vodním tokem. Skály vystupují ve svazích rokle ve formě stěn, případně je rokle tvořena jen dvěma protilehlými stěnami a úzkým dnem. Od rokle se liší **skalní žlaby**, strmé rýhy srážně spadající ze svahu, oddělující jednotlivá skalní žebra. Mají obvykle větší spád (nad 40°), chybí v nich stálý vodní tok a zpravidla jsou otevřenější a méně hluboké než rokly.

K vhloubeným tvarům patří také **rozsedliny**, vznikající pomalým vzdalováním skalních bloků, většinou při okrajích plošiny nebo hřbetu. Jsou zpravidla široké jednotky, hluboké i desítky a dlouhé až stovky metrů.

Specifický typ skalnatého reliéfu představují **kary** (obr. 5 vpravo), prostorné údolní uzávěry amfiteátrovitého tvaru se strmými až svislými, silně skalnatými svahy nebo stěnami a rovným až vkleslým dnem. Vznikly převážně zpětnou a hloubkou erozní činností ledovce. Všechny uvedené jevy představují významné překážky pro pohyb terénem a v případě morfologické nápadnosti navíc i orientační prvek, proto jsou zajímavé i z pohledu topografického mapování.



Obr. 6. Skalní věž (vlevo), skalní jehla (uprostřed) a skalní hřib (vpravo).
Vlevo: netradiční pohled na skalní věž Milenci v Adršpašských skalách, uprostřed: skalní jehla Krakonošovo párátko v Teplických skalách, vpravo: skalní hřib v oblasti Broumovských stěn.

Izolovaná skála (tor) představuje vystupující tvar reliéfu, ohraničený subvertikálními stěnami a na všech stranách vystupující nad okolní povrch. Šířka je obdobná jako výška, obvykle v řádu metrů. Odlišným objektem je **skalní zed'**, která je protáhlého tvaru a délka tedy výrazně přesahuje šířku, a **skalní hradba**, rozložitý a členitý skalní výchoz, u nějž rozloha převažuje nad výškou. Mrazovým zvětráváním a odnosem vznikají **mrazové sruby**, obvykle několik metrů až desítek metrů dlouhé skalní stěny ve svazích. Některé mrazové sruby se mohou dalším vývojem měnit v tory či skalní hradby. Vystouplý skalní výchoz tvořící podstatnou část výšky svahu bývá označován jako **skalní útes**. Velmi nápadnou formou je **skalní věž** (obr. 6 vlevo), izolovaná část skalního masivu ve tvaru vysokého hranolu nebo sloupu, jejíž výška je několikanásobně větší než šířka. V případě, že je objekt aspoň z jednoho boku úzký a zašpičatělý, je označován jako **skalní jehla** (obr. 6 uprostřed). Selektivním zvětráváním a odnosem horniny pak mohou vznikat bizarní skalní tvary mající podobu **skalních hřibů** (obr. 6 vpravo) či **pokliček**.

Zajímavé objekty představují perforace skalních zdí, hradeb nebo věží. Ty mohou mít podobu **skalního okna**, kdy dno perforace leží nad okolním terénem, nebo **skalní brány** (obr. 27 na str. 56), kde leží v úrovni terénu. Variantou je i **skalní most**, kdy je část spojující sousední kompaktní části skalního masivu velmi tenká. O něco méně nápadný typ perforace představuje **skalní tunel**, u nějž délka výrazně převažuje nad ostatními rozměry. K této skupině objektů lze zařadit i **skalní převisy**, které v případě výraznějšího zahloubení mohou mít charakter **polojeskyně**. Výše zmiňované jevy většinou nejsou výraznější překážkou při pohybu terénem, ale mají význam z hlediska orientace, zvláště v situaci, kdy jde o tvarově nápadné nebo neobvyklé formy skal.

Specifickým fenoménem české krajiny jsou **pískovcová skalní města**. Pískovcovým skalním městem (viz obr. 1) se rozumí seskupení skalních tvarů (bloků, věží, stěn atd.) vytvořených procesy zvětrávání a odnosu pískovce. Typickými tvary tohoto typu reliéfu jsou vysoké skalní věže s téměř kolmými stěnami. Vrcholy věží leží zhruba v úrovni původního povrchu a vznikly rozšiřováním a prohlubováním jednotlivých puklin. Na okrajích roklí zůstaly skalní pilíře často spojené s neskálním terénem, a i když ze dna roklí dosahují úctyhodné výšky, jsou z náhorní strany snadno přístupné. Plošiny nad skalními stěnami obvykle bývají velmi členité, charakteristicky rozpukané s ohledem na kvádřovou odlučnost pískovce, s typicky vyvinutou sítí puklin ve dvou na sebe přibližně kolmých směrech. Dna roklí a oblasti pod skalními stěnami mohou být vyplněny sutí. Název města není samoúčelný: svými údolními a roklemi připomínají bulváry; kaňony, soutěskami a puklinami mezi skalami zas úzké uličky. Kaňony se na křižovatkách rozšiřují v náměstí, vysoké hladké svisté stěny pískovcových skal vzbuzují dojem stěn domů. Jako skalní města se označují i útvary vzniklé na jiném typu horniny než na pískovcích, např. na slepencích, dolomitech či žule; jejich plošný rozsah v Česku je ale ve srovnání s pískovci zanedbatelný.



Obr. 7. Pseudoškrapy (vlevo) a kamenné varhany (vpravo).
Vlevo: pískovcové pseudoškrapy na hraně Tetřevích stěn v Českém Švýcarsku, vpravo: sloupcovitá odlučnost čediče na Trojhoře v Českém Středohoří.

K dalším velmi specifickým tvarům patří **škrapy**, drobné skalní výstupky oddělené rýhami, vyskytující se na povrchu i mírně skloněných svazích. Jsou vázány na vápence, kde mohou tvořit i obtížně průchodná **škrapová pole**. Příbuzná forma označovaná jako **pseudoškrapy** (obr. 7 vlevo) se vyskytuje například na pískovcích. Převážně na vápence jsou také vázány morfologicky nápadné **propasti** typu *light hole* se strmými skalními stěnami. Na výlevných vyvřelinách (čedič, tefrit) mohou vznikat objekty typu **kamenných varhan** (obr. 7 vpravo), mající podobu skalní stěny nebo i izolované skály tvořené pravidelnými sloupky, obvykle pěti či šestibokými.

Z antropogenních objektů stojí za zmínku **skalní komunikační zářez** (obr. 8 vlevo) vylámaný ve skalním podloží, zpravidla pro vedení cesty, silnice nebo železnice. Mívá stěny se sklonem nad 45°; stěna může být jen na jedné nebo na obou stranách komunikace. Jiný typ objektu představuje **důlní zářez**, vhloubený tvar, který je pozůstatkem historické těžby. Tou bývají i drobné **lůmky**, opuštěné lomy malého rozsahu, na jejichž svazích vystupují skalní výchozy nebo skalky. Větší antropogenní skalní tvary mohou mít podobu **stěnového lomu**, založeného ve svahu. Délka lomové stěny je obvykle v řádu desítek až stovek metrů. Je-li převýšení lomu vyšší, je materiál těžen postupně v různých výškových úrovních a vzniká tak stupňovitý **etážový stěnový lom** (obr. 8 vpravo). Naproti tomu **jámové lomy** vznikly v původně relativně rovném terénu a byly zahloubeny pod povrch; mohou být též etážové. Všechny uvedené tvary jsou významné i z hlediska topografického mapování, které navíc obvykle rozlišuje, zda je lom v provozu či nikoliv.



Obr. 8. Skalní komunikační zářez (vlevo) a opuštěný etážový stěnový lom (vpravo).
Vlevo: komunikační zářez cesty v pískovcích (Průsečná skála na Kokořínsku), vpravo: opuštěný vápencový etážový stěnový lom Alkazar v Českém krasu.

Z uvedeného stručného výčtu je patrné, že skály se vyskytují v kontextu řady tvarů reliéfu. Naprostá většina těchto tvarů pak představuje objekty relevantní z hlediska topografického mapování.

1.5.3 Skály očima horolezce

Horolezec na skálu pohlíží jako na lezecký objekt, tedy zkoumá, zda a jak na ni lze vylézt a zda je tento výstup hodnotný ze sportovního hlediska. Lezeckým objektem je v našich podmínkách nejčastěji věž nebo masiv. Skalní **věž** (obr. 9 vlevo) z pohledu horolezce v zásadě odpovídá definici geomorfologické. Přidanou podmínkou obvykle je, že vrchol objektu je dosažitelný pouze horolezeckým způsobem, tedy lezením obtížnosti aspoň 1 (nejjednodušší forma lezení, ne však chodecký terén; k zabezpečení rovnováhy je třeba rukou), nebo přeskokem či přepadem. Věž by také měla dosahovat určité minimální výšky; obvykle požadovaná minimální výška je 5 m (Adamovič & Mikuláš & Cílek, 2010). Je-li věž situována ve svahu, může se její výška z náhorní a údolní strany značně lišit. **Masívy** jsou skalní útvary přístupné nejméně z jedné strany chodeckým terénem. Používá se pro ně též termín **okrajovky**. Jde-li o útvar sice výrazně vystupující nad terén, ale nesplňující striktně definici pro věž, označuje se takový objekt někdy jako **polověž**. Věže a masivy zajímavé pro horolezce jsou s ohledem na jejich výšku většinou významné i pro topografa. Výjimku v tomto případě tvoří objekty vhodné pro *bouldering*, druh lezení populární zvláště v poslední době, provozovaný bez lana na malých skalních blocích nebo nízkých skalách několik metrů nad zemí. Z pohledu topografické informace jde obvykle o malé a v kontextu okolí obvykle naprosto nevýznamné objekty.

Na jednotlivé lezecké objekty vedou horolezecké cesty. Ty mohou sledovat některý z morfologicky významných prvků skalního reliéfu, pro které mají horolezci svá oborově specifická označení. Z pohledu vertikální členitosti skal jsou podstatné **komín** (úzký prostor omezený dvěma svislými skalními stěnami nebo stěnou a skalní věží), **spára** (úzká puklina nebo trhlina) či **kout** (místo, kde se stýkají kolmo nebo téměř kolmo dvě stěny). Vystupující vertikální tvary představují **žebro** a **pilíř** (strmý, resp. velmi strmý a nápadný skalní hřeben spadající do údolí) a **hrana** (představuje vnější styk dvou stěn, opak koutu). Z pohledu horizontální členitosti skalního útvaru mají význam **lišta**, **římša**, **lávka** a **rampa** (vodorovné nebo téměř vodorovné části skalní stěny, lišící se šířkou; lišta má na šířku jen několik centimetrů, rampa i několik metrů). Nejzrosáhlejším objektem tohoto typu je **plošina**, umožňující pohodlné stání či sezení bez držení rukama. Cesta může vést též přes **plotnu** (obr. 9 vpravo), nápadně rovnou plochu v jinak členité skalní stěně, či překonávat **výšvihy** (menší svislé skalní stupně).



Obr. 9. Skalní věž (vlevo) a plotna (vpravo).

Vlevo: tradiční pohled na horolezecky významnou skalní věž Milenci v Adršpašských skalách, vpravo: skalní útvary charakteru ploten v údolí Vltavy poblíž Vraného nad Vltavou.

Z pohledu topografického mapování mají tyto objekty týkající se částí skalního terénu význam pouze v případě, že jsou dostatečně morfologicky nápadné, resp. hrají nějakou roli i z hlediska průchodnosti terénu chodeckým způsobem. Podrobné zachycení jednotlivých lezeckých cest a jejich detailů je věcí specializovaných tematických map velkého měřítka nebo náčrtů spíše než topografické mapy.

1.5.4 Skály očima geografa

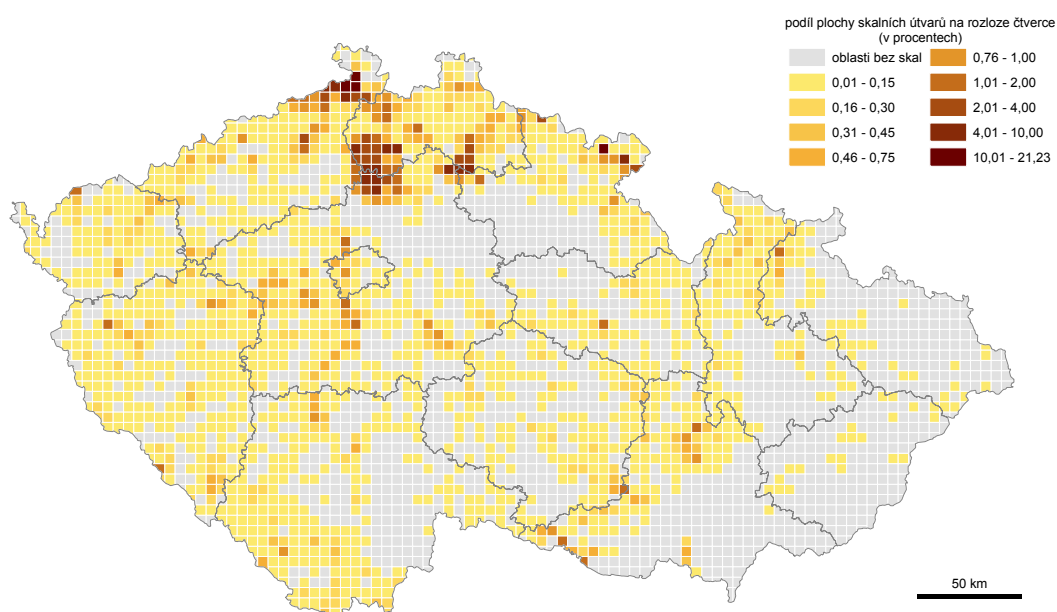
Z pohledu geografie budou zmíněny prostorové zákonitosti výskytu skalních útvarů v Česku a na základě nich odvozená obecná typologie a charakteristika skalních terénů. Ta má význam pro topografické mapování v tom smyslu, že umožní identifikovat určitá specifika pro mapování některých typů krajiny (například pískovcových skalních měst). Problematikou se podrobně zabýval ve své práci již Čapek (1973), viz též rámeček Box 2: Kartografie a skály na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Řešena byla rovněž v diplomové práci autora (Lysák, 2008), odkud je také z části převzat další text této kapitoly.

Box 2: Kartografie a skály na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze

Téma předkládané dizertace má na pracovišti autora již určitou tradici. V roce 1971 doc. Richard Čapek, tehdy ještě jako student, napsal diplomovou práci týkající se znázorňování skal, kterou o dva roky později rozpracoval do podrobnější podoby rigorózní práce (Čapek, 1973). Ve své době šlo téměř jistě o nejrozsáhlejší česky psané dílo zabývající se problematikou skalních útvarů očima geografa a kartografa, zpracované s využitím velkého množství zahraniční literatury. Přestože od sepsání práce uběhlo více než 40 let a za tu dobu se zcela zásadním způsobem proměnila technologie jak v kartografii, tak v oblasti získávání informací o terénu, má práce stále k uvedené problematice co říci a je i na řadě míst této dizertace citována. Zkušenosti doc. Čapka se znázorňováním skal jsou ostatně patrné i z kapitoly o výškopisu z jeho učebnice geografické kartografie (Čapek a kol., 1992). K problematice znázorňování skal se pak po 35 letech vrátil ve své diplomové práci autor předkládané dizertace (Lysák, 2008), ovšem z pohledu digitální kartografie a geoinformačních systémů. Následně pak na související témata vzniklo pod vedením autora dizertace několik studentských prací více či méně souvisejících s mapováním skalních útvarů, z nichž nejvýznamnější jsou práce L. Holmana (2013), A. Kiššové (2014) a M. Tomkové (2015), které jsou spolu s dalšími na řadě míst této práce rovněž citovány.

Prostorové rozmístění skal na území republiky odvozené na základě obsahu topografické databáze ZABAGED (viz dále v kapitole 3.1.1) je zachyceno na obr. 10. Z mapy je patrné značně

nerovnoměrné rozmístění tohoto jevu. Z pohledu výskytu skal dominují pískovcové krajiny Českého Švýcarska, Kokořinska, Českého ráje a na Broumovsku. Naopak rozsáhlé oblasti Polabí a moravských úvalů jsou zcela bez skalních útvarů.



Obr. 10. Výskyt skal v Česku.

Mapa zachycuje relativní výskyt skal v každém čtverci o velikosti 5 km × 5 km. Spočteno na základě dat ZABAGED s využitím objektů typu *Skalní útvary* a *Osamělý balvan, skála, skalní suk*.
Zdrojová data: ZABAGED, © ČÚZK, 2016 a ArcČR 500 verze 3.2, © Arcdata Praha, 2016.

Podle kritéria polohy v krajině zkombinovaného s typem horniny budou dále uvedeni významní zástupci skalních krajín v Česku. Za nejvýznamnější lze považovat **pískovcové skalní krajiny** (viz obr. 1 na str. 15 a řadu dalších v kapitolách 1.5.2 a 1.5.3). Ty představují v Česku nejzastoupenější typ skalního terénu a z pohledu jejich výskytu v Evropě se naše republika řadí na přední místo (Härtel et al., 2007). K pískovcovým krajinám ovšem nepatří jen pískovcová skalní města, ale i další typy méně členitého pískovcového reliéfu. K nejvýznamnějším lokalitám patří Adršpašsko-teplické skály, oblast Labských pískovců, Prachovské skály, Hruboskalsko, Broumovské stěny a Kokořínsko.



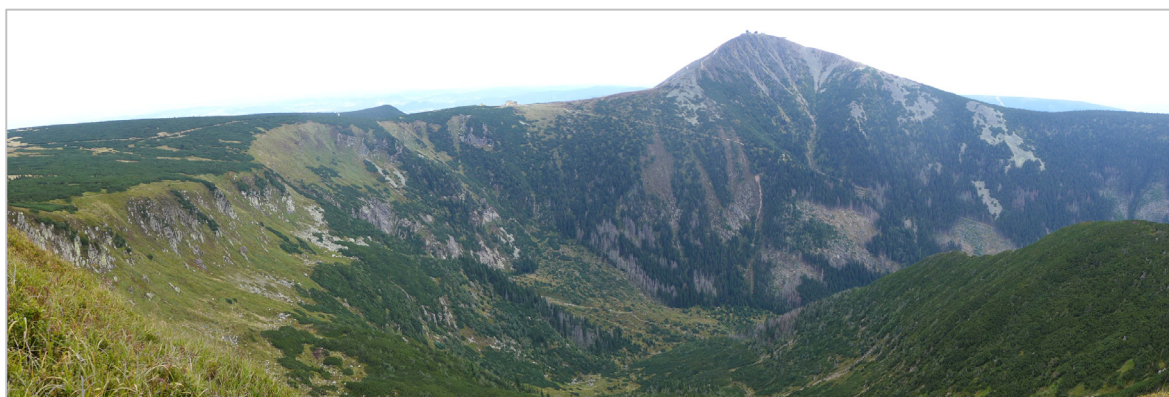
Obr. 11. Skály zahloubených říčních údolí (vlevo) a skály v krasu (vpravo).

Vlevo: skály v údolí Vltavy mezi Štěchovicemi a Třebenicemi, vpravo: vápencová bradla Pavlovských vrchů.

Značná koncentrace skalních útvarů je i podél větších vodních toků, kde se vyskytují **skály ve srázech zahloubených říčních údolí**. Jde o poměrně zastoupenou skupinu tvořenou různorodými

terény, na jejichž výsledné tvary má vliv zejména hornina tvořící skálu. Obvykle se nejedná o plošně příliš rozsáhlý terén a výrazně převažuje výška skalních stěn nad jejich půdorysem. Typické příklady srázů zahloubených říčních údolí lze nalézt podél Vltavy (obr. 11 vlevo), Berounky, Sázavy, Jihlavy či Dyje.

Jiný typ skalního terénu představují skály **krasových oblastí** (obr. 11 vpravo), tvořené vápenci, případně dalšími rozpustnými horninami. Skalní útvary v této oblasti se vyskytují jednak v podobě vápencových skal (označovaných také jako *bradla*), které na rozdíl od většiny ostatních skalních terénů nemusí mít nutně převažující vertikální rozměr, ale mohou tvořit i mírně ukloněné a nepřilíš členité plotny. Z dalších typů skalního terénu se zde vyskytují škrapová pole, závrtvy se skalnatými stěnami a propasti. Hlavní oblasti výskytu tohoto typu terénu představují Moravský kras, Český kras a Pavlovské vrchy.



Obr. 12. Horský skalní reliéf ovlivněný činností ledovce.
Obří důl v Krkonoších.

K relativně rozsáhlejší oblastem skalního terénu lze zařadit ještě **horské skalní terény ovlivněné činností ledovce** (obr. 12, obr. 5 vpravo na str. 25). Jde obvykle o poměrně strmý terén. Výsledné tvary reliéfu závisí na vlastnostech horniny, kterou stěna tvoří, může zahrnovat jak velmi členité hřbítky, tak ohlazené plotny. Vyskytují se v našich nejvyšších pohořích (Krkonoše, Jeseníky, Šumava).

Jinou skupinu, vázanou spíše na typ horniny, představují **skály sopečného reliéfu** (obr. 7 vpravo na str. 27), tvořené výlevnými vyvřelinami (čedič, znělec, andezit). Obvykle jde o nepřilíš rozsáhlé skalní výchozy, často se ale projevující velmi nápadnou sloupcovou odlučností v podobě kamenných varhan. Tvoří obvykle vrcholové skály kup s relativně rovnějšími vrcholy a strmějšími bočními stěnami či odkryvy v lomech. Tento typ reliéfu se vyskytuje zejména v Českém Středohoří (Bořeň) a Lužických horách.

Rozsáhlou a značně heterogenní skupinu, kterou nelze zařadit do výše uvedených kategorií, tvoří **osamělé skalní výchozy**. Ta je značná co do počtu objektů; jednotlivé objekty jsou ale typicky poměrně malé. Tvary jsou závislé na hornině, kterou je skála tvořena, a jejich popis je spíše záležitostí geomorfologie než topografie. Patří sem plošně obvykle nepřilíš rozsáhlé skalní terény vzniklé vypreparováním výplní sopouchů, lávových proudů, žíly, tory či útvary charakteru skalních věží.

I z uvedeného stručného přehledu je patrné, že termín „skalní útvary“, který se objevuje v názvu této práce, zahrnuje širokou škálu různých typů terénu a objektů mikroreliéfu, které se od sebe mohou značně lišit. To z pohledu jejich topografického mapování přináší určité komplikace, které jsou diskutovány na řadě míst této práce. Z pohledu práce je důležité, že dominantní roli v krajině Česka hrají pískovcové skalní krajiny a srázy zahloubených říčních údolí.

2 Skály a laserové skenování

Tato sekce se zabývá skalními útvary a technologií laserového skenování. Zejména technologie LLS má pro mapování skal v podmínkách Česka mimořádný význam: na rozdíl od jiných metod DPZ (například letecké fotogrammetrie) umožňuje „nahlédnout“ pod vegetační kryt. S ohledem na to, že převážná většina skalních krajin je v našich podmínkách zarostlá vegetací, je tato vlastnost laserového skenování naprosto klíčová. I díky dalším vlastnostem, které jsou srovnatelné s dalšími metodami DPZ (zejména rychlé a efektivní pořizování relativně velmi přesných dat, digitální zpracování realizovatelné na existující výpočetní technice) představuje LLS pravděpodobně ten nejefektivnější způsob, jak informace o skalních útvarech v současné době získávat.

V této sekci jsou nejprve velmi stručně popsány základní principy laserového skenování, s důrazem na technologii LLS, přičemž je stručně zmíněno i pozemní a mobilní laserové skenování v souvislosti se skalami. Následující část se věnuje produktům odvozeným z dat LLS, které představují reálně použitelný výstup této technologie. Důraz je kladen na ty produkty, které mají význam pro mapování skalních útvarů a na které je odkazováno v dalších sekcích této práce. Vlastnosti těchto produktů přímo závisejí na parametrech pořízených dat, a na druhé straně pak přímo ovlivňují možnosti jejich využití při odvozování topografické informace a v kartografii.

Z těchto důvodů je další část práce věnována specifikům pořizování dat LLS v oblastech se skalními útvary a zvláštnostem zpracování těchto dat, zejména filtraci a klasifikaci. Identifikace těchto problémů je důležitá pro možné návrhy jejich řešení. Ty jsou prezentovány formou případových studií nad reálnými daty. Použitá data jsou nejprve popsána obecně. Jednotlivé studie zahrnují popis lokalit, vysvětlení myšlenek provedených experimentů včetně souvislostí s existujícím výzkumem a zhodnocení jejich výsledků. Sekci uzavírá kapitola věnovaná doporučením ohledně technologie LLS a skal v podmínkách Česka.

2.1 Stručný úvod do laserového skenování

Laserové skenování představuje relativně moderní a v posledních letech stále rozšířenější způsob získávání informací o terénu. Pro tuto technologii se často také používá akronym LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Obecným principem této metody je měření vzdálenosti mezi skenerem a objekty, o nichž se chce získat informace. Měří se mnoho bodů ve velmi krátkém časovém intervalu. O metodě toho bylo napsáno mnoho, jako základní literaturu lze uvést např. knihy Vosselman & Maas (2010) či Shan & Toth (2009), v češtině pak Pavelka a kol. (2014) nebo Dolanský (2004). Na základě těchto zdrojů byl zpracován přehledový text této kapitoly.

Podle umístění skeneru se rozlišuje letecké laserové skenování, kdy je skener umístěn na letadle nebo nověji i na dálkově řízeném letadle (RPAS, UAV) a pohybuje se spolu s ním, (statické) pozemní skenování, kdy skener stojí na jednom místě, a mobilní (pozemní) skenování, kdy se skener pohybuje po povrchu země, například na vozidle. S ohledem na své zaměření se tato práce dále zabývá převážně LLS.

Skener pohybující se spolu s nosičem vysílá laserové pulzy, které se odrážejí od objektů na zemském povrchu a od terénu. Vzdálenost se určuje z tranzitního času mezi vysláním pulzu a jeho přijmutím. Na letadle je spolu se skenerem umístěn inerciální navigační systém (IMU), měřící průběžně náklony nosiče, a přijímač GNSS, měřící průběžně polohu nosiče. Tyto informace následně umožní pořízená data umístit do souřadnicového systému.

Při pořizování dat pomocí LLS se svazek laserových paprsků odráží jednak od terénu, jednak od všech objektů nad terénem (vegetace, budovy, stožáry elektrického vedení atd.). Právě schopnost svazku paprsků proniknout vegetací patří spolu s možností pořídit rychle velké množství dat

k hlavním výhodám LLS. Výsledkem zpracování naměřených údajů jsou pak body v trojrozměrném prostoru, tzv. bodové mračno (*point cloud*). U novějších systémů jsou prostorové souřadnice doplněny dalšími údaji odvozenými z navraceného signálu (typicky pořadí odrazu, amplituda/intenzita a šířka přijatého odrazu). Mají-li pořízená data záznam o průběhu navraceného signálu v čase, hovoří se o nich jako o *full-waveform datech*.

Skenování v ploše probíhá tak, že je území snímáno v jednotlivých letových řadách. Vzdálenosti řad jsou voleny tak, aby se pořízená bodová mračna (pásky) prostorově překrývala, resp. nezůstalo mezi nimi naskenované místo. Následně se provádí vyrovnání pásků. Jeho podstatou je transformace pořízených dat tak, aby tentýž objekt zachycený v různých pásech měl stejné souřadnice. Jde o netriviální úkol, protože díky nepravidelnému rozložení skenovaných bodů nelze najít identické body přímo. Vyrovnání obvykle používá liniových nebo plošných prvků (průsečnice střech apod.), které lze z obou bodových mračen odvodit. Vyrovnání se obvykle provádí ve větších výpočetních blocích, aby se minimalizovaly celkové odchylky u všech pásků, nejen u konkrétní dvojice.

Pro účely získávání informací o terénu je potřeba data dále zpracovat. Pod zpracováním dat LLS se obvykle rozumí filtrace dat (rozlišení odrazů pocházejících od terénu od mimoterénních odrazů) a klasifikace dat (podrobnější kategorizace bodů, např. odrazy od budov, nízké vegetace, vysoké vegetace atd.). I v tomto případě se jedná o netriviální problémy, na jejichž řešení existuje řada algoritmů. Algoritmy jsou obecně založeny na předpokladu spojitosti terénu a detekci „odlehklých“ bodů. Z těchto důvodů mívají v členitém terénu problémy, viz např. Shan & Toth (2009), str. 323. Filtrované, resp. klasifikované bodové mračno lze pak již využít pro získávání topografické informace a odvozovat z něj další produkty. Této problematice se věnuje samostatná kapitola 2.2.

Klíčovými parametry ovlivňujícími další možnosti využití dat LLS jsou polohová a výšková přesnost a hustota bodového mračna.

Přesnost dat LLS závisí především na přesnosti určení prvků vnější orientace (tj. přesnosti měření polohy a náklonu) a odstranění systematických chyb systému skeneru (přesnost měření tranzitního času a dalších parametrů v závislosti na typu skeneru, jako úhel zrcadla, torze atd.). Některé z těchto problémů lze řešit kalibrací skenovacího systému. V současnosti dosahované absolutní výškové přesnosti se pohybují mezi 10–15 cm (při výšce letu okolo 1 km), relativní či lokální přesnost je samozřejmě vyšší. Polohová přesnost je o něco horší, např. Shan & Toth (2009), str. 271, pro konkrétní skener Optech udává hodnotu chyby menší než jedna dvoutisícina výšky letu. Roli v určení výšek hraje i to, že průměr laserové stopy při výškách používaných v praxi je několik desítek centimetrů. Je-li v této ploše velká lokální vertikální členitost terénu (skály, stěny budov, schody, ploty), není principiálně možné výšku určit přesně. Výše zmiňované hodnoty tedy platí pro nepřiliš lokálně členitý terén.

Hustota bodového mračna (*point density*, PD) je počet bodů vztažený k jednotce plochy. S ohledem na nepravidelné rozložení bodů se obvykle udává průměrná hodnota vypočtená z celkového počtu bodů a rozlohy naskenovaného území, případně i histogram počtu bodů na jednotku plochy. S hustotou bodového mračna souvisí také vzdálenost bodů (*point spacing*, PS), což je střední vzdálenost mezi body. Mezi uvedenými veličinami je následující vztah:

$$PD = 1 / PS^2.$$

Hustota bodového mračna zásadním způsobem ovlivňuje míru detailu, s jakou jsou informace o terénu zachyceny. Vliv na ni má i prostorové uspořádání (*spatial pattern*) bodového mračna, které je dáno technickým řešením skeneru použitým pro rozmitání laserových paprsků, podrobně viz např. Vosselman & Maas (2010), str. 14–19.

Pro účely lokálního podrobného mapování skalních útvarů se v praxi využívá rovněž pozemní laserové skenování. S výhodou ho lze použít u strmých skalních stěn v situaci, kdy lze skener umístit tak, aby byla viditelná celá stěna. Z pohledu topografického mapování je nevýhodou tohoto přístupu relativně malá produktivita (ve smyslu rozlohy zpracovaného území za jednotku času) ve srovnání s LLS. Výhodou je míra detailu získaných informací. V praxi se používá například pro podrobnou dokumentaci významných skalních objektů (tímto způsobem byla naskenována např. Pravčická brána). Pro účely 3D vizualizace může být účelné data leteckého a pozemního laserového skenování kombinovat, s tím, že pozemní dodá informaci o strmých částech, která je LLS běžně zachytitelná omezeně (Ruiz et al., 2004).

Mobilní laserové skenování skalních útvarů naráží na skutečnost, že tento terén není obvykle dostupný s využitím konvenčních nosičů skenovacího zařízení (automobil, tříkolka apod.) a také s tím, že na dně roklí nemusí být dostupný signál GPS/GNSS. Pro zajímavost lze zmínit, že i přesto v Česku takové mobilní mapování skal v létě 2014 proběhlo (podle dostupných informací ovšem pouze ze snímků), a to v turisticky nejatraktivnějších částech Národního parku České Švýcarsko, s využitím zařízení Street View Trekker (NPCŠ, 2015) a jeho výsledky jsou dostupné k prohlížení prostřednictvím Street View na Google Maps.

2.2 Využití dat LLS pro topografické mapování a kartografii

Výsledkem pořízení a základního zpracování dat LLS je filtrované, resp. klasifikované bodové mračno. To se obvykle pro získávání topografické informace nepoužívá přímo, ale odvozují se z něj další produkty. V této kapitole budou stručně popsány vybrané odvozené produkty, které jsou relevantní pro další části práce. Obecně jde o poměrně širokou a dobře popsanou problematiku (viz např. Pavelka et al., 2014), z níž byly vybrány pouze části relevantní pro mapování skalních útvarů.

2.2.1 Přímá vizualizace bodového mračna

Tento postup se používá u dat LLS pro topografické mapování v praxi pouze omezeně. Bodové mračno se obvykle zobrazí ve stereoskopickém módu nad dalšími podklady (např. leteckými snímky) a z takto připravených dat lze odvozovat topografické informace. Bez použití speciálního hardwaru lze body vizualizovat jednoduchým bodovým rendrováním v pseudo3D pohledu, jehož vhodným doplňkem je interaktivní natáčení. Správné vnímání objektů je ovlivněno hustotou bodového mračna, dostatečnou mírou vzorkování s ohledem na objekty, které nás zajímají, prostorovým rozmístěním bodů a také zvoleným způsobem vizualizace (velikost symbolů pro jednotlivé body, míra přiblížení nebo oddálení). Praktická editace nad takovýmto podkladem je poměrně obtížná, vyžaduje zkušenosti a je obecně časově náročná. Smysl má spíše jako doplněk, který v případě potřeby umožní o objektu zjistit více informací, než umožní metody popsané dále.

2.2.2 Digitální model reliéfu

Digitální model reliéfu (DMR), též digitální model terénu (DMT), anglicky *digital terrain model* (DTM) je hlavní produkt odvozený z dat LLS. Pod tímto pojmem se obvykle chápe reprezentace zemského povrchu v paměti počítače, složená z naměřených dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje odvozovat výšky v místech, kde změřeny nebyly. Pod pojmem zemský povrch se většinou rozumí rozhraní mezi atmosférou a pevnou zemí. Objekty pevně spojené se zemí, které tvoří součást reliéfu (budovy, vegetace atd.), nejsou v DMR obsaženy. Zahrnují se do digitálního modelu povrchu (DMP), anglicky *digital surface model* (DSM).

Pro účely topografického mapování se terén většinou reprezentuje jako funkce dvou proměnných, tj. jednomu bodu ležícímu na souřadnicích (x, y) odpovídá právě jedna výška z . Tento

způsob reprezentace terénu (resp. objektů obecně) se označuje jako 2,5D. Uvedené zjednodušení je pro běžný terén naprosto vyhovující. Neumožňuje ovšem reprezentovat takové terénní tvary, kde uvedený předpoklad není splněn, jako převisy, jeskyně, skalní brány atd., tedy tvary velmi často vázané právě na skalní útvary. Trojrozměrná reprezentace se v současné době v praxi používá zejména pro zachycení objektů typu budov apod., v případě terénu jen pro malá území, a to zejména pro účely 3D vizualizace.

DMR může mít pravidelnou nebo nepravidelnou strukturu. Body LLS jsou z podstaty svého pořízení nepravidelně rozmístěné; je tedy přirozené pro ně použít nepravidelnou strukturu. Tou je obvykle TIN (*triangulated irregular network*), trojúhelníková síť, v níž body LLS tvoří vrcholy trojúhelníků a mezi nimi jsou lineární plochy (roviny). Při konstrukci TIN se často používá Delaunayova triangulace, která optimalizuje tvar trojúhelníků tak, aby byly co nejrovnostannější. V praxi do tvorby TIN jako doplněk vstupují také terénní čáry (linie terénní kostry), které vynutí vytvoření určitých povinných hran triangulace a výsledný model pak lépe aproximuje povrch (Wise, 2014). Při tvorbě TIN z LLS navíc dochází také obvykle k redukci uzlových bodů TIN, která zahrnuje odstranění takových bodů, které nepřidávají informaci o výšce reliéfu. Po jejich vypuštění zůstává výšková odchylka mezi původním a redukováným modelem v rámci předem definované tolerance. TIN je datově poměrně úsporný, což souvisí s tím, že ho lze díky popsané redukci optimalizovat v závislosti na lokální členitosti terénu. Řešení některých analytických úloh je na něm ovšem značně obtížnější než na DMR s pravidelnou strukturou.

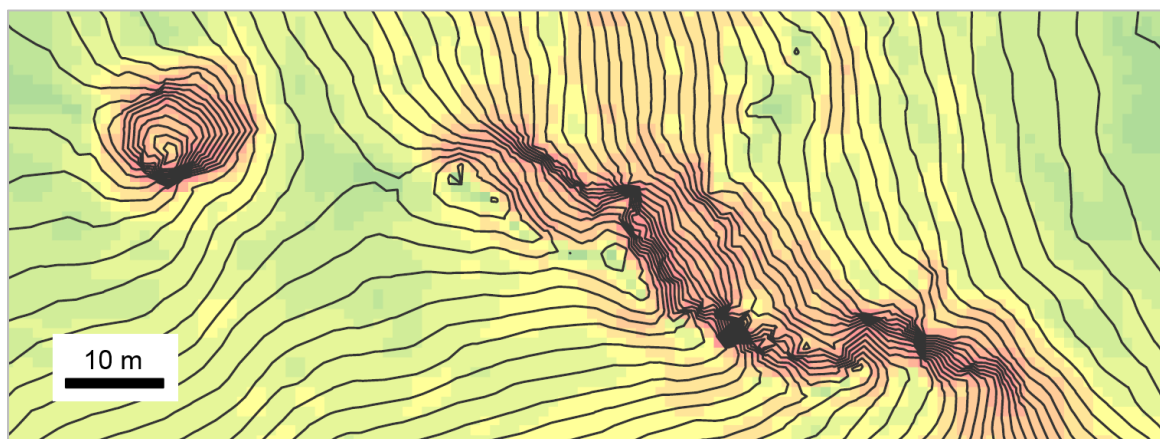
K DMR s pravidelnou strukturou patří rastr a grid. Tyto pojmy se někdy používají jako synonyma, jindy se rozlišuje rastr od gridu v tom smyslu, že u rastru výška odpovídá průměrné hodnotě v celé ploše pixelu a u gridu se výška vztahuje k jeho středovému bodu. Klíčovým parametrem pravidelného DMR je rozlišení gridu (resp. velikost pixelu rastru). Čím je toto rozlišení větší (a velikost pixelu menší), tím podrobněji je terén navzorkovaný a tím má výsledná datová struktura větší objem. V případě LLS vzniká grid interpolací naměřených hodnot, např. pravidelným vzorkováním výšek TIN. Při volbě rozlišení je třeba dbát na to, aby korespondovala s hustotou bodového mračka. V ideálním případě by mělo platit, že do každého pixelu padne alespoň jeden bod. S ohledem na technické řešení rozmítání paprsků u některých typů skenerů může být splnění tohoto předpokladu při současném požadavku na dostatečné rozlišení poměrně problematické. V literatuře lze nalézt řadu doporučení (Hengl, 2006), udávané optimum ve vztahu k datům LLS je obvykle trojnásobek střední vzdálenosti bodů. Interpolací lze samozřejmě vytvořit DMR s větším rozlišením, ale to nepřináší očekávané zvýšení množství informace o terénu. Při použití nižšího rozlišení naopak dochází k degradaci naměřené informace ve smyslu ztráty detailů, což může mít ve členitém terénu nežádoucí efekt (speciálně u skal vede k vyhlazování kolmých skalních stěn, odstranění věží apod.). Rastrové/gridové modely DMR jsou velmi vhodné pro další zpracování a relativně snadno (ve srovnání s TIN) se z nich odvozují další produkty.

2.2.3 Produkty odvozené z DMR

Cílem tohoto přehledu je podat stručný přehled vybraných produktů odvozených z rastrových DMR, které mohou být užitečné při topografickém mapování a kartografickém znázorňování skalních útvarů a se kterými se dále pracuje zejména v kapitolách 3.4 a 4.3.2. Popis se soustředí hlavně na vlastnosti relevantní z pohledu skalních útvarů. Produkty lze obecně rozdělit na ty, které zvýrazňují určitou informaci o terénu (např. sklon, orientace, sky view factor a další) a ty, které jsou vhodné pro přímou kartografickou vizualizaci (např. vrstevnice, stínování). Hranice mezi těmito typy není nijak ostrá. Jako dobrý (byť ne úplný) přehled těchto metod s jejich podrobným popisem lze doporučit práci J. Picka (2014), jejímž vedoucím byl autor této dizertace.

Vrstevnice

Vrstevnice představují tradiční, názorný a poměrně exaktní způsob reprezentace výšek. Na odvozování vrstevnic z DMR existuje celá řada v software rutinně používaných algoritmů, pracujících jak s rastrovými modely, tak s trojúhelníkovou sítí. Klíčovým parametrem je základní interval vrstevnic (ZIV), tj. výškový rozdíl dvou sousedních vrstevnic. Vrstevnice odvozené z dat LLS mají na rozdíl od vrstevnic vyhodnocených fotogrammetricky, resp. vrstevnic vzniklých interpolací geodetického měření, určitá specifika. Jedním z nich je to, že jsou velmi podrobné, resp. z pohledu kartografa nedostatečně generalizované, tj. zachycují tvary, které by v dané podrobnosti/měřítku zachyceny být neměly. Tento problém je nejpatrnější v rovinnatém terénu. Skalní útvary se ve vrstevnicích obvykle projevují jejich lokálně větší křivolakostí (souvisejících s obecnou větší členitostí skal) a jejich lokálním nahuštěním (související s obvyklou velkou strmostí tohoto typu reliéfu), viz obr. 13. Vrstevnice mají z pohledu topografie význam zejména pro určování orientační výšky objektů sloužící jako podklad pro rozhodnutí o jejich zachycení/nezachycení v topografické databázi. V některých případech je lze použít i pro vymezení ploch skalních útvarů. V tomto případě je vhodné použít poměrně malý ZIV v řádu decimetrů.



Obr. 13. Ukázka technických vrstevnic odvozených z dat LLS.

Základní interval vrstevnic 0,5 m, na pozadí rastr sklonu (rovinatě zeleně, strmější partie červeně). Slité a lokálně více křivolaké vrstevnice indikují přítomnost skalního útvaru.

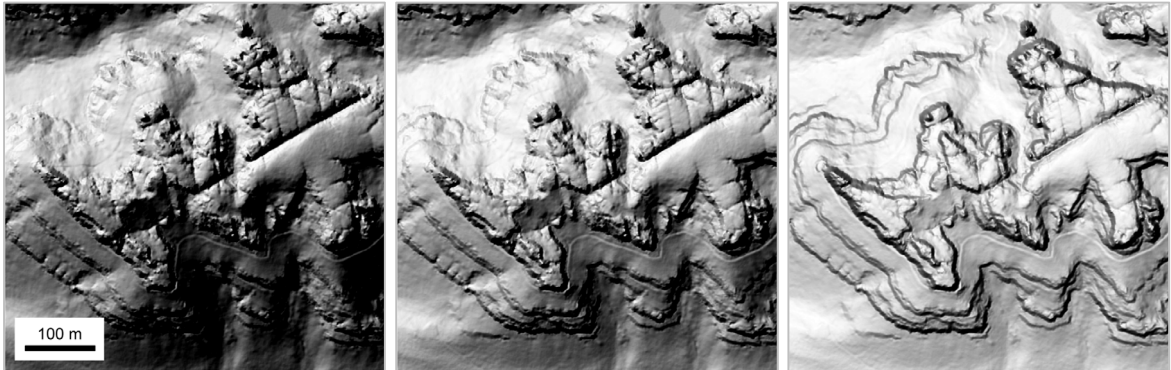
Data DMR: DMR 5G, © ČÚZK, 2016.

Pro kartografické účely je třeba vrstevnice odvozené přímo z dat (označované jako *technické vrstevnice*) upravovat. Pro dosažení akceptovatelných výsledků se obvykle se kombinuje generalizace DMR s úpravami vytvořených polylinií. Tímto procesem vznikají vrstevnice označované jako *kartografické*, viz např. Tippner & Kafka & Lysák (2014). Z hlediska skalních útvarů ovšem nemají kartografické vrstevnice téměř význam, protože se pro zachycení skal příliš nehodí. Této problematice se blíže věnuje úvodní část kapitoly 4.1.

Stínovaný reliéf

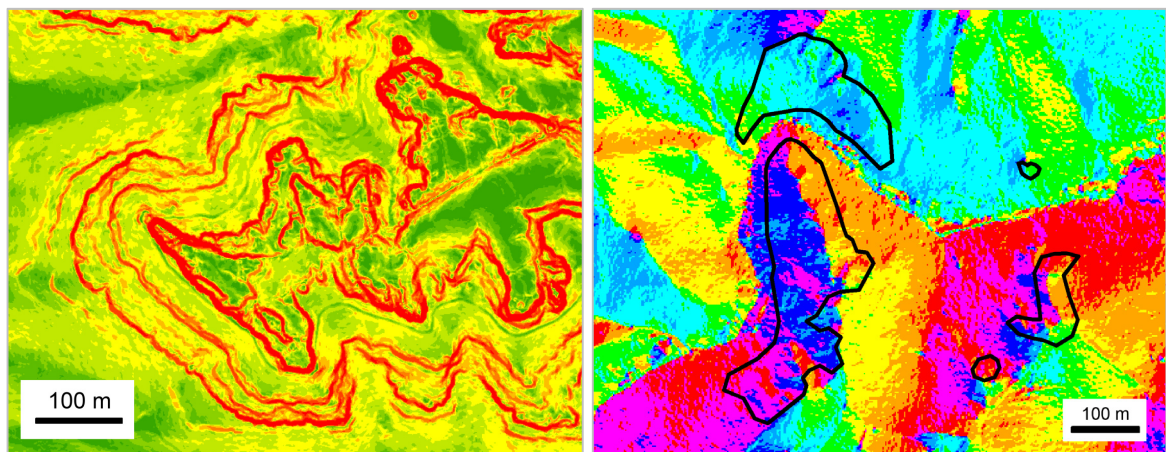
Stínovaný reliéf (*shaded relief*) představuje velmi rozšířený způsob vizualizace DMR, populární zejména u modelů odvozených z dat LLS. Podstatou stínování je představa, že na DMR dopadají rovnoběžné světelné paprsky z imaginárního, nekonečně vzdáleného zdroje světla. V místech, kam paprsky dopadají kolmo, je výsledný obraz nejsvětlejší, naopak v oblastech, kam paprsky vůbec nedopadají, je nejtmavší (Čapek a kol., 1992). Výsledek má obvykle podobu šedotónového obrazu. Metoda je přizpůsobena lidskému vizuálnímu vnímání a z výsledného obrazu plasticky vystupují jak mikrotvary, tak makrotvary reliéfu. Obecný pojem stínování v sobě zahrnuje několik různých metod (viz např. Pícek, 2014), v současné době je v praxi nejpoužívanější tzv. kombinované stínování, které při výpočtu zohledňuje jak orientaci vůči světovým stranám, tak sklon. Tato funkce

(označovaná jako *hillshade*) je implementována v celé řadě GIS software. Kombinované stínování má dva základní parametry: směr osvětlení a úhel dopadajících paprsků (odpovídající azimutu a výšce virtuálního světleného zdroje). Směr osvětlení se z důvodů správného vnímání reliéfu používá takřka výhradě od severozápadu. Úhel dopadajících paprsků se volí v závislosti na charakteru území, resp. typu informace, která má být zdůrazněna, viz obr. 14. Nízké hodnoty úhlu dopadajících paprsků zdůrazňují spíše detaily terénu a mají smysl v rovinatém území. Vyšší hodnoty úhlu dopadajících paprsků pak dává smysl použít v členitějším reliéfu, kde potlačují mikrotvary a zdůrazňují spíše makrotvary.



Obr. 14. Ukázka stínovaného modelu reliéfu odvozeného z dat LLS. Úhly dopadajících paprsků pro řadě 30°, 45° a 70°. Za povšimnutí stojí proměnlivost zachycené informace. Podrobnější vysvětlení v textu. Oblast pískovcových skal východně od Pravčické brány.
Data DMR: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005.

Skalní útvary jsou ve stínovaném modelu reliéfu obvykle dobře patrné, s ohledem na jejich lokální členitost se projevují jako mozaika světlých a tmavých plošek obvykle vystupujících z uniformní šedi okolního terénu. Pro vymezení skal ovšem tento podklad není úplně vhodný právě z důvodů směrovosti osvětlení: autorovy zkušenosti ukazují, že obecně je při použití tohoto podkladu na osvětlených stranách tendence rozsah skal podhodnotit a na zastíněných nadhodnotit. Hodí se tedy zejména jako podklad pro identifikaci přítomnosti skalního útvaru. Stínování má značný potenciál při kartografickém znázorňování skalních útvarů (viz kapitolu 4.3.2).



Obr. 15. Ukázka sklonu a orientace odvozené z DMR z dat LLS. Vlevo sklon vyjádřený barevnou stupnicí, dobře vynikají skalní stěny, které jsou vyjádřeny červeně (sklon nad 50°). Stejná oblast jako na obr. 14, lze si všimnout, že jsou patrné i ty stěny, které ve stínovaném modelu reliéfu z důvodů orientace vůči zdroji světla patrné nebyly. Vpravo orientace vůči světovým stranám, pro větší názornost doplněná půdorysem skalních útvarů ze ZABAGED (černá linie). Z dat je patrné, že největší skála v zobrazeném území vytváří hřeben.
Data DMR: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005 a DMR 5G, © ČÚŽK, 2016.

Sklon

Sklon (*slope*) představuje první derivaci DMR, tj. počítá změnu výšky mezi sousedními buňkami. Výsledek se obvykle uvádí jako úhel ve stupních, případně v procentech (sklon 45° odpovídá 100 %, 90° nekonečnu). Jde rovněž o funkci běžně implementovanou v GIS software. Výsledek se obvykle vizualizuje formou barevné stupnice, oblíbená je varianta od zelené přes žlutou po červenou pro oblasti s nejvyšším sklonem (viz obr. 15 vlevo). Změny sklonu obecně indikují přítomnost objektů mikroreliefu a na rozdíl od stínování nezávisí na směru osvětlení. Tento produkt je proto velmi vhodný pro vymezení přesného rozsahu skalního terénu, zejména v situaci, kdy je tvořen kolmými stěnami (případ pískovcových skalních měst). Pro účely vizuální interpretace může být vhodné barevnou stupnici dynamicky upravovat v závislosti na tom, jaké hodnoty se vyskytují v právě zpracovávaném území.

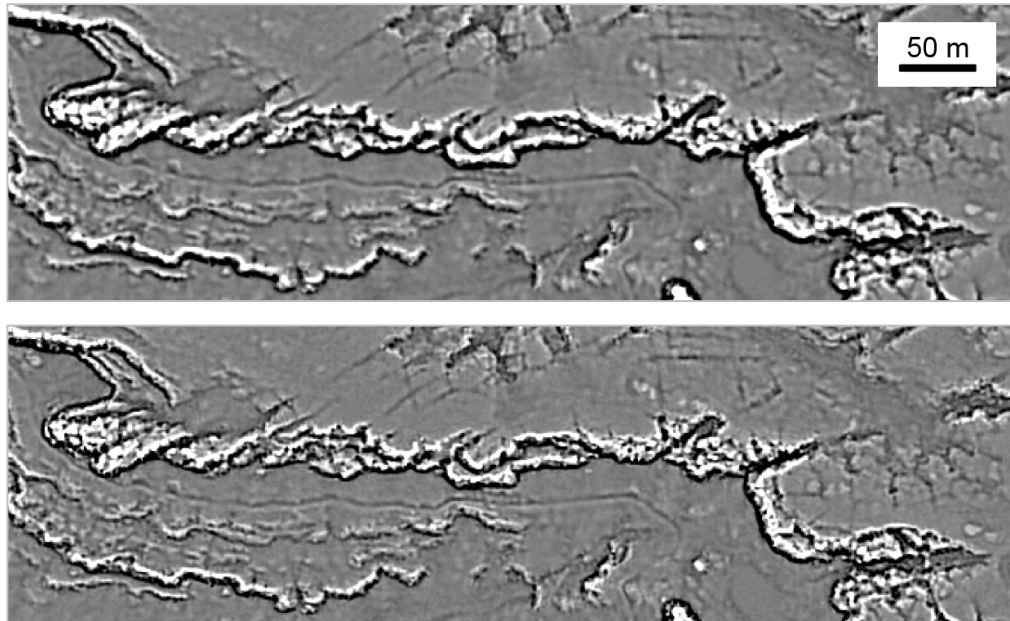
Orientace

Orientace vůči světovým stranám (*aspect*) je další funkce implementovaná v řadě GIS software. Určuje se na základě směru největšího spádu, resp. rozdílů výšek mezi sousedními buňkami. Výsledkem je obvykle azimut (úhel od 0° do 360°), a speciální hodnota pro rovinné oblasti, kde orientace není definována. Obvyklá vizualizace spočívá v barevné stupnici vycházející z klasifikace výsledného azimutu podle světových stran (viz obr. 15 vpravo). Tato funkce se obvykle používá zejména pro nejrůznější analýzy (míra oslunění apod.), z pohledu skalních útvarů nachází omezené použití pro identifikaci hřbetnic a údolnic, které se v datech projeví jako výrazné rozhraní ploch s různou orientací.

Lokální reliéf

Lokální reliéf (dále v textu též užívána zkratka LRM podle anglického *local relief model*) představuje jednoduchý způsob zdůraznění terénních hran, resp. detailů DMR. Podstatou této metody je generalizace původního DMR a následné odečtení takto upraveného modelu od původního DMR. Jedná se tedy o vysokofrekvenční filtraci DMR. V místech, kde nebyly objekty mikroreliefu, se původní a generalizovaný model neliší vůbec nebo se odlišují jen nepatrně, naopak v místech výskytu objektů mikroreliefu je rozdíl mezi těmito modely největší. Generalizace se provádí obvykle konvolucí původního DMR s vhodným nízkofrekvenčním filtrem (např. průměrový, Gaussův apod.). Parametrem této metody je míra generalizace (prakticky realizovaná velikostí okna nízkofrekvenčního filtru), která následně určí míru podrobnosti odvozené informace. Pro získání informací relevantních po topografické mapování se na základě experimentů autora osvědčila velikost okna 5–7 při metrové velikosti pixelu rastrového DMR (viz obr. 16).

Výsledkem je obvykle šedotónový obraz, který má v místech výskytu objektů mikroreliefu podobu mozaiky střídajících se světlejších a tmavších míst (kladné a záporné hodnoty vycházející z rozdílů obou rastrů). Někdy se též kladné hodnoty ve výsledném obraze znázorňují červenou barvou a záporné barvou modrou. Nástroj nebývá běžnou součástí GIS software, ale výpočet lze snadno realizovat pomocí nástrojů pro filtraci obrazu a odečtení rastrů, které běžnou součástí GIS / DPZ software jsou. Jde o poměrně nový produkt, protože pro jeho relevantní fungování jsou potřeba velmi podrobné DMR, které v době před LLS bylo obtížné vytvořit. Z pohledu skalních útvarů jde o vhodný produkt pro jejich přesné vymezení v situaci, kdy je útvar lokálně členitý, ale není strmý a nelze ho tedy identifikovat pouze na základě sklonu.



Obr. 16. Ukázka LRM odvozeného z DMR z dat LLS.

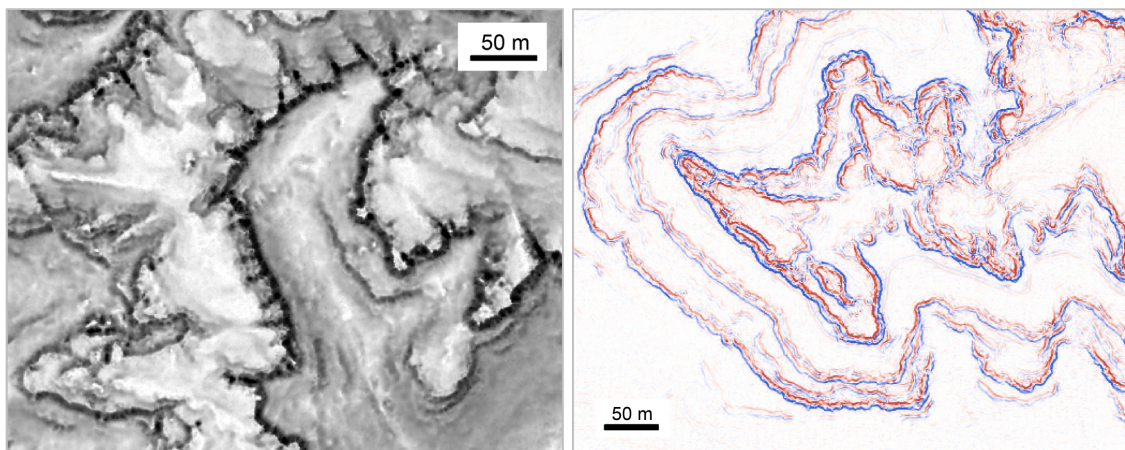
Z výsledné vizualizace poměrně dobře vystupují rozčleněné okraje skalních plošin. U ukázky nahoře byla provedena filtrace s velikostí okna 7, dole filtrace s velikostí okna 5. Oblast pískovcových skal východně od Pravčické brány.
Data DMR: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005.

Aplikace obrazových hranových detektorů

Podobné výsledky jako LRM dává také aplikace vysokofrekvenčních filtrů na DMR. V úvahu připadají zejména Cannyho či Laplaceův detektor. Výsledkem vysokofrekvenční filtrace je obraz, kde každý pixel indikuje míru přítomnosti terénní hrany. Tento obraz se obvykle prahuje a následně upravuje, aby hrany byly spojitě. Z hlediska skalních útvarů připadá využití těchto dat v úvahu pro detekci výrazných hřbetnic, údolnic či lomových hran uvnitř plochy skalního útvaru nebo na jeho obvodu. Klíčovým parametrem je zde míra generalizace, která se projevuje převzorkováním obrazu na menší velikost pixelu a následně také nastavením hodnoty prahu (podle toho je výsledkem procesu méně nebo více hran). Funkce pro aplikaci obrazových filtrů jsou běžnou součástí GIS a DPZ software, stejně tak i funkce pro prahování (reklasifikaci) rastrového obrazu. Najít univerzální nastavení prahu je obecně problematické.

Sky view factor

Sky view factor (dále v textu též SVF, český ekvivalent zatím není úplně vžitý, ale lze se setkat s označením faktor výhledu) určuje na základě DMR, jak velkou část oblohy lze z určitého místa vidět. Hodnoty SVF blízké 1 indikují místa, z kterých je vidět téměř celá sféra, jejíž střed je v místě výpočtu, kdežto hodnoty přibližující se 0 se nabývají v hlubokých úzkých údolích. Obvyklá vizualizace výsledku má podobu šedotónového obrazu, kde místa s omezenějším výhledem jsou tmavší, viz obr. 17 vlevo. Klíčovým parametrem při výpočtu SVF je zvolený poloměr horizontu (sféry). Čím je tato hodnota větší, tím je výsledek generalizovanější. Pro účely topografického mapování se obvykle používají malé poloměry horizontu (5–10 m). Z pohledu implementace je důležitý též počet prohledávaných směrů, protože výpočet viditelnosti obvykle z důvodů efektivity probíhá v diskretních krocích (Zakšek & Oštir & Kokalj, 2011). Z hlediska mapování skal může být tento produkt zajímavý pro účely zachycení trhlin v pískovcových skalách, které se projeví ve výsledném obraze jako místa s velmi malými hodnotami SVF. Výpočet SVF není zatím v GIS softwarech příliš rozšířený.



Obr. 17. Ukázka SVF a profilové křivosti odvozené z DMR z dat LLS. Vlevo sky view factor s poloměrem horizontu 10 m. Vpravo profilová křivost, červená označuje záporné hodnoty (odpovídající horní hraně), modrá kladné hodnoty (odpovídají dolní hraně).
Data DMR: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005.

Křivost

Křivost terénu (*curvature*) je ukazatel konvexnosti nebo konkávnosti reliéfu. Jde o druhou derivaci DMR. V geoinformatické praxi se počítá zejména tzv. profilová křivost a horizontální křivost. Profilová (též vertikální) křivost se počítá ve směru maximálního spádu, horizontální (planární) křivost je k tomuto směru kolmá (počítá se tedy ve směru vrstevnice). Hodnota křivosti může být buď záporná, což znamená konvexní tvar v příslušném místě; kladná, což indikuje konkávní tvar, nebo rovna nule, když jde o rovinný (tedy nezakřivený) povrch v daném směru. Z pohledu skalních útvarů lze profilovou křivost lze v omezené míře použít k identifikaci, resp. rozlišení horních a dolních hran skalnatých srázů, viz též ukázkou na obr. 17 vpravo. Podrobněji je využití křivosti pro identifikaci hran skal popsáno v práci K. Leimerové (2011).

Prostorové statistiky bodového mračka

Pro účely odvozování topografické informace mohou být jako doplněk velmi užitečné statistiky spočítané z bodového mračka. K nejdůležitějším z nich patří obrazy hustoty bodového mračka, kdy v každé buňce rastru je uložen počet bodů DMR ležících v daném pixelu. Takový obraz indikuje míru spolehlivosti vytvořeného DMR, resp. umožňuje snadno identifikovat oblasti, kde byla výška DMR spočtena z naměřených dat a kde byla jen dointerpolována. Tuto informaci lze pak využít pro stanovení míry generalizace při pořizování geometrie objektů vizuální interpretací, například při vymezení obvodu skalních útvarů. Analogickým způsobem lze použít jiné statistiky spočítané z bodového mračka, například rozdíly výšek, průměry z hodnot intenzity v odrazech patřících do daného pixelu atd. (Pavelka et al., 2014).

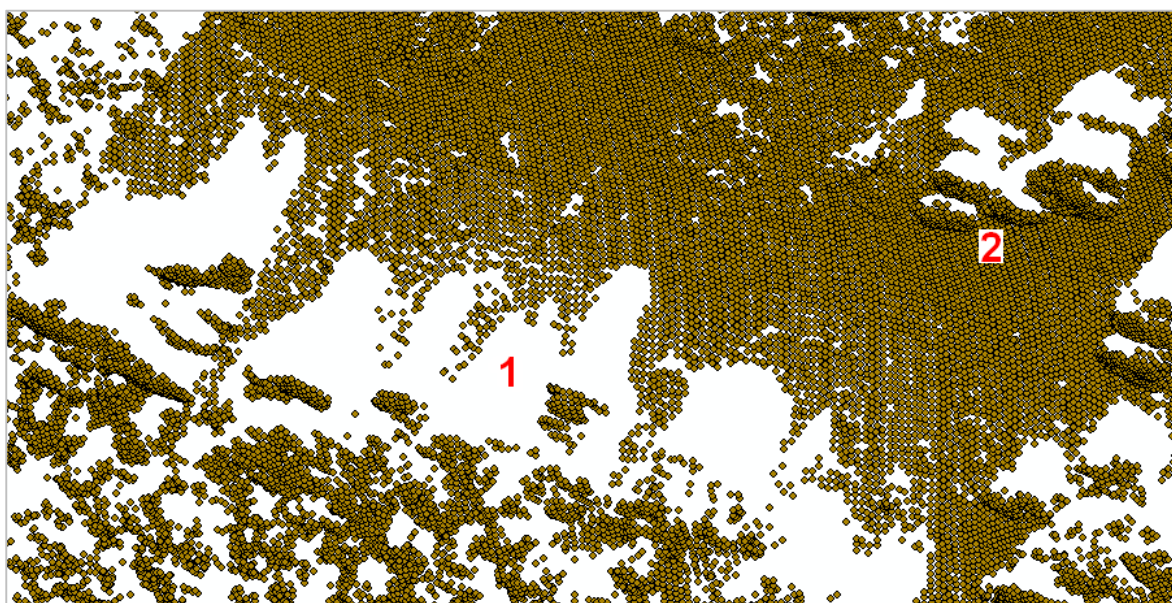
2.3 Specifika pořizování dat LLS ve skalách

Text této kapitoly byl z větší části převzat ze seminární práce autora (Lysák, 2011) a mírně upraven. Lokálně velmi členitý povrch skal, často se strmými, kolmými nebo i převislými stěnami způsobuje určité komplikace při pořizování dat LLS, požadujeme-li, aby tato data byla vhodná pro tvorbu kvalitního DMR. Většina z popsaných potíží se projevuje i v jiném typu terénu, ale právě pro skály a zejména pískovcová skalní města je symptomatická jejich kombinace.

První a pro tvorbu DMR zásadní problém je ten, že v našich podmínkách je ve skalách obvykle přítomna relativně hustá vegetace, často navíc jehličnatá. Příliš tedy nepomůže ani pořizování dat v mimovegetačním období, které se v podmínkách Česka využívá. Nad vegetaci obvykle vyčnívají

jen vrcholky skalních věží a řada skalních útvarů zůstává skryta pod ní. Výsledkem je pak relativně malé množství odrazů, které pocházejí od objektů pod vegetací a modelovat z nich podrobně velmi členitý skalní terén je téměř nemožné. Hustá vegetace je samozřejmě obecný problém nejen ve skalách, ale právě zde je kvůli velké vertikální členitosti větší problém s interpretací výsledku, tj. určením, zda svazek paprsků opravdu pronikl až k terénu nebo se odrazil např. od nižších větví. Tento problém lze obecně řešit pořizováním dat LLS s větší hustotou bodového mračka. Toho lze dosáhnout snížením výšky letu oproti běžnému, málo členitému terénu.

Dalším fenoménem, který je typický pro všechna místa, kde se vyskytují vysoké objekty, je stín, resp. oblasti bez dat. Ukázka reálných dat, kde se tento problém projevuje, je na obr. 18, oblast označená č. 1. Problém vzniká v důsledku vzájemné polohy vysokého objektu a skeneru, kdy objekt zastíní oblast bezprostředně za objektem (ve směru od skeneru) a z této oblasti nejsou pořízena žádná data (viz ilustraci na obr. 19 vlevo). V ideálním případě, kdy je skener umístěn přímo nad objektem, se tato chyba neprojeví; velikost zastíněné oblasti je pak přímo úměrná výšce objektu a jeho vzdálenosti od kolmého průmětu polohy skeneru na zemský povrch. Současné skenery mají velikost zorného pole po pořizování dat až 60°, tudíž na kraji pásu se chyba může projevit značným způsobem. Na ukázce na obr. 18 je ze stínu dokonce dobře patrný profil skal, které zastínění způsobily. Řešením tohoto problému je zmenšení rozestupu jednotlivých letových řad, čímž bude větší část terénu pokryta skenováním s menším úhlem pohledu.



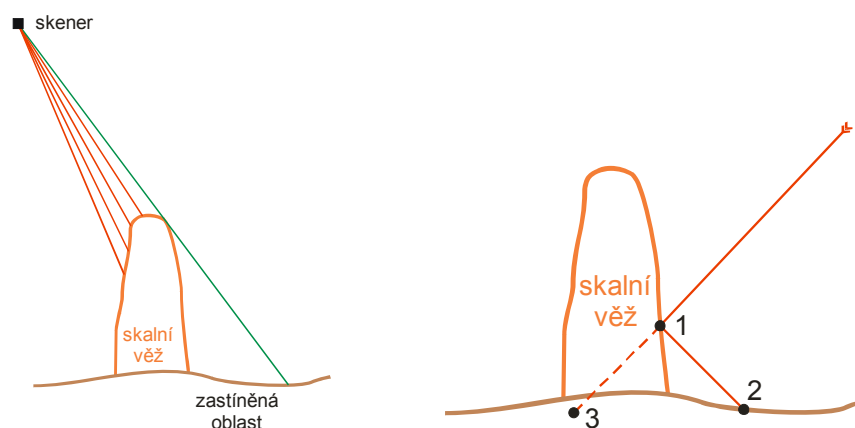
Obr. 18. Ukázka stínu při pořizování dat LLS v členitém pískovcovém terénu. Oblast Prachovských skal, snímáno od jihu (tj. zdola). Obrys zastíněné oblasti (1) koresponduje s profilem skal. Na přilehlých stěnách dochází naopak ke zhuštění bodů (2).
Data LLS: © ČÚZK, 2010.

Naopak na přivrácených stěnách výškových překážek, které zastínění způsobily, dochází k lokálnímu zhuštění bodů (patrné z obr. 18, oblast označená č. 2). Množství bodů na jednotku plochy skalní stěny je samozřejmě přibližně stejné jako ve zbytku území, ale téměř kolmá stěna má zanedbatelný půdorys. Ke zhuštění dochází tedy v tom smyslu, že promítnou-li se body ze stěny do vodorovné roviny, bude jich zde na jednotku plochy více než v rovném terénu. Tento efekt může být žádoucí, protože umožňuje modelování stěn ve 3D. Tomuto efektu lze navíc „pomoci“ tak, že skener je na nosiči umístěn tak, že rovina skenování není striktně kolmo pod nosič, ale mírně vpřed ve směru letu. Pak je ovšem potřeba přeletět dané území tam a zpět v opačném směru, případně

i v kolmém směru na směr původní a tam i zpět, aby byly zachyceny všechny stěny srovnatelně detailně nezávisle na jejich orientaci vzhledem ke směru letu.

Problém se stíny se prohlubuje v případě úzkých a hlubokých roklí, které jsou zarostlé vegetací. Pokud do nich v důsledku zastínění vůbec něco dopadne, pak může být obtížné i při ruční vizuální kontrole dat rozhodnout, zda nejnižší body patří terénu či ještě vegetaci. To je značná nevýhoda, protože právě po dně těchto roklí často vede jediný schůdný přístup do těchto oblastí. Odklonění skeneru od kolmice pod nosič tuto situaci navíc ještě zhorší, protože tím omezuje hloubku rokle, do které je měření schopno proniknout. Podobný typ problémů se objevuje v zástavbě, zejména v historických centrech měst s úzkými uličkami obklopenými vysokými domy. Tam je ale situace o něco jednodušší, protože se tam obvykle nevyskytuje vegetace.

Zajímavým fenoménem skalního terénu, který dokáže LLS zachytit, a se kterou jsou následně problémy při zpracování dat (viz dále v kapitole 2.5.5), jsou převisy. K zachycení převisů dochází typicky v situaci, kdy dojde ke zhuštění bodů na skalní stěně s převisem, která je přivrácená ke směru, odkud jsou data pořizována.



Obr. 19. K ilustraci stínu (vlevo) a multipath efektu (vpravo).
Vysvětlení v textu.

Jiným jevem, který komplikuje spíše zpracování dat, je tzv. *multipath efekt* (viz obr. 19 vpravo). Jde o situaci, kdy v důsledku odrazu svazku laserových paprsků skener chybně vyhodnotí polohu bodu. Na uvedeném obrázku je číslem 1 označen správně vyhodnocený první odraz, číslem 2 skutečná poloha bodu vzniklého druhým odrazem a číslem 3 chybná poloha bodu zaznamenaná skenerem (snímací zařízení předpokládá, že pulz se šíří po přímce). Tento jev se opět netýká jen skal, ale velmi často se projevuje v zástavbě, resp. všude, kde laserový paprsek křížuje objekty s ostrými nespojitostmi jako trhliny, díry apod. (Pavelka et al., 2014). Problém se řeší odstraňováním bodů ležících výrazně níže než ostatní body v okolí.

2.4 Specifika zpracování dat LLS ze skal

Text této kapitoly byl rovněž z větší části převzat ze seminární práce autora (Lysák, 2011) a upraven. Pod pojmem zpracování dat LLS se v této kapitole rozumí filtrace, resp. klasifikace bodového mračka a tvorba DMR z tohoto mračka. Stávající algoritmy pro filtraci dat LLS vycházejí z toho, že se různými způsoby snaží vyloučit odlehlá pozorování a vytvořit spojitý povrch. Často se postupuje v iteracích, přičemž za mimoterénní jsou při výpočtu označovány ty body, které jsou příliš „vysoko“ nad aktuálně spočítaným terénem, případně body vyloučené na základě dalších geometrických charakteristik. Metriky pro odlišení mimoterénních bodů představují parametry jednotlivých metod a lze je upravit podle toho, v jakém typu reliéfu filtraci je prováděna a jaká je charakteristika zpracovávaného bodového mračka. Tento postup

v běžném terénu funguje poměrně spolehlivě, je implementován v celé řadě software a rutinně se používá v praxi. Při filtraci se mohou objevit dva typy chyb: buď je terénní bod klasifikován jako mimoterénní (chyba 1. typu, anglické terminologii *type I error*) nebo je mimoterénní bod klasifikován jako terénní (chyba 2. typu, *type II error*).

V oblastech se skalními útvary mají tyto filtry problémy. Výsledkem filtrace je v závislosti na nastavených parametrech buď to, že jsou skály z terénu zcela odfiltrovány či tam zůstanou ve vyhlazené a skutečnosti neodpovídající podobě (velké množství chyb 1. typu), nebo jsou jako terénní body chybně označeny i odrazy od vegetace (velké množství chyb 2. typu). Obecně je velmi obtížné až nemožné při dané hustotě bodového mračka nastavit parametry filtrace tak, aby odrazy od skal zůstaly a vegetace zmizela. V praxi se z pochopitelných důvodů obvykle používá spíše první varianta; krom informací o skalách jsou při jejím použití eliminovány i informace o dalších mikrotvarech reliéfu (terénní stupně apod.).

Obecnou příčinou výše uvedených problémů filtrace je nesplnění předpokladu, že skalní terén je spojitý a má stejnou charakteristiku lokální proměnlivosti výšek jako běžný terén. Obecným problémem všech filtrovacích algoritmů je skutečnost, že při určité hustotě dat terén nemůže být z dat extrahován čistě na základě geometrie (tj. souřadnic bodů x , y , z a jejich vzájemné polohy). Čistě na základě vzájemné polohy bodů jsou drobné terénní tvary (které mají být částí DMR) a některé objekty (které nemají být částí DMR) jsou nerozlišitelné. Pískovcové skalní město poskytuje mimořádně názorný příklad této situace. Už samo označení „město“ nabízí analogii k městu ve smyslu zástavby. Pískovcové věže odpovídají jednotlivým budovám, hluboké a úzké soutěsky a rokle s kolmými stěnami pak uličkám obklopeným vysokými domy atd. V případě skalních útvarů je požadováno, aby tyto objekty byly součástí terénu, v případě zástavby se jich naopak chceme zbavit.

Jiná potíž spočívá v tom, že při malé hustotě bodového mračka je prostorové rozložení laserových odrazů od skalních věží, stěn a pískovcových plošin velmi podobné rozložení odrazů od horních částí husté vegetace (Csaplovics, 2007). Protože takový typ vegetace je v našich skalních městech často přítomen, čistě geometrické řešení má omezené možnosti (např. malé skalní věže nemá jakkoliv sofistikovaná filtrace založená pouze na geometrii šanci najít a odlišit).

V praxi se řeší tyto problémy následujícími způsoby:

1. prostorově podmíněná filtrace. Oblast pro zpracování je rozdělena na jednotlivé podoblasti, a v každé takové podoblasti probíhá zpracování s jinými parametry. Například ve členitém pískovcovém terénu jsou parametry nastaveny méně striktně, aby nedošlo k odfiltrování hran plošin, věží apod. Tato metoda má hlavní omezení: je potřeba vymezení jednotlivých oblastí v míře detailu a polohové přesnosti srovnatelné se zpracováváním daty LLS. Oblasti skal je možné vymezit například klasifikací obrazových dat, nicméně neřeší to problém objektů skrytých pod vegetací. Data z topografických map a databázi pro tento účel zase nedosahují požadované polohové přesnosti (viz dále v kapitole 3.1.3). Tento přístup byl použit při zpracování dat TUD v oblasti národních parků České a Saské Švýcarsko (podrobněji v kapitole 2.5.1).
2. využití doplňkových informací o pulsu (full-wave form informace v diskretizované podobě). Většina současných skenerů podporuje získání většího množství informací o navráceném plusu než jen jeho souřadnice ve 3D. K těmto informacím patří pořadí odrazu, celkový počet odrazů daného pulzu, šířka a amplituda navráceného signálu, úhel, pod kterým byl pulz vyslán a další. Amplituda (ne zcela správně též intenzita) odpovídá „síle“ navráceného signálu, která závisí na celé řadě faktorů, např. použitým typu senzoru, vzdálenosti a směru od skeneru, stavu

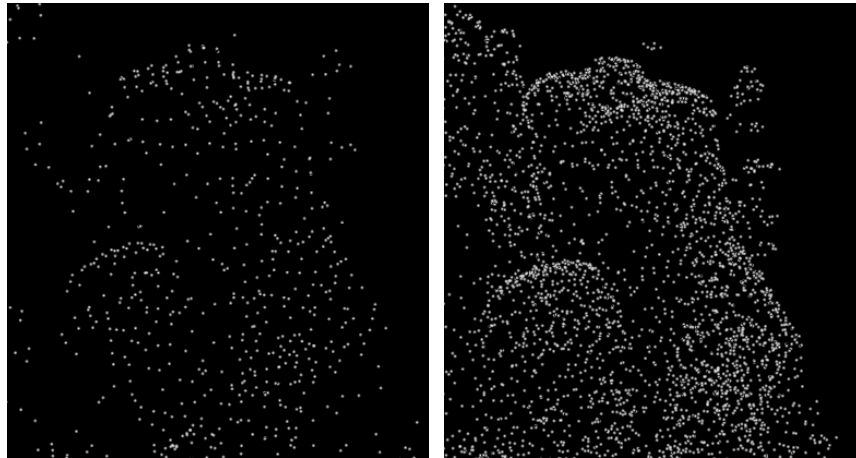
atmosféry a odrazivosti či drsnosti povrchu. Šířka nese informaci o lokální vertikální charakteristice objektu. V případě malých výškových rozdílů uvnitř plochy, na kterou svazek paprsků dopadl, je šířka navraceného pulsu podobná šířce vyslaného pulsu (Vosselman & Maas 2010).

Využití těchto informací je předmětem výzkumu posledního desetiletí. Praktická aplikace v případě skal je zmíněna v práci Csaplovicse (2007), kde se počítá s rozdílem výšek prvního a posledního odrazu. Ostatní práce se netýkají přímo skal. Jiný přístup použili ve své práci Doneus & Briese (2006), kteří pomocí šířky pulzu eliminovali zbytky odrazů pocházejících od nízké vegetace, která zůstala po zpracování dat tradičním algoritmem na filtraci. Myšlenka je založena na faktu, že šířka je v případě odrazů pocházejících od vegetace větší než v případě odrazů od terénu. Sofistikovanější přístup směřující k využití doplňkových informací pro nastavení vah bodů při filtraci je popsán v práci Mandlbürger et al. (2007). Tuto metodu dále rozpracoval Mücke (2008), který navrhl úpravu vah závislou na amplitudě, protože šířka pulzů posledního odrazu, které mají malou amplitudu, je výrazněji ovlivněna šumem. Na rozdíl od filtračních algoritmů je využití těchto informací zatím spíše v experimentální rovině a z uvedených prací vyplývá, že může mít spíše doplňkový charakter a hodí se pouze v určitých specifických situacích, než že by dokázalo sehrát při filtraci v obecném případě zásadní roli.

Doménou posledních několika let je pak výzkum směřující k exaktnější kvantifikaci souvislostí mezi naměřenými hodnotami šířky a amplitudy a vlastnostmi povrchu. Pro relevantní využití těchto informací se ukazuje nutné tato data vhodným způsobem normalizovat a kalibrovat (Kashani et al., 2015).

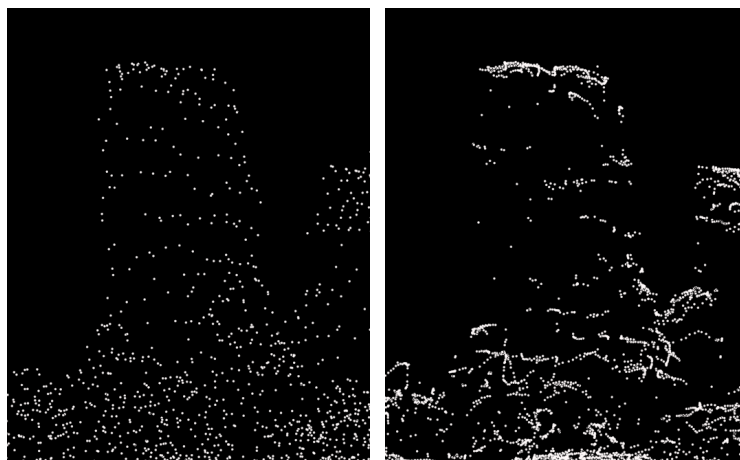
- využití informací z optického senzoru. Pro účely filtrace dat může být použita také informace z optického senzoru (tj. červené, zelené, modré či infračervené pásmo), ideálně pořízená spolu s daty LLS. S tím mohou být v praxi potíže, protože výšky letu vhodné pro pořizování dat LLS a pro pořizování leteckých měřických snímků se v praxi poměrně liší (výšky letu vhodné pro snímkování znamenají obvykle příliš řídká data LLS, výšky letu vhodné pro LLS obvykle znamenají zbytečně podrobné snímky, jejichž zpracování je obecně náročnější). Klíčová je velmi kvalitní ortorektifikace snímků, protože i malé posuny mohou znehodnotit použitelnost této informace. V případě pískovcových skal vyšších než vegetace lze automatickou klasifikací obrazu takto identifikovat skalnatý povrch a body na něm ležící lze bez problémů prohlásit za odrazy od terénu. Tento postup byl použit v experimentech s daty TUD a je popsán v práci Gąsiora (2006). V případě členitého povrchu pískovcových skal je třeba postupovat opatrně, protože pukliny a trhliny, které jejich povrch často rozčleňují, způsobují stíny (jev je dobře patrný např. na obr. 43 vpravo na str. 90). To může způsobit problémy s klasifikací obrazu a určité potíže zejména při klasifikaci hustějšího bodového mračka. Tyto problémy lze eliminovat např. objektově orientovanou klasifikací či manuální kontrolou výsledků klasifikace.
- manuální zpracování. Tento proces je obvykle kombinován s některým z tradičních algoritmů pro filtraci/klasifikaci, a jde o provádění úpravy výsledků tohoto automatického procesu. Pro úspěšné zpracování je potřeba dostatečná hustota bodového mračka, zvláště ve členitém terénu, protože bez dostatečně podrobného vzorkování nejsou například některé skalní věže od vegetace odlišitelné ani při sebepečlivější vizuální interpretaci (viz obr. 20). Pro skály lze použít v zásadě dva přístupy: první znamená skály odfiltrovat a pak odrazy od nich manuálně označovat jako terénní body, nebo nastavit parametry filtrace tak, aby odrazy od skal zůstaly označeny jako terénní body a manuálně se zbavit zbývající vegetace. V praxi (například na ZÚ)

se používá způsob první, kterým se s velkou pravděpodobností eliminuje většina mimoterénních bodů, ovšem za cenu ztráty některých drobných objektů mikroreliefu. Je-li požadavek tyto objekty zachovat, je vhodnější použít přístup druhý a při manuálním „dočištění“ dat pečlivě vážit, zda dané body nepředstavují objekt příslušející terénu.



Obr. 20. Vliv hustoty bodového mračka na vizuální interpretaci skalního terénu. Vlevo data ZÚ pořízená v rámci Projektu tvorby nového výškopisu ČR (cca 1,5 bodu/m²), vpravo experimentální data pořízená nad Adršpašskými a Teplickými skalami (cca 4,5 bodu/m²), viz též kapitolu 2.5.1. Z řídkých dat je skalní věž rozlišitelná pouze při otáčení a identifikovat na ní vegetaci je nemožné. Z hustějších dat to není větší problém i bez interaktivního otáčení (je patrný strom v pravé horní části ukázky).
Data LLS: © ČÚZK, 2010 a 2013.

Pro vlastní zpracování lze použít 2D nebo 3D pohled na data. V případě použití 2D jsou body zobrazeny jako profil nebo axonometricky, s možností interaktivního výběru jednotlivých bodů či skupiny bodů obkreslením určité oblasti. Žádoucí je mít možnost se scénou otáčet, protože to přispívá k výrazně lepšímu prostorovému vnímání objektů. Právě vzájemná poloha bodů je klíčem k úspěchu vizuální interpretace, protože lidský mozek si dokáže i relativně hrubě navzorkovaný objekt představit. Možnosti vizuální interpretace jsou také ovlivněny prostorovým uspořádáním bodů, závislejícím na použitém typu skeneru, zejména na technologii rozmítání svazků laserových paprsků. Bodové mračno s body uspořádanými podél linií produkované skenerem využívající svazek optických vláken je pro vizuální interpretaci podstatně vhodnější než překrývající se sinusoidy produkované skenery s technologií založenou na oscilujícím zrcadle (viz obr. 21).



Obr. 21. Vliv prostorového uspořádání bodů na vizuální interpretaci skalního terénu. Vlevo data ZÚ pořízená v rámci Projektu tvorby nového výškopisu ČR s lineárním uspořádáním bodů, vpravo data TUD, kde body leží na protínajících se sinusoidách. Navzdory podstatně větší hustotě bodů mračna vpravo (viz též kapitolu 2.5.1) je interpretovatelnost terénních objektů podstatně horší. Problém vyniká ještě výrazněji při interaktivním otáčení objektů.
Data LLS: © ČÚZK, 2010; © TUD, 2005.

Jako doplňkové informace pro vizuální interpretaci jsou vhodné rovněž topografické mapy či ortofoto, které v případě nejasností mohou pomoci s identifikací neznámého objektu. Obecně jde o časově velmi náročný proces, vyžadující zkušenosti a v případě pískovcového reliéfu také dobrou představu o tom, jak jednotlivé tvary mohou vypadat. V případě, že je žádoucí z dat vytěžit maximální množství informace, může být tento přístup nevyhnutelný. Manuální doklasifikaci bodového mračka používá mj. ZÚ při zpracování dat DMR 5G (podrobněji v kapitole 2.5.1).

5. objektově orientovaná klasifikace. Tento přístup se snaží napodobit vizuální interpretaci v tom smyslu, že nezpracovává bodové mračko bod po bodu, ale pokouší se pracovat s jednotlivými objekty. Takový přístup je obecně robustnější. Prvním krokem k tvorbě objektů je segmentace bodového mračka. Pro ni se velmi často používá metoda region growing s vhodně definovanou homogenitou shluku společně s geometrickými podmínkami omezujícími vzdálenost bodů (Shan & Toth, 2009). Lze použít i doplňkové informace o odrazu (Mücke, 2008). Následně může být aplikována klasifikace upravenou verzí některého algoritmu s tím, že se při označování bodů jako terénní či mimoterénní bere v úvahu také informace o shluku. Tento přístup by mohl být použitelný pro pískovcová skalní města (viz kapitoly 2.5.6 a 2.5.7).

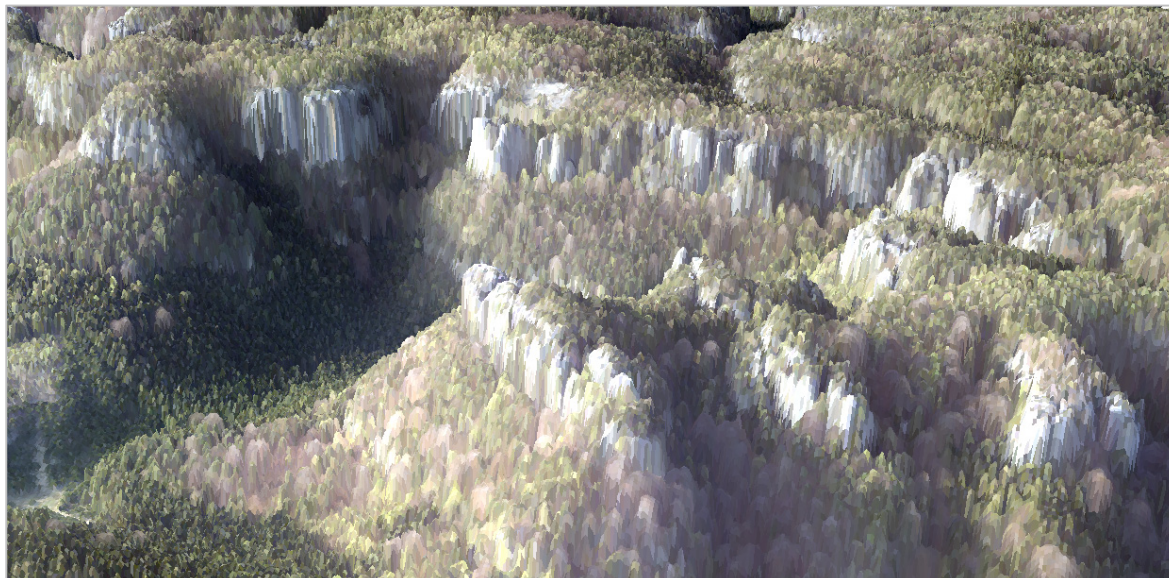
Box 3: První zpracování dat LLS zalesněné pískovcové krajiny

Prvním pokusem o filtraci dat LLS ze zalesněné pískovcové krajiny, který je autorovi znám, bylo zpracování dat pořízených v oblasti Národního parku Saské Švýcarsko v březnu a dubnu 1997. Bylo naskenováno celkem 56 milionů bodů s průměrnou hustotou pouze 1 bod/9 m² (Csaplovics, 2007). Tehdy se při zpracování dat projevila řada zmiňovaných problémů, umocněná navíc řídkým bodovým mračkem. Při filtraci dat byla využita mj. topografická mapa v měřítku 1 : 10 000, infračervené snímky i měření v terénu, pomocí kterých byly získány polygony přesně obklopující oblasti se skalními stěnami a věžemi. Zkušenosti z tohoto projektu následně posloužily k pořízení dat LLS nad územím národních parků na obou stranách hranice (tedy České Švýcarsko i Saské Švýcarsko), podrobněji viz kapitolu 2.5.1.

Potíže s automatizovanou filtrací dat představují pravděpodobně nejpálčivější, ale nikoliv jediný problém zpracování dat LLS v členitém zalesněném terénu. Další problém se týká slícování jednotlivých pásů. Díky vystupujícím a dobře ohraničeným objektům se zde výrazným způsobem mohou projevit jejich vzájemné polohové a výškové odchylky. Podobný problém nastává také u měst, tam ovšem jednotlivé objekty použité pro slícování nejsou pod vegetací. Na spojování bodových mraček existuje řada postupů (viz např. Shan & Toth, 2009), ale obvykle potřebují dobře definované objekty, jejichž korespondenci lze nalézt, spočítat z ní posun a následně opravu. V případě kombinace odrazů od skal a vegetace tento postup nefunguje úplně ideálně. Možné řešení použité při práci s daty je v rámci řešení případové studie popsáno v kapitole 2.5.3. Pokud není slícování provedeno precizně, resp. odchylka jednotlivých pásů je vzhledem k hustotě bodového mračka příliš velká, je výsledkem zašuměný, resp. rozostřený model.

Poměrně značný problém při zpracování dat LLS představují převisy, které data LLS dokáží zachytit. Převisy představují problém jak v teoretické, tak praktické rovině. Digitální modely reliéfu v podobě rastru či gridu jsou obvykle pouze tzv. 2,5D, tzn. že jednomu bodu na souřadnicích (x, y) je přiřazena právě jedna hodnota z , která se chápe jako výška místa, kde přechází terén v atmosféru. V případě převisů odpovídají jednomu bodu (x, y) hodnoty tři, v případě více převisů nad sebou pak i více hodnot. S převisy jsou obvykle schopny pracovat povrchové reprezentace objektů (varianty TIN) nebo objemové reprezentaci (s využitím voxelů), byť to v dnešních geografických softwarech není vždy standardem. Pro tvorbu takové reprezentace ale nestačí souřadnice bodů, ale jsou potřeba další doplňkové informace (obvykle normála k povrchu), jejichž získání může být problematické. Pro účely topografického mapování v praxi

2,5D reprezentace postačuje (a to i ve velkém měřítku). Převisy totiž nebývají příliš plošně rozsáhlé, a pokud by to bylo relevantní, lze je reprezentovat jako samostatné objekty. 3D informace má význam zejména pro účely trojrozměrné vizualizace skal, kde na kolmých a převislých stěnách 2,5D model působí při větším přiblížení poněkud nepřirozeně (viz obr. 22). Pro zvýšení realističnosti pohledu je vhodné data LLS doplnit daty pozemního laserového skenování.



Obr. 22. Problémy s 3D vizualizací kolmých a převislých skalních stěn. Vizualizace provedená nad DSM s rozlišením 1 m. Kolmé a převislé stěny působí ve výsledném modelu poněkud nepřirozeně. Vizualizace v ArcScene. Oblast východně od Pravčické brány. Ortofoto a DSM: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005.

Zachycení dat pod převisy má také negativní vliv na algoritmy filtrace. Výsledná klasifikace totiž dopadne tak, že body ležící na terénu nad převislou částí jsou označeny jako mimoterénní, protože leží vysoko nad terénními body reprezentující terén pod převisem (viz obr. 33 na str. 64). To není z hlediska výsledného modelu ideální, protože dochází k odstranění části plošiny, která je navíc obvykle výraznou terénní hranou, a tím i ke ztrátě přesnosti výsledného DMR a z něj odvozených informací. Přirozené řešení pro topografické mapování představuje výsledek odpovídající „pohledu shora“, tj. zachování plošiny až po okraj a „dosypání“ převisu ležícího pod jejím okrajem. Lze uvažovat i o zachycení rozsahu převisu. Možné řešení tohoto problému je popsáno v kapitole 2.5.5.

Jiným teoretickým problémem, který s převisy částečně souvisí, je otázka vlastní definice terénu ve 2,5D. Dna pískovcových roklí často bývají pokryté sutí tvořenou bloky v řádu prvních jednotek metrů (tedy o řád větší, než je přesnost měření technologie LLS) napadaných chaoticky přes sebe, mezi nimiž jsou hluboké rozsedliny. Pak je i přímo v terénu velmi obtížné určit, kudy by vlastně měla probíhat hranice mezi terénem, atmosférou a podzemím. V těchto místech povrch obvykle plynule přechází do podzemních prostor, tvořených suťovými jeskyněmi. Podobná situace nastává i v lokalitě zachycené na ortofotu na obr. 43 vpravo (na str. 90), kde jsou jednotlivé věže a bloky odděleny extrémně hlubokými rozsedlinami, na dně přecházejícími do puklinových a rozsedlinových jeskyní a propastí, umístěných často v několika patrech nad sebou. V takovém případě se průběh terénu v závislosti na přesné definici a míře generalizace může lišit i v řádu desítek metrů.

Z pohledu praxe není tento problém prozatím příliš významný, protože v případě kombinace vegetace a popisovaného terénu je potřeba využít každý odraz. To odpovídá možnému řešení, analogického k tomu, které je aplikováno při tvorbě digitálního modelu povrchu, který může být v oblastech s vegetací také velmi členitý. Podstatou řešení je stanovená míra generalizace, kdy

prostorová charakteristika funkce popisující povrch je omezená ve smyslu možné lokální proměnlivosti výšek na určitou vzdálenost. Zjednodušeně si lze takové řešení představit jako přehození „závoje“ s definovanou tuhostí přes naměřená data, který se nemůže příliš prohnout v situaci, kdy jsou v naměřených datech na malé horizontální vzdálenosti velké výškové rozdíly.

V souvislosti s filtrací a potížemi s převisy pak mohou vznikat určité problémy s přesností výsledného DMR, kdy výsledné hodnoty odchylek výšek DMR od skutečnosti mohou být o řád horší než je střední výšková chyba dat LLS. To se týká zejména kolmých a převislých stěn a bodů, které leží okolo jejich horních hran. Konkrétní hodnoty uvádí ve své studii z oblasti Národního parku České Švýcarsko například Dolanský (2008), kde je zmiňována maximální výšková odchylka DMR vytvořeného z dat TUD (viz kapitolu 2.5.1) od geodeticky zaměřeného bodu 10,54 m. Při hodnocení takovýchto údajů je ale nutné si uvědomit, že zdánlivě velké hodnoty odchylek v terénu, kde polohová změna v řádu decimetrů může způsobit výškovou změnu i v řádu desítek metrů, jsou automatickým zpracováním v principu jen obtížně řešitelné.

2.5 Experimenty se zpracováním dat LLS ve skalních oblastech

V této kapitole jsou představeny experimenty s daty LLS prováděné autorem, příp. diplomanty vedenými autorem, které měly za úkol řešit problémy identifikované v předchozí kapitole. Tato část textu tedy představuje hlavní přínos autora práce na poli zpracování dat LLS v oblasti skalních útvarů. Všechny experimenty mají společný cíl: umožnit automaticky a spolehlivě odlišit body LLS představující odrazy od terénu. Na základě této informace lze následně vytvořit přesný a spolehlivý DMR a ten následně použít jako zdroj pro získávání topografické informace.

Nejprve budou představena data použitá v experimentech, protože pro některé z nich byla použita stejná data (ale odlišným způsobem). Následně jsou popsány jednotlivé případové studie, které jsou buď dílem autora, nebo vznikly v rámci bakalářských či diplomových prací studentů, které autor vedl a které jsou v textu řádně citovány. Závěrečné kapitoly 2.5.6 a 2.5.7 svým charakterem odpovídají popisu možných směrů dalšího výzkumu v této oblasti, které jsou aktuálně realizovány.

2.5.1 Data použitá pro experimenty

V této kapitole budou stručně popsána data použitá pro experimenty a jejich klíčové vlastnosti. Jde o data z pískovcových skalních oblastí, kde se výše popisované problémy s filtrací projevují v nejextrémnější podobě.

Data TUD pořízená v rámci projektu GeNeSiS

Data z oblasti národních parků České a Saské Švýcarsko (z území o celkové rozloze přibližně 800 km²) byla pořízena v rámci projektu GeNeSiS financovaného EU (zkratka názvu vychází z německého názvu projektu *Geoinformationsnetzwerke für die grenzüberschreitende Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz*, česky Geoinformační síť pro přeshraniční region národních parků České a Saské Švýcarsko), jehož nositelem byla Technická Univerzita v Drážďanech (dále jen TUD), Institut pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země. Skenování probíhalo v dubnu 2005, tedy z pohledu dostupnosti vegetace za ideálních podmínek. Při skenování byl použit systém Falcon II společnosti TopoSys. Skenování probíhalo z průměrné výšky 1200 m nad terénem a s překrytím letových pásů 50 % (Trommler & Csaplovics, 2007). Byl zaznamenáván první a poslední odraz a intenzita posledního odrazu; zároveň byly také pořízeny letecké snímky ve viditelném a infračerveném spektru, z nichž bylo vytvořeno ortofoto s velikostí

pixelu 0,5 m. Průměrná hustota bodů posledního odrazu dosáhla 8,5 bodu/m², prostorová distribuce výsledných bodů odpovídá sinusoidálnímu tvaru stopy.

Při zpracování dat byl kladen důraz na zachování topografie pískovcového skalního terénu. Zpracování probíhalo s využitím posledních odrazů v softwaru SCOP++. Experimenty ukázaly, že není možné použít jeden typ parametrů filtrace pro celé území. Zvolené řešení odpovídalo bodu 1. z kapitoly 2.4, tj. filtrace proběhla s dvojí sadou parametrů: jedna sada byla optimalizována na odstranění budov (zároveň ale odstraňovala, resp. nežádoucím způsobem vyhlazovala i skály), druhá sada pak na zachování detailních informací o skalním terénu (neodstraňovala ale budovy). Výsledná klasifikace vznikla kombinací obou z nich. Nad stínovaným modelem reliéfu z druhé sady parametrů byly manuálně zvektorizovány oblasti výskytu skal a v těchto oblastech byla použita klasifikace odpovídající druhé sadě parametrů, na zbytku území klasifikace odpovídající první sadě parametrů. Informace o intenzitě nebyla při zpracování použita vůbec.

Z dat byly následně odvozeny digitální modely reliéfu a povrchu v rastrové podobě s rozlišením 1 m, se střední výškovou chybou pohybující se od 0,1 m (rovný zpevněný terén) až po 4 m (horní hrany pískovcových skal). Dále byly prováděny experimenty s nastavením parametrů filtrace a s využitím informace z ortofot v software TerraScan za účelem vylepšení filtrace bodů v oblasti skalních stěn (Gašior, 2006).

Data ZÚ pořízená v rámci Projektu tvorby nového výškopisu ČR

Data LLS pokrývající území celé České republiky byla pořízena v rámci Projektu tvorby nového výškopisu, na jehož řešení se podílel ČÚZK, Ministerstvo obrany ČR a Ministerstvo zemědělství ČR. Data byla pořízena v letech 2010 až 2013, jak v mimovegetačním, tak částečně i ve vegetačním období. Při skenování byl použit systém Litemapper 6800 obsahující laserový skener Riegl LMS Q-680. Na většině území probíhalo skenování ze střední výšky 1500 m nad terénem s příčným překrytem pásů 45–59 % (Brázdil, 2009). Průměrná hustota bodů dosahuje 1–1,5 bodu/m², prostorová distribuce bodů odpovídá rovnoběžným liniím.

Ke klasifikaci dat byl využit software SCOP++. Její spolehlivost vyhodnotily ZÚ & VGHMÚř (2015a) na 90 % v rámci dat pořízených mimo hlavní vegetační období, ale jen na 30–40 % během vegetačního období. Výsledná klasifikace byla následně manuálně kontrolována a editována. Zpracováním dat vzniklo několik produktů, z nichž nejpodrobnější a pro účely této práce nejvýznamnější je Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G). Ten se skládá z nerovnoměrně rozložených skutečně měřených terénních bodů, jejichž výška může být mírně generalizována. V místech, kde je množství změřených bodů s ohledem na výškové poměry zbytečně velké, dochází k jejich ředění. Obě popsané operace jsou prováděny tak, aby respektovaly podmínku, že úplná střední chyba výšky má být menší než 0,18 m v terénu bez souvislé vegetace a zástavby a 0,3 m v terénu pokrytém hustou vegetací (ZÚ & VGHMÚř, 2015b).

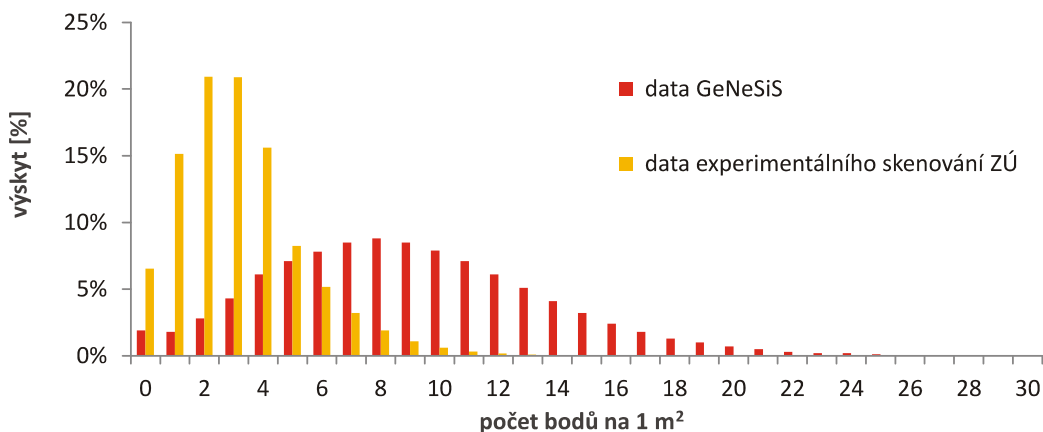
Skener Riegl LMS Q-680 podporuje získání full-waveform informace, a to tak, že v krátkých časových intervalech (1 ns) zaznamenává mj. také velikost navracející se energie. Software RiProcess dodávaný ke skeneru dokáže tyto informace zpracovat tak, že výsledkem je pro každý změřený odraz doplňková informace o šířce, amplitudě, pořadí odrazu v rámci pulsu a celkovém počtu odrazů v rámci pulsu (ukládány do souboru sdw). Při filtraci, resp. klasifikaci dat pro tvorbu DMR 5G nebyly tyto údaje nijak využity a na rozdíl od dat DMR 5G nejsou běžně dostupné. Tyto údaje byly využity v některých experimentech. Přehled údajů o odrazu uložených v sdw souboru shrnuje tab. 1. Pro využití těchto informací byl autorem vytvořen konverzní software (Lysák, 2010b).

položka	datový typ	popis
TIME	double	čas měření, hodnota závisí na použitém typu GPS
X, Y, Z	double	x, y, z v geografickém souřadnicovém systému (liší se v závislosti na zpracování, viz dále v textu)
AMPLITUDE	word	amplituda odrazu
WIDTH	word	šířka odrazu (v 0,1 ns)
TARGETTYPE	byte	způsob diskretizace full-waveform informace, hodnota z číselníku
TARGET	byte	pořadí odrazu v pulzu (1 až NUMTARGET)
NUMTARGET	byte	celkový počet odrazů pulzu
RGINDEX	word	hodnota na časové ose, kde nastává maximum (má význam při rekonstrukci full-wave informace)
CHANNELDESC	byte	kanál, kde byl odraz detekován (0x00 - low power channel, 0x40 - high power channel)
CLASSID	byte	informace o tom, zda a případně jak byl bod klasifikován (hodnoty podle specifikace formátu LAS 1.1), v datech byla pro všechny body stejná hodnota

Tab. 1. Struktura záznamu v sdw souboru.
Zpracováno podle Lysák (2011), vycházejícího z dokumentace k softwaru společnosti Riegl.

Další experimentální data pořízená ZÚ

V experimentech byly použity další dvě datové sady pořízené Z Ú. První datová sada pochází z dubna 2008 z oblasti Prachovských skal. Vznikla v rámci zkušebního LLS organizovaného ZÚ v letech 2008–2009. Pro skenování byl využit skener Riegl LMS-Q560, umožňující rovněž zachytit doplňkové informace o odrazu. Skenování bylo provedeno z výšky 1200 m nad terénem, příčný překryt byl 40 % a průměrná hodnota hustoty zaměřených bodů dosáhla 1,2 bodu/m². Přesnost takto zaměřených bodů (úplná střední chyba) byla stanovena jako lepší než 0,1 m (Fiala, 2011).



Obr. 23. Srovnání hustoty bodů posledního odrazu v datech TUD a experimentálního skenování ZÚ v oblasti Adršpašských a Teplických skal.
Zdroj: Tomková (2015).

Druhá datová sada byla pořízena nad Adršpašskými a Teplickými skalami v listopadu 2013 skenerem Riegl LMS Q-680. Střední výška letu nad terénem byla okolo 900 m, letové řady měly přibližně 50 % překryt a co je důležité, byly uspořádané křížově přes sebe (pro lepší eliminaci zákrytů). Průměrná hustota výsledného bodového mračna je přibližně 4,5 bodu/m², hustota bodů posledního odrazu pak přesahuje 3 body/m². Ve srovnání s daty TUD je hustota výsledného bodového mračna tedy o něco nižší, viz obr. 23.

2.5.2 Využití doplňkových informací

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda a nakolik mohou doplňkové informace získané spolu s odrazem pomoci při odlišení terénních a mimoterénních bodů v členitém pískovcovém skalním terénu. Experiment je podrobně popsán v (Lysák, 2011), odtud je také zčásti převzat i následující text. Vybrány jsou pouze nejvýznamnější výsledky.

Teoretická východiska

Předpokládejme, že v typickém případě bude odraz, který není poslední (tj. v datech z sdw souboru má $TARGET < NUMTARGET$) odrazem pocházejícím od vegetace. Výjimku mohou tvořit např. následující situace:

- multipath efekt (podrobněji viz kapitolu 2.3). V tomto případě může být bod příslušného pulzu, který má $TARGET < NUMTARGET$ bodem terénu a bod s hodnotou $TARGET = NUMTARGET$ je chybným měřením (leží pod povrchem skutečného terénu),
- speciální poloha vysokého objektu (skalní věže či stěny) a skeneru. Pulz se nejprve částečně odrazí od okraje skalní věže a pak ještě od terénu pod věží. Odpovídá situaci znázorněné na obr. 19 na str. 42 vlevo (pulz označený zeleně). V tomto případě může být více odrazů pocházejících z jednoho pulzu odrazy od terénu.

Odrazy, které jsou poslední (tj. mají $TARGET = NUMTARGET$), představují mix odrazů od vegetace a terénu. Jejich vzájemný poměr je závislý především na prostupnosti vegetace svazkem laserových paprsků.

Základní idea pro rozlišení bodů je následující. Pokud se z doplňkových informací zaznamenaných s odrazem podaří rozdělit body posledního odrazu na dvě skupiny tak, že:

- první skupina bude mít charakteristiku stejnou s body, které nejsou body posledního odrazu (tj. charakteristika bude statisticky stejná, jakou mají body velmi pravděpodobně pocházející z vegetace) a
- druhá skupina bude mít charakteristiku statisticky odlišnou od bodů, které nejsou body posledního odrazu,

pak body z druhé skupiny jsou pravděpodobně body vzniklé odrazem od terénu.

Návrh takovéto charakteristiky by měl vycházet z chování laserového pulsu, resp. jeho interakce s okolním prostředím. Tato interakce je v obecném případě velmi složitá, pro účely tohoto experimentu bude použita následující zjednodušená představa: Pokud se laserový pulz odráží od rovné plochy, jejíž velikost je řádově větší než velikost stopy pulsu, bude výsledný odraz velmi úzký, protože záření, které se nepohlí a nerozptýlí, se odrazí zpět najednou. Takový odraz bude mít tendenci mít spíše vyšší amplitudu. Odraz od (větší a rovné) plochy nastane mnohem pravděpodobněji od terénu (příp. střechy domu apod.) než od vegetace, neboť ani relativně zapojené koruny stromů netvoří rozsáhlou rovnou plochu. Naopak vegetace by měla mít tendence vytvářet spíše širší a méně intenzivní odrazy. Pokud svazek paprsků prochází od vrcholových partií porostu směrem k zemi, odráží se postupně od jednotlivých větví, listů apod. Tyto objekty jsou vzhledem k velikosti stopy pulzu obvykle malé, takže se odrazí jen část energie (proto nižší amplituda) a navíc se bude odrážet spíše postupně (proto by šířka pulzu měla být větší).

Základní představa tedy je, že úzké a intenzivní odrazy by měly být spíše od terénu a širší a méně intenzivní odrazy spíše od vegetace. Podobný přístup pro vyloučení mimoterénních bodů je využit v pracích citovaných v kapitole 2.4 ve druhé skupině přístupů ke klasifikaci dat. Praktické experimenty ukázaly, že není příliš vhodné pracovat s absolutními hodnotami šířky či amplitudy,

ale spíše jejich vzájemným poměrem. Například odraz od terénu pod vegetací zřejmě nebude tak intenzivní jako odraz od téhož terénu ve stejné vzdálenosti od skeneru z toho důvodu, že se část záření odrazila již od vegetace nad ním.

Z výše popsaných důvodů byl za charakteristiku zvolen poměr WIDTH / AMPLITUDE, což by mělo do jisté míry odstranit negativní faktory, které by vyplývaly z přímého použití absolutních hodnot WIDTH a AMPLITUDE. Terénní body by měly mít hodnotu této charakteristiky nižší (malá šířka, velká amplituda) a odrazy od vegetace vyšší (větší šířka, menší amplituda). Protože jsou WIDTH a AMPLITUDE vždy kladné hodnoty, a logaritmus je rostoucí a prostá funkce, lze pro lepší rozlišení hodnot okolo minima zvolit charakteristiku

$$C = \log(\text{WIDTH} / \text{AMPLITUDE}).$$

V dalším textu budou body pocházející z posledního odrazu označovány jako body L (jako *last*) a body z ostatních (tj. jiných než posledních) odrazů jako body V (V jako *vegetation*, protože v typickém případě pocházejí právě od vegetace).

Lokalita a data

Praktické ověření navrženého postupu bylo provedeno nad daty ZÚ v oblasti Prachovských skal, a to jak ze standardního skenování, které nad touto lokalitou proběhlo v dubnu 2010, tak ze zkušebního skenování. V rámci této oblasti byly vybrány dvě testovací lokality: střed a Babinec. Pro lepší představu o charakteru terénu jsou na obr. 24 fotografie ilustrující jejich charakter.



Obr. 24. Fotografie lokalit z testovacích oblastí v Prachovských skalách. Vlevo lokalita střed, záběr z okolí Císařské chodby. Vpravo lokalita Babinec, záběr z oblasti stejnojmenné rokle, kde jsou skály přerostlé jehličnatým lesem. Oba snímky pocházejí z jara 2010.

Lokalita střed se nachází v centrální části skal v okolí Císařské chodby. Z hlediska práce je dost podstatné, že její část byla mezi lety 2008 a 2010 (tedy mezi experimentálním a standardním skenováním ZÚ) zcela odlesněna. Vyskytují se zde až 40 m vysoké skalní věže a skalní stěny, stejně tak i úzké rokle mezi skalami. Testovací území mělo rozlohu $660 \times 290 \text{ m}^2$; souřadnice středu lokality jsou $50^\circ 28' 2,412''$ s. š. a $15^\circ 17' 27,307''$ v. d.

Lokalita Babinec, nazvaná podle stejnojmenné rokle, leží v jižní části skal. Skalní útvary jsou zde značně nižší; převažují skalní stěny s úzkými průchody. Na rozdíl od předchozí lokality je toto území zarostlé smrkovým lesem, který je vyšší než skalní útvary. Testovací území má rozlohu $240 \times 150 \text{ m}^2$; souřadnice středu lokality jsou $50^\circ 27' 50,362''$ s. š. a $15^\circ 17' 18,519''$ v. d.

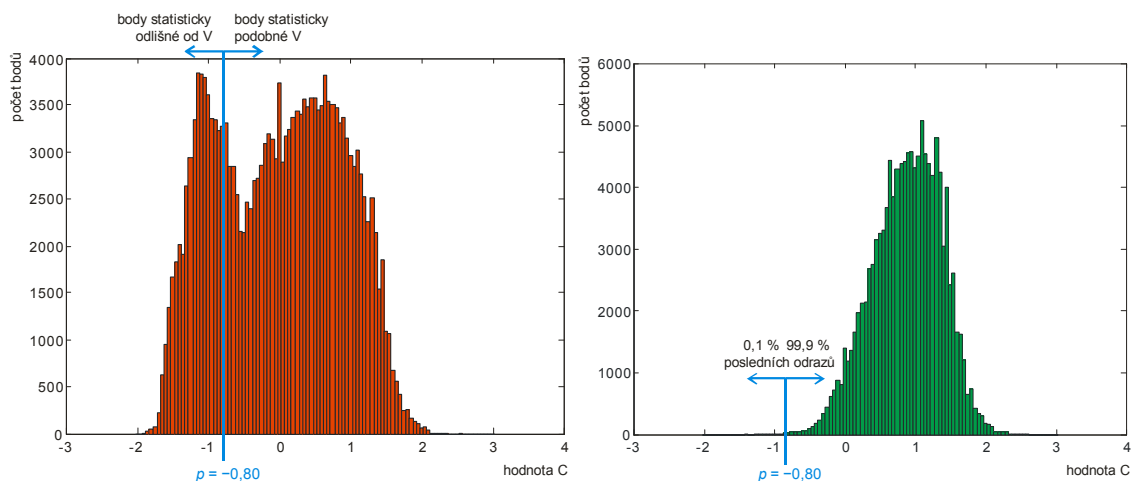
Základní vlastnosti datových sad z uvedených lokalit jsou shrnuty v tab. 2.

testovací data	Babinec 2008	Babinec 2010	střed 2008	střed 2010
počet bodů z posledních odrazů (L)	32 746	30 497	186 996	139 958
počet bodů z ostatních odrazů (V)	24 094	10 984	121 498	32 917
celkový počet bodů	56 840	41 481	308 494	172 875

Tab. 2. Vlastnosti datových sad z testovacích lokalit.

Výsledky

S využitím softwaru Matlab byla pro každou sadu dat spočtena charakteristika C . Výpočet probíhal zvlášť pro body L a pro body V. Ze spočítaných hodnot byla pro každou sadu dat vytvořena dvojice histogramů zachycující počet odrazů s danou hodnotou C . Ukázka dvojice histogramů pro lokalitu střed z dat z roku 2008 je na obr. 25. Podobný charakter mají histogramy i pro ostatní testovací data. Ve všech případech mají histogramy L dva vrcholy, přičemž hodnota C , kde nastává maximum u druhého z vrcholů, poměrně dobře odpovídá té hodnotě C , kde nastává maximum v histogramu z bodů V.



Obr. 25. Histogramy hodnot C pro lokalitu střed z dat z roku 2008.

Vlevo histogram spočítaný z bodů L, vpravo histogram spočítaný z bodů V. Část bodů posledního odrazu zjevně vykazuje chování statisticky podobné odrazům od vegetace, část bodů posledního odrazu vykazuje chování statisticky odlišné. Podrobnější vysvětlení v textu.

Dále bylo pro body V spočteno minimum hodnoty C s tím, že byla vyloučena určitá část nejmenších hodnot (konkrétně jedno promile) z důvodů zohlednění výjimek uvedených výše v úvodu části Teoretická východiska. Tato hodnota bude dále označována jako práh p . Vhodnost množství vyloučených bodů L s nejnižší hodnotou bude diskutována dále. V histogramu L práh přibližně koresponduje s hodnotou C , kde se nabývá lokální minimum mezi hlavními vrcholy histogramu, viz obr. 25. Hypotéza je tedy taková, že body L mající hodnotu C menší než p , jsou body pravděpodobně terénní. V histogramu L jsou to ty body, které odpovídají prvnímu z vrcholů, leží tedy vlevo od lokálního minima mezi vrcholy histogramu. Pro každou datovou sadu bylo dále spočítáno, kolik bodů z kategorie L lze na základě této klasifikace považovat za body terénní. Čím větší by tato hodnota byla, tím lépe by kritérium dokázalo rozlišit odrazy od vegetace a od terénu. Výsledky jsou shrnuty v tab. 3. Z výsledků je na první pohled patrné, že hodnoty prahů se pro data z let 2008 a 2010 liší. Pro obě testovací lokality jsou hodnoty v roce 2008 nižší než pro stejné lokality v roce 2010. To ukazuje zmiňovanou závislost hodnot amplitudy a šířky na řadě faktorů typu nastavení skeneru, atmosférické či klimatické podmínky snímání atd. Hodnota prahu je tedy obecně nepřenositelná jak v místě, tak v čase, a je potřeba ji spočítat z dat na konkrétní lokalitě.

Lze si povšimnout, že pro lokalitu Babinec je procentuální zastoupení potenciálně terénních bodů v datových sadách z let 2008 a 2010 přibližně stejné, u lokality střed vzrostlo, což je dáno jejím již zmiňovaným částečným odlesněním.

testovací data	Babinec 2008	Babinec 2010	střed 2008	střed 2010
hodnota C pro body V	$\langle -1,13; 2,53 \rangle$	$\langle -0,34; 2,65 \rangle$	$\langle -1,39; 2,61 \rangle$	$\langle -0,47; 2,76 \rangle$
hodnota C pro body L	$\langle -1,74; 2,28 \rangle$	$\langle -1,34; 2,70 \rangle$	$\langle -1,92; 2,56 \rangle$	$\langle -1,07; 2,76 \rangle$
práh p	-0,70	-0,16	-0,80	-0,02
podíl bodů L s hodnotou $C < p$	28 %	29 %	25 %	31 %

Tab. 3. Hodnoty C a jejich použitelnost pro rozlišení terénních a mimoterénních bodů. Podrobnější vysvětlení v textu.

V uvedeném případě byl práh p stanoven tak, že se ignorovalo 1 promile nejnižších hodnot C pro body z V. Pokud by se hodnota prahu snižovala, pravděpodobnost záměny mimoterénního bodu za terénní sice klesá, zároveň s tím ale klesá množství bodů zahrnutých do výběru. Pokud se naopak práh bude zvyšovat, bude růst pravděpodobnost toho, že mezi terénní body bude zahrnut bod mimoterénní. Mez by šla pochopitelně stanovit přesněji podrobnější analýzou histogramu C pro body V. Závislost mezi ignorovaným množstvím bodů V a výsledným počtem bodů L zahrnutých do výběru pro datovou sadu střed 2010 shrnuje tab. 4. Z uvedených hodnot vyplývá, že v tomto případě by bylo vhodné zvolit práh 5 %, protože se značně zvýšilo množství bodů zahrnutých do výběru a přitom zůstává značná pravděpodobnost, že nebude vybrán bod mimoterénní. V dalších dvou případech je přírůstek jen minimální za cenu větší pravděpodobnosti chyby.

ignorované množství bodů V pro stanovení prahu p	1 %	5 %	1 %	2 %
podíl bodů L s hodnotou C menší než práh p	24,6 %	35,1 %	38,8 %	42,8 %

Tab. 4. Závislost mezi ignorovaným množstvím bodů V a výsledným počtem bodů L zahrnutých do výběru pro datovou sadu střed 2008.

Protože hodnoty C spočítané pro celé území ukazují na možnost vyloučení pravděpodobně mimoterénních bodů z množiny L, nabízí se otázka, nakolik jsou charakteristika C a práh p proměnlivé v čase a prostoru. Přirozené očekávání je, že oblasti s podobným typem terénu a podobným typem vegetace budou mít rozsah hodnot C podobný a podobná bude i hodnota prahu p . Za účelem ověření této hypotézy byla všechna testovací data rozdělena na menší oblasti (velikosti 20 m × 20 m), na nichž byla spočítána stejným způsobem jako v předchozím odstavci hodnota prahu p a podíl bodů L s hodnotou $C < p$. Velikost 20 m × 20 m byla zvolena jako kompromis, aby byl ve čtverci dostatečný počet bodů a zároveň plocha nebyla příliš velká. Pravděpodobně správnějším řešením než pouhé rozdělení do čtverců by byla klasifikace podle typu vegetace a terénu (např. podle sklonu a orientace).

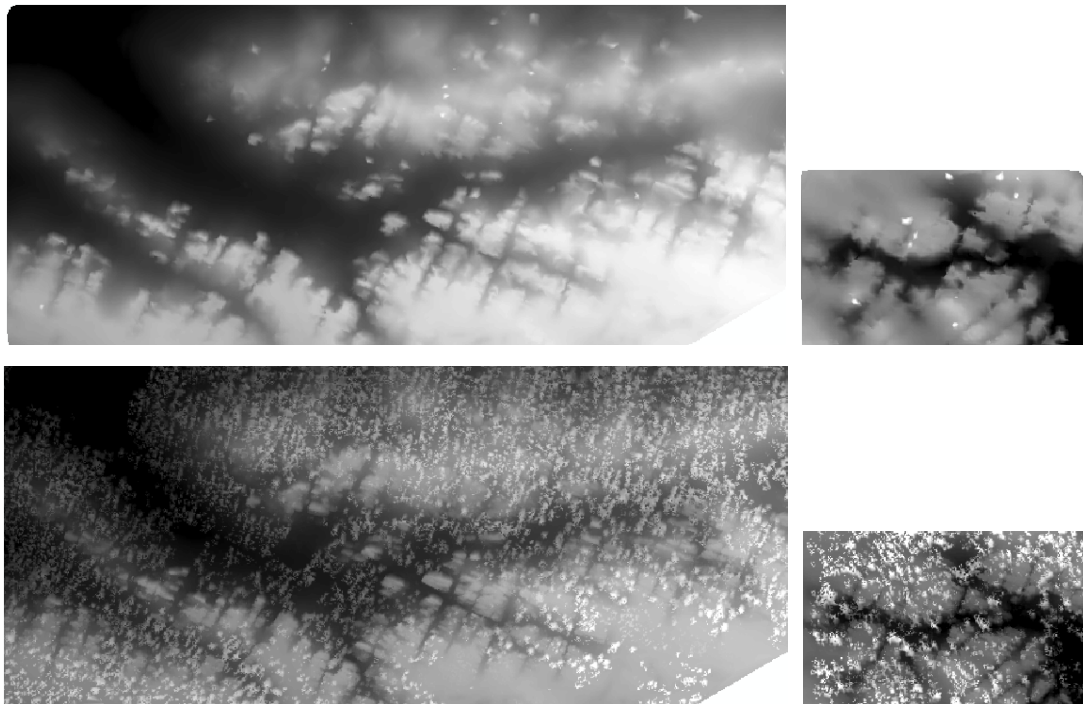
testovací data	Babinec 2008	Babinec 2010	střed 2008	střed 2010
podíl bodů L s hodnotou $C < p$	29 %	33 %	31 %	44 %
zvýšení počtu bodů hodnocených jako terénní	+ 1 %	+ 4 %	+ 6 %	+ 14 %

Tab. 5. Použitelnost C při využití lokálních prahů.

Tento postup nepřinesl zásadním způsobem lepší výsledky, nárůst bodů označených jako pravděpodobně terénní je poměrně malý (viz tab. 5). Zdánlivě velký nárůst úspěšnosti v roce 2010 je dán odlesněním části lokality střed, čímž přirozeně vzrostl podíl odrazů od terénu v celé datové sadě. Obecně je hodnota prahu v jednotlivých čtvercích značně variabilní a nevykazuje žádnou zřejmou závislost na vlastnostech terénu. Je to pravděpodobně způsobené tím, že na tak malé ploše

mají na výsledek větší vliv drobné tvary terénu a povrchu (koruny stromů, skalní výchozy). Tuto myšlenku podporuje i to, že v území, kde nedošlo mezi lety 2008 a 2010 ke změnám, spolu dobře koresponduje poloha maxim a minim nabývaných hodnot prahu (byť se v absolutní hodnotě liší).

Dosud popsaný konstrukt je velmi teoretický v tom smyslu, že označí některé body jako pravděpodobně terénní. Je ovšem otázka, nakolik terénní opravdu jsou, resp. jak bude vypadat DMR z nich vytvořený. Za tímto účelem bylo vytvořeno celkem osm DMR. Pro každé testované území a pro každé časové období byly vytvořeny dva DMR, jeden s použitím globálního prahu, druhý s použitím lokálního prahu. Tvorba DMR probíhala tak, že byly vybrány body, které mají hodnotu C menší než práh, z těchto bodů byl vytvořen TIN (z důvodů zachování terénních hran) a ten byl převeden na rastr. Ukázky vybraných modelů jsou na obr. 26.



Obr. 26. Srovnání DMR vytvořených na základě popsané filtrace a pouze na základě bodů posledního odrazu. Nahoře modely z oblasti střed a Babinec vytvořené na základě filtrace s globálním prahem (oba z dat z roku 2008), dole modely pro srovnání vytvořené pouze z bodů posledního odrazu. Z ukázky je zřejmé, že navržený postup podstatnou část odrazů od vegetace odstraní.

Data LLS: © ČÚZK, 2008.

Vzhledem k tomu, že se jedná o filtraci bodů pouze na základě doplňkové informace a nebyly při ní vůbec použity informace o poloze bodů, výsledek se nejvíce úplně špatný. Z výsledků je patrné, že při globálním nastavení prahu zůstalo v modelu jen minimum vegetace. Při lokálním nastavení prahu zůstaly lépe zachovány některé detaily skalního terénu, ale za cenu chybného zařazení většího množství patřících evidentně vegetaci. Negativně se to projevuje zejména v lokalitě Babinec, kde je bodů pod vegetací, které byly metodou označeny jako terénní, relativně málo.

Závěr

Celkově lze výsledky experimentu shrnout následovně: doplňková informace sama není zcela spolehlivý indikátor pro odlišení terénních a mimoterénních bodů. Může ale posloužit jako pomocná informace pro tradiční filtrační algoritmy, při rozhodování, který bod označit jako mimoterénní (viz dále v kapitole 2.5.4). Druhý závěr je, že ke stanovení dobré hodnoty prahu je potřeba větší množství bodů než jen několik set, jako tomu bylo v případě použití lokálního prahu. Uvedený postup je samozřejmě aplikovatelný i mimo skalní města. Smyslem jeho použití ve

skalních městech je motivace označit body na okrajích plošin a vrcholech věží jako terénní. To se relativně podařilo, ovšem problém nastává na strmých skalních stěnách, protože odrazy od příkrých stěn mají podobnou charakteristiku C jako odrazy od vegetace. Za zajímavou obecnou vlastnost navržené metody lze považovat skutečnost, že relativně funguje i bez kalibrace hodnot šířky a amplitudy (viz kapitolu 2.4, bod 2).

2.5.3 Využití existujícího manuálně klasifikovaného bodového mračna

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda a do jaké míry lze zužitkovat manuální práci vloženou do klasifikace dat LLS při tvorbě DMR 5G a tuto práci následně využít při zpracování jiných dat LLS z téhož území. Tento experiment zpracoval pod vedením autora této dizertace ve své diplomové práci L. Holman (2013). Následující text vychází z diskuze uvedené v této práci.

Teoretická východiska

Je-li k dispozici DMR, resp. precizně klasifikované bodové mračno, nabízí se ho využít pro klasifikaci jiného bodového mračna pořízeného nad stejným územím. Jde o poměrně typickou situaci, kdy probíhá lokální (a typicky podrobnější) skenování nad územím, které již bylo naskenované a zpracované v rámci jiného (širšího) projektu, jehož výstupy jsou právě s ohledem na globální pokrytí obvykle méně podrobné. Základní idea celého postupu je jednoduchá: body lokálního skenování ležící dostatečně blízko (ve smyslu souřadnice z) bodů klasifikovaných v globálním skenování jako terénní, se označí za terénní. Předpokladem pro fungování této metody je velmi dobrý polohový a výškový soulad obou mračen, zvláště ve členitém terénu.



Obr. 27. Fotografie testovací lokality Pravčická brána.

Lokalita a data

Praktické ověření této myšlenky proběhlo v okolí známé Pravčické brány na území Národního parku České Švýcarsko. Experiment proběhl nad územím o velikosti $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ se středem na $50^\circ 53' 05''$ s. š. a $14^\circ 16' 30''$ v. d. Ač jde o poměrně malé území, celkové převýšení dosahuje 200 m. Kromě největší evropské skalní brány zahrnuje celou řadu pískovcových tvarů (skalní stěny, věže, plošiny se členitými okraji, převisy), ale také umělé objekty (most, tunel, výletní „zámeček“ Sokolí hnízdo a několik dalších budov). S výjimkou nejextrémnějších skalních stanovišť je vše porostlé listnatou i jehličnatou vegetací. Pro lepší představu je lokalita zachycena na obr. 27.

Na tomto území byla k dispozici (globální) data ZÚ pořízená v práci Projektu tvorby nového výškopisu ČR DMR 5G v červenci 2010, o celkovém počtu 293 tis. bodů, z nichž pouze 61 tisíc bylo označeno jako body terénní. Příčinou tohoto relativně malého zastoupení bylo skenování ve

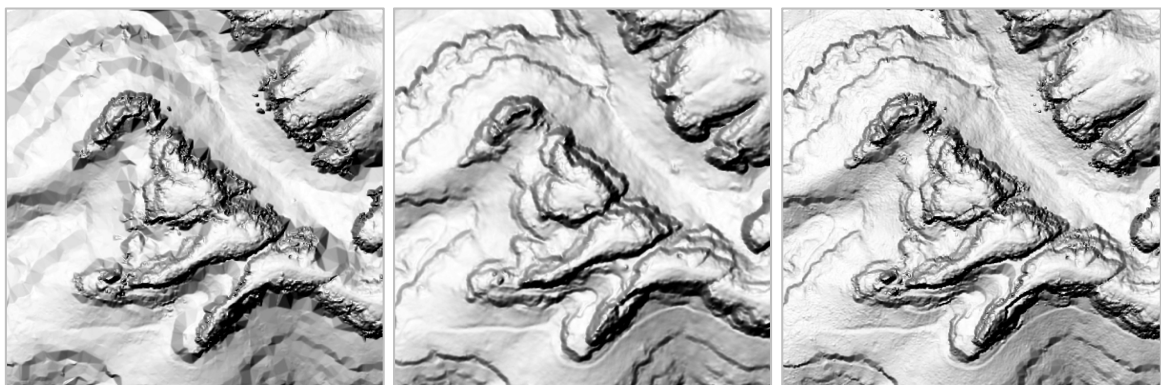
vegetačním období. Dále bylo k dispozici (lokální) neklasifikované bodové mračno z dat TUD pořízených v rámci projektu GeNeSiS o celkovém počtu 1,33 mil. bodů.

Zpracování a výsledky

Prvním krokem bylo slícování obou bodových mračen s využitím metody ICP (*iterative closest point*) v softwaru CloudCompare (<http://www.danielgm.net/cc/>). Jedno z bodových mračen se zvolí jako řídicí a druhé jako závislé. Výsledkem registrace bodových mračen jsou parametry afinní transformace, kterou lze aplikovat na závislé bodové mračno. Pro spolehlivé fungování metody jsou potřeba dobře identifikovatelné objekty, které jsou v jednotlivých mračnách navzorkované odlišným způsobem. Pro dvojice bodů na nich ležících metoda vypočítává jejich vzdálenost a hledá transformaci minimalizující střední kvadratickou odchylku vzdáleností těchto dvojic bodů (Besl & McKay, 1992). Pro spočítání parametrů transformace byly využity tvarově nápadné oblasti, zejména skalní věže, okraje plošin a střecha budovy Sokolího hnízda. Tyto malé plochy byly v datech GeNeSiS manuálně očištěny. Těchto oblastí bylo celkem 23, s rozlohou od 105 m² do 4357 m². Nad každou dvojicí oblastí byl spuštěn výpočet a určeny parametry afinní transformace. Pomocí shlukové analýzy byly následně vybrány nejpravděpodobnější hodnoty parametrů transformace (jako průměr ze spočtených hodnot po odstranění odlehlých pozorování). Výsledné hodnoty transformačních koeficientů jsou uvedeny v tab. 6. Následně byla na obě mračna aplikována transformace tak, že posuny a rotace byly poloviční (vznikl tedy jakýsi polohový „průměr“ obou mračen). Výše popsanou metodou transformace bylo dosaženo průměrné odchylky ve výšce mezi bodovými mračky (měřené na dobře definovaných oblastech použitých pro spojení mračen) 16,8 cm.

Rotace [°]			Translace [m]		
ω	φ	κ	dx	dy	dz
-0,011	0,165	-0,010	-0,158	-0,135	0,035

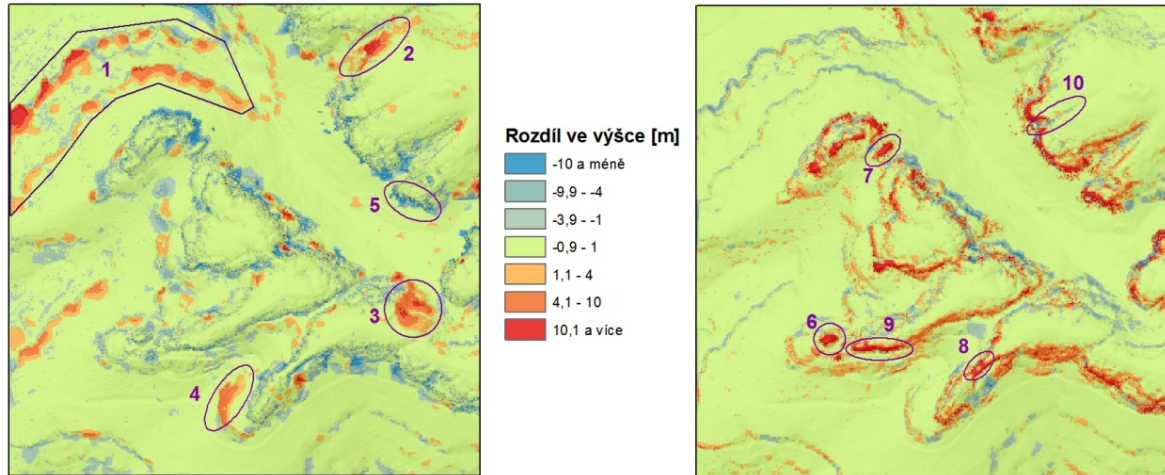
Tab. 6. Parametry afinní transformace mezi daty TUD a ZÚ.
Zdroj: Holman (2013).



Obr. 28. Srovnání DMR vytvořených z jednotlivých bodových mračen. Stínované modely reliéfu z oblasti Pravčické brány. Vlevo DMR z dat ZÚ, uprostřed model z dat TUD, vpravo model vytvořený kombinací obou datových sad postupem podrobně vysvětleným v textu.
Zdroj: Holman (2013).

Dalším krokem bylo vytvoření DMR z těch bodů dat ZÚ, které byly označeny jako terénní. Tímto způsobem vznikl TIN. Jako terénní byly následně označeny ty body z dat TUD, které ležely méně než 35 cm od tohoto povrchu (měřen rozdíl v souřadnici z). Zvolená hodnota tolerance 35 cm vychází z provedené exaktní analýzy dat. Nejdůležitější při její volbě bylo sledování závislosti RMSE ve výšce mezi modelem vytvořeným s danou tolerancí a kontrolními, geodeticky zaměřenými body a plochami v oblasti. Vynese-li se hodnota tolerance a výsledné RMSE do grafu,

uvedená volba tolerance 35 cm představuje lokální minimum této funkce. V této hodnotě je nepřímě zahrnuta výšková odchylka obou bodových mračen; z těchto důvodů dávaly hodnoty tolerance menší než průměrná odchylka ve výšce bodových mračen neuspokojivé výsledky. Vizuální porovnání jednotlivých modelů je na obr. 28, exaktnější srovnání modelů navzájem pak na obr. 29.



Obr. 29. Srovnání výsledného DMR s modely původními.

Vlevo srovnání s DMR z dat ZÚ, vpravo srovnání s DMR z dat GeNeSiS. Označené lokality s výraznějšími odchylkami byly kontrolovány přímo v terénu, podrobnější dokumentace je k dispozici v Holman, 2013.

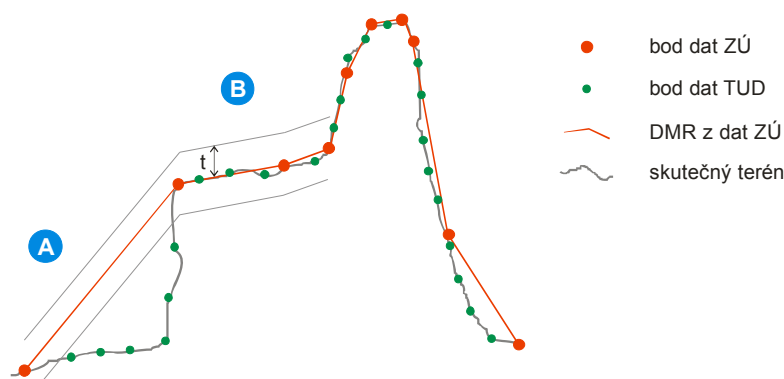
Zdroj: Holman (2013).

Výhodou uvedeného postupu je jeho jednoduchost. Pomáhá ke zpřesnění modelu zejména na okrajích skalních stěn, kde tradiční algoritmy filtrace výsledný model nereálně vyhlazují. Kvalita zachycení záleží velmi na tom, nakolik precizně se manuální kontrolou podařilo zachovat okraje plošin. Dobrým příkladem úspěšného postupu je vlastní těleso Pravčické brány (označené číslem 8 na obr. 29 vpravo), které bylo při automatické filtraci dat TUD rozděleno na dva objekty. V datech ZÚ je reprezentováno správně, což se projevilo i na výsledném modelu. Ten navíc díky zvýšení hustoty bodů (byť ne nijak závratné) dokáže zachytit větší detaily, zejména v místech, kde nejsou okraje skalních plošin pod vegetací.

Uvedený postup přináší ale také určité problémy, které byly v případě této lokality zvýšeny tím, že skenování proběhlo ve vegetačním období a výsledná hustota terénních bodů proto byla relativně malá. V situaci, kdy je bodů málo a terén je členitý, výsledkem výběru podle uvedené výškové tolerance může v některém z trojúhelníků být prázdná množina (viz obr. 30, oblast označená A). Řešením této situace je manuální úprava takových oblastí, případně lokální použití DMR zpracovaného automaticky. Tento postup byl použit i u výsledného DMR na obr. 28, kde byly oblasti bez dat nahrazeny DMR z dat TUD. Testován byl též iterativní přístup, kdy byl DMR tvořen opakovanou aplikací uvedené podmínky, tj. vytvoření TIN, přidání bodů splňujících podmínku na rozdíl výšek, vytvoření nového TIN, přidání bodů splňujících podmínku atd. To sice v uvedených problémových oblastech zafungovalo, a oblast se postupně vyplnila body. Na druhou stranu to v původně bezproblémových oblastech způsobilo přidání bodů zjevně pocházející od vegetace.

Další obtíž vychází ze skutečnosti, že úspěšnost manuální klasifikace je sice velká, ale nikoliv stoprocentní. Chybně klasifikované body pak způsobí chybné vytvoření iniciálního povrchu a následně do něj zanesou i body z vegetace z druhé datové sady. To je také důvod, proč jsou na výsledném modelu na obr. 28 vpravo místy patrné artefakty pocházející od vegetace.

Robustnějšímu vypořádání se s uvedenými problémy se věnuje experiment dále popsáný v kapitole 2.5.4.



Obr. 30. K ilustraci problémů navrženého postupu.

V případě malé hustoty bodového mračka ZÚ (oblast A) neleží v dané toleranci t žádný z bodů TUD. Naopak v případě, že body ZÚ terén aproximují relativně dobře (s ohledem na zvolenou toleranci t), přináší body TUD zpřesnění informace o jeho průběhu (oblast B).

Závěr

Navržená metoda představuje jednoduchý a poměrně účinný způsob filtrace opakovaně pořízených dat LLS a dává smysl zejména v členitém terénu (tedy ne nutně jen ve skalách), tedy tam, kde by algoritmy na filtraci nedávaly ideální výsledky. Umožňuje tak opakovaně využívat čas investovaný do manuální klasifikace bodového mračka, ovšem do značné míry stojí a padá s kvalitou manuálně provedené práce. Komplikuje ji požadavek na poměrně precizní slícování bodových mračen, o kterém je nutné se přesvědčit a případně ho řešit. Obecně jistě najde praktické uplatnění při zpracování lokálně pořízených dat LLS za pomoci DMR 5G.

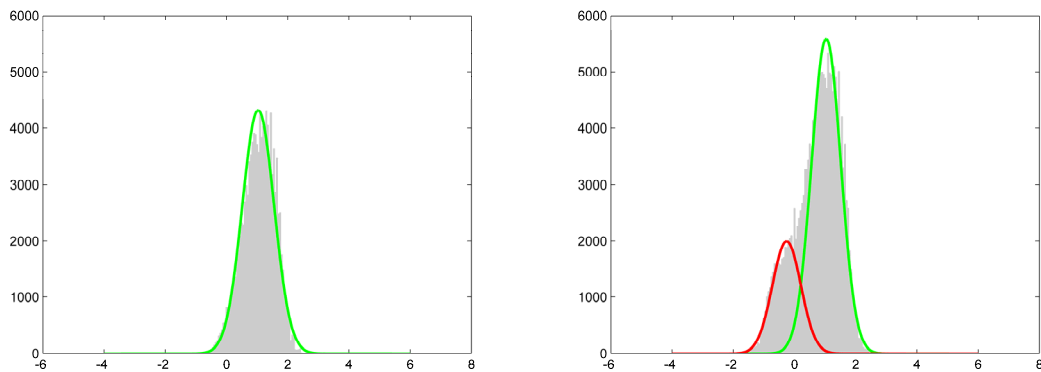
2.5.4 Kombinace doplňkových informací s robustní interpolací

Cílem tohoto experimentu bylo vylepšit výsledky postupu popsáno v kapitole 2.5.3 kombinací s dalšími informacemi, konkrétně s obrazovými daty a s doplňkovými informacemi o pulsu. Zpracování probíhalo nad stejnými daty, jaká byla použita v kapitole 2.5.3. Data ZÚ a TUD (po slícování způsobem popsáným v této kapitole) byla spojena do jednoho bodového mračka, s tím, že si každý bod nesl všechny informace, které při svém pořízení měl; speciálně tedy data ZÚ nesla doplňkové informace o pulzu.

Využití obrazové informace spočívalo v klasifikaci ortofota pořízeného synchronně s daty TUD a ortorektifikovaného na základě digitálního modelu povrchu odvozeného z dat TUD. Cílem bylo na ortofotu identifikovat oblasti, kde se vyskytuje holý skalní povrch bez vegetace. Ten se velmi často nachází na okrajích plošin končících vysokými stěnami, kde už se vegetace neudrží. To jsou přesně ty oblasti, kde má automatická filtrace největší problémy a body z okrajů plošin označí jako mimoterénní. Pro zpracování ortofota byla použita řízená klasifikace. Při tvorbě trénovacích množin se kladl důraz na to, aby se do vybraných pixelů nedostala žádná vegetace. Za tímto účelem bylo s výhodou použito infračervené pásmo, kde je vegetace velmi dobře patrná. Na základě trénovacích ploch byla následně provedena klasifikace scény z celé zájmové oblasti s využitím algoritmu maximální věrohodnosti (*maximal likelihood*) v softwaru PCI Geomatica. Výsledek klasifikace se jevil jako mírně podhodnocený (tedy nezahrnul úplně všechny skalní povrch bez vegetace), což je ale pro účely dalšího zpracování menší problém, než kdyby v takto vymezené oblasti byla přítomna i jen trocha vegetace. Bodům LLS, které padly do takto vymezené oblasti, byl nastaven speciální příznak, že leží na skalním povrchu. Počet bodů s tímto příznakem přesáhl 18 tisíc v datech TUD a tři tisíce v datech ZÚ. Z těchto tří tisíc bodů bylo více než 86 % při manuální

klasifikaci při tvorbě DMR 5G označeno jako terénní, více než 12 % jako odrazy od vegetace a nepatrný zbytek byl z ostatních kategorií. Jako terénní by přitom měly být označeny všechny. Příčinou toho může být jednak chybná klasifikace bodů na okrajích skalních plošin, která je i při vizuální interpretaci leckdy problematická, jednak chybné vymezení skalních oblastí při automatické klasifikaci (objekty typu uschlé stromy, které jsou v orotofotu i s využitím infračerveného pásma od pískovcového skalního povrchu velmi obtížně odlišitelné). Informace o tom, že bod leží na skalním povrchu, byla následně dále využita.

Využití doplňkových informací spočívalo ve využití charakteristiky C popsané v kapitole 2.5.2. Postupem stejným jako v uvedené kapitole byly body z dat ZÚ rozděleny na skupin L (poslední odraz) a V (jiný než poslední odraz), a spočítána jejich charakteristika C . Histogramy obou kategorií jsou na obr. 31. Charakteristika C bodů z V má přibližně normální rozdělení, bodů z L nikoliv. Za předpokladu, že L obsahuje směs odrazů od vegetace a od zemského povrchu, lze rozdělení C bodů z L považovat za součet dvou normálních rozdělení s tím, že jedno z nich bude mít parametry odpovídající bodům L (viz obr. 31 vpravo). Parametry druhého rozdělení lze následně dopočítat. K tomu byly použity nástroje z balíčku mixtools v software R (<http://www.r-project.org/>). Výstup této analýzy dává rovněž informaci o tom, jaký je v množině L poměr bodů, u nichž statistické chování C odpovídá bodům V a jaký je zbytek. Tento poměr byl v popisovaném případě 74 : 26. To nelze interpretovat tak, že by jen 26 % posledních odrazů pocházelo od zemského povrchu, ale spíše tak, že 26 % bodů posledního odrazu má chování statisticky odlišné od odrazů pocházejících od vegetace.



Obr. 31. Histogramy hodnot C pro body V a body L v datech ZÚ.

Na ose x vždy hodnota C , na ose y počet bodů s danou hodnotou C .

Vlevo: histogram pro body jiného než posledního odrazu (V), zeleně odpovídající normální rozdělení odhadnuté na základě hodnot C . Vpravo: histogram pro body posledního odrazu (L) a jeho dekompozice na součet dvou normálních rozdělení: zeleně to, které odpovídá histogramu vlevo (stejná střední hodnota, stejný rozptyl) a červeně dopočítané rozdělení odpovídající statistickému chování zbylých bodů. Podrobnější vysvětlení v textu.

S využitím těchto informací je možné pro každý bod z dat ZÚ spočítat, nakolik se statisticky chová jako V a nakolik se chová jako $L \setminus V$. S využitím standardního postupu používaného při rozpoznávání příznaků pomocí Bayesovy věty lze odvodit následující postup pro výpočet pravděpodobnosti, do jaké míry se bod chová jako terénní (p_g) a do jaké míry jako odraz od vegetace (p_v):

$$p_g = (\text{ground} \cdot \text{pdf}_g(c)) / (\text{ground} \cdot \text{pdf}_g(c) + \text{veget} \cdot \text{pdf}_v(c)) \text{ a}$$

$$p_v = (\text{veget} \cdot \text{pdf}_v(c)) / (\text{ground} \cdot \text{pdf}_g(c) + \text{veget} \cdot \text{pdf}_v(c)),$$

kde $\text{pdf}_g(c)$ je hodnota hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení s parametry μ a σ odpovídajícími bodům $L \setminus V$ spočtená pro c příslušného bodu (tj. odpovídající červeně znázorněné funkci na obr. 31), $\text{pdf}_v(c)$ je hodnota hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení s parametry

μ a σ odpovídajícími bodům V spočtená pro c příslušného bodu (tj. odpovídající zeleně znázorněné funkci na obr. 31), *ground* je podíl bodů odpovídající terénu a *veget* je podíl bodů odpovídající vegetaci (odpovídající poměr těchto bodů ve „směsi“ v bodech L , zjištěné analýzou rozdělení, obě hodnoty jsou mezi 0 a 1). Z podstaty výpočtu vyplývá, že $p_g + p_v = 1$ (bod je buď odraz od terénu, nebo od vegetace). Má-li tedy bod hodnotu $WIDTH = 47$ a $AMPLITUDE = 204$, dostaneme $c = -1,47$, $pdf_g = 0,025$, $pdf_v = 6,26 \cdot 10^{-7}$ (i bez zohlednění pravděpodobností jde tedy jednoznačně o bod terénní), a výslednou hodnotu p_g větší než 99,9 % a p_v menší než 0,007 %. Bod je tedy podle uvedeného modelu terénní.

Dále byla na data aplikována upravená verze klasického algoritmu robustní filtrace (Kraus & Pfeifer, 1998) založeného na lineární predikci (jednoduchém krigingu). Ta počítá výšku z v neznámém bodě na základě změřených bodů p_1, p_2, \dots, p_n o výškách z_1, z_2, \dots, z_n . Předpokládá se, že výšky z_i jsou redukovány, tj. z dat byl odstraněn trend, například odečtením roviny proložené pomocí metody nejmenších čtverců všemi body. Každý bod má váhu $w_i \in \langle 0, 1 \rangle$, která je počítána iterativně. Jsou-li určeny váhy, lze spočítat povrch (tedy hodnotu z v libovolném bodě p) podle vztahu:

$$z = \mathbf{c} \mathbf{C}^{-1} \mathbf{z},$$

kde $\mathbf{c} = [C(p, p_1), C(p, p_2), \dots, C(p, p_n)]$ je vektor kovariancí, $\mathbf{z} = [z_1, z_2, \dots, z_n]^T$ je vektor výšek bodů a \mathbf{C} je matice ve tvaru

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} V_{zzp_1} & C(p_1, p_2) & \dots & C(p_1, p_n) \\ & V_{zzp_2} & & C(p_2, p_n) \\ & & \ddots & \\ & & & V_{zzp_n} \end{bmatrix}.$$

Funkce $C(p_i, p_k)$ popisuje kovarianci (statistické chování interpolovaného povrchu) mezi dvěma body následovně:

$$C(p_i, p_k) = C(0) \cdot \exp(-[|p_i, p_k| / q]^2),$$

kde $C(0)$ je kovariance na vzdálenost 0 (rozptyl hodnot z_i), $|p_i, p_k|$ je Euklidovská vzdálenost bodů p_i a p_k a q je faktor (odvozený z hodnot naměřených bodů, např. v závislosti na typu terénu), který kontroluje „strmost“ kovarianční funkce. Jako kovarianci lze použít i jinou funkci, například lineární. Tato funkce popisuje chování interpolované prostorové proměnné, ve smyslu povolené změny výšky podle vzdálenosti bodů. Konečně V_{zzp_i} v matici \mathbf{C} se určí podle vztahu

$$V_{zzp_i} = C(0) + \sigma_0^2 / w_i,$$

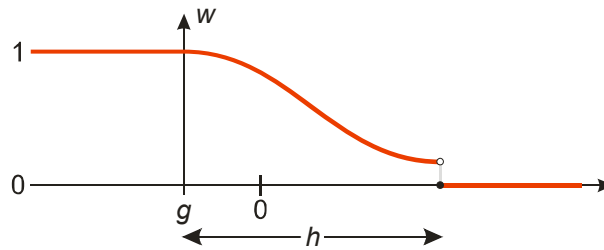
kde σ_0 odpovídá odhadované přesnosti určení výšek bodů (předpokládá se, že je pro všechny body stejná).

Váhy w_i se určují iterativně. Na začátku jsou všechny váhy stejné ($w_i = 1$), tj. všechny body mají stejný vliv na výsledný povrch. V dalších iteracích se počítá rozdíl výšek r bodu a tohoto povrchu a na základě tohoto rozdílu (reziduí) se určují nové váhy w následovně s využitím tzv. Bellovy křivky (viz obr. 32):

$$w(r) = \frac{1}{1 + (a[r-g])^b},$$

kde g je hodnota posunu, kterou lze automaticky určit z hodnot r , a parametry a a b ovlivňují, jak rychle tato funkce klesá k 0. Funkce přiřazuje bodům s velkou kladnou odchylkou r od dosud zinterpolovaného povrchu malé váhy (bod je příliš vysoko nad spočteným povrchem, bude tedy spíše mimoterénní), bodům se zápornou odchylkou od tohoto povrchu naopak váhy větší. Je-li bod vzdálen více než je předem daná mez h , bude jeho váha rovna 0. V praxi jsou tyto hodnoty nastaveny například tak, že $a = b = 2$ a $h = 5$, což znamená, že body ležící 0,5 m nad dosud

vytvořeným povrchem budou mít váhu 0,5 a body výše než 5 m nad ním dostanou váhu 0 a v další iteraci na jeho průběh již nemají vliv.



Obr. 32. Váhová funkce použitá při robustní interpolaci.
Vysvětlení v textu.

Zdroj: upraveno podle Shan & Toth (2009).

Celý postup interpolace povrchu – určení nových vah – interpolace povrchu se opakuje. Interpolovaný povrch tak postupně „klesá“ k terénním bodům. Body, které mají na konci dostatečně velkou váhu, jsou označeny jako body terénní. Uvedený postup je rutinně prakticky využíván, je například součástí softwaru SCOP++.

Jak bylo uvedeno výše, v obvyklém případě mají na začátku všechny body stejnou váhu. V tomto experimentu byly ovšem iniciální váhy nastaveny různé, a to s využitím výše popsaných informací. Nejprve byl podobně jako v kapitole 2.5.3 vytvořen povrch na základě bodů z dat ZÚ klasifikovaných jako terénní, následně byla pro všechny body spočítaná výšková odchylka r a pak nastaveny váhy w podle vztahu uvedeného výše. Na tento iniciální povrch lze pohlížet jako na povrch spočítaný v přechodném kroku robustní interpolace. Výchozí váhy byly před dalšími výpočty upraveny následovně:

$$w = w + p_g^2 / factor - p_v^2 / 2,$$

kde w je původní váha, p_g je pravděpodobnost, že je daný bod je na základě hodnoty C terénní a p_v je pravděpodobnost, že odraz je od vegetace (spočítané podle vztahů uvedených výše) a $factor$ je hodnota 1 v případě, že daný bod má nastavený příznak polohy na skalním povrchu (na základě klasifikovaného ortofota), jinak má hodnotu 2. Uvedený vztah říká, že původní váha nastavená pomocí geometrického kritéria může být zvýšená nejvýše o 0,5 (resp. o 1 v případě, že jde o odraz od skalního povrchu) a snížena nejvýše o 0,5. Tento fakt odráží skutečnost, že geometrické kritérium je při klasifikaci relevantnější než doplňkové informace o pulzu. Vzorec může být snadno upraven podle toho, jaký se připustí poměr významnosti této informace. Idea celého přístupu je taková, že se zvýší váhy těm bodům, které se statisticky jeví jako terénní a sníží těm bodům, které statisticky vypadají jako odrazy od vegetace. To posune interpolovaný povrch v uvedených místech směrem nahoru nebo dolů a další iterace tento trend buď potvrdí (je-li v okolí bodů dost), nebo zamítnou. To je také důvod, proč se úprava vah dělá pouze jednou na začátku celého výpočtu, aby celý proces mohl konvergovat ve smyslu, že interpolovaný povrch neosciluje.

Navržený postup byl aplikován na stejné území jako v kapitole 2.5.3, prakticky proběhl pouze nad jeho větší částí. Zpracování probíhalo po překrývajících se územních jednotkách o velikosti $10 \times 10 \text{ m}^2$, kterých bylo celkem 2808. Výpočet došel do úspěšného konce v 2577 z nich. Hlavním problémem se ukázalo poměrně obtížné určení parametrů kovarianční funkce a Bellovy křivky použitých při výpočtu, které se počítají na základě dat. Na úspěšně zpracovaném území je výsledek vizuálně podobný tomu z předchozí kapitoly, zachyceném na obr. 28 vpravo. Ten totiž vznikl doplněním míst s chybějícími body na základě DMR TUD, pro jehož tvorbu byla použita rovněž robustní interpolace. Popsaný postup také „odhalil“ navíc body z dat ZÚ, které byly klasifikovány jako vegetace a ve skutečnosti jsou terénní. To je v tomto konkrétním případě způsobeno pořízením

dat ve vegetačním období, díky čemuž je obtížné řídcce navzorkovaný terén pod vegetací správně interpretovat. Relativně málo odrazů od terénu v datech ZÚ také způsobilo, že byly odfiltrovány velké balvany (o velikosti i výšce v řádu vyšších jednotek metrů) ukryté pod vegetací, vyskytující se v údolí v severovýchodní části řešeného území. Odrazů od nich bylo v datech ZÚ málo a charakteristika C tohoto malého množství bodů nedokázala přispět k tomu, aby se iniciální povrch úpravou vah zvedl dostatečně a díky okolním bodům zůstal neodfiltrován. O něco lepší situace byla na krajích plošin, ale extrémní výškové rozdíly stěn ve srovnání se vzorkováním bodů a zejména převisy vedou k tomu, že dojde k chybnému označení bodů na jejich okrajích za mimoterénní.

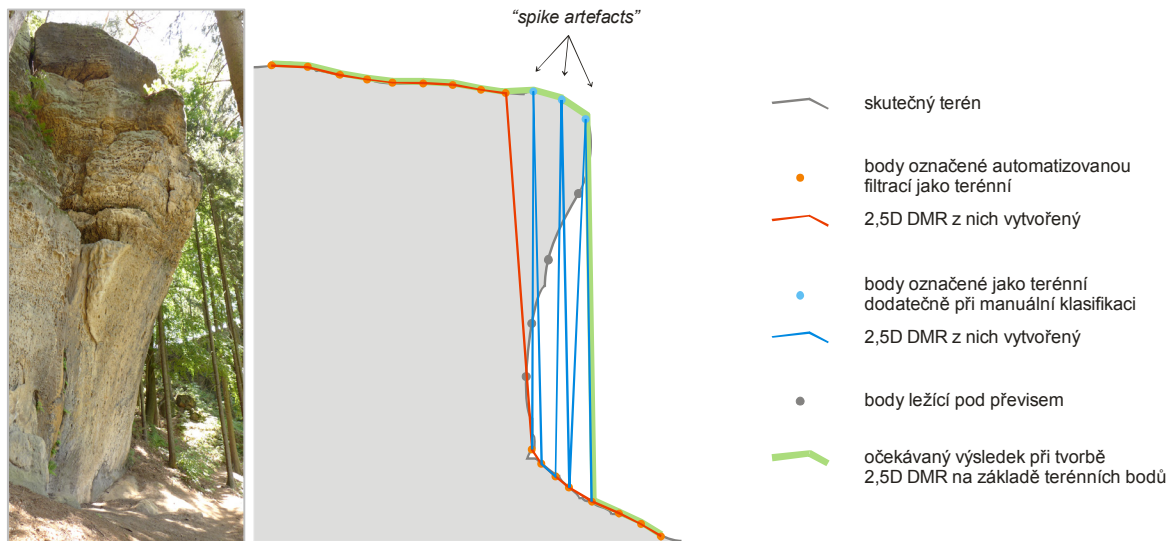
Ač dosažené výsledky z uvedených důvodů nejsou příliš přesvědčivé (postup je pracnější a má srovnatelné výsledky s tím uvedeným v kapitole 2.5.3), jeho nespornou výhodou je, že se na rozdíl od předchozího dokáže vypořádat s chybami v manuální klasifikaci bodového mračka a také využívá doplňkové informace o odrazu v robustnější podobě (ve srovnání s postupem uvedeným v kapitole 2.5.2). Dokáže se také jednoduše vypořádat s místy, kde je manuálně klasifikované bodové mračno řídké. Popsaná idea adaptace vah/mezí je použitelná i na jiné postupy filtrace dat LLS než je robustní interpolace, které pracují s porovnáním bodu a povrchu, např. na algoritmy typu *progressive densification* (viz Shan & Toth, 2009), kde doplňkové informace mohou dynamicky měnit prahové hodnoty, jimiž se řídí klasifikace bodu na terénní. Pro relevantní použití obrazové informace způsobem, který je popsán v experimentu, je nutná velmi precizní ortorektifikace (ideálně s využitím přímo těch dat, která jsou zpracovávána), protože bez ní mohou být výsledky iniciálního nastavení vah zavádějící.

Nevýhodou uvedeného postupu je jeho výpočetní náročnost a složitost z pohledu implementace, protože se autorovi nepodařilo v době zpracování experimentu nikde dohledat software na robustní interpolaci, kterému by bylo možné jako parametr zadat předem nastavené váhy. Za zvážení by stála rovněž dynamická úprava parametrů lineární predikce v závislosti na lokálním charakteru terénu (vysoká stěna vs. zalesněný svah). Největší problém z hlediska dosaženého výsledku představuje klasifikace v oblasti převisů, které je věnována samostatná kapitola 2.5.5.

2.5.5 Řešení převisů

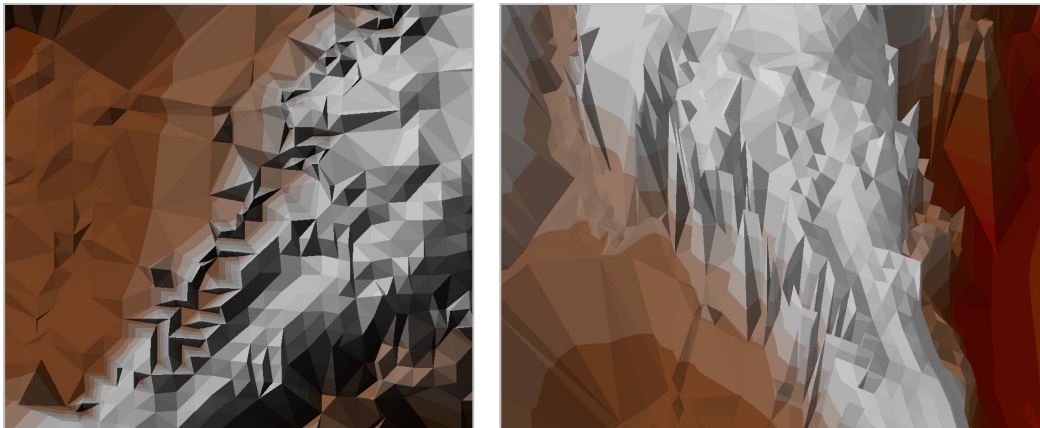
Zajímavý problém při přesném modelování skalního terénu způsobují převisy. Ty jsou obvykle v datech zachyceny zejména v situaci, kdy převislá skalní stěna je orientována rovnoběžně se směrem letu. Výsledkem automatizovaného zpracování převisů je s ohledem na principy filtračních algoritmů odstranění bodů z okraje plošiny (viz obr. 33, body a DMR označené červeně). Při manuální doklasifikaci bodového mračka lze pak body na okraji plošiny označit jako terénní (viz obr. 33, body označené modře). Tím ovšem komplikace nekončí. Pokud se z terénních bodů vytvoří DMR (například postupem diskutovaným v kapitole 2.2.2), výsledkem jsou charakteristické špičaté artefakty (v anglické literatuře *spike artefacts*) v oblasti převisu (viz obr. 33, DMR označený modře a ukázkou nad reálnými daty na obr. 34). Příčinou jejich vzniku je skutečnost, že triangulace při tvorbě modelu probíhá pouze podle souřadnic x a y . V oblasti převisu jsou smíchány body „nad“ a „pod“ převisem, ležící polohově blízko sebe (ve smyslu rozdílu souřadnic x a y), ale výškově vzdálené, což vede ke vzniku uvedených artefaktů. V 2,5D modelu se tento jev projevuje „rozbitím“ okrajů skalních plošin. Má-li být výsledkem zpracování korektní 2,5D model, je přirozeným řešením ponechat body ležící na okraji plošiny (tj. „nad“ převisem), odstranit body ležící „pod“ převisem a převislou stěnu tak nahradit stěnou kolmou (zelená linie na obr. 33). Při požadavku na výsledný model skály ve 3D, což má smysl spíše pro 3D vizualizaci než

pro topografické mapování, se obvykle používá kombinace LLS s pozemním skenováním (Ruiz et al., 2004).



Obr. 33. K filtraci bodů a tvorbě DMR u převisých stěn. Podrobnější vysvětlení v textu.

Za povšimnutí stojí, že u automatizovaného zpracování problém s artefakty vůbec nevzniká, protože body na kraji plošiny jsou zcela odstraněny. Pro jejich zachování se nabízí několik řešení. Jedno z nich popisují Pack & Blonquist & Carter (2012). Princip celého řešení spočívá v rotaci bodového mračka, tak, aby se převis odstranil, a následné aplikaci standardních filtračních algoritmů. Výsledná klasifikace vzniká kombinací výsledků filtrace původního a rotovaného bodového mračka. Tento způsob řeší filtraci dat, ovšem nikoliv generování 2,5D modelu reliéfu.



Obr. 34. Artefakty v TIN vznikající v oblasti převisů.

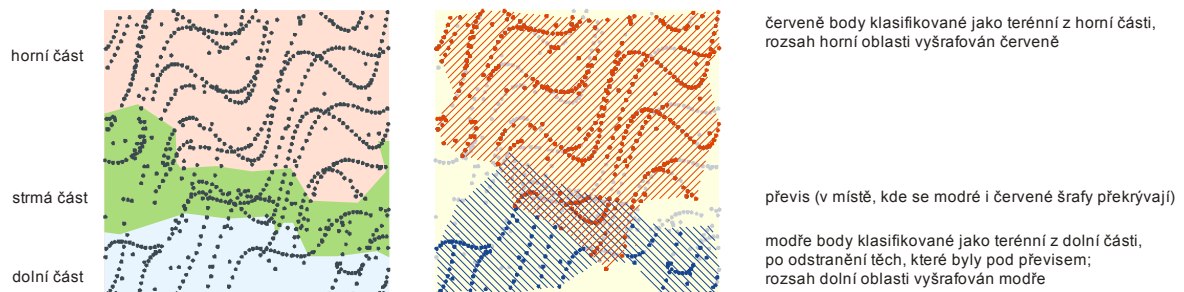
Kolmý pohled (vlevo) a šikmý pohled (vpravo) na TIN vytvořený na základě manuálně klasifikovaného bodového mračka dat ZU. Body jsou klasifikovány správně, výsledné artefakty jsou výsledkem „promíchání“ bodů ležících nahoře na plošině a dole pod převisem. Oblast Pravčické brány. Podrobnější vysvětlení v textu.
Data DMR: DMR 5G, © ČÚZK, 2016.

Dále bude popsán návrh vlastního postupu, který se pokouší řešit oba problémy najednou, tj. jak zachování okrajů plošin, tak identifikaci bodů ležících pod převisem, které lze následně při tvorbě 2,5D modelu reliéfu ignorovat. Postup je následující: Nejprve se provede standardní filtrace dat, která odstraní okraje plošin. Z takto přefiltrovaných dat se vytvoří DMR ve formě TIN a vyberou se trojúhelníky, které mají sklon větší než je určitá mez. Tato mez je dána hustotou bodového mračka. Sjednocením těchto trojúhelníků následně vzniknou strmé části zahrnující oblasti potenciálních převisů, resp. míst k opravě odfiltrovaných okrajů plošin.

Vlastní zpracování území probíhá po částech. Celá zpracovávaná oblast rozdělena na menší jednotky. Pro názorné vysvětlení celého postupu dále předpokládejme, že do této jednotky zasahuje oblast k opravě tak, že rozděluje jednotku na dvě oddělené oblasti (viz obr. 35 vlevo). Jedna oblast je horní, druhá oblast je dolní (zjistí se snadno například porovnáním mediánu výšek bodů spadajících do dané oblasti). Na jednotku jsou následně aplikovány dvě filtrace následujícím způsobem:

- pro dolní oblast do této filtrace vstupují všechny body polohově spadající do strmé části, označené jako neklasifikované, a dále všechny body z dolní oblasti. Analogicky jako v kapitole 2.5.4 je iniciální povrch nastaven podle bodů z dolní oblasti označených jako terénní. Výsledkem filtrace je, že se terén „rozšíří“ o některé původně neklasifikované body z oblasti potenciálního převisu, s tím, že body ležící vysoko na stěně jsou eliminovány.
- pro horní oblast do této filtrace vstupují všechny body polohově spadající do strmé části, označené jako neklasifikované, a dále všechny body z horní oblasti. Analogicky jako v kapitole 2.5.4 je iniciální povrch nastaven podle bodů z horní oblasti označených jako terénní. Zároveň je při filtraci nastavena podmínka, aby body ležící příliš nízko pod dosud zinterpolovaným povrchem byly označeny jako mimoterénní (to se používá i v praxi pro tzv. hluboké chyby, tj. body ležící zjevně pod povrchem, vznikající např. díky multipath efektu). Tato podmínka garantuje, že filtrace zachová body na okraji plošiny, protože body níže na stěně ignoruje a body pod stěnou do výpočtu vůbec nevstupují. To umožňuje elegantně eliminovat i případnou vegetaci při okrajích plošin. Výsledkem filtrace je, že se terén „rozšíří“ o některé původně neklasifikované body poblíž okrajů plošiny.

Filtraci zachovávající okraje plošin a terén pod převisem lze samozřejmě provést i manuálně; body ležící „nahore“ a „dole“ je ovšem třeba kvůli dalšímu zpracování rozlišit. Výsledkem automatického či ručního postupu jsou terénní body, z nichž je o každém navíc známo, zda pochází z horní nebo dolní oblasti. Tato informace umožní rámcově vymezit převis (samozřejmě s ohledem na jeho zachycení v datech) a zejména vyřešit problém s nežádoucími artefakty ve výsledném modelu, a to tak, že terénní body z dolní oblasti, které leží pod převisem, se při tvorbě DMR nepoužijí. Praktická realizace takového postupu může vypadat například tak, že se vezmou všechny body horní části, které filtrace označila jako terénní a ohraničí se oblast, kterou zabírají. Totéž se udělá pro terénní body z dolní části – tím vznikne dolní oblast (viz obr. 35 vpravo). Oblast, kde se obě části protínají, je daty zachycený rozsah převisu. Z průniku budou následně pro účely tvorby 2,5D modelu terénní body z dolní oblasti odstraněny.



Obr. 35. K vysvětlení navržené metody.

Vlevo rozdělení jednotky pomocí strmé části na část horní a dolní. Vpravo: aplikuje se filtrace zvláště na horní a dolní část, v obou případech se zahrnutím bodů strmé části. Na základě výsledků filtrace se vymezí rozsah terénu „nahore“ a „dole“. Podrobnější vysvětlení v textu.

Vytvoření hranice oblasti na základě bodů není triviální úkol. Lze ho řešit například tak, že se nad body sestrojí triangulace a iterativně se odebírají trojúhelníky ležící na hranici této oblasti, jejichž strana tvořící hranici oblasti je delší než předem daná mez (závisí na požadované míře

generalizace). Tato metoda bývá označována jako *progressive stripping* (Ai & Liu, 2004), podrobněji viz následující kód:

Tvorba ohraničující oblasti bodů

vstup: body P, míra generalizace g (např. v metrech)

výstup: oblast A ohraničující body P s danou mírou generalizace g

K = konvexní obálka bodů P

T = Delauneyova triangulace sestavená nad body P v oblasti K

// T se chápe jako množina trojúhelníků

Tred = T // výchozí výstup jsou trojúhelníky v konvexní obálce

while not finished:

outline = vnější hranice A

C = trojúhelníky z Tred, jejichž strana je identická s částí outline

s = nejdelší ze všech stran všech trojúhelníků v C, která je identická s částí outline

if s.length > g: // délka strany je větší než požadovaná míra generalizace

Tred = T \ trojúhelník, jehož součástí je s

else:

finished = **True**

A = dissolve(Tred) // zbylé trojúhelníky se spojí do výstupní oblasti

Praktická realizace navrženého postupu přináší určité problémy. Byla testována nad stejnými daty jako v kapitole 2.5.4. Iniciální povrch a oblasti potenciálních převisů byly vymezeny z dat ZÚ z bodů označených jako terénní, následné zpravování probíhalo nad sloučenými daty TUD a ZÚ do jednoho bodového mračka. Práh pro vymezení stěn byl zvolen 70°, zpracovávané jednotky měly rozlohu 10×10 m². Klíčovou věcí pro fungování celého postupu je rámcově správné vymezení stěn na základě uvedeného postupu. Jsou-li eliminovány příliš a body na okrajích plošin se nedostanou do oblasti potenciálního převisu, postup nemůže fungovat. Podobně předpoklad o tom, že v každé zpracovávané jednotce je jedna horní a jedna dolní oblast, nemusí být v praxi splněn. Vhodnější je proto rozdělit oblast ke zpracování ne do pravidelné mřížky, ale s ohledem na oblasti potenciálních převisů. Komplikace rovněž nastávají, je-li ve zpracovávané jednotce více stěn nad sebou či je stěna tvarově komplikovaná a vznikne více než jedna oblast ke zpracování. To vede k problémům vyplývajícím z obecně malého počtu bodů v některé z oblastí (to nastává typicky i na vrcholech skalních věží), kdy je iniciální povrch zavádějící nebo kvůli omezenému počtu bodů nelze filtraci vůbec provést. Navržený postup tak do překonání uvedených problémů, o které se autor aktuálně pokouší, zůstává zatím spíše v teoretické rovině.

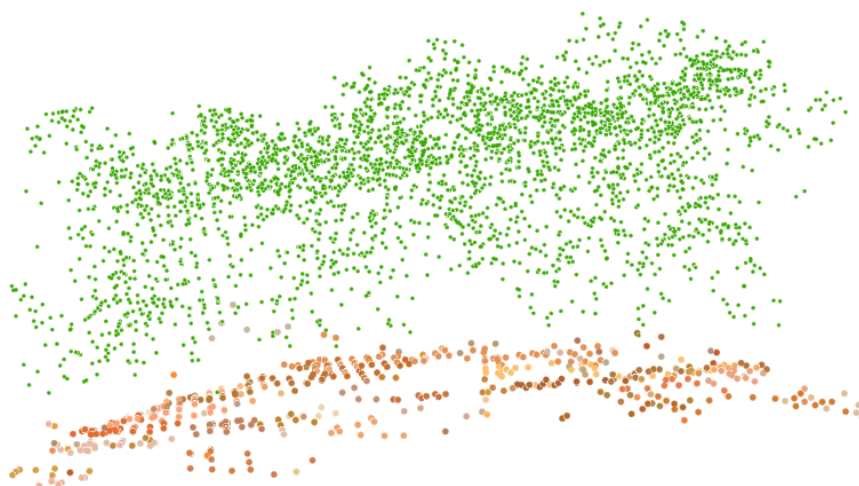
2.5.6 Shlukování

Cílem tohoto experimentu je zjistit, nakolik filtraci může pomoci hledání odrazů s podobnou charakteristikou, u nichž existuje pravděpodobnost, že pocházejí od stejného objektu. Jde o jednoduchou formu lepšího porozumění bodovému mračku, kdy se podobně jako při vizuální interpretaci nepracuje s jednotlivými body, ale jejich skupinami (shluky). Shlukem v laserových datech může být střecha, strom, skalní věž, malá část terénu s konstantní mikrotopografií (tj. sklonem, odrazivostí atd.).

Shluk (*cluster*) je skupina bodů definovaná pomocí kritérií homogenity, která udávají, jaké vlastnosti musí splňovat body, aby patřily do téhož shluku. Filtrace bodového mračka nemusí nutně probíhat tak, že se srovnávají vlastnosti jednoho bodu s jedním či více okolními body. Robustnější řešení představuje použití shluku bodů, čehož využívají segmentačně řízené filtry. Při experimentálním srovnávání různých filtračních algoritmů (Sithole & Vosselman, 2005) bylo

zjištěno, že právě ty metody, které pracují s více body, resp. s povrchem jako celkem, dosahují obecně lepších výsledků než ty, které porovnávají výšky pouze dvou bodů, případně bodu s povrchem.

Stávající postupy segmentace jsou vesměs založeny na geometrických kritériích, tj. příslušnost shluku se určuje na základě souřadnic x , y a z . Snahou tohoto experimentu je do těchto kritérií zavést také šířku a amplitudu. Filtraci dat s využitím šířky a amplitudy způsobem popsáním v kapitolách 2.5.2 a 2.5.4 by bylo tímto způsobem možné vylepšit tak, že by se hodnota C počítala na základě celého shluku a tím by došlo k robustnější eliminaci mimoterénních bodů.



Obr. 36. Ukázka výsledků segmentace bodového mračka.
Hnědě a oranžově segmenty terénu (rozlišené barvou), zeleně segmenty patřící vegetaci.
Zdroj: Poláková (in press).

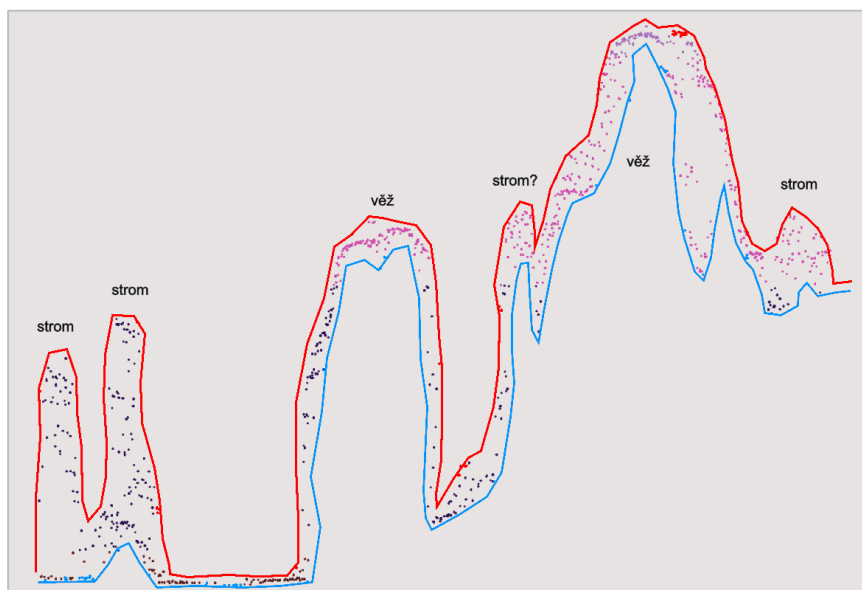
Navržený postup vychází z metody *region growing*. Na začátku není žádný bod přiřazen do žádného shluku. Algoritmus vybere bod, který nepatří do žádného shluku a v prvotní fázi prozkoumá jeho okolí a charakteristiky nejbližších bodů. Pokud se shodují, vytvoří protoshluk, do něhož se postupně přidávají další body z okolí. Podmínka pro přidání bodu z okolí je taková, že jednak splňuje geometrická kritéria (leží poblíž bodů protoshluku) a zároveň jeho šířka a amplituda statisticky odpovídají hodnotám šířky a amplitudy v protoshluku. Míra shody statistického chování je posuzována pomocí Mahalanobisovy vzdálenosti v příznakovém prostoru relativizované šířky a amplitudy, předpokládá tedy normální rozdělení charakteristik v rámci shluku. Celý postup je podrobně popsán a analyzován v rozpracované diplomové práci (Poláková, in press), jejíž vedoucím je autor. Relevantní výsledky testování pro podrobné hodnocení navržené metody v době dokončování dizertační práce zatím nebyly k dispozici.

2.5.7 Objektově orientovaná klasifikace

Rozšířením postupu z předchozí kapitoly je postup snažící se simulovat proces probíhající při manuální klasifikaci bodového mračka. V ideálním případě lze totiž z 3D vizualizace či řezu dostatečně hustým (!) bodovým mračnem z pískovcové oblasti rozpoznat skalní věž a strom díky jejich struktuře, přestože se vnějším tvarem velmi podobají. Body získané odrazem od skalní věže tvoří „dutý“ výstupek, protože se odrazy z principiálních důvodů nemohou dostat „dovnitř“ objektu. Na rozdíl od toho strom je charakterizovaný body rozptýlenými nepravidelně od terénu po vrcholk stromu, protože odrazy pocházejí od jednotlivých větví a listů nebo jehlic, v ideálním případě i těch uvnitř koruny. Pro realizaci této myšlenky bude využita interpolace v podobě vhodných funkcí (typu spline s tenzí), která hrubě aproximuje povrch bodového mračka tak, aby

kopírovala vnější tvar stromů nebo skalních věží. Bude použita shora i zespodu. Díky tomu by mělo být možné odlišit skalní věže, které budou tvořit výstupek při pohledu shora i zespodu, od stromů, které sice také budou vypadat jako výstupek seshora, ale zespodu by měly být přibližně rovinou, protože nejsou „duté“, viz obr. 37. Lokální minima interpolovaného povrchu od sebe budou oddělovat jednotlivé objekty. Jde tedy o odlišný charakter vymezení objektů než v kapitole 2.5.6. Uvnitř jednotlivých objektů bude bodové mračno dále analyzováno, aby bylo možné zjistit, zda jde spíše o věž či o strom.

Prvotní analýza ukázala, že obtíže jistě nastanou všude tam, kde situace nebude odpovídat ideálnímu příkladu popsanému výše. V pískovcových skalních městech roste vegetace i přímo ze skalních výstupků, čímž se obě možnosti výsledku interpolace spojí. Skalní výstupky bývají různého tvaru, stejně tak vegetace může být velmi hustá a v takovém případě nebude snadné stanovit parametry pro to, kdy je již výstupek interpolovaného spodního povrchu dostatečně výrazný a indikuje přítomnost skalního útvaru. Velmi obtížně řešitelný problém také nastane, když strom a skalní věž budou natolik blízko u sebe, že interpolace mezi nimi nevytvoří minimum, kterým by byly od sebe oddělitelné. Podobně bude obtížné rozlišit mezi rozpukanou věží, kde se odrazy dostanou „dovnitř“ objektu a vegetací. Rozlišení vegetace a skalních objektů bude dále využívat doplňkové informace o pulzu podobným způsobem jako v kapitole 2.5.2 a případně také informace o příslušnosti těchto odrazů ke shlukům.



Obr. 37. K ilustraci objektově orientované klasifikace.

Na obrázku zachycen profil daty LLS, modře, resp. červeně naznačeny interpolované povrchy zdola a shora. S ohledem na prostorovou distribuci bodů objekty omezenými lokálními minimy aproximačních funkcí lze usuzovat, zda jde o skalní věž nebo strom. Interpolace bude dvourozměrná, což by mělo umožnit lépe řešit případy, kdy z profilu není úplně zřejmé, o jaký typ objektu se jedná.

Data LLS: © ČÚZK, 2013.

Uvedený postup je aktuálně rozpracováván v diplomové práci M. Tomkové (in press), vedené autorem předkládané dizertace. Důležitým předpokladem pro fungování uvedené metody je hustota bodového mračna. Bylo prakticky ověřeno, že experimentální datová sada dat ZÚ pořízených v oblasti Adršpašských a Teplických skal splňuje alespoň pro věže vyčnívající nad vegetací nutnou podmínku rozlišitelnosti vegetace a věží vizuální interpretací (na rozdíl od standardních dat ZÚ, viz též obr. 20 na str. 45), tudíž nabízí i potenciál pro praktickou aplikaci navrženého postupu.

2.6 Diskuze a závěry ke skalám a laserovému skenování

Provedené experimenty potvrdily, že filtrace dat LLS v zalesněném a členitém reliéfu pískovcových skalních měst je velmi obtížný úkol, který nemá jednoduché řešení. Nutnou podmínkou pro jeho úspěšné vyřešení je dostatečně velká hustota bodového mračna. To platí i v případě manuální klasifikace, protože hustota standardních dat ZÚ (a zvláště těch, které byly pořízeny ve vegetačním období) v členitém terénu nepředstavuje dostatečné vzorkování použitelné pro spolehlivou vizuální interpretaci. Autor této práce porovnával výsledky jinak velmi precizní manuální klasifikace bodového mračna prováděné zkušenými operátory ZÚ (resp. VGHMÚŘ) s realitou přímo v terénu a zanedbání skalních objektů o rozměrech v řádu vyšších metrů bylo poměrně běžným jevem, zvláště v situaci, kdy jsou objekty skryté pod vegetací. To potvrdily i další nezávislé kontroly (viz dále v kapitole 3.4.5). V situaci, kdy ani vizuální interpretaci nelze odlišit, zda jde o strom nebo skalní věž, je jakákoliv automatizace takového postupu založená na geometrii bodů principiálně nemožná. Jakkoliv doplňkové informace mohou s případnou klasifikací pomoci, musela by v tomto případě na ně klasifikace zcela spoléhat. Výše popsané experimenty ukazují, že pro to zase doplňkové informace nejsou dostatečně spolehlivé, tedy alespoň ne v té podobě, v jaké byly použity ve zmíněných experimentech.

Reálné řešení tohoto problému představuje nasnímání členitých pískovcových skalních oblastí tak, aby byla dosažena vyšší hustota bodového mračna. Experimentální data z oblastí Adršpašských a Teplických skal jednoznačně potvrzují, že zvýšení hustoty přináší minimálně z pohledu možností vizuální interpretace dat značné vylepšení. Provést takové snímání má smysl za ideálních podmínek, tedy na jaře v předvegetačním období nebo na podzim po opadu listů. Výhodou také je, že v uvedených oblastech nedochází k přílišným změnám reliéfu. Všechna pořízená data lze tudíž „slít“ dohromady a hustotu bodového mračna tím zvýšit. V případě uvedeného Adršpachu ležícího shodou okolností na hranici mezi pásmy skenování střed a východ to znamená hustotu $2 \times 1,5$ bodu/m² (ze standardního skenování) + 4,5 bodu/m² (z experimentálního skenování), což už se začíná blížit hustotě bodového mračna dat TUD, která byla cílena na pískovcový reliéf. Nezanedbatelnou výhodou z tohoto pohledu je také rovnoměrnější prostorové uspořádání bodů dat ZÚ oproti datům TUD. V kapitolách 2.5.3 a 2.5.4 diskutovaný postup umožní navíc využít již investovaný čas do manuální klasifikace bodového mračna.

Co se týká ideální hustoty bodového mračna pro zachycení pískovcových skal, záleží na tom, k jakému účelu má být výsledný model použitelný, resp. jaké možnosti získání informací od něj očekáváme. Pro další úvahy předpokládejme, že hlavním účelem pořízení dat bude tvorba podrobného DMR a následné odvozování topografických informací v měřítku 1 : 5000, případně i mírně větším. O reprezentaci skal v digitálních topografických databázích bude rozsáhle pojednáno v sekci 3, kde jsou diskutovány i otázky generalizace a míry zachycení podrobností. Ideální hodnotu pro lokální skenování členitých pískovcových skal lze pak na základě zkušeností z dat TUD a na základě experimentálních dat z oblastí Adršpašských a Teplických skal odhadnout na alespoň 10 bodů/m². Této hodnoty by bylo žádoucí dosáhnout i u většiny oblastí pod vegetací. Jako velmi důležité se ukazuje skenování z různých směrů, aby se zvýšila pravděpodobnost, že svazky laserových paprsků proniknou na dno úzkých roklí. Tím se dostane (spolu s daty pořízenými v rámci standardního skenování) hodnota s daty TUD porovnatelnou či mírně lepší (střední hustota bodů posledního odrazu TUD je přes 8 bodů na m²). Navržené hodnotě odpovídá střední vzdálenost bodů mezi 25 a 30 cm, což už umožňuje objekty o velikosti v řádu metrů relativně spolehlivě identifikovat. Zároveň objem naskenovaných dat není úplně enormní. Návrh představuje o něco více než dvojnásobek hustoty stávajících experimentálních dat z oblastí Adršpašských a Teplických skal. Tento požadavek je zde z důvodů zlepšení zachycení topografie pod vegetací,

kteřou lze sice rozlišit podstatně lépe než v případě standardních dat, ale rozhodně ne vždy úplně spolehlivě.

S touto a velmi pravděpodobně ani s větší hustotou tak nelze všude dosáhnout podrobnosti teoreticky dosažitelné terénním průzkumem, protože skály se snímají shora a terén dole pod nimi je s ohledem na převisy, úzké, ale potenciálně průchodné pukliny atd. nezachytitelný (viz závěr kapitoly 1.5.1). Jednoznačné řešení všech těchto speciálních situací neumožňuje ani podrobný model vytvořený z dat TUD. I v něm existují situace, kdy odpověď na otázku „lze tudy projít?“ je možná pouze s určitou pravděpodobností. Zvýšení hustoty bodového mračna lze chápat jako způsob, jak pravděpodobnost správné odpovědi na tuto otázku zvýšit, resp. jak snížit počet nejednoznačných situací. Je věcí návrhu topografické databáze, aby uměla informaci zjištěnou terénním průzkumem doplnit/zachytit.

Při zvýšení hustoty bodového mračna se ještě zvětší problém s převisy, diskutovaný v kapitole 2.5.5. Tento problém bude třeba při tvorbě podrobného a spolehlivého DMR skalních oblastí řešit, a to nezávisle na tom, zda bude klasifikace dat provedena automaticky či nikoliv. Možné postupy jsou navrženy v kapitole 2.5.5.

Reálné zlepšení spolehlivosti filtrace, resp. klasifikace členitého terénu pískovcových skalních měst nad hustým bodovým mračnem by alespoň v případě výrazných skalních věží mohl přinést postup popsáný v kapitole 2.5.7, vedoucí k segmentaci na jednotlivé objekty, v kombinaci s manuálním zpracováním objektů, které z něj vyjdou jako sporné a s manuálním dořešením dalších jevů, které v oblastech jsou (zástavba, přístřešky apod.). Při tom lze využít informaci o stávající manuálně provedené klasifikaci bodového mračna. Doplnkové informace o pulsu v tomto procesu sehrají pravděpodobně jen vedlejší roli – pokud menší velikost stopy na povrchu nepřinese také lepší využitelnost těchto informací pro klasifikaci. Na základě popsáných experimentů je ale autor této práce poměrně skeptický k využití doplňkových informací jako jsou šířka a amplituda jiným způsobem než jako k pravděpodobnostnímu doplnku celého řešení.

S ohledem na lokální charakter výskytu skalních útvarů (vyjma nejrozsáhlejších skalních oblastí) si lze navíc lokální „dosnímání“ s vyšší hustotou bodového mračna v budoucnu představit například i s využitím systému dálkově řízeného letadla (anglicky RPAS – *remotely piloted aircraft system*, též UAV – *unmanned aerial vehicle*), tedy technologie běžně a nepřesně označované jako dron. Tato technologie je ideální pro pořízení dat liniového charakteru, což pískovcové skály lemující okraje plošin obvykle jsou. Lze nasnímat pouze vybrané sporné oblasti (klidně i s větší hustotou bodového mračna) a navíc lze směr snímání lépe optimalizovat podle lokálního rozčlenění skal např. tak, aby byly lépe proskenovány pukliny a rozsedliny. Tuto variantu si lze představit jako určitý kompromis mezi leteckým skenováním a lokálním terénním průzkumem, která je levnější (jak z pohledu pořízení zařízení, tak z pohledu provozu), ale zároveň značně produktivnější než tradiční mapování v terénu.

Projekt mapování nového výškopisu a produkty z něj odvozené znamenají značný skok ve zvýšení kvality výškopisných dat plošně dostupných pro území celé republiky, které již mají nebo budou mít významný dopad na řadu oborů lidské činnosti. Zároveň se ukazuje, že pro některá území a obory lidské činnosti je míra podrobnosti této informace i tak nedostačující. Typickým příkladem je modelování záplav v rovinatých zastavěných oblastech. Spolehlivé zmapování pískovcových skalních měst do této kategorie patří také a představuje tak prostor, kde lze ještě kvalitu výškopisu v budoucnu smysluplně vylepšovat.

Inovativnost výsledků a autorův přínos pro obor

Inovativnost této části práce podle autorova názoru spočívá především v poměrně úzkém zaměření na zalesněný reliéf pískovcových skalních měst, tedy problematiku řešenou v existující literatuře jen výjimečně z důvodu značné „exotičnosti“ tohoto typu reliéfu, který ale přináší velmi specifické problémy. Za poměrně cennou považuje autor i analýzu problémů a přístupů ke zpracování dat v tomto reliéfu, která se opírá jak o práci s daty, tak o jeho zkušenosti z terénu. Rovněž popisované experimenty podle autorova názoru splňují nebo v době svého vzniku splňovaly podmínku na relativní novost nebo originalitu. Z nich za nejvýznamnější lze považovat postup popsany v kapitole 2.5.4, který robustním způsobem kombinuje různé datové zdroje, a problematiku převisů, která je ve stávajících pracích řešena pouze velmi okrajově (kapitola 2.5.5).

3 Skály a digitální topografické databáze

Digitální prostorové databáze představují v současné době dominantní způsob reprezentace prostorových dat (Longley et al., 2015). Zachycují jednotlivé objekty (jevy) vyskytující se v reálném světě, typicky ve vektorové podobě, a u každého objektu evidují geometrickou a atributovou složku dat. Geometrická složka nese informace o poloze a tvaru objektu, atributová pak další neprostorové informace, které se objektu týkají. Stejně nebo podobné jevy jsou uloženy pohromadě v rámci jednotlivých typů objektů. Návrh struktury databáze pak znamená specifikovat typy objektů, jejich geometrii a atributy, a jejich vztah k jevům reálného světa. Z pohledu praxe je důležité také vyřešit způsob získání geometrie a atributů objektů.

Specifickou vlastností digitální topografické databáze je (podobně jako u topografické mapy) podrobný, úplný a nespécializovaný popis základních jevů vyskytujících se v krajině. Objekty zachycené v digitální topografické databázi popisující určité území se označují jako digitální model krajiny (*digital landscape model*), též digitální model území. Taková databáze mívá široké uplatnění, k těm hlavním patří prostorové analýzy a vizualizace, k nimž lze počítat i tvorbu kartografických děl. Vytvoření a zejména následná údržba spočívající v aktualizaci a doplňování či zpřesňování obsahu databáze je časově náročný úkol, zvláště pro rozsáhlejší území. V praxi proto podrobné topografické databáze spravují národní mapovací agentury (též národní kartografické služby, v dalším textu se dále bude používat první z těchto pojmů), které evidují polohu (geometrii) a základní atributy objektů. Tato data slouží následně dalším uživatelům, kteří si na jednotlivé objekty mohou navázat svá podrobnější tematická data.

Digitální topografické databáze významnou měrou přispěly k výraznějšímu oddělení role topografa a kartografa v procesu začínajícím sběrem dat v terénu a končícím vydáním topografické mapy. Role topografa spočívá ve sběru informací o jednotlivých objektech reálného světa a jejich zpracování do podoby záznamu v databázi. Kartograf pak z této databáze vychází a na jejím základě vytváří kartografické dílo. Toho rozdělení, které je v současné praxi běžným jevem, se drží i předkládaná dizertace.

Tato sekce se zabývá skalními útvary právě ve vztahu k digitálním topografickým databázím; kartografii je pak věnována následující sekce 4. Základní motivací je snaha o relevantní zachycení informací o skalním terénu zejména s využitím dat LLS a navíc v takové podobě, aby tyto informace byly využitelné pro co nejširší spektrum úkolů. Na úvod je popsán současný stav reprezentace skal v českých digitálních topografických databázích s důrazem na ZABAGED, jeho nedostatky ve vztahu k datům LLS a historické souvislosti, které tyto nedostatky vysvětlují. Další část práce analyzuje existující přístupy k této problematice v zahraničí, a to jak v jednotlivých státech, tak v globálních databázích. Následně jsou představeny další doplňkové zdroje dat vhodné pro mapování skalních útvarů v podmínkách Česka. Hlavní částí této sekce je pak obecný návrh reprezentace informací o skalách v digitální topografické databázi, vhodný pro české prostředí (tedy s důrazem na pískovcová skalní města), jehož součástí je podrobný popis jednotlivých typů objektů, jejich atributů a způsobů získání geometrie a atributů těchto objektů. Přehled je doplněn obecným návodem na zpracování komplikovaného skalního terénu a ilustrován na konkrétních typových příkladech. Součástí textu je také diskuze možností automatizovaného a semiautomatizovaného získání popisovaných objektů, zejména z údajů odvozených z dat LLS. Navržená metodika byla prakticky otestována na modelových územích; část práce se proto věnuje hodnocení dosažených výsledků, jejich možnostem, limitům a doporučením z hlediska praktické tvorby. Součástí této sekce je také kapitola věnovaná geografickému názvosloví skal, které do problematiky digitálních topografických databází rovněž patří. Diskutován je současný stav

názvosloví skal a zejména možnosti jeho rozvoje s využitím informací z horolezeckých databází a průvodců.

3.1 **Současný stav a historický vývoj v Česku**

V této kapitole bude popsána reprezentace skalních útvarů a s nimi bezprostředně souvisejících jevů v nejvýznamnějších a nejpodrobnějších českých digitálních topografických databázích ZABAGED a DMÚ 25. S ohledem na dostupnost informací o těchto databázích a fakt, že ZABAGED reprezentuje informace podrobněji, se převážná část textu věnuje právě této databázi. Důraz je kladen na vysvětlení současného stavu v historických souvislostech. Součástí kapitoly je rovněž analýza a hodnocení stávající podoby reprezentace skal ve vztahu k LLS, a shrnutí existujících návrhů týkající se vylepšení jejich reprezentace v ZABAGED v této souvislosti. Uvedené informace tvoří podklad pro návrh vlastních typů objektů pro reprezentaci skalních útvarů dále v kapitole 3.4.

3.1.1 **Skály a související jevy v ZABAGED: současný stav**

Databáze ZABAGED (akronym Základní báze geografických dat) je digitální geografický model území České republiky, který je spravován ZÚ (ČÚZK, 2015a). Jde o nejpodrobnější digitální topografickou databázi s celorepublikovým pokrytím, mírou podrobnosti původně odpovídající měřítku 1 : 10 000, dnes u řady objektů i měřítku většímu. Obsah ZABAGED tvoří 116 základních typů geografických objektů členěných do osmi tematických kategorií a více než 350 typů popisných atributů. Objekty v ZABAGED jsou pravidelně celoplošně aktualizovány s využitím fotogrammetrických metod a terénního místního šetření. Vybrané typy objektů jsou aktualizovány průběžně ve spolupráci s primárními správci těchto dat.

V dalším textu budou popsány vybrané typy objektů databáze ZABAGED. S ohledem na zaměření této práce nás dále budou zajímat podrobněji typy objektů z kategorie Terénní reliéf. Těch je v databázi celkem 13; z pohledu skal jsou nejdůležitější *Skalní úvary*, *Osamělý balvan*, *skála*, *skalní suk*, částečně s nimi souvisí také objekty typu *Skupina balvanů* a pouze okrajově *Sesuv půdy*, *suť*, *Kótovaný bod* a *Vrstevnice*. V případě vrstevnic jde formálně o celkem 3 typy objektů zahrnující vrstevnice základní, zdůrazněné, doplňkové, každou jako samostatný typ. V této kapitole budou uvedeny definice jednotlivých objektů podle Katalogu objektů ZABAGED (ČÚZK, 2015a; dále v textu této kapitoly jen Katalog), jejich doplnění podle dokumentu Upřesnění objektů ZABAGED (dále v textu této kapitoly jen Upřesnění) a budou k nim přidány další obecné postřehy vycházející z jejich praktického používání. V následující kapitole 3.1.2 budou podrobně popsány historické souvislosti, které vysvětlují, jak se k současnému stavu objektů souvisejících se skalami dospělo. V další kapitole 3.1.3 jsou pak popsány problémy a nedostatky stávajícího řešení, které poslouží jako odrazový můstek pro návrh možných vylepšení.

Skalní úvary definuje Katalog jako obecné označení tvarů reliéfu tvořených skalními horninami. Jde o plošný objekt; při vektorizaci vymezený uzavřenou obvodovou linií. Krom jednoznačného identifikátoru má objekt jediný další atribut, a to jméno převzaté z databáze Geonames. Většina objektů tohoto typu vznikla vektorizací ZM 10 a některé byly aktualizovány s využitím leteckých měřických snímků, ortofot a šetření v terénu. To platí ostatně i pro všechny typy objektů, které budou v této kapitole řešeny podrobněji. Upřesnění dodává, že ke skalním útvarům se počítají i žebra (úzké ostré skalní hřebítka na svahu nebo vrcholové části hory či horského hřebene) a skalnaté srázy. Sousední skalní úvary se nesmí překrývat. Zachycují se objekty s plochou větší než 1000 m². V případě, že objekt má charakter skalního útvaru (tedy nikoli izolovaného objektu náležejícího k typu objektu *Osamělý balvan*, *skála*, *skalní suk* – viz dále),

zařadí se ke skalním útvarům, i když dosahuje poněkud menší plochy než 1000 m². Těchto menších objektů je nicméně v databázi poměrně hodně, a to zejména z historických důvodů (viz dále v kapitole 3.1.2). Výběr statistik a zajímavostí o objektech tohoto typu v ZABAGED je v rámečku Box 4: Statistické údaje o objektech typu Skalní útvary z databáze ZABAGED.

Box 4: Statistické údaje o objektech typu Skalní útvary z databáze ZABAGED

(stav na začátku ledna 2016)

celkový počet objektů: 40 053

celková plocha všech objektů: 99,25 km²

plošně největší skalní útvary*:

název	rozloha (m ²)	typ**
úbočí Šišáku (SV od Kraslic)	268 000	omyl***
kar Plešného jezera	175 200	horský ledovcový reliéf
Bořeň	172 800	sopečný reliéf
Moránské skály (u Řeže)	165 300	zahloubené říční údolí
Broumovské stěny (Hájkova rokle)	141 500	pískovcový reliéf
Teplické skály (U Vodopádu – pravý břeh)	125 100	pískovcový reliéf
Broumovské stěny (Modrý kámen a Ovčín)	118 700	pískovcový reliéf
Teplické skály (U Vodopádu – levý břeh)	113 800	pískovcový reliéf
Adršpašské skály (nad Černým jezírkem a nad Spáleným mlýnem)	111 300	pískovcový reliéf
Sněžka (JZ svah)	109 000	horský ledovcový reliéf
Křížový vrch	107 300	pískovcový reliéf

* – v přehledu jsou uvedeny všechny objekty, jejichž plocha je větší než 100 000 m². Jedná se o plochu průmětu půdorysu skalního útvaru do vodorovné roviny, skutečná plocha povrchu skalního útvaru je proto větší.

** – podle údajů v kapitole 1.5.4

*** – tento objekt by v databázi neměl být vůbec, obecně vysvětlení viz kapitolu 3.4.1, část Roztroušené skály a balvany

plošně nejmenší skalní útvar: 3,81 m²

počet objektů s plochou menších než 100 m² (tj. méně než 1 mm² na ZM 10): 458

Tyto objekty vznikly nesprávnou generalizací při vektorizaci šraf na analogové ZM 10 při prvotní tvorbě obsahu ZABAGED, viz kapitolu 3.1.2 a příklad na obr. 40 vpravo na str. 80.

počet objektů menších než 1000 m² (standardní hranice pro zachycení): 15 015 (tj. přes 37 %)

počet pojmenovaných objektů: 348 (tj. 0,9 %)

Objekty typu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* jsou bodové. Katalog definuje jednotlivé podkategorie objektů následovně:

- osamělý balvan – izolovaný úlomek horniny větších rozměrů odloučený od skalního útvaru a přemístěný gravitací, vodou, apod.
- osamělá skála – izolovaný, málo rozlehlý skalní útvar, který výrazně vyčnívá nad okolní povrch, vzniklý procesy zvětrávání a odnosu horniny, ústupem protilehlých svahů nebo vypreparováním odolnějších hornin.
- skalní suk – vyvýšenina různého tvaru a velikosti vyčnívající izolovaně nad okolním níže položeným povrchem, tvořená odolnějšími skalními horninami než je okolní povrch.

Rozlišování zejména mezi druhou a třetí kategorií by mohlo být poměrně obtížné. V praxi s tím ovšem žádné potíže nejsou, protože se jednotlivé podkategorie v rámci tohoto objektu nerozlišují. Krom jednoznačného identifikátoru má objekt jediný další atribut, a to jméno převzaté z databáze Geonames (vyplněno je zhruba u 2 % objektů). Obecně se objekt používá pro výraznější skalní výchozy a větší balvany vyšší než 1 m, které ale nedosahují dostatečné rozlohy na to, aby byly zachyceny jako plošný objekt typu *Skalní útvary*. Komplikovaný název tohoto typu objektu má historické důvody, viz dále v kapitole 3.1.2.

Objekty typu *Skupina balvanů* mohou být bodové nebo liniové. Katalog je definuje jako nahromadění několika velkých balvanů nebo bloků na jednom místě nebo v řadě. Krom jednoznačného identifikátoru má objekt jediný další atribut, a to jméno převzaté z databáze Geonames. Upřesnění dodává, že jde o objekty s plochou menší než 1000 m²; liniové objekty by měly být delší než 100 m. Tento typ objektu v sobě v praxi (na rozdíl od předchozích) zahrnuje jak přírodní, tak umělé objekty. Zejména v případě liniových objektů jde převážně o tzv. kamenné snosy, tj. kamenné akumulace antropogenního původu, jako jsou agrární valy či terasy, vzniklé vysbíráním a narovnáním pevných horninových úlomků ze zemědělské půdy (viz např. Jebavá & Lysák & Kupková, 2016). Bodové objekty představují převážně prvky přírodního původu, ale mohou být i původu antropogenního (agrární haldy). Ač to Katalog explicitně neuvádí, rozdíl mezi *Skupinou balvanů* a *Osamělým balvanem, skálou, skalním sukem* není jen v počtu balvanů na daném místě, jak by vyplývalo z definice, ale zejména v jejich relativní výšce nad terénem (viz dále v kapitole 3.1.2).

Další z typů objektů, který zasluhuje v souvislosti se skalami zmínku, je *Sesuv půdy, suť*. Jde o plošný objekt, který krom identifikátoru nemá žádné atributy; podle Upřesnění by měla být jeho rozloha minimálně 1000 m². Definice v sobě zahrnuje jednak sesuv půdy (relativně pomalý krátkodobý pohyb horninových a zvětralinových hmot vlivem gravitace podle jedné nebo několika smykových ploch; výsledným útvarem je sesuv) a jednak suť (zvětralinové skalní úlomky o různé velikosti vzniklé mechanickým zvětráváním skalních hornin a nahromaděné pod skalními stěnami; výslednými útvary jsou osypy, suťové kužele apod.). Analýza praktického používání objektu (Šáková, 2014; v širších souvislostech viz Lysák, 2015a) ukázala, že je z historických důvodů používán i pro ledacos dalšího (písečné či štěrkovité akumulace okolo řek, roztroušené balvany apod.) a také zaměňován se shluky objektů *Skupina balvanů*. Tato problematika se skalami ovšem souvisí už jen poměrně okrajově.

Nejobecnější typy objektů sloužící k zachycení výškových poměrů reliéfu představují *Kótované body* a *Vrstevnice*. Vrstevnice jsou vedené v ZABAGED jako objekty typu *Vrstevnice základní, Vrstevnice zdůrazněná* a *Vrstevnice doplňková*. Základní interval vrstevnic je 5, 2, nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu; v blízké budoucnosti je v plánu jeho sjednocení s využitím dat LLS na 1 m pro ZABAGED (Brázdil a kol., 2015), resp. 2 m pro ZM 10 (Skalická, 2013). Výšky kótovaných bodů se uvádí zaokrouhlené na 0,1 m. Vrstevnice v ploše objektů typu *Skalní útvary* z historických důvodů vedeny obecně nejsou, resp. při prvotním naplnění ZABAGED podle ZM 10 nebyly vůbec nikde, viz dále v kapitole 3.1.2. Při změnách geometrie jednotlivých objektů typu *Skalní útvary* se nicméně okolní vrstevnice důsledně neupravují, tak do některých objektů mohou vrstevnice zasahovat. To platí i v případě, že byl do ZABAGED nový objekt uvedeného typu přidán. Kótované body se v ploše *Skalních útvarů* obecně mohou vyskytovat, zvláště v situaci, kdy jde o objekt významné z hlediska výškové členitosti terénního reliéfu – zejména o lokální výškové maximum (vrcholky skalnatých kup apod.).

3.1.2 Skály a související jevy v ZABAGED: historické souvislosti

Pro objektivní zhodnocení současného stavu reprezentace objektů bezprostředně souvisejících se skalami v ZABAGED je vhodné vysvětlit, jak se k němu dospělo. Tento popis se soustředí pouze na objekty ZABAGED typu *Skalní útvary, Osamělý balvan, skála, skalní suk* a *Skupina balvanů*. Podrobný přehled týkající se i objektu typu *Sesuv půdy, suť* lze nalézt v článku (Lysák, 2015a). Odtud je také z části převzat následující text.

Vojenské topografické mapy

Prapůvod většiny objektů mikroreliefu v ZABAGED lze hledat československém státním mapovém díle z období po druhé světové válce. Na území republiky byly poprvé celoplošně a poměrně důsledně skály a související objekty mikroreliefu zachyceny na Topografické mapě v měřítku 1 : 10 000 (TM 10), zpracovávané v letech 1957–1971 (Čapek, 1985). Mapování probíhalo na základě instrukcí, jejichž cílem bylo sjednotit zachycené objekty (a jejich vyjádření v mapě) pro všechny země bývalého východního bloku. Inspirace sovětskými pokyny pro mapování je zřejmá (Šlitr, 1955), ostatně i české mapové klíče z té doby uvádějí značně exotické jevy, které se v našich podmínkách nevyskytují (namátkou korálový útes, tabákové pole, bambusový porost). Hlavním důvodem pro zachycení skalních útvarů a souvisejících objektů v podrobných vojenských topografických mapách byl kromě orientace v terénu pravděpodobně jejich význam pro stanovení průchodnosti či průjezdnosti území, protože představují poměrně významnou překážku při pohybu terénem mimo komunikace.

V této době nemá pochopitelně smysl hovořit o digitální topografické databázi, protože výsledkem topografického mapování byla přímo mapa. Ovšem na znakové klíče k této mapě lze pohlížet jako na katalogy topografických objektů, které přesně definují, jaké jevy a za jakých podmínek se zachycují a jakým způsobem se znázorní na mapě. Znázornění na mapě nás v tuto chvíli bude zajímat jen okrajově, podrobně se k němu dostaneme až v kapitole 4.1.2 v části týkající se kartografické vizualizace.

Mapový klíč k TM 10 z roku 1959 (ÚSGK, 1959) zachycuje skály a související objekty s využitím celé řady znaků, rozřazených do několika kategorií. Nejvíce jich je v kategorii Reliéf, kde lze nalézt mj. *Skalnatý sráz*, *Skály*, *Pískovcové skály*, *Žebro*, *Osamělý balvan*, *Osamělou skálu*, *skalní suk*, *Skupinu balvanů* a *Řadu balvanů*. Vysvětlivky pak přináší k některým znakům ještě doplňující informace. *Skalnaté srázy*, *Skály* a *Pískovcové skály* se zobrazí (pomocí šraf) se zřetelem ke svému rozčlenění a půdorysu. Značkou *Žebra* se znázorňují odolnější vrstvy horniny šikmo vyčnívající z horského svahu, často proti sklonu svahu. Symbol se použije v případě, nedá-li se tento tvar vyjádřit vrstevnicemi. Relativní výška se popíše. Velmi zásadní je poznámka, že se v obrazech skal a skalnatých srázů s ohledem na jejich vyjádření šrafi nezakresluje žádné vrstevnice. Z dalších objektů se v mapě znázorňují pouze ty *Osamělé balvany* a *Osamělé skály*, *skalní suky* (tvrdoše, monadnoky), nezobrazitelné v měřítku mapy, jejichž relativní výška přesahuje 1 m, a tato výška se popíše i v mapě. Za *Skupiny balvanů* se považují osamělé shluky velkých kamenů, znakem pro *Řady balvanů* (kamenů) se označují hromady kamenů různé velikosti, nanesené, popřípadě i narovnané podél drážebnostních nebo porostních hranic. Pro zajímavost lze uvést, že v předchozích verzích klíče k TM 10 z let 1956 a 1954 nebyly objekty typu *Pískovcové skály* a *Žebro*.

V kategorii Vodstvo lze pak nalézt znak pro *Srázný skalnatý břeh* (znázorňuje se při relativní výšce aspoň 1 m a výška se popíše) a celou řadu symbolů pro kameny a skály ve vodě, rozlišené podle polohy vzhledem k hladině a spolehlivosti jejich zaměření. Ty byly (spolu s mělčinami) zakreslovány podle námořních map. Konečně v kategorii Ohrady je uveden znak pro *Ohradu z nakupených kamenů* (která je vyjádřena stejným kartografickým znakem jako *Řada balvanů* z kategorie Reliéf).

Civilní topografické mapy

Armáda po roce 1968 aktualizace TM 10 zanechala a toto dílo bylo využito při tvorbě civilní Základní mapy v měřítku 1 : 10 000 (ZM 10). Výškopis včetně objektů mikroreliefu byl do ZM 10 z TM 10 převzat v podstatě beze změn (Šíma & Egrmajerová, 2004). ZM 10 byla vydávána od

roku 1970, první vydání pro území celého Československa bylo dokončeno v roce 1988. V období let 1979 až 2000 byla zajišťována aktualizace vydaných mapových listů. Změny v zachycení skal a souvisejících jevů v ZM 10 byly ve srovnání s TM 10 jen nepatrné. V části Vodstvo byly vypuštěny skály a kameny ve vodních tocích, v části Reliéf byly odstraněny relativní výšky *Osamělých balvanů* a *Osamělých skal, suků*. Liniová akumulace balvanů (pod názvem *Ohrada z nakupených kamenů*, v později vydaných klíčích jako *Řada nahromaděných kamenů*) zůstala pouze v části Hranice a ohrady (ČÚGK, 1971). Grafická podoba kartografických znaků se nezměnila. Klíč k ZM 10 z roku 1996 dále upřesňuje, že části reliéfu vyjádřené symboly pro skály se s ohledem na nepřítomnost vrstevnic doplní výškovými údaji (kótovanými body) přiměřeně hustěji, aby byly dostatečně vyjádřeny skutečné výškové poměry.

Tvorba ZABAGED

Na základě tiskových podkladů posledního vydání ZM 10 pak vznikl v letech 1995–2000 prvotní obsah databáze ZABAGED (Šíma, 2016). Z popisu struktury ZABAGED uvedené výše je zřejmé, že došlo ke značné redukci počtu typů objektů a k celkovému zjednodušení reprezentace objektů mikroreliéfu (viz Uhlíř, 1995 a Volkmerová & Křížek, 1999). Původní *Osamělé balvany* byly sloučeny s původními *Osamělými skalami, suky* do objektu typu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* (odtud tedy současný komplikovaný název). *Skupina balvanů* a *Řada balvanů* zůstaly zachovány jako samostatný typ objektu *Skupina balvanů* (původní *Skupina balvanů* vytvořila bodový objekt, původní *Řada balvanů* pak liniový objekt). Původní objekty *Skalnatý sráz, Skály, Pískovcové skály* a *Srázný skalnatý břeh* (tedy všechny objekty vyjádřené v ZM 10 skalními šrafami) a zřejmě i *Žebro* byly sloučeny do objektu typu *Skalní útvar*.

Sloučení původních prvků typu *Osamělý balvan* s prvky typu *Osamělá skála, skalní suk* do jednoho typu objektu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* vycházelo pravděpodobně z toho, že v obou případech šlo o nad terén aspoň o 1 m vystupující objekty (viz popis výše), kdežto u objektu *Skupina balvanů* žádná podmínka týkající se výšky nebyla. Toto zjednodušení také pomáhá topografovi, protože rozlišit skálu od balvanu (viz kapitolu 1.5) může být i při terénním šetření problematické. Navíc se tímto sloučením odstranily problémy v nedůslednosti rozlišování těchto typů objektů, na které upozornil ve své práci již Čapek (1973, str. 102). V určitých případech byly bodovým objektem typu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* vyjádřeny také některé plošně malé skály, které byly v analogové ZM 10 zakresleny skalními šrafami a měly se jinak standardně stát plošným objektem typu *Skalní útvar*.

I sloučení různých variant skal do jednoho typu objektu představovalo racionální krok, zvláště v situaci, kdy pro jednotlivé objekty nebylo ve znakovém klíči žádné podrobnější vysvětlení (např. jak se liší *Skály* od *Skalnatého srázu*) a navíc při konkrétním použití kartografických znaků na ZM 10, jejichž kresba byla v zásadě identická, by v praxi tyto objekty stejně nebylo možno rozlišit. Určitá snaha odlišovat pískovcové a nepískovcové skály se pak na nějakou dobu objevila při tvorbě digitální podoby ZM 10 (viz kapitolu 4.3.6), ale informace o tom, zda je daný objekt pískovcová skála či nikoliv v ZABAGED nebyla a kartografové používali pro účely rozlišování skal starší analogové vydání ZM 10. Určitá nejasnost zůstává okolo původního jevu *Žebro*, protože Uhlíř (1995) uvádí, že se tento objekt stal součástí *Skalních útvarů* (což by potvrzovala i poznámka v dokumentu *Upřesnění*), kdežto z tabulky v článku (Volkmerová & Křížek, 1999) vyplývá, že se objekt do ZABAGED vůbec nedostal. Autor práce se sice pokoušel nalézt konkrétní příklad řešení takové situace, ale v analogové ZM 10 se mu nikde objekt typu *žebro* nalézt nepodařilo.

Co se týká vrstevnic, ty byly vektorizovány přesně podle stavu v ZM 10, mimo jiné tedy nebyly spojovány v místech, kde byly v mapě přerušeny (speciálně v oblastech se skalními útvary). To byl

obecně jistě správný princip; uživatel dat má možnost na základě polohopisu usoudit, proč jsou tam přerušené. Ani při pozdějších aktualizacích a zpřesňování vrstevnic a kótovaných bodů s využitím stereofotogrammetrie se oblasti se výskytem skal nijak neřešily a vrstevnice v nich nebyly doměřovány.

Aktualizace skal v ZABAGED

Z výše uvedeného textu tedy vyplývá, že obsah těch typů objektů databáze ZABAGED, které bezprostředně souvisí se skalami, ze značné části tvořila – a dosud i tvoří – v zásadě jen překreslená TM 10 pocházející z 50. let 20. století. Od roku 2000 byl a stále je obsah ZABAGED aktualizován podle leteckých snímků, ortofota a terénního průzkumu. Zásadní potíž představuje skutečnost, že s ohledem na dobu snímkování je velká většina objektů skal skryta pod vegetací. Z toho obecně vyplývají značně omezené možnosti při aktualizaci, která spočívá zejména zpřesnění polohového vymezení objektů skal (viz předchozí kapitolu 3.1.1). V nepříliš velkém množství se do databáze dostaly také objekty, které v TM 10 z nějakého důvodu nebyly a zároveň se je topografům ZÚ podařilo objevit díky lokálnímu odlesnění nebo při terénním šetření.

V kapitole 1.5.1 bylo konstatováno, že skály představují z pohledu topografického mapování relativně velmi stálý krajinný prvek. Z pohledu ZABAGED by to tedy mělo znamenat, že jejich počet v databázi je víceméně konstantní. Vývoj počtu jednotlivých typů objektů je zachycen v tab. 7. Z uvedeného přehledu vyplývá, že počty objektů souvisejících se skalami se i v současné době v průběhu času mění poměrně málo, což odpovídá dřívějším údajům z článku Šímy (2002).

K určitým změnám v průběhu času ale přeci jen dochází. Často nejde o vytvoření nebo smazání skalního útvaru, ale pouze o přesuny existujícího jevu ležícího na konkrétním místě mezi jednotlivými typy objektů. Obecný mírný pokles počtu objektů *Skalní útvary* souvisí zejména se spojováním původně samostatných objektů ležících na rozhraní mapových listů (viz dále v kapitole 3.1.3), s náhradou malých plošných objektů za bodové (jak za *Osamělé balvany, skály, skalní suky*, tak za *Skupiny balvanů*), náhradou skalních útvarů terénními stupni okolo komunikací či vymazáním malých podměrečných objektů charakteru skalnatých svahů při aktualizaci dat. Na výsledný počet objektů má také vliv to, že nové objekty typu *Skalní útvary*, které v podkladech použitých pro prvotní naplnění ZABAGED chyběly, v počtu řádově stovek rovněž do databáze přibyly. Uvedené příčiny vysvětlují také mírný nárůst počtu objektů typu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* a bodové *Skupiny balvanů*. Poznámky k dalším typům objektů lze najít v článku Lysák (2015a).

typ objektu	počet objektů (vždy k 1. 1. uvedeného roku)									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<i>Skalní útvary</i>	41 858	41 319	40 843	40 701	40 178	40 151	40 137	40 051	40 027	40 044
<i>Osamělý balvan, skála, skalní suk</i>	9 519	9 549	9 426	9 434	9 477	9 579	9 649	9 709	9 793	9 956
<i>Skupina balvanů (linie)</i>	10 637	10 520	10 294	10 120	10 024	9 998	10 094	10 160	10 135	10 065
<i>Skupina balvanů (bod)</i>	66 471	66 126	66 997	67 043	67 168	67 281	67 412	67 375	67 380	67 801
<i>Sesuv půdy, suť</i>	223	222	217	207	210	224	224	216	220	256

Tab. 7. Vývoj počtu objektů souvisejících se skalními útvary v ZABAGED.

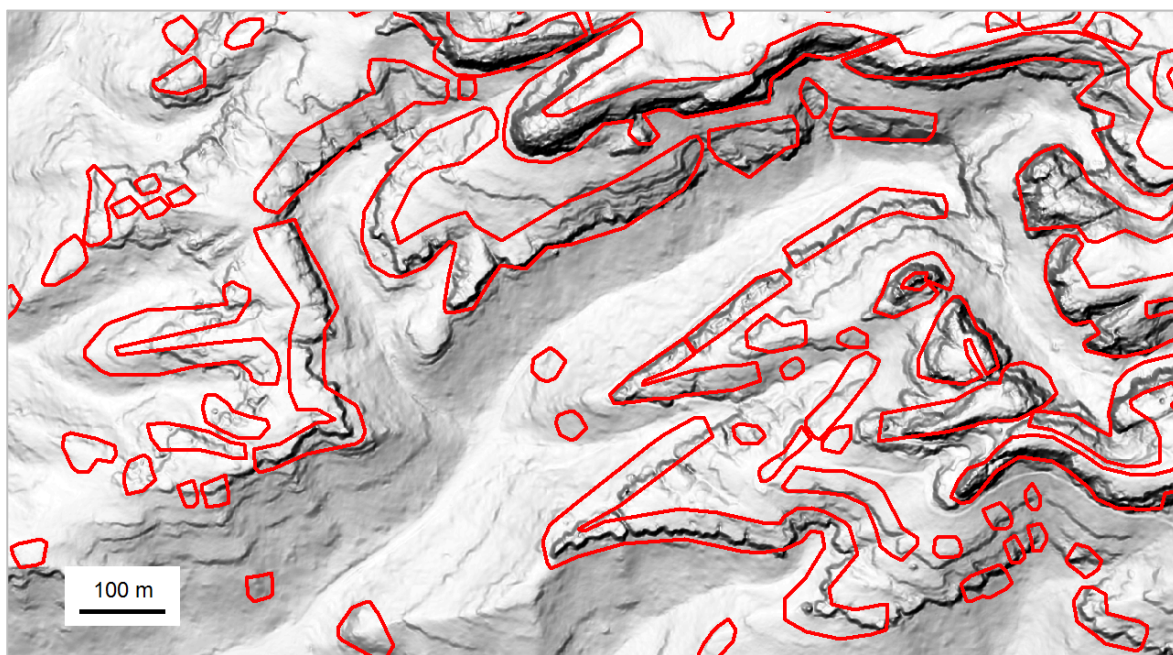
Co se týká změn v geometrii u objektů typu *Skalní útvary*, na základě provedené analýzy změn mezi lety 2008 a 2016 byly úpravy provedeny přibližně u pětiny z nich. To se s ohledem na stálost objektů zdá být poměrně značné množství, jde ale vesměs o úpravy drobnějšího charakteru vedoucí ke zpřesnění půdorysu skal v místech, kde to bylo možné. Některé změny byly vyvolány

v důsledku zpřesnění jiných objektů (komunikací, vodních toků), přičemž hranice skalního útvaru tento objekt sledovala. Z uvedených údajů je tedy patrné, že „stálost“ objektů souvisejících se skalami v ZABAGED je poměrně relativní pojem.

3.1.3 Problémy existující reprezentace skal v ZABAGED

Podrobí-li se objekty typu *Skalní útvary* vyskytující se v ZABAGED podrobnější analýze, dospěje se k tomu, že trpí určitými nedostatky. V této kapitole budou nedostatky popsány a nastíněna jejich možná řešení.

Jeden z problémů souvisí přímo s původním zdrojem dat, tedy ZM 10, resp. TM 10. V mapě byly z důvodů čitelnosti tisku skalní útvary často zobrazeny větší, než byl jejich skutečný půdorys (viz též kapitolu 4.1.2 o kartografii). To principiálně příliš nevadilo, protože byl zajištěn prostorový soulad skalních útvarů s ostatními prvky mapy, a kde bylo možné tento problém vyřešit z ortofot, byl vyřešen. Reálná potíž to začala být teprve s nástupem technologie LLS, které umožnilo zmapovat terén i pod vegetací a které také ukázalo míru závažnosti tohoto problému. Uvedená situace se týká zejména pískovcového reliéfu v místech, kde jsou úzké a vysoké stěny (viz obr. 38). Stěna je polohově umístěna relativně velmi správně, ve většině případů má i rámcově odpovídající délku, ale je mnohem širší než ve skutečnosti.



Obr. 38. K ilustraci problému naddimenzovanosti půdorysu skalních útvarů.

Na pozadí stínovaný model reliéfu z dat TUD (1m grid), červeně vyznačen obvod polygonů objektů typu *Skalní útvary*. Prostorové naddimenzování stěn je patrné, vynikne ovšem až z podrobného modelu. Při použití DMR 5G se tento problém tolik neprojevuje. Otázkou také je, zda má půdorys skalního útvaru zahrnovat kromě stěn i rozčleněný terén vyskytující se v některých případech nad nimi.

Zdrojová data: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005 a ZABAGED, © ČÚZK, 2016.

Nejde jen o samotné prostorové naddimenzování objektů, ale také o jejich polohovou přesnost (viz obr. 39). Ta kromě chyb, resp. zjednodušení při kartografickém zpracování terénního měření z 50. let 20. století při tvorbě TM 10, může být také způsobena převodem TM 10 na ZM 10 a v menší míře také vektorizací ZM 10. S ohledem na nutnost souladu *Skalních útvarů* a dalších prvků výškopisu (např. vrstevnic odvozených z dat LLS), příp. polohopisu, by bylo žádoucí půdorysy skalních útvarů zpřesnit. Stávající polygony lze při tom s výhodou využít (viz dále v kapitole 3.4).

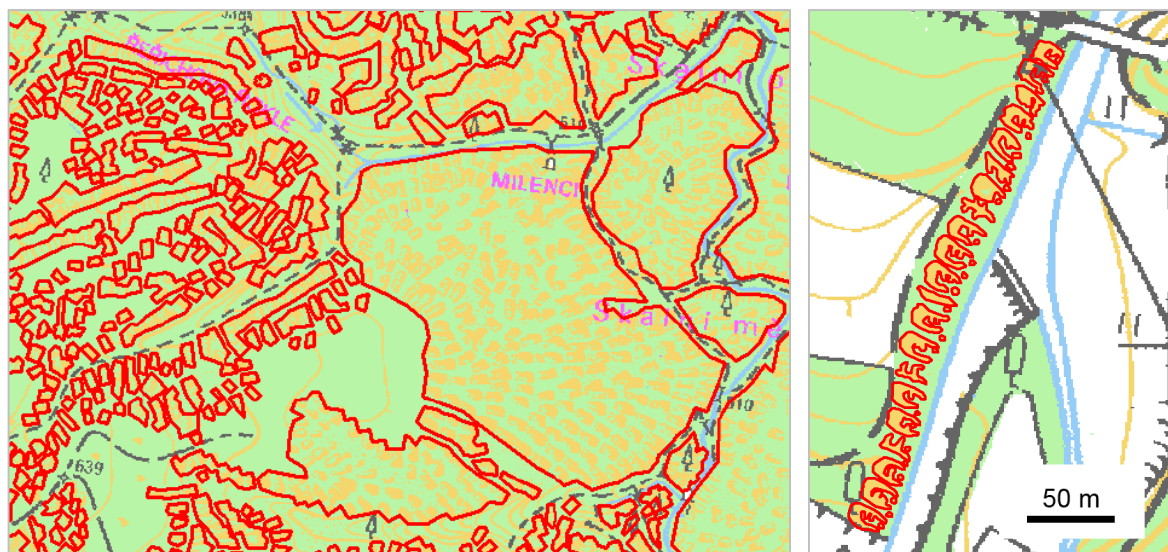


Obr. 39. K ilustraci problému nesouladu polygonů skalních útvarů s novým výškopisem.

Na pozadí stínovaný model reliéfu odvozený z dat DMR 5G (2m grid), červeně vyznačen obvod polygonů objektů typu *Skalni útvary*. Srovnání ukazuje, že topografické mapování v 50. letech 20. století bylo provedeno precizně a s informacemi z dat LLS poměrně dobře koresponduje. S ohledem na přesnost a míru podrobnosti nového výškopisu jsou však tyto polygony mj. pro kartografické účely použitelné pouze omezeně (kvůli nesouladu s novými vrstevnicemi odvozenými z dat LLS) a je třeba je upravit.

Zdrojová data: IMAGE služba AGS nad DMR 5G a ZABAGED, © ČÚZK, 2016.

Další potíže souvisí s vlastní vektorizací objektů nad ZM 10. Prvotnímu zpracování obsahu vrstev *Osamělý balvan*, *skála*, *skalní suk* a *Skalni útvary* předcházela redakční příprava, prováděná obvykle topografy. Při tomto zpracování nebyla stanovena míra generalizace a tak jsou výsledné polygony jak napříč územím, tak i v rámci jednotlivých listů poměrně nejednotné (viz příklady na obr. 40 a poznámku v rámečku na straně 74). Bylo by žádoucí tuto míru detailu sjednotit.



Obr. 40. Problémy s vektorizací šraf v ZM 10 při prvotním naplnění databáze ZABAGED.

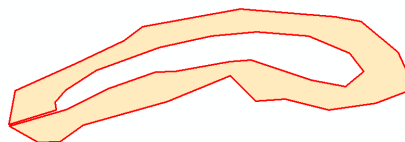
Vlevo: nejednotnost generalizace při tvorbě vrstvy skalní útvar v ZABAGED. V levé části ukázky jsou polygony velmi podrobné, v pravé části je jen hrubý obrys, i když je podoba šraf srovnatelná.

Vpravo: do posledního detailu přesně obkreslené šrafy, výsledek půdorysu skalního útvaru neodpovídá.

V obou ukázkách soustisk analogové ZM 10 s objekty typu *Skalni útvary* (obrysy polygonů červeně).

Zdrojová data: analogová ZM 10 a ZABAGED, © ČÚZK, 2016.

Vektorizace probíhala po jednotlivých mapových listech ZM 10, a pokud jeden polygon zasahoval na více mapových listů, byl na hranici mapového listu rozdělen (to se netýkalo jen polygonů skalních útvarů). S přechodem na bežešvou reprezentaci uloženou v databázi od roku 2006 byly tyto problémy postupně vyřešeny a v současné době by se již u tohoto typu objektů neměly vyskytovat.



Obr. 41. Vektorizace polygonů s dírou pomocí obvodové linie.
Vysvětlení v textu.
Zdrojová data: ZABAGED, © ČÚZK, 2016.

Určitá potíž také vyplývá z toho, že se skalní útvar reprezentuje pomocí obvodové linie. To vadí v případě, kdy některý z objektů tvoří polygon s dírou (*donut polygon*), tj. jde o oblast bez skal zcela obklopenou skalami. To se musí obcházet tím, že se díra v polygonu s obvodem uměle propojí, což je poněkud nepohodlné (obr. 41). Z pohledu výsledku je to ale pouze komplikace technického charakteru, protože z této reprezentace lze vytvořit plošný objekt s dírou automaticky.

Problém také představovala ztráta informací o vnitřním členění skalního útvaru, která byla na původní ZM 10 zachycena šrafováním (podrobněji k tomu viz kapitolu 4.1.2 a příklad na obr. 76 na str. 140). Samotný obvod plochy totiž nenesl informaci, která byla šrafováním vyjádřena, např. kde je horní část a kde je dolní část skály, zda je uvnitř plochy hřeben nebo jde jen o skalní stěnu apod. Podle dostupných informací prvotnímu zpracování dat určitá diskuze na toto téma předcházela, nakonec ale bylo zvoleno nejjednodušší řešení v podobě polygonu. Tento postup je sice pohodlný pro topografa, ale způsobuje komplikace při kartografické tvorbě. Řešení zvolené při tvorbě digitální podoby ZM 10 z dat ZABAGED podrobně popsáno dále v kapitole 4.3.6 spočívá v tom, že se tyto informace pro účely tvorby mapy manuálně dokreslovaly, resp. dokreslují, mj. na základě původní analogové mapy. Obecně je hlavní potíž v tom, že pouze na základě obvodového polygonu nelze kartografickou reprezentaci skal aspoň částečně podobnou tradičním skalním šrafováním vytvořit ve stávajícím software automaticky. Limituje to také využití těchto dat v dalších aplikacích typu 3D modelování objektů.

Poslední problém se týká spíše metodické stránky věci. V kapitole 1.5 bylo vysvětleno, že „skála“ je poměrně široký pojem, a definice v Katalogu i Upřesnění je poměrně obecná, tudíž topografovi práci příliš neusnadňuje. Situace v zásadě odpovídá tomu, jak ji – dokonce podle ještě podstatně méně exaktních kritérií – vyřešili topografové v 50. letech 20. století. I díky tomu jsou z konceptuálního pohledu v obsahu databáze určité nedůslednosti, k nimž patří například:

- řešení skalních stěn umělého původu, vyskytujících se v opuštěných kamenolomech. Někdy jsou reprezentovány jako *Skalní útvary*, někdy jako objekt typu *Stupeň, sráz*. Stěny v činných kamenolomech jsou vždy reprezentovány jako *Stupeň, sráz* (případně doplněný *Patou terénního útvaru*) a plošný objekt typu *Povrchová těžba, lom*.
- řešení zářezů okolo komunikací (převážně silnic a železnic). Jsou podobně nejednotně, někde jako *Stupeň, sráz*, jinde jako *Skalní útvary*. Definice objektů typu *Skalní útvary* a *Stupeň, sráz* se v tomto částečně překrývají, resp. umožňují skalní nebo skalnatý svah okolo komunikace zařadit k oběma typům objektů.

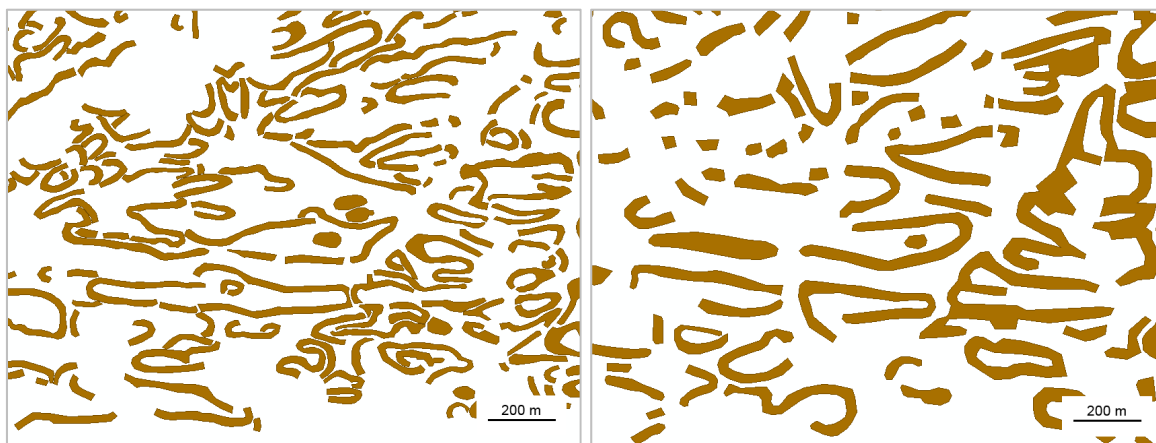
Vhodné by proto bylo stávající definice objektů upřesnit a na ukázkách typických, v praxi se často vyskytujících příkladů ukázat jejich řešení. O to se pokouší navržená metodika popsána dále v kapitole 3.4.1. To je jistě žádoucí krok vedoucí k jednotnosti reprezentace tohoto typu objektů v celé databázi ZABAGED.

3.1.4 Skály v DMÚ 25

Pro úplnost bude stručně zmíněna také reprezentace skal ve druhé významné české topografické databázi, Digitálním modelu území (DMÚ 25). DMÚ 25 je vektorová databáze topografických informací o území, která svou přesností a obsahovou náplní koresponduje s vojenskými topografickými mapami měřítka 1 : 25 000 (odtud číslo ve zkratce). Databázi spravuje Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHMÚř) v Dobrušce. Podobně jako u ZABAGED, původní obsah databáze vznikl vektorizací analogové TM 25 v letech 1994–1999 a je aktualizován zejména s využitím leteckých snímků. Struktura těchto dat je popsána v Katalogu topografických objektů (VGHMÚř, 2007).

Skály jsou v DMÚ 25 reprezentovány jako objekty typu *Skála, balvan* (v podobě bodů a linií) a jako objekty typu *Skalní srázy*. Objekt typu *Skála, balvan* podle definice reprezentuje „a) skalnatý útvar volně se vyskytující v terénu (osamělou skálu); b) osamělý balvan c) skupinu balvanů volně se vyskytujících v terénu“. U bodových objektů je pomocí atributu rozlišeno, zda se jedná o osamělou skálu, osamělý balvan či skupinu balvanů. U osamělé skály je ještě navíc rozlišeno, zda jde o skálu „malou“ nebo „velkou“ (v databázi ovšem není tato informace u všech objektů). To vychází ze skutečnosti, že na původních vojenských topografických mapách v měřítku 1 : 25 000 byly osamělé skály rozlišeny znaky podle velikosti, přičemž menší znak byl vyhrazen pro skály s výškou mezi 5 a 10 m a větší znak pro skály vyšší než 10 m (MNO, 1976, s. 116–117). Liniový objekt je používán pro liniové akumulace balvanů podobně jako analogický objekt v ZABAGED.

Objekt typu *Skalní srázy* je polygonový a podle definice reprezentuje „výrazný vrstevnatý nebo hladký výstup obnažených pevných hornin, obvykle bez vegetace, někdy i osaměle vystupující ze strmého svahu“ (VGHMÚř, 2007). Tyto polygony zachycují obvod skalních útvarů, které byly na původní mapě zachyceny pomocí šraf. Při zobrazování skal pomocí šraf v původní vojenské topografické mapě byl požadavek podle možností vystihnout jejich charakteristické rysy (MNO, 1976, s. 123). I v případě, že byl tento požadavek na původní mapě splněn, informace se stejně jako v případě ZABAGED při vektorizaci ztratila.



Obr. 42. Srovnání skal v ZABAGED a v DMÚ 25.

Vlevo polygony objektů *Skalní útvary* ze ZABAGED (podrobností odpovídající měřítku 1 : 10 000), vpravo polygony objektů *Skalní srázy* z DMÚ 25 (podrobností odpovídající měřítku 1 : 25 000). Stejně území ležící v Českém Švýcarsku severozápadně od Jetřichovic.

Zdrojová data: ZABAGED, © ČÚZK 2016 a DMÚ 25, © VGHMÚř, 2016.

Z objektů se skalami okrajově souvisejícími lze zmínit ještě plošný objekt *Povrch země*, který je použit pro lokálně neobvyklé povrchy (rozlišen je kamenitý, štěrkovitý, písčité a kopečkovitý) a plošný objekt *Sesuv, suť*, jehož použití je stejné jako v případě ZABAGED (včetně výše uvedených problémů).

Objekty týkající se skal v DMÚ 25 mají na rozdíl od ZABAGED celou řadu atributů, například výšku, materiálové složení (tj. typ horniny) či informaci o tom, zda je objekt přírodního či umělého původu. Většina objektů ovšem nemá tyto atributy vyplněné. Asi nejúplnější z nich je výška, uvedená podle dostupných informací u necelé desetiny objektů. Vzhledem k měřítku původního podkladu jsou polygony méně podrobné než v datech ZABAGED (viz srovnání na obr. 42).

Celkově lze shrnout, že ke zpracování skal a souvisejících objektů se v DMÚ 25 přistoupilo podobně jako v ZABAGED. Je to dáno i tím, že na úplném počátku obou děl byly vojenské topografické mapy se stejným obsahem. Jedinými odlišnostmi je rozlišení osamělých balvanů od skal (což je s ohledem na poznámky v kapitole 3.1.2 výhoda značně diskutabilní) a fakt, že na rozdíl od ZABAGED v databázi DMÚ 25 zůstaly zachovány a rozlišeny jednotlivé typy neobvyklého povrchu země.

3.1.5 Existující návrhy inovace reprezentace skal pro ZABAGED

V souvislosti s novým výškopisným mapováním Česka s využitím dat LLS (viz kapitolu 2.5.1) se objevily také první návrhy na inovaci, resp. zpřesnění reprezentace skalních útvarů.

Jeden z těchto návrhů lze nalézt v diplomové práci autora (Lysák, 2008), resp. z ní vycházejícího článku (Lysák, 2010a). Návrh je do značné míry ovlivněn kartografickým pohledem na problematiku znázorňování skal, resp. neodděluje důsledně topografickou a kartografickou stránku celé věci. Zahrnuje kromě půdorysu skalních útvarů, strmých částí (stěn), terénních hran typu hřbetnic a údolnic také vyložene kartografické prvky charakterizační čáry skalního terénu (vrstevnice, trhliny na pískovcích).

Komplexnější studii týkající se možné inovace objektů mikroreliefu ZABAGED na základě dat LLS zpracoval Vaniš (2011). V rámci této studie jsou poměrně podrobně řešeny i skalní útvary, přičemž je navrženo vést jejich obvod a dále jejich vnitřní morfologii, kterou by vyjadřovaly objekty hřbetnice, údolnice, stupeň a sráz, kótovaný bod a pata terénního útvaru. Diskutována jsou kritéria pro zachycení jednotlivých objektů a i některé varianty reprezentace (např. významné elevace ve skalních útvarech). Studie zmiňuje i obecné problémy týkající se zachycení různých typů skal. Pískovcový reliéf není v této studii nijak speciálně řešen.

V rámci spolupráce autora této dizertace a ZÚ proběhlo několik praktických experimentů týkajících se vektorizace objektů skal. První z nich – zaměřený na pískovce – proběhl v roce 2012 nad daty TUD poskytnutými Správou Národního parku České Švýcarsko (zpracovaly I. Rybová a J. Axmanová). Byly použity objekty pro horní a dolní hranu, dále přechodová linie pro vymezení skalního terénu v místech, kde není od jiného typu terénu oddělen horní či dolní hranou, údolnice, vnitřní hrany a obvodové linie pro objekty vystupující na plošinách. Práce probíhala nad stínovaným modelem reliéfu, s kontrolou ve 3D. Celkově byl postup vyhodnocen jako velmi pracný, další omezení spočívalo v tom, že použitý podkladový DMR od TUD (viz kapitolu 2.5.1) byl značně podrobnější než DMR 5G.

Další experimenty i mimo pískovcový skalní terén proběhly v letech 2013 až 2015 v oblasti okolo Berouna a na Kokořínsku (zpracovala J. Axmanová), se zpracováním ve stereoskopickém režimu s využitím bodového mračka, podrobných vrstevnic a leteckých snímků. V rámci toho experimentu byla vytvořena metodika podrobně popisující jednotlivé typy skalních objektů (Axmanová & Lysák, 2014). Z této metodiky vychází i dále v kapitole 3.4 uvedený návrh pro reprezentaci skal, který představuje její mírné zobecnění.

3.2 Současný stav mimo Česko

Tato část shrnuje přístupy k zachycení skal v digitálních topografických databázích mimo území České republiky. Nejprve jsou uvedeny informace týkající se národních databází vytvářených národními mapovacími agenturami vybraných zemí, v další části pak databází s celosvětovým, resp. širším než národním pokrytím.

3.2.1 Topografické databáze zahraničních národních mapovacích agentur

V této kapitole budou popsány přístupy k zachycení skal ve vybraných zahraničních topografických databázích. Autorovou ambicí není prezentovat srovnání všech významných světových topografických databází; výběr byl motivován spíše snahou ukázat odlišné přístupy k reprezentaci skal. Analyzovány byly tedy pouze vybrané topografické databáze vytvářené národními mapovacími agenturami, přičemž výběr byl limitován dohledatelností podrobných informací o databázích a jejich obsahu na internetu a částečně také jazykovými schopnostmi autora, resp. možnostmi softwaru pro automatický překlad. Zpracované databáze jsou uvedeny v tab. 8.

stát	národní mapovací agentura	databáze	orientační měřítko	zdroj
Belgie	Nationaal Geografisch Instituut / Institut géographique national	Top10Vector	1 : 10 000	NGI, 2011
Finsko*	Maanmittauslaitos	Maastotietokanta	1 : 5 000 až 1 : 10 000	MML, 2015
Francie	Institut national de l'information géographique et forestière	BD TOPO	1 : 5 000	IGN, 2014
Kanada	Natural Resources Canada	CanVec+	1 : 50 000	NRC, 2014
Německo*	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (koordinátor)	ATKIS (Basis-DLM)	1 : 10 000	AdV, 2008
Nový Zéland*	Land Information New Zealand	NZTopo50	1 : 50 000	LINZ, 2016
Polsko*	Główny Urząd Geodezji i Kartografii	BDOT 10k	1 : 10 000	CODGIK, 2016
Portugalsko*	Instituto Geográfico Português	SCN10K (Modelo Numérico Topográfico)	1 : 10 000	IGP, 2008
Slovensko	Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky	ZB GIS	1 : 10 000	ÚGKK SR, 2013
Švýcarsko	Bundesamt für Landestopografie (swisstopo)	swissTLM3D	1 : 5 000 až 1 : 10 000	swisstopo, 2015
Velká Británie*	Ordnance Survey	MasterMap	1 : 1 250, 1 : 2 500, 1 : 10 000	OS, 2001

Tab. 8. Analyzované topografické databáze národních mapovacích agentur. Státy označené hvězdičkou jsou podrobněji zpracovány dále.

V dalším textu budou uvedeny k některým zemím podrobnější poznámky. Tyto poznámky představují pouze výběr informací z databází těch států, kde jsou skály nějak reprezentovány, a navíc jsou reprezentovány složitěji než jen jako polygony v objektech půdního krytu (*land cover*), resp. body v případě malých objektů. Informace jsou uvedeny také v případě, že specifikace objektu uvádí konkrétní netriviální kritéria. Názvy jednotlivých typů objektů jsou uvedeny i v originále z důvodů v některých případech problematického překladu do češtiny.

Finsko

Finská Maastotietokanta reprezentuje skály celkem čtyřmi typy objektů: *Jyrkäne* (skalní sráz, útes), *Kallio-alue* (skála-plocha), *Kallio-symboli* (skála-bod) a *Kalliohalkeama* (skalní trhлина).

Objekt typu *Jyrkänne* je reprezentován jako orientovaná linie, s tím, že směr dolů je vpravo od ní. Zachycuje se horní hrana útesu. Používá se pro strmé útesy nebo skalnaté srázy, tvořící překážku pro průchod terénem, které dosahují výšky minimálně 4 m, délky aspoň 10 m a jejichž sklon přesahuje 45°. Ve výjimečných případech může být použito i pro nižší objekty, ovšem ne méně než 2 m vysoké.

Plošný objekt *Kallio-alue* se používá pro oblasti, kde vystupuje na povrch rostlá skála a které jsou obvykle bez stromů. Minimální velikost objektu, který se zachycuje, je 5 m × 5 m. Uvnitř této oblasti se vymezi oblast s jiným typem půdního krytu pouze v případě, že je její velikost větší než 1000 m². Obvod plochy může zcela či z části odpovídat objektu útes, což naznačuje, že v daném místě skála končí strmým srázem. Skalní útvar může být ovšem reprezentován objektem typu útes zcela; v těchto případech se objekt typu skála-plocha nekreslí. Uvnitř plochy skály se mohou vyskytovat objekty typu útes a skalní trhlina, naznačující její podrobnější rozčlenění. V ploše skály jsou vedeny vrstevnice.

Bodový objekt *Kallio-symboli* se používá pro malé izolované skály o velikosti menší, než je výše uvedená mez. Liniový objekt *Kalliohalkeama* se používá pro dlouhé úzké trhliny nebo soutěsky ve skále, které tvoří překážku. Měly by mít minimální hloubku 3 m, šířku 2 m a délku aspoň 100 m. Linie reprezentuje vždy lokálně nejhlubší místa trhlin. Je-li trhlina širší než 10 m, vyjadřuje se buď vrstevnicemi, nebo jako dvojice srázů.

Německo

Skály v německé databázi ATKIS (Basis DLM) jsou reprezentovány pomocí objektů typu *AX_BoeschungKliff* (svah, útes), *AX_UnlandVegetationsloseFlaeche* (úhor, plocha bez vegetačního krytu) a *AX_FelsenFelsblockFelsnadel* (skála, skalní blok, skalní hrot).

Složený objekt typu *AX_BoeschungKliff* reprezentuje skloněné plochy terénu mezi dvěma různě vysoko položenými rovinami umělého nebo přírodního původu (svahy) nebo strmé pobřeží ze sypkého materiálu nebo pevné skály (útesy). Objekt je tvořen buď několika terénními hranami (min. jednou horní a jednou dolní), nebo jedním plošným objektem zachycujícím plochu svahu zkombinovaným s jednou nebo více terénními hranami (z nich musí být minimálně jedna dolní nebo minimálně jedna horní). Zachycují se objekty vyšší než 3 m (v rovinatých oblastech objekty o výšce 1 m a více) a o délce 200 m a více. Nese atributy název a relativní výšku.

Plošný objekt typu *AX_UnlandVegetationsloseFlaeche* zahrnuje území, které dlouhodobě není a nemůže být zemědělsky využíváno, např. skály nevyčnívající z reliéfu, písečné nebo ledové plochy, březní pásy. Typ povrchu je rozlišen atributem; jednou z přípustných hodnot atributu je i *Fels* (skála), znamená zemský povrch tvořený pevnou kamennou hmotou. Tímto objektem se reprezentují skály nevyčnívající nad úroveň terénu. Minimální rozloha objektu tohoto typu je 1 ha.

Objekty typu *AX_FelsenFelsblockFelsnadel* mohou mít více typů geometrie, používá se zejména bodová a plošná, ale v případě skalních stěn i liniová. Jako skály jsou zaznamenávány vyčnívající výrazné skalní útvary, které se zřetelně zvedají nad okolím a nad normálním povrchem terénu (na rozdíl od předchozího typu, který slouží k zachycení skalnatého povrchu nevystupujícího nad okolí). Zaznamenávány jsou také skalní útvary vyčnívající nad vrcholky stromů nebo dosahující výšky 15 m a více, přírodní památky (geologicky významné skalní útvary) a skály (útesy) ve splavných vodstvech. Tento typ objektu má atributy název a relativní výšku.

Nový Zéland

V novozélandské NZTopo50 je řada objektů týkající se skal. Pokud se z nich vyloučí objekty týkající se mořského pobřeží a ledovců, zbydou pouze dva typy: *cliff_edge* (útes) a *rock_outcrop_pnt* (skalní výchoz). Objekty typu *cliff_edge* jsou liniové a reprezentují horní hranu vysoké, strmé či převislé stěny nebo skály. V databázi jsou zachyceny pouze ty, které jsou významné svojí velikostí nebo polohou, nebo tam, kde není terén dostatečně zachycen vrstevnicemi. V hustě zastavěných územích se obvykle vynechávají. Tento typ objektu nemá žádné atributy. Je přípustné objekt vynechat a uvést místo něj pouze jeho geografický název.

Bodový objekt typu *rock_outcrop_pnt* představuje izolovanou skálu, která tvoří dominantní nebo neobvyklý krajinný prvek. V databázi jsou zachyceny pouze ty, které jsou významné svojí velikostí nebo polohou. Pomocí atributu je rozlišeno, zda se jedná o *boulder* (balvan), *small rock outcrop* (malý výchoz) nebo *large outcrop* (velký výchoz). Pomocí atributů jsou dále zachyceny nadmořská výška vrcholu skály a její název.

V databázi NZTopo50 dále existují objekty typu *rock_pnt* (skála vyjádřená bodem) a *rock_poly* (skála vyjádřená polygonem), ty se ovšem používají pouze pro zachycení objektů v moři. Na pevnině se plochy skal nijak speciálně nerepresentují.

V souvislosti s NZTopo 50 stojí za zmínku také poměrně neobvyklý způsob řešení informace o průchodnosti terénu. V této databázi totiž existuje bodový objekt typu *descriptive_text*, který nese informaci o popisu objektu, který není reprezentován samostatně. V tomto případě nejde o popis v mapě ve smyslu geografického názvosloví (na to existuje samostatný typ objektu), ale spíše o způsob, jak do mapy dopsat vysvětlující poznámky. Ty pak mohou být v mapě uvedeny například v závorce, aby se lépe odlišily od názvosloví. Uvedený typ objektu je v praxi použit mj. pro umístění poznámek souvisejících s průchodností, jako například *impassable gorge* (neschůdná rokle), *numerous rock outcrops* (četné skalní výchozy) apod.

Polsko

Skály v BDOT 10k jsou reprezentovány jako bodové objekty v rámci třídy *Obiekty inne* (ostatní objekty) s hodnotou atributu *Odosobniona skała* (izolovaná skála). Dokumentace (CODGIK, 2016) uvádí, že bodovým objektem jsou zachyceny izolované skály o ploše menší než 1000 m², jako jsou věže, skalní bašty, skalní hříby apod., kde na povrch vystupuje hornina a které mají relativní výšku větší než 2 m. Plošně rozsáhlejší objekty dokumentace explicitně neuvádí, v praxi jsou obvykle zahrnuty v rámci třídy *Pokrycie terenu* (land cover / půdní kryt) jako *grunt nieużytkowany* (neplodná půda).

Portugalsko

V portugalské SCN10K / Modelo Numérico Topográfico jsou skály reprezentovány objekty typu *Escarpados / Taludes* (útesy, svahy) a *Rochas* (skály). Objekt *Escarpados / Taludes* je tvořen dvěma typy 3D linií: *Limite superior do escarpado* (horní vymezení) a *Limite inferior do escarpado* (dolní vymezení). Pro účely kartografického zpracování se pak z těchto linií vytvoří plocha. Objekty typu *Rochas* jsou plošné. Při jejich tvorbě se kreslí linie, která je buď uzavřená, nebo může být nahrazena liniemi vymezujícími sousední objekty.

Velká Británie

Britská OS Master Map obsahuje v rozsáhlé specifikaci OS MasterMap Real-world Object Catalogue (OS, 2001) celou řadu objektů souvisejících se skalními útvary. Následující přehled je omezen jen na ty z nich, které nemají nebo nemusejí mít přímou souvislost s mořským pobřežím.

Patří sem objekty *Chimney (natural)* (komín ve smyslu vertikální skalní trhliny), *Cliff* (útes), *Natural Arch* (skalní brána), *Rock (surface type)* (skála jako typ povrchu) a *Tor* (tor, izolovaná skála, vystupující výrazně na všech stranách nad okolní terén).

Chimney (natural) a *Tor* nemají speciálně vedenou geometrii, představují pouze text umístěný v prostoru určený k popsání významného objektu v mapě. Objekty typu *Cliff* reprezentují strmé skalní stěny, zejména (ale ne nutně) u mořského pobřeží. Jde o plošný objekt, ohraničený horní i dolní hranou, které jsou reprezentovány jako samostatné typy objektů. Zachycují pouze ty části útesů a skalních stěn, které jsou vyšší než 1, 2, resp. 5 m (v závislosti na měřítku mapování, které je proměnlivé podle oblasti, přípustné hodnoty jsou 1 : 1250, 1 : 2500 a 1 : 10 000). Sousedící objekty, které spolu sdílí hranici, se nespojují, ale ponechávají se samostatně. U pojmenovaných objektů je uveden název.

Objekt typu *Natural Arch* je reprezentován jako plocha (pro objekty větší než 1, 2, resp. 5 m), případně jako bod. Pokud je to možné, zachycují se i pilíře podpírající bránu. U pojmenovaných objektů je uveden název, u nepojmenovaných vždy popis *Natural Arch*. To má smysl zejména z důvodů orientace, protože objekty toho typu představují nápadný terénní prvek.

Rock (surface type) je plošný nebo bodový objekt. Plošný objekt má dvě varianty: jednu pro plochy, kde skála tvoří 25–100 % povrchu, druhý pro plochy, kde sice také vystupuje skalní podloží, ale pouze roztroušeně a tvoří méně než 25 % celé plochy objektu. Bodové objekty jsou použity pro malé významné nebo nápadné skály, přesné kritérium pro velikost se neuvádí. Pojmenované a historicky významné skály jsou navíc označeny názvem; nápadné, ale nepojmenované skály pak popisem *Rock*.

Celkové shrnutí

Obecně lze shrnout, že zdaleka ne ve všech databázích jsou skály nějak speciálně reprezentovány. Buď tam nejsou zachyceny vůbec (kanadská CanVec+), nebo pouze jako polygony zahrnující jednu z kategorií land use / land cover (belgická Top10Vector), která se chápe jako holá skála bez vegetace. Použití této definice v podmínkách Česka je nedostačující. Existuje také možnost překrývání polygonových objektů skal s vybranými polygony land use / land cover (švýcarská swissTLM3D), umožňující reprezentovat i skály skryté například pod korunami stromů. Spíše výjimečně je snaha rozlišit skály vystupující nad terén od skalnatého povrchu, který je součástí terénu (německá ATKIS-Basis DLM).

Plošný objekt pro reprezentaci rozsáhlejších skalních útvarů může být doplněn objektem bodovým používaným pro menší objekty (slovenská ZB GIS, polská BDOT10k). U bodového objektu se objevuje snaha rozlišovat balvany od skal malého rozsahu. Relativně často se vyskytuje i liniový objekt pro reprezentaci strmých srázů (používaný často pro mj. pobřežní útesy), obvykle reprezentovaný horní hranou (finská Maastotietokanta, novozélandská NZTopo 50, francouzská BD TOPO), případně hranou horní i dolní (německá ATKIS-Basis DLM, britská OS Master Map, portugalská SCN10K). Objekty umožňující podrobnější reprezentaci detailů reliéfu skalních útvarů se objevují spíše výjimečně (finská Maastotietokanta, britská OS Master Map, německá ATKIS-Basis DLM). Co se celkově týká podrobnosti specifikace a zpracování informací o skalních útvarech, jsou na tom z databází vytvářenými národními mapovacími agenturami (alespoň podle dokumentace) nejlépe Finsko, Velká Británie a Německo.

3.2.2 Standardy a databáze s celosvětovým pokrytím

Kromě topografických databází s národním pokrytím se ukázalo jako užitečné prozkoumat standardy a databáze, jejichž pokrytí je širší než národní. Výčet si opět neklade za úkol být úplný; autor do výběru zahrnul zejména ty databáze nebo standardy, které považoval za prověřené praxí.

DGIWG Feature Data Dictionary

DGIWG (*Defence Geospatial Information Working Group*) je organizace zpracovávající standardy interoperability pro geografickou výměnu dat mezi různými vojenskými a geoinformačními systémy obecně. Členy této organizace jsou státy NATO (tedy i Česko) a další země. DGIWG vytvořila standard DIGEST (*Digital Geographic Information Exchange Standard*), jehož součástí byl i FAAC (*Feature and Attribute Coding Catalogue*). Ten byl nahrazen novým standardem DGIWG *Feature Data Dictionary* (DGIWG, 2013), jehož smyslem je vytvořit etalon pro zachycení jevů reálného světa v prostorových databázích. Tento standard popisuje definice jednotlivých entit reálného světa, ale již nepopisuje způsoby vymezení, modelování ani geometrii objektů. To nechává na specifikaci jednotlivých katalogů objektů, které z něj budou vycházet. To zajišťuje dostatečnou obecnost a zároveň možnost interoperability.

Objekty a jevy související se skalními útvary jsou v tomto standardu popsány v části *Physiography / Rocks* a zahrnují celkem 14 entit. Z následujícího přehledu jsou vypuštěny ty, které bezprostředně souvisejí s ledovci. K relevantním pro účely této práce patří entity *Crevice* (trhlina), *Exposed Bedrock* (odkrytá holá skála), *Rock Formation* (skalní útvar), *Significant Rock* (významná skála), *Solid rock* (pevná skála, hornina), *Volcanic Dyke* (vulkanická žíla). *Crevice* je úzká trhlina v zemi, zejména ve skále. Může být použito pro trhliny, které se objeví po zemětřesení. *Exposed bedrock* reprezentuje skalnaté území, které je pokryto jiným materiálem (např. půdou, pískem, jílem, štěrkem) z méně než 10 %. Může zahrnovat i výlevné horniny jako například lávu. *Solid rock* jsou oblasti tvořené jedním nebo více minerály a/nebo pevným organickým materiálem (tento objekt se týká spíše kategorie land cover). *Rock formation* je významný odkrytý skalní výchoz tvořený horninou, *Significant rock* pak nápadná izolovaná skála, zamýšlená zejména pro orientační a navigační účely. Objekt *Volcanic Dyke* představuje vypreparované vulkanické, žíly, které vznikly vyplněním trhliny magmatem a následnou erozí okolního materiálu; v krajině se mohou projevat jako nápadné úzké hřbety (žebra).

OpenStreetMap

Databáze OpenStreetMap používá pro zachycení objektů reálného světa uzly (body), cesty (linie), plochy (polygony) a relace, které označuje pomocí tagů ve tvaru klíč=hodnota. Uživatelé mohou používat libovolné vlastní tagy, nicméně větší smysl pro opakovatelnou využitelnost dat komunitou dává používat již sestavený výčet doporučených tagů. Pro reprezentaci skal je doporučeno využívat značky z předem daného seznamu (OSM, 2015), které budou uvedeny dále. Všechny tyto objekty mají klíč *natural* a liší se jeho hodnotou. K doporučeným hodnotám patří *bare_rock* (holá skála), *cliff* (sráz, skalní stěna, útes), *rock* (skála), *ridge* (hřeben), *arete* (areta, ostrý skalní hřeben) a *peak* (vrchol).

Objekty typu *bare_rock* jsou polygonové a používají se pro oblasti s výskytem holé skály pokryté jen řídkou vegetací či zcela bez vegetace, kde vychází na povrch skalní podloží. Zachycuje se obvod takové oblasti. Používá se pro zachycení:

- oblastí ve velehorách, kde vystupuje skalnaté podloží (horské šíty, skalní stěny),
- skalnaté pobřeží,

- skalnaté oblasti pahorkatin, pouští a polárních oblastí,
- skalní výchozy v oblastech kamenolomů či zářezech silnic,
- monolitické kamenné hory.

Objekt typu *cliff* se používá pro vertikální či téměř vertikální části reliéfu přírodního původu, tvořené obvykle horninou, ale i dalšími materiály (jíl, kompaktní písek, led apod.). Obvykle je reprezentován orientovanou linií, která sleduje jeho horní hranu a je zakreslena tak, aby dolní část útesu byla vpravo od ní. V případě kráterů, závrťů a podobných tvarů může být tato linie uzavřená. Pro uměle vytvořené objekty (typu zářezy okolo komunikací) se používá jiný objekt. Rovněž pro horské hřebeny, které sice spadají na obě strany, ale ne vertikálně, se nepoužívá objekt typu *cliff*, ale objekty typu *ridge* nebo *arete*. Objektem *cliff* se nereprezentuje ani skloněný skalnatý povrch, pro který je určen typ *bare_rock*. Liniové objekty typu *ridge* a *arete* se používají pro hřbetnice. Pro ostré, skalnaté a kamenité hřbety je doporučeno použít spíše objekt *arete*. Objekt typu *rock* reprezentuje obvykle bodem významnou skálu, nebo skupinu skal. Podstatné je, aby byl daný skalní útvar spojen se skalním podložím. Pokud spojen není, použije se objekt typu *stone* (balvan). Objekt typu *peak* označuje obecně vrchol kopce nebo hory, na OpenStreetMap v oblastech pískovcových skalních městech v Česku a Sasku je rovněž použit pro zachycení skalních věží.

Mapy pro orientační běh

Mapy pro orientační běh představují další celosvětový a v praxi velmi používaný standard pro podrobné mapování. Standard (ISOM, 2000) popisuje jednotlivé značky (mapové objekty) spolu s jejich kartografickou reprezentací. Nejde tedy o definici topografické databáze ve smyslu geometrie a atributů, nicméně z důvodů podobných jako v kapitole 3.1.2 považuje autor za vhodné tento standard popsat. Objekty související se skalami a balvany mají v klíči samostatnou sekci, protože tyto objekty nesou informace o nebezpečí a průběžnosti terénu a rovněž poskytují možnosti pro orientaci a umístění kontrol. Názvy a popis v dalším textu vychází z oficiálního českého překladu normy ISOM 2000 (v závorce jsou uvedeny i anglické názvy, protože originál standardu je v angličtině). Pro účely znázorňování skal jsou relevantní vybrané objekty z části Skály a balvany, konkrétně *Neschůdný sráz* (Impassable cliff), *Schůdný skalní sráz* (Passable rock face), *Skalní masiv / stěna* (Rock pillars / cliffs), *Holá skála* (Bare rock), případně i *Velký balvan* (Large boulder).

Neschůdný sráz a *Schůdný skalní sráz* jsou liniové objekty, používané pro nejen pro skalní, ale i kamenné a hlinité strmé srázy a i opěrné zdi. Průchody mezi srázy (skalami) je přípustné uměle zvětšit z důvodů lepší čitelnosti výsledné mapy. Výsledná kartografická reprezentace se může rovněž upravit pro lepší zachycení situace pod skalním útvarem (např. když skalní útvar spadá přímo do vody a znemožňuje tím průchod pod skalou podél okraje vody). Objekt *Skalní masiv / stěna* je plošný, používá se v případě neobvyklých útvarů, jako jsou skalní bloky (věže) nebo velké srázy nebo obrovské balvany, tedy typicky neschůdný terén. Objekt *Holá skála* je rovněž plošný, zachycuje oblast skalního podkladu bez půdy či porostu, která je obvykle schůdná. Objekt *Velký balvan* je bodový a používá se pro zvlášť velké a výrazné balvany. Hranice mezi velkým a obrovským (pro který se použije plošný objekt *Skalní masiv / stěna*) není v předpisu exaktně definována a v praxi závisí na kontextu, tj. charakteru okolního terénu. V případě půdorysně neobvyklých skalních útvarů se dává z důvodů lepší identifikovatelnosti v terénu přednost spíše použití plochy, a to i v případě, že by byl výsledný plošný objekt menší než velikost bodového symbolu. Stejně tak hranice není exaktně určena hranice mezi „malý výrazný“ a „zvlášť velký a výrazný“, protože pro malé výrazné balvany existuje samostatný objekt *Balvan* (Boulder).

Celkové shrnutí

Obecně lze shrnout, že uvedené přístupy v databázích či podle standardů s celosvětovým pokrytím nabízejí podstatně víc možností jak pro kategorizaci, tak pro reprezentaci detailů skalního terénu než velká většina topografických databází vytvářených národními mapovacími agenturami.

3.3 Další využitelné zdroje dat pro mapování skal

Kromě informací odvozených z dat LLS (popsaných v kapitole 2.2) mohou mít doplňkový význam pro získávání informací o skalním terénu také další zdroje. Následující přehled se omezuje na ty, které jsou relevantní pro území Česka. Z nich nejvýznamnější roli hrají letecké snímky a ortofoto, existující topografické mapy a databáze ZABAGED, příp. DMÚ 25 (viz kapitolu 3.1), dále mapy pro orientační běh a horolezecká literatura a databáze. Hlavní úloha těchto zdrojů spočívá v tom, že mohou usnadnit vizuální interpretaci dat LLS, případně produktů z těchto dat odvozených. Význam doplňkových zdrojů i pro filtraci dat LLS byl ostatně zmíněn již v kapitole 2.4. Části textů následujících podkapitolách byly převzaty z práce (Lysák, 2008), doplněny a zaktualizovány.

3.3.1 Letecké snímky a ortofoto

Letecké měřické snímky a z nich vytvořené ortofoto představují v současné době nejběžnější zdroj informací pro aktualizaci topografických databází a map. Pro efektivní využití leteckých měřických snímků je potřeba hardwarové a softwarové vybavení umožňující práci ve stereoskopickém režimu, umožňujícím vnímat třetí rozměr. V praxi je proto používanější ortofoto. Pro celé území republiky je v době psaní této práce k dispozici Ortofoto ČR produkované ZÚ s velikostí pixelu 25 cm, aktualizované od roku 2012 ve dvouletém cyklu, zpracované s důrazem na vysokou geometrickou přesnost (ZÚ & VGHMÚř, 2012). Existuje i komerčně vytvořená varianta ortofota s rozlišením 12,5 cm/pixel (od společnosti TopGis), publikovaná například na serveru mapy.cz.



Obr. 43. Skalní útvary na ortofotu.

Vlevo problém zakrytí skal vegetací v oblasti Bludiště v Teplických skalách (srov. s mapou na obr. 79 na str. 142). Na ukázce vpravo jsou sice některé detaily skalního terénu patrné, ale spolu s nimi také v pravé horní části snímku jejich polohová chyba vyplývající z nepřesností DMR použitého při ortorektifikaci (jsou vidět stěny věží, které jsou ve skutečnosti kolmé, srov. s obr. 1 na str. 15).

Ortofoto: © ČÚZK, 2016.

Z hlediska zachycení skalních útvarů mají snímky dva hlavní problémy: zakrytí skal vegetací a chyby v poloze skalních útvarů vyplývající z jejich výškové členitosti. Zakrytí skal vegetací je částečně ovlivněno požadavkem na dobu pořízení dat. Snímkuje se nejdříve v květnu, protože kromě údržby ZABAGED a DMÚ 25 snímky slouží jako zdroj aktuálních informací pro Registr

půdy LPIS, který je součástí Integrovaného administrativního a kontrolního systému (IACS) Evropské unie, využívaného mj. pro kontrolu zemědělských dotací z fondů EU (Šíma, 2008), a kvůli tomu nelze snímkovat dřívě. Z hlediska skal to znamená, že koruny stromů zakrývají detaily skalního terénu a ten je na snímcích poměrně obtížně rozlišitelný, resp. z něj vystupují pouze vrcholky skal nezakryté vegetací (obr. 43 vlevo). V těchto místech může být ovšem ortofoto velmi užitečné, protože zejména v oblastech pískovcových skal nese podstatně více informací o jejich rozčlenění než informace odvozené z LLS. Velmi dobře patrné jsou zejména jednotlivé pukliny a rozsedliny rozčleňující vrcholy skal a okraje plošin (obr. 43 vpravo). Obecně je ale interpretovatelnost skal z ortofota poměrně problematická a pravděpodobně by jí příliš nepomohlo ani snímkování v mimovegetačním období.

Chyby v poloze skalních útvarů vyplývají zejména ze středové projekce při pořizování snímků a nedokonalostí DMR použitého při ortorektifikaci. Pokud se snímané místo nenachází přesně pod středem snímku, není v případě vysokého objektu zachycen jeho vrchol polohově správně, ale je posunut. Velikost tohoto posunu je ovlivněna výškou objektu a vzdáleností od středu snímku. Tento problém se netýká jen skal, ale například i vysokých budov, komínů, vysílačů apod. U těchto objektů jsou pak vidět jejich stěny přivrácené ke středu snímku. Řešením tohoto problému je tvorba tzv. pravého ortofota (*true orthophoto*). To se tvoří s využitím podrobného digitálního modelu povrchu hlavně v zastavěných oblastech. Uvedený problém se na ortofotu ČR produkovaném ZÚ podařilo značně eliminovat ortorektifikací s použitím produktů odvozených z dat LLS. Nicméně při užívání ortofota ČR je nutné mít na zřeteli, že v tomto produktu jsou s garantovanou přesností zobrazeny polohopisně správně geografické objekty a jevy v úrovni terénu, tedy paty vysokých objektů. Informace z vrcholů skal tak mohou být polohově zkreslené, paty skal často nejsou z důvodů zastínění a přítomnosti vegetace patrné vůbec.

3.3.2 Mapy pro orientační běh

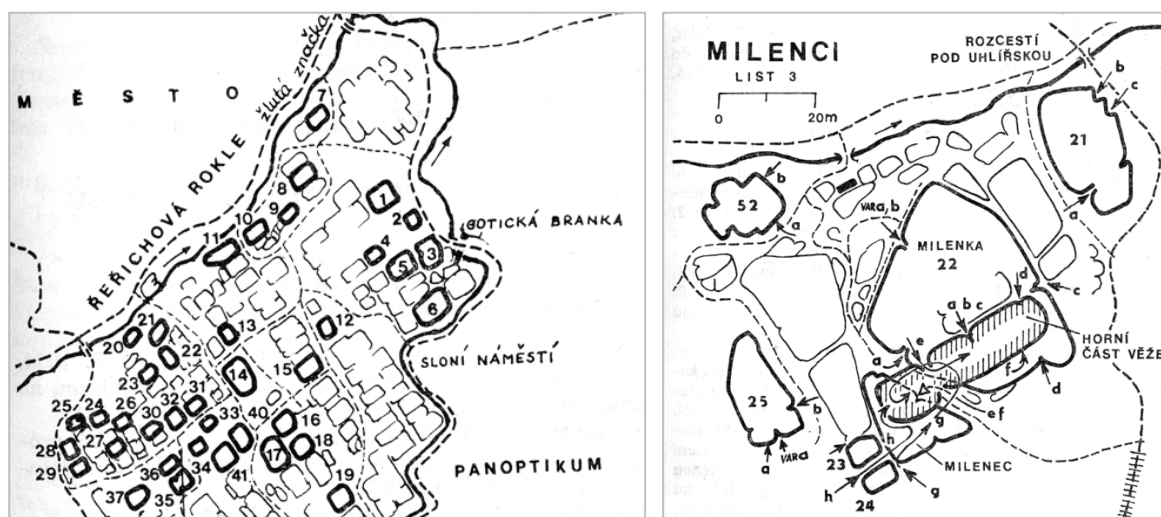
Mapy pro orientační běh lze použít – podobně jako topografické mapy – jako doplňkový podklad zejména při interpretaci produktů odvozených z dat LLS. Velkou výhodou těchto map je, že vznikají přímo na základě terénního průzkumu. Mapování obvykle probíhá v měřítku 1 : 7 500 a výsledná mapa má měřítko 1 : 15 000 či 1 : 10 000 (ISOM 2002, s. 5). Vzhledem k velkému měřítku zachycují tyto mapy terén a tedy i jednotlivé skalní útvary obvykle velmi podrobně, viz ukázkou na obr. 93 na str. 156. Nevýhodou těchto map (a zvláště těch staršího data) je problematická absolutní polohová přesnost vyplývající z používaných metod mapování. Naopak relativní přesnost bývá velmi dobrá. Značnou nevýhodou pro širší využití je také skutečnost, že nepokrývají plošně území celé republiky. Mapa pokrytí včetně podrobných náhledů jednotlivých map je k dispozici na Mapovém portálu ČSOS (<http://mapy.orientacnisporty.cz/>). Celkem je (k 20. 3. 2016) evidováno 8044 map. Další informace o souvislostech skal a map pro orientační běh lze nalézt v kapitolách 3.2.2 (typy objektů použité při mapování skal na těchto mapách) a 4.3.1 (kartografické zpracování v kontextu dalších metod používaných pro znázorňování skal na těchto mapách).

3.3.3 Horolezecká literatura a databáze

Velmi specifický zdroj informací o skalách představují mapky a náčrty v horolezeckých průvodcích. Ukázky map toho typu zachycuje obr. 44. Horolezectví má v Česku poměrně dlouhou tradici a v průběhu let vzniklo značné množství horolezeckých průvodců po jednotlivých skalních oblastech i souhrnná díla týkající se celých regionů. V horolezeckých průvodcích nejsou pochopitelně zachyceny všechny skály v Česku, ale pouze ty, které jsou z hlediska tohoto sportu

zajímavé. Vhodné skály jsou obvykle dostatečně vysoké, nepříliš zarostlé vegetací a nepříliš zvětralé. Většina horolezeckých průvodců doprovází popis výstupových cest na jednotlivé skalní útvary detailními náčrtly (nejen půdorysnými) a také zachycuje rozmístění skal v terénu včetně jejich půdorysu. Tyto náčrtly většinou nemají žádný měřický základ a ve velké většině případů byly pořízeny přímo v terénu od oka, nověji se díky běžné dostupnosti na internetu se pro jejich tvorbu začalo využívat i ortofoto, pokud to ovšem vegetace dovoluje (Lukavský, 1999). Z hlediska topografického mapování skal jsou náčrtly použitelné jako velmi orientační vodítko maximálně pro lokální dořešení detailů skalního terénu.

Podstatně větší význam má tento zdroj pro geografické názvosloví skal (viz dále v kapitole 3.5). Údaje z průvodců byly z podstatné části přepracovány do elektronické podoby veřejně přístupných databází. K těm z pohledu úplnosti informací o horolezeckých objektech nejrelevantnějším patří v době psaní této práce web Skalní oblasti ČR (<http://www.skalnioblasti.cz>) provozovaný společností Netsystem Int., dále Databáze skal ČR (<http://www.horosvaz.cz/databaze-skal-cr/>) provozovaná Českým horolezeckým svazem (dále jen ČHS) a web Sandsteinklettern (<http://www.sandsteinklettern.de/>) provozovaný Jörgem Brutscherem. Horolezci mají území Česka rozděleno na jednotlivé lezecké regiony (např. Východní Čechy), ty se dále dělí na oblasti (např. Teplické skály) a ty pak na sektory (například Skalní ostrov). Některé rozsáhlejší sektory se mohou dělit ještě na dílčí části.



Obr. 44. Ukázky náčrtů z horolezeckých průvodců.

Vpravo orientační náčrt oblasti, vpravo detailní náčrt skalní věže. Obě ukázky z oblasti Adršpašských skal.

Zdroj: Šmíd (1979).

Z pohledu informací relevantních pro topografické mapování je struktura všech databází podobná, evidují jednotlivé lezecké objekty, a u každého z nich zařazení do lezeckého regionu, oblasti a sektoru, polohu (pouze u některých objektů), výšku (pouze u některých objektů) a jednotlivé lezecké cesty na objekt vedoucí (a k nim řadu dalších údajů, které pro topografické mapování nejsou příliš relevantní). První dvě databáze mají společný základ. Web Skalní oblasti provozoval původně ČHS se společností Netsystem Int. společně, po jejich neshodách byla v roce 2014 ČHS vytvořena nová aplikace Databáze skal ČR, ovšem s využitím dat z původního webu Skalní oblasti. Web Sandsteinklettern je postaven na dobrovolnické práci, kdy jeho jednotliví uživatelé přidávají a aktualizují informace o objektech. Podrobnější diskuze možností využití těchto dat pro geografické názvosloví je dále v kapitole 3.5.2.

Údaje o jednotlivých lezeckých objektech zpracované na základě různých zdrojů jsou rovněž součástí některých mapových děl. Zde zasluhují zmínku zejména mapy Geodézie On Line

(dostupné mj. na <http://www.katastralni-mapa.cz>), které ve srovnání s ostatními turistickými mapami obsahují velké množství lezeckých objektů, a dále mapový server mapy.cz.

3.3.4 Další specializovaná lokální data

Pro získávání informací o skalách mohou mít význam i další lokálně pořízená data. K populárním technologiím patří systémy dálkově řízeného letadla (RPAS, *remotely piloted aircraft system*), k nimž jsou v současné době dostupné kamery i laserové skenery. Pořízené produkty mají obecně podobné problémy jako dat pořízená „tradičními“ zařízeními umístěnými na letadlech, díky nižší letové výšce a většímu rozlišení, resp. podrobnosti nasnímaných dat mohou výsledné produkty pochopitelně nést více informace. I když jsou náklady na jejich pořízení výrazně nižší než v případě leteckých nosičů, nejsou úplně zanedbatelné.

Nenahraditelným zdrojem informací je pak terénní průzkum, který v případě skalního terénu může být časově i fyzicky náročný a vyžadovat speciální horolezecké vybavení. Ve srovnání s ostatními metodami je velmi málo produktivní (ve smyslu zmapované plochy za jednotku času), ale dokáže přinést informace, které jsou jinak zjistitelné poměrně obtížně. Typickým případem je situace v pískovcových skalních městech, kde situace při pohledu „shora“ vypadá zcela jinak než zdola (rozsedliny, mezery mezi věžemi, jeskyně apod.). Pro účely topografického mapování se v praxi se provádí obvykle s využitím GPS/GNSS. Použití této technologie nicméně vyžaduje alespoň částečný výhled na oblohu a přesnost výsledného měření je jeho mírou, resp. úspěšností příjmu signálu do značné míry ovlivněna. S tím může být v praxi potíž nejen v případě hlubokých zalesněných roklí, ale i u úpatí skalních stěn, zvláště jsou-li převislé. Dává proto smysl dobu měření pro určitou lokalitu naplánovat s ohledem na konfiguraci družic vzhledem k terénním překážkám.

Potíž také představuje objektivní nebezpečí skalního terénu (nebezpečí pádu) a velmi obtížná dostupnost některých lokalit, a to i s horolezeckým vybavením. Například při mapování okrajů plošin pískovcových skalních měst není problém s příjmem signálu GNSS, ale s nemožností okraj plošiny bezpečně sledovat. V těchto situacích lze s výhodou využít také kombinace GNSS např. s laserovým dálkoměrem a do určité míry tak simulovat postupy známé z klasického geodetického měření.

3.4 Návrh metodiky pro reprezentaci skalních útvarů

V této kapitole je popsán návrh metodiky pro reprezentaci skalních útvarů, tj. jednotlivé typy objektů, jejich atributy a způsob, jak je získat. Hlavním cílem při tvorbě tohoto návrhu bylo jednak řešit problémy současné reprezentace skal v ZABAGED, podrobně popsané v kapitole 3.1.3, jednak vytvořit dostatečně obecný koncept vhodný například i pro lokální mapování skalního terénu. Uvedený návrh směřuje do podrobnosti odpovídající měřítkům zhruba mezi 1 : 2 500 až 1 : 10 000, s tím, že se v závislosti na měřítku pochopitelně budou lišit konkrétní parametry jednotlivých typů objektů. Nicméně v případech měřítek přibližně 1 : 5 000 a větších bude v praxi problém s dostupností dostatečně podrobných dat, na základě nichž lze informace o objektech získat.

Hlavní účel, ke kterému by měl výsledek sloužit, je kromě vlastní reprezentace informací o skalách lepších než pouhé vymezení jejich půdorysu, také širší možnost vizualizace těchto dat. Ta může být buď zcela automatizovaná s využitím standardních prostředků GIS software, a přitom nabídne informace srovnatelné s tradičními šrafami (buť v ne tak názorné podobě), nebo lze tyto informace využít k automatizované nebo alespoň poloautomatizované tvorbě takových kartografických vyjadřovacích prostředků, které se tradičním skalním šrafám podobají. Této

problematicke se blíže věnuje kapitola 4.5. Data vytvořená popsanou metodikou pak mohou vstupovat i do analýz v GIS, např. týkajících se průchodnosti terénu.

V rámci navržené metodiky jsou nejprve popsány navržené typy objektů využitelné pro reprezentaci skalních útvarů. Obecně byla v rámci návrhu snaha minimalizovat počet typů objektů, tj. jeden typ objektu je použit v různých typech skalního terénu pro zachycení podobného jevu. Dále jsou uvedeny obecné postupy, jak objekty vytvářet, a to jednak pro obecný skalní terén, jednak pro komplikovaný pískovcový reliéf. Následně je použití objektů pro lepší názornost vysvětleno na modelových příkladech různých typů skalních terénů. Další část se věnuje možnostem automatického získání těchto objektů. Kapitola pokračuje přehledem zkušeností získaných při praktickém testování navržené metodiky. Závěrečná kapitola 3.6 na konci této sekce se pak věnuje hodnocení navržené metodiky z teoretického i praktického pohledu, diskuzi jejich výhod a nevýhod a možných alternativ.

3.4.1 Popis navrhovaných objektů

V této podkapitole budou podrobně popsány jednotlivé navržené typy objektů ve stylu katalogů objektů, tedy jako návod pro topografa. Popis vychází z metodiky (Axmanová & Lysák, 2014), snaží se o mírně obecnější řešení a navíc na základě zkušeností s metodikou se snaží minimalizovat počet objektů (objekty jsou pak obecnější a použitelné v různých situacích). U každého typu objektu je uvedena jeho definice, zdůvodnění, proč byl navržen a jaký je jeho význam, typ geometrie, atributy, vysvětlení podrobností, velikostní kritéria pro zachycení objektu včetně míry generalizace na obecné úrovni a konkrétní hodnoty doporučené nebo použité v experimentech pro mapování v podrobnosti odpovídající ZABAGED, dále z čeho a jak geometrii objektu odvodit, zda a jak ji lze odvodit automaticky a případné další vysvětlující poznámky.

Z důvodů přehlednosti je nejprve uveden stručný výčet navržených objektů:

- základní typy objektů: *Skalní útvary* (plošný objekt), *Skála*, *balvan* (bodový objekt), *Roztroušené skály a balvany* (plošný objekt),
- objekty charakterizující vnitřní členění skalního útvaru: *Hřbetnice*, *Údolnice*, *Lomová hrana* (všechny liniové) a *Významný objekt skalního terénu* (bodový objekt),
- objekty charakterizující obvod skalního útvaru: *Horní hrana*, *Dolní hrana* (všechny jsou liniové).

Základní typy objektů v zásadě odpovídají těm, které jsou v ZABAGED již nyní. Popis přináší upřesnění jejich používání v různých typech skalního terénu a diskuzi některých parametrů generalizace. Liniové objekty charakterizující vnitřní členění skalního útvaru odpovídají vybraným terénním čarám (liniím terénní kostry), které slouží pro bližší charakterizaci skalního útvaru (rozlišení stěna vs. hřeben). Bodové objekty pak mohou přinášet další důležité informace, které liniovými objekty nelze zachytit (vrcholy skalnatých kup, vystupující věže, další morfologicky nápadné části konkrétní skály atd.). Konečně objekty charakterizující obvod objektu nesou informace sloužící pro bližší charakterizaci skalního útvaru (horní vs. dolní část skály). V případě, že je k dispozici DMR, lze objekty charakterizující obvod odvodit s velkou mírou úspěšnosti automaticky na základě objektu *Skalní útvary* (podrobněji v kapitole 3.4.4).

Skalní útvary

Skalními útvary se rozumí místa, kde na nebo nad zemský povrch vystupuje hornina, která může být i částečně zakrytá vegetací (nejen ve smyslu stromů, ale např. porostlá mechem, borůvkám, vřesem, břečťanem, trávou apod.). Skála se od svého okolí obvykle odlišuje výrazným sklonem

a/nebo vyšší lokální členitostí. Mezi jednotlivými skalními výchozy může být v omezené míře i neskálnatý (hlinitý) terén, přípustná míra jeho zastoupení souvisí s mírou podobnosti mapování a je diskutována dále. Objekt se použije jak pro objekty přírodního, tak umělého původu (skalní nebo skalnaté stěny opuštěných lomů, případně i skalní zářezy okolo komunikací).

smysl objektu: odlišit ty části terénu, které jsou na rozdíl od běžného hlinitého (neskalnatého terénu) obtížněji průchodné (viz kapitolu 1.5.1) a představují tak překážku nebo nebezpečí při pohybu terénem; může jít též o významný prvek z hlediska orientace

typ geometrie: plocha

atributy: jméno (geografické jméno vztahující se k objektu)

podrobnosti: V závislosti na technologii zpracování může být objekt zachycen pomocí 2D uzavřenou lomenou linií, kterou lze případně s využitím DMR převést na 3D (viz dále v kapitole 3.4.4), v případě využití stereofotogrammetrie lze obvodovou linií objektu vyhodnotit rovnou ve 3D.

Zachycuje se generalizovaný obvod plochy, v němž hornina vystupuje. Hranice vymezující objekt často sleduje výraznou terénní hranu. Míru generalizace je třeba stanovit předem s ohledem na dostupné podklady, zejména hustotu bodového mračka (a zohlednit její lokální proměnlivost), zejména je potřeba vyvarovat se přílišného obkreslování detailů z produktů odvozených z dat LLS, nejsou-li data, z nichž byly tyto produkty odvozeny, dostatečně podrobná a spolehlivě filtrovaná. Důsledného dodržování míry generalizace lze dosáhnout například stanovením minimální délky segmentu použitého pro nakreslení objektu ve smyslu, že vzdálenosti libovolných dvou bodů nebudou blíže, než je předem daná mez.

Generalizace spočívá v:

- zanedbávání výběžků a výstupků menších, než je daná mez. Viz též dále v kritériích pro zachycení objektu.
- uvnitř polygonu mohou zůstat (malé) plochy, které nejsou tvořené horninou, skála by ale měla tvořit více než čtvrtinu plochy objektu (tato podmínka je podrobněji vysvětlena dále u objektu typu *Roztroušené skály a balvany*). Pokud tato podmínka není splněna, je třeba objekt rozkreslit na dílčí plochy. Pokud tyto plochy nevyhovují velikostním kritériím, použijí se buď bodové objekty *Skála, balvan*, případně objekt *Roztroušené skály a balvany*, případně se objekt zcela vypustí.
- spojování, resp. neoddělování objektů. Objekty se oddělují v situaci, kdy je mezi nimi z dat, z polohopisu či terénního průřezu jasně patrný neskálnatý terén nebo významný polohopisný prvek (například pěšina na dně rokle), případně tvoří-li logicky odlišné objekty (například různá výšková patra skal v pískovcových skalních městech). Pokud tato podmínka splněna není, útvar se na více ploch nerozdělí. V případě potřeby se použije pro jeho charakterizaci objektů zachycujících vnitřní členění.

Tímto objektem se vyjadřují i skalní stěny v opuštěných lomech a v zářezích podél komunikací, protože pro průchodnost terénu není podstatné, zda je stěna přírodního nebo umělého původu, protože obě tvoří stejnou překážku. Tím lze do určité míry odstranit nedůslednosti v rozlišování objektů. U umělých objektů staršího data navíc může být obtížné zjistit, zda jde o objekt přírodního či antropogenního původu.

U složitějšího terénu pískovcových skalních měst je objekt použit následovně:

- součástí objektu jsou nejen kolmé či strmé skalní stěny, ale i díky kvádrovitě odlučnosti pískovce charakteristicky rozčleněné okraje plošin nad nimi, kde se obvykle objevuje mix

skalnatého a nescalnatého terénu, který bývá obtížně průchodný; na rozlišení příkré stěny od plošiny se pak použije objekt *Lomová hrana*,

- na okraji plošin, kde skála přechází do hlinitého terénu, je hranice velmi obtížně identifikovatelná (a to i v terénu). Hranici je třeba vést tak, aby charakteristické vhloubené tvary (pukliny, trhliny a rozsedliny tvořící překážku při pohybu terénem) byly zahrnuty do plochy skalního útvaru (viz příklady v kapitole 3.4.3).
- u rozčleněného pískovcového terénu se zachycují půdorysy jednotlivých věží nebo jejich skupin, bez ohledu na to, zda je na jejich vrcholcích vegetace nebo jsou holé. Není-li třeba velká míra detailu, lze paty z dostatečně podrobných dat LLS s vyřešenými převisy obvykle poměrně spolehlivě identifikovat.
- je třeba rozlišit věž od vystupujících objektů typu „stolová hora“ (tabulová hora, svědecký kopec), kde budou plochou vyjádřeny pouze skály po jejím obvodu a na vrcholu skála nebude (řeší kritérium přípustné velikosti „díry“ uvnitř skalního útvaru v závislosti na měřítku),
- při generalizaci je třeba rozlišovat situace, kdy jde o dvě stěny umístěné „vedle“ a kdy jde o stěny „nad sebou“ (tj. jednotlivá patra skal). Kritériem pro spojování pater skal je kromě přítomnosti nescalního terénu mezi nimi převažující vzdálenost mezi stěnami měřená mezi úpatím výše položené a horní hranou níže položené.
- v případě převisů se uvažuje 2,5D model, tj. obvodová linie objektu typu věž nemusí být shodná s její patou, ale s obvodem půdorysu věže nezávisle na konkrétní výškové úrovni. V této situaci nastává potíž s tím, jaká by měla být v případě 3D linie její souřadnice z .

Návod, jak zpracovat pískovcový skalní terén viz též dále v části 3.4.2.

Dva objekty typu *Skalní útvary* se nesmí překrývat, ale mohou se dotýkat, resp. mít společnou hranici. To umožňuje z rozsáhlejší plochy skalního útvaru vydělit specifickou oblast (typicky pojmenovanou část), viz též kapitolu 3.5.1 a příklad na obr. 64 na str. 123.

kritéria související se zachycením objektu: Při rozhodování, zda objekt zachytit, je důležité vzít v úvahu zejména tato kritéria:

Minimální plochu, ideálně měřenou ve 3D. Plocha měřená ve 3D má význam kvůli vysokým strmým stěnám, které mají zanedbatelný půdorys ve 2D (viz obr. 2 na straně 23). Měření plochy ve 3D z půdorysu plochy a DMR je funkce běžně dostupná v softwaru (např. v ArcGIS for Desktop lze řešit funkcí *Surface Volume*). Alternativně lze použít plochu vynásobenou relativní výškou objektu. Je-li objekt menší než daná mez, bude zachycen bodovým objektem *Skála, balvan*. Plocha by neměla být absolutní kritériem, tj. lze připustit i plochu menší, v případě, že jde o pojmenovaný, nápadný, tvarově neobvyklý nebo orientačně důležitý objekt nebo o objekt důležitý v kontextu okolí. Z tohoto pohledu lze malé skalní stěny ležící ve svahu a nevystupující z okolního terénu zanedbat spíše než srovnatelně velké objekty ležící na vrcholech a vystupující nad terén. Hodnota použitá v praktických testech byla původně 1000 m², ale ukázalo se, že je možné ji snížit až na přibližně 400 m².

Minimální převýšení, které bude opět závislé na kontextu okolí. Minimální převýšení by mělo být aspoň 1 m, pokud není, pak jde o *Roztroušené skály a balvany* nebo *Skupinu balvanů* (ve smyslu používaném v ZABAGED). Skalní výchoz obecně nemusí vystupovat nad terén vůbec, pak je ovšem z produktů LLS identifikovatelný pouze v situaci, kdy je členitý. Není-li členitý, lze ho rozpoznat pouze z ortofota za předpokladu, že není skryt pod vegetací. Je otázka, zda má smysl takový objekt zachycovat, protože překážku v pohybu terénem netvoří. Může mít ale význam pro

orientaci (z toho důvodu je ostatně i v mapách pro orientační běh, viz kapitolu 3.3.2). Navržená metodika umožňuje i tyto objekty reprezentovat a navíc odlišit od objektů nad terén vystupujících.

Pro stanovení konkrétních hodnot pro účely generalizace záleží na požadovaném měřítku výsledku a podrobnosti podkladových dat. Pro spolehlivé zachycení detailů je zejména v případě dat LLS potřeba poměrně velká hustota bodového mračna, resp. odrazů od terénu. Je třeba stanovit minimální velikost výběžků a výstupků, vertikálních a horizontálních mezer mezi objekty, minimální velikost plochy, která bude označena jako neskální terén v případě, že je zcela obklopena terénem skalním (viz výše, rozdíl „věž“ versus „stolová hora“). Kritéria pro zachycení detailů v experimentu byla stanovena na 10 m (výběžky menší než tato mez se zanedbávaly), hodnota pro spojování byla stanovena stejná, ale její použití může být v konkrétních případech sníženo s ohledem na další polohopisné prvky.

zdroje dat: Základním zdrojem pro vymezení půdorysu je obecně LRM (skála má oproti okolí členitější povrch), na pískovcích navíc též rastr sklonu (pískovcové stěny jsou kolmé až převísle). Doplňkově lze využít stínovaný model reliéfu (pouze pro rychlou orientaci, nikoliv pro přesné vymezení objektů) a podrobné vrstevnice odvozené z dat LLS (se základním intervalem v řádu desítek centimetrů). V případě vyhodnocování ve stereografickém režimu mohou být užitečné také letecké snímky a bodové mračno. Ortofoto lze využít pouze omezeně v místech, kde nejsou skály pod vegetací. LRM příliš nefunguje v situaci, kdy skála není členitá (tvoří velké plotny), pak je třeba se řídit terénními hranami odvozenými z DMR.

Klíčové je mít k dispozici informaci o tom, zda daný objekt projevující se v LRM je nebo není skála. K tomu se výborně hodí stávající objekty ZABAGED (*Skalní útvary a Osamělý balvan, skála, skalní suk*). S využitím těchto dat lze provést zpřesnění vymezení existujících objektů, přidat chybějící objekty v okolí stávajících na základě podobné charakteristiky, případně i rušit existující objekty. Rušení je ale třeba provádět opatrně a zejména je potřeba vyloučit přítomnost skal i na základě dalších údajů (hustota terénních bodů LLS, původní bodové mračno).

automatizace odvození objektu: pouze omezeně, z toho důvodu, že je použit pro morfologicky velmi rozdílné tvary. O určité automatizaci lze uvažovat v případě skalních stěn v pískovcovém skalním terénu (viz kapitolu 3.4.4).

poznámky: Tímto objektem budou zachyceny všechny (dostatečně rozsáhlé) skalní útvary. Pouze v případě některých – zejména těch rozsáhlejších (podmínka je dále definována exaktně a nejen pomocí rozlohy) – se budou ještě přidávat další informace. V mapě tedy budou zaznamenány překážky pro průchod terénem a zároveň u některých z nich budou uvedeny podrobnosti. Výhodou je kompatibilita se stávajícím řešením ZABAGED, kdy tento objekt logicky odpovídá stejnojmennému stávajícímu objektu.

V případě nejistoty ohledně přítomnosti skalních útvarů v daném místě se nabízí možnost využít další zdroje: zejména mapy pro orientační běh, existující topografické databáze, staré topografické mapy či horolezecké průvodce. Skály tam budou s ohledem na přesnost dat LLS téměř jistě polohově chybně, ale z kontextu okolí lze informaci o tom, zda skála v daném místě je či není, z takového podkladu vyčíst.

V případě mapování ve velkém měřítku (větší než cca 1 : 2 000) zejména v pískovcovém skalním terénu nastávají potíže vyplývající z detailnosti zachycení situace, zejména s:

- tím, že půdorys výsledného objektu odvozený i z velmi podrobného DMR z dat LLS bude typicky mírně nadhodnocený (vyplývá z podstaty navzorkování terénu daty LLS a tvorby rastrového modelu). To platí i v případě terénního mapování, protože v praxi lze jít jen obtížně po horní hraně plošiny v místě, kde se láme do stěny.

- převisy. Lze řešit tak, že plocha skalního útvaru zahrnuje jeho průmět do roviny, případná plocha převisů se dá řešit jako samostatný objekt, je-li to účelné. Polohopisný objekt (např. cesta vedoucí pod převisem) pak prochází přímo skalním útvarem.
- rozdílem s plochou objektů u paty a v horní části, zejména v případě velmi vysokých věží. Například věž může ve své dolní části navazovat na jinou skálu, ale v horní části je od ní nepřekonatelně oddělená. Lze řešit zachycením půdorysu u paty (s čímž v praxi může být v případě mapování ve velkém měřítku poměrně problém, protože tam je obecně odrazů LLS méně a výsledek je pak méně spolehlivý), resp. průmětu půdorysu do roviny. Horní část lze řešit pomocí objektů charakterizujících vnitřní členění skalního útvaru.

V případě, že by to mohlo být pro mapování určité lokality účelné, lze k tomuto typu objektu doplnit další informace o schůdnosti, resp. překonatelnosti objektu, tj. zda je o skalní stěnu, skalnatý sráz, skalní plošinu apod. Tyto informace jsou ovšem z dat DPZ zjistitelné spolehlivě spíše jen výjimečně a vyžadují terénní průzkum.

Skála, balvan

Bodový ekvivalent objektu typu *Skalní útvary*. Použije se pro ty objekty, které v měřítku mapování nemá smysl uvádět půdorysem.

smysl objektu: Zachycení plošně menších skalních objektů. Na rozdíl od objektu typu *Skalní útvary*, kde plošné objekty vyjadřovaly překážku při pohybu terénem, tento bodový objekt má význam spíše pro orientaci.

typ geometrie: bod

atributy: jméno (geografické jméno vztahující se k objektu)

podrobnosti: Hranicí pro rozlišení bodových a plošných objektů by neměla být striktně pouze plocha (nejlépe měřená ve 3D), ale také kontext okolí (jsou-li v okolí skály vyjádřené plochou, bude i mírně podměrečný objekt vyjádřen plochou a naopak). Typicky se použije pro izolované objekty a drobné skalní útvary vyšší než daná mez. Pro nižší objekty slouží typ objektu *Skupina balvanů*. Pokud objekt nevystupuje nad terén vůbec (malá skalní stěna, plochý skalní výchoz), nemá smysl ho zachycovat bodovým objektem vůbec, protože nemá příliš význam pro orientaci.

Generalizace u tohoto typu objektu připadá v úvahu v případě lokálního nahromadění velkého počtu těchto objektů. Pak je lze vynechávat, zvláště v situaci, kdy se vyskytují drobné objekty u velkých plošných.

kritéria související se zachycením objektu: plocha menší než daná mez, viz výše u objektu typu *Skalní útvary*. Minimální převýšení závisí na kontextu, doporučená minimální hodnota je 1 m.

zdroje dat: podobné jako u objektů typu *Skalní útvary*, též s využitím stávajících objektů typu *Osamělý balvan*, *skála*, *skalní suk*. Drobnější objekty typicky nebudou v datech DMR 5G zachyceny, zde může pomoci ortofoto či lépe letecké měřické snímky prohlížené ve stereoskopickém režimu. V případě zakrytí vegetací je zpřesňování těchto objektů jinak než terénním průzkumem značně problematické.

automatizace odvození objektu: spolehlivě nelze, lze automaticky překlasifikovat podměrečné plošné objekty na bodové, což ale nemusí přinést ideální výsledek.

poznámky: Stručnější název vychází z toho, že *Osamělý balvan*, *skála*, *skalní suk* vznikl z historických důvodů slučováním objektů, viz kapitulu 3.1.2. Osamělost, resp. izolovanost v kritériích pro jeho zachycení nikde nevystupuje. Pokud by měla být izolovanost významná pro

zachycení objektu, byl by vhodnější název *Izolovaná skála, balvan*. Skála totiž může být izolovaná, i když není osamělá ve smyslu, že poblíž ní neleží další.

Pokud by to bylo účelné, lze uvažovat o rozlišení, zda jde o balvan nebo skálu pomocí dalšího atributu objektu. Tato informace je ovšem zjistitelná pouze terénním šetřením, případně ze starých topografických map. Objektu lze případně jako atribut doplnit navíc relativní výšku, což by mělo smysl pro účely generalizace.

Roztroušené skály a balvany

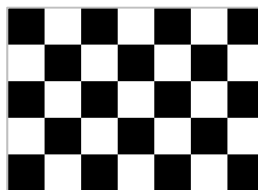
Zachycení terénu, kde skalní výchozy nebo balvany nad povrch sice vystupují, ale nelze je zachytit plošnými objekty každý zvlášť a u bodových objektů by buď nesplňovaly podmínku minimálního převýšení, resp. by měly tendenci tvořit shluky. Tento typ objektu má význam zejména při generalizaci skal do menšího měřítka a přímým mapováním vznikne pouze ve výjimečných případech.

smysl objektu: Možný způsob řešení generalizace skal šetřící práci topografovi ve výše popsané situaci. Zachycení objektem typu *Skalní útvary* není žádoucí, protože objekt nepředstavuje tak zásadní překážku při průchodu terénem (plocha mezi skalami tvoří převažující část povrchu). Na druhou stranu úplné ignorování terénu se skalnatými výchozy také není úplně žádoucí. Tento typ objektu lze přirovnat k situaci, kdy se generalizuje zástavba typu chatová kolonie (každá jednotlivá budova je sice malá, ale jako celek je nelze zanedbat).

typ geometrie: plocha

atributy: jméno (geografické jméno vztahující se k objektu)

podrobnosti: Použití tohoto objektu je vždy na velmi pečlivém uvážení. Skála by měla tvořit méně než cca 25 % povrchu (toto kritérium vychází z britské MasterMap, viz kapitolu 3.2.1). Lze k němu dospět na základě požadavku, že v každém směru má být alespoň polovina vzdálenosti pokrytá daným objektem, což dává ve výsledku čtvrtinu plochy, viz též obr. 45). Čtvrtina je ke zvážení, podobný princip lze použít např. k rozlišení skalních stěn od skalnatých srázů, kde kritériem může být nepřekonatelnost překážky, nikoliv nutně procento povrchu tvořené kompaktní horninou. Objekt může navazovat na plochy *Skalních útvarů*. Je vhodné stanovit i dolní mez pokrytí plochy skalami, pod kterou se už objekt nebude zachycovat vůbec.



Obr. 45. K ilustraci procentuálního pokrytí plochy.

Černá pole zabírají pouze čtvrtinu celkové plochy objektu, a přesto výsledná plocha působí spíše černě než bíle.

Objekty typu *Roztroušené skály a balvany* se nepoužijí v případě, že jde o povrch typu kamenné moře / suťové pole (pro ty lze použít objekt *Sesuv půdy, suť*) nebo o objekt malého rozsahu (lze řešit bodovým objektem typu *Skupina balvanů* nebo *Skála, balvan*).

kritéria související se zachycením objektu: minimální plocha, ta by měla být relativně velká a důsledně používaná. S ohledem na obtížnost získání tohoto objektu nebyla při experimentech přesná hodnota stanovena. Viz též kapitolu 3.4.6.

zdroje dat: stejné jako *Skalní útvary* či *Skála, balvan*. Obecně velmi problematické, v datech LLS nebudou menší objekty patrné, čímž není co generalizovat. Zdrojem dat ale mohou být přesněji nakreslené objekty většího měřítka.

automatizace: problematická, vede na netriviální problémy typu generalizace zástavby

poznámky: V zásadě jde o plošnou analogii bodového typu objektu *Skupina balvanů*, tj. mezi *Roztroušené skály a balvany* a *Skupina balvanů* je stejný vztah jako mezi *Skalní útvary* a *Skála, balvan*. Na rozdíl od objektu *Sesuv půdy, suť* není tento objekt tvořen volnými kamennými úlomky a vystupuje nad terén. Zároveň také nejde o objekty typu *Kamenitý povrch* či *Roztroušené kameny*, který byl v minulosti použit na TM 10 (viz Lysák, 2015a); od těchto objektů se liší tím, že skalnatý povrch v ploše objektu zabírá větší část jeho rozlohy.

Aktuálně plošně nejrozsáhlejší objekt typu *Skalní útvary*, který se nachází v ZABAGED (viz rámeček na straně 74; stav v lednu 2016) představuje právě tento případ, tj. jde o plochu, v níž nesouvisle vystupují skalní výchozy.

Dále budou uvedeny objekty sloužící pro charakterizaci vnitřního členění skalního útvaru. Smyslem všech těchto objektů je zachytit vnitřní členění skalního útvaru, tedy informaci, která byla v původních topografických mapách vyjádřena kresbou šraf. Tyto objekty slouží jako určitá náhrada šraf a na rozdíl od nich nepředstavují kresbu, ale vyjadřují reálně existující terénní tvary. Smyslem těchto objektů je charakterizovat jednak skalní útvar jako celek (z jejich přítomnosti či nepřítomnosti lze usuzovat, zda jde například o skalní stěnu, hřeben či věž), jednak zachycují detailnější členění útvaru, což má význam z hlediska orientace, případně i průchodnosti a také pro kartografické zpracování.

Hřbetnice

Čára na styku dvou přilehlých svahů téhož hřbetu, spojující relativně nejvyšší body terénního tvaru.

typ geometrie: linie (2D nebo 3D)

atributy: jméno (geografické jméno vztahující se k objektu, význam je spíše teoretický pro zachycení názvosloví v oblastech typu karů v Krkonoších, kde mají jednotlivé části skalnatého terénu svá specifická pojmenování, viz např. Dvořák & Wagnerová, 1994)

podrobnosti: Od této linie se skalní útvar zřetelně svažuje na obě strany. Pokud by se svažoval jen na jednu stranu, použije se objekt *Lomová hrana*. Zachycují se pouze hřbetnice uvnitř plochy skalního útvaru, delší než je předem určená mez a ležící od ostatních vnitřních linií, resp. od okraje plochy, dále než je předem určená mez. Tyto podmínky přirozeně způsobí, že se linie hřbetnic budou kreslit pouze do plošně rozsáhlejších skalních útvarů. Linie se může obvodu plochy na konci dotýkat, ale ne v místech, kde je tento obvod tvořen *Dolní hranou*. V případě potřeby může posloužit jako hřbetnice také bodový objekt typu *Významný objekt skalního terénu* (viz dále).

Linie představuje generalizovanou část skalních hřebenů. Postupuje se tak, že se zakreslí nejvýznamnější z nich, často tvořící podélnou osu skalního útvaru. Na ní se případně navážou další postranní hřbety. Je třeba dodržovat uvedená výběrová kritéria, aby nedošlo k přehuštní. Na pískovcích se používá zcela výjimečně, protože pískovce obvykle netvoří ostré skalní hřbety.

kritéria související se zachycením objektu: minimální délka měřená ve 3D (zejména v případě, kdy hřbetnice má spíše vertikální než horizontální průběh, typicky u skal zahloubených říčních údolí), minimální převýšení na obě strany, aby byly zachyceny pouze morfologicky výrazné objekty, rozestup mezi liniemi různých typů resp. od okrajů objektu větší než určitá mez. Při experimentu byla použita minimální délka 20 m, minimální převýšení 10 m a stejná hodnota také pro rozestup mezi všemi vnitřními liniemi (*Hřbetnice, Údolnice, Lomová hrana*).

zdroje dat: pro první přiblížení stínovaný model reliéfu, rastr orientace, vrstevnice, DMR po vysokofrekvenční filtraci

automatizace: vede na problematiku detekce terénních čar (linií terénní kostry), viz kapitolu 3.4.4

Údolnice

Čára sledující místa největšího vhloubení údolního terénního tvaru. Duální objekt ke hřbetnicím. Ve větších měřítkách lze použít i pro trhliny, pukliny a rozsedliny, resp. obecně pro vyjádření členění pískovcových skal.

typ geometrie, smysl objektu, atributy: stejné jako *Hřbetnice*

podrobnosti: Od této linie skalní útvar zřetelně stoupá na obě strany. Zachycují se pouze údolnice uvnitř plochy skalního útvaru, delší než je vybraná mez. Tato podmínka přirozeně způsobí, že se linie hřbetnic budou kreslit pouze do plošně rozsáhlejších skalních útvarů. Linie se typicky dotýká obvodu skalního útvaru v jeho *Dolní hraně*, případně navazuje na jinou *Údolnici*. Údolnice by měly být proložené hřbetnicemi a tvořit tak uvnitř skalního útvaru dohromady topologicky korektní terénní kostru.

V pískovcovém terénu lze tento objekt použít pro vhloubené tvary (trhliny, úzké rozsedliny apod.) užší než je předem zvolená mez. Širší vhloubené tvary lze vyjádřit dvojicí objektů *Lomová hrana*. Analogicky to funguje u objektu ZABAGED typu *Rokle*, *výmol*, kdy tento objekt může být vyjádřen jednou linií (má-li šířku menší než 3 m) nebo pomocí dvou linií (má-li šířku mezi 3 a 10 m), případně dvojicí terénních stupňů (při šířce nad 10 m).

kritéria související se zachycením objektu, zdroje dat, automatizace: stejné jako *Hřbetnice*. U trhlín minimální šířka (má význam z pohledu průchodnosti terénu). Pro trhliny na pískovcích může být užitečný SVF, jeho prahováním lze detekci trhlín částečně automatizovat, viz kapitolu 3.4.4. Předpokladem je, že jsou zachyceny v DMR. Trhliny (a to i relativně úzké) bývají dobře patrné z ortofóta.

Lomová hrana

Použije se pro místa uvnitř plochy skalního útvaru, kde se výrazně mění sklon. Umisťuje se na pozici horní hrany. Toto použití je univerzální, umožňuje například oddělit relativně plochý terén pískovcových plošin od skalních srázů, oddělit v rámci plochy skal vystupující věže či odlišit výrazné strmé skalní stěny vyskytující se v rámci skalního útvaru.

typ geometrie: orientovaná linie (2D nebo 3D), vpravo od linie je směr dolů

smysl objektu: charakterizace objektu, zejména v případě pískovcového terénu slouží k oddělení strmých stěn a relativně rovnějších plošin

atributy: žádné

podrobnosti: Od této linie se skalní útvar výrazně (téměř kolmo, kolmo či převisle) snižuje pouze jedním směrem (na rozdíl od hřbetnice). Linie je vektorizována tak, aby tento směr byl po pravé straně ve směru vektorizace. Analogie k objektu *Stupeň*, *sráz* (ve významu horní hrany terénního stupně).

Objekt může být použit kdekoli uvnitř polygonu skalního útvaru, kde se výrazně mění jeho sklon (je tam terénní hrana, ale nikoliv hřbetnice nebo údolnice). Obvodové linie *Skalního útvaru* se může dotýkat, případně s ní být identický (je-li skála ohraničena kolmou nebo převislou skalní stěnou). V situaci, kdy by objekt tvořil rovnoběžku (s ohledem na měřítko) blízkou obvodové linii, je vhodné ho s příslušnou částí obvodové linie udělat identický. V případě pískovcového terénu by se měl dotýkat obvodové linie, má-li oddělit relativně plošší část skály od strmé stěny. Linie může být též uzavřená a zachycovat výrazně vystupující části rozsáhlejšího skalního útvaru (jehly, věže

apod.), pokud to vzhledem k měřítku mapy má smysl. Pro menší objekty tohoto typu je určen bodový objekt typu *Významný objekt skalního terénu*.

kritéria související se zachycením objektu: minimální převýšení a sklon objektu, minimální rozestup linií, který by měl být konzistentní s definicemi u *Hřbetnice* a *Údolnice*. V experimentu použité hodnoty viz *Hřbetnice*.

zdroje dat: stínovaný model reliéfu pro první přiblížení, sklon, vrstevnice, DMR po vysokofrekvenční filtraci

automatizace: vede na problematiku detekce terénních čar (linií terénní kostry), viz kapitolu 3.4.4

poznámky: Tento objekt elegantně řeší řadu problémů týkajících se pískovcových skal, zejména oddělení strmých stěn a relativně rovnějších, ale velmi členitých plošin.

Analogie k objektu typu *Stupeň, sráz*. V případě velkého měřítka se nabízí doplnit k tomuto objektu ještě objekt typu „Pata“, analogický k dolní hraně terénního stupně, který by sloužil k ukončení strmé části stěny. Pokud by tedy uvnitř stupňovitého skalního útvaru byla stěna užší než předem daná mez, bude vyjádřena pouze *Lomovou hranou* (ve významu horní hrany); bude-li tato stěna širší než určitá mez (v experimentu uvažováno 10 m), bude vyjádřena horní *Lomovou hranou* (ve významu horní hrany) a *Patou*.

Významný objekt skalního terénu

Vrcholový bod skalního útvaru nebo jiný významný a obvykle pojmenovaný a v měřítku mapy rozlohou zanedbatelný objekt, typicky vystupující z jeho plochy (skalní jehla, věž). Objekt lze případně použít i pro další významné jevy typu skalní brána apod.

smysl objektu: charakterizace detailů skalního terénu, možnost vést jednoduše názvy k jednotlivým částem rozsáhlejšího skalního útvaru, který nelze efektivně rozdělit na dílčí plochy, viz též část 3.5.1.

typ geometrie: bod (2D nebo 3D)

atributy: rozlišení typu bodového objektu (vrcholový bod × ostatní), jméno (geografické jméno vztahující se k objektu), absolutní výška

podrobnosti: Objekt se (jako vrcholový bod) povinně umístí dovnitř takového *Skalního útvaru*, jehož obvod je tvořen výhradně dolní hranou a uvnitř něhož není žádná *Hřbetnice* ani *Lomová hrana* (tj. jde o objekt typu skalnatá kupa, skalní suk, nikoliv o skalní stěnu); v tomto případě lze na objekt pohlížet jako na krátkou *hřbetnici*.

Lze ho (nepovinně) umístit dovnitř plochy skalního útvaru pro zachycení objektů, které je potřeba zvýraznit, tedy z plochy stěny nebo skály výrazně vystupující věže, jehly (pojmenované i nepojmenované) či pro další pojmenované objekty typu skalní brána. Těchto objektů může být v rámci jednoho *Skalního útvaru* více. Je-li objekt, který chceme vydělit z plochy skalního útvaru dostatečně rozsáhlý (a tedy nevhodný pro reprezentaci bodovým objektem), lze ho vyčlenit a dále zpracovat jako samostatný objekt typu *Skalní útvary* nebo ho oddělit pomocí *Lomových hran*. V případě skupiny věží jsou vyhodnoceny jen ty nejvýraznější (nejvyšší, nerozsáhlejší, nejvýraznější) vrcholy, míra generalizace závisí na měřítku a kontextu okolí.

Bod má souřadnice nejvyššího bodu z DMR 5G, případně odečtenou výšku z leteckých měřických snímků stereofotogrammetricky (pokud objekt v DMR 5G chybí).

kritéria související se zachycením objektu: Ve smyslu vrcholového bodu vždy, rovněž pojmenovaný objekt se zachytí vždy. Nepojmenovaný pouze tehdy, je-li v kontextu okolí nápadný, orientačně významný nebo v rámci daného objektu výrazně vystupující.

zdroje dat: Objekt lze zjistit fotogrammetricky (vystupuje-li jeho vrchol nad vegetací) či z vrstevnic odvozených z LLS. Objekty skryté pod vegetací v datech LLS z pochopitelných důvodů mohou chybět.

automatizace: nalezení vrcholů věží či lokálně nejvyšších míst reliéfu obecně lze automatizovat, viz kapitolu 3.4.4

zdroje dat pro atributy: objekt tohoto typu má často své jméno, vhodným zdrojem proto může být horolezecká literatura a databáze, viz kapitolu 3.3.3.

poznámky: Smyslem odlišení použití tohoto objektu jako vrcholového bodu od použití v ostatních situacích je význam z hlediska kontroly logické konzistence objektu typu *Skalní útvary* jako celku (popsáno v závěru kapitoly 3.4.2). Situaci by bylo pochopitelně možné vyřešit rozdělením tohoto typu objektu na dva samostatné typy (např. *Vrcholový bod skalního útvaru* a *Významný objekt skalního terénu*), případně připustit bodovou hřbetnici a povinný vrcholový bod vést tímto způsobem.

V případě povinného umístování jako vrcholového bodu jde v zásadě o objekt typu *Kótovaný bod*. V případě vystupujícího objektu uvnitř rozsáhlejšího *Skalního útvaru* je vztah z pohledu ZABAGED logicky podobný situaci budova – komín či budova – věž, kdy jde také o bodový objekt uvnitř jiného plošného objektu, které spolu logicky souvisejí.

Řeší elegantně problém se zachycením skalních věží. Věž v horolezeckém slova smyslu může být podle své plochy a kontextu okolí vedena jako bodový objekt, jako samostatný plošný objekt, tak jako bodový objekt vedený v rámci plošného objektu. Navíc v rámci plošného objektu – pokud to kritéria generalizace dovolí a pokud je to účelné – může být označen pomocí *Lomové hrany* jeho tvar, splňuje-li kritéria pro délku obvodu. Jméno se vždy přidá k tomu objektu, ke kterému logicky patří, lze tak mít pojmenovanou věž v rámci větší, jinak pojmenované skály.

Podobně jako u objektu typu *Skála, balvan* lze případně jako atribut doplnit navíc relativní výšku, což by mělo smysl pro účely generalizace.

Navržený název tohoto typu objektu není ideální, protože zahrnuje celou řadu možných použití. V práci Vaniše (2011) jsou pro podobné typy objektů navrženy názvy *Kótovaný bod ve skalních útvarech* a *Významná elevace ve skalních útvarech*.

Konečně na závěr přehledu budou uvedeny typy objektů sloužící pro charakterizaci obvodu skalního útvaru. Podobně jako u objektů charakterizujících vnitřní členění skalního útvaru, je smyslem těchto objektů reprezentovat informaci o skalním útvaru, která byla při použití šraf patrná z jeho kresby, zejména informaci o tom, kde je horní a kde dolní část skalního útvaru. Hlavní význam má tato informace pro účely vizualizace.

Horní hrana

Liniová vrstva reprezentující tu část obvodu skalního útvaru, od níž se jeho vnitřek svažuje dolů, tj. v této části obvodu je skála obecně níže, než je okolní terén.

typ geometrie: linie (2D nebo 3D)

atributy: žádné

kritéria související se zachycením objektu: předem stanovená minimální délka, resp. míra generalizace ve vztahu k podrobnosti DMR a podrobnosti vymezení příslušného objektu typu *Skalní útvary*. V experimentu nebyla minimální délka stanovena (odpovídá minimální délce 0 m), generalizace je určena volbou velikosti okolí (podrobnější vysvětlení viz kapitolu 3.4.4), použity hodnoty od 2 do 10 m

zdroje dat: DMR, vrstevnice (stačí i v okolí skalního útvaru)

automatizace: realizovatelná s využitím DMR, viz část 3.4.4.

poznámky: V případě strmého skalního terénu analogie k terénnímu stupni v ZABAGED (jeho horní hraně); *Horní hrana* se ale použije i v případě mírnějšího sklonu. U velmi strmých skalních stěn pak může splývat s *Lomovou hranou*.

Dolní hrana

Liniová vrstva reprezentující tu část obvodu skalního útvaru, od níž jeho vnitřek vystupuje směrem nahoru, tj. v této části obvodu je skála obecně výše, než je okolní terén.

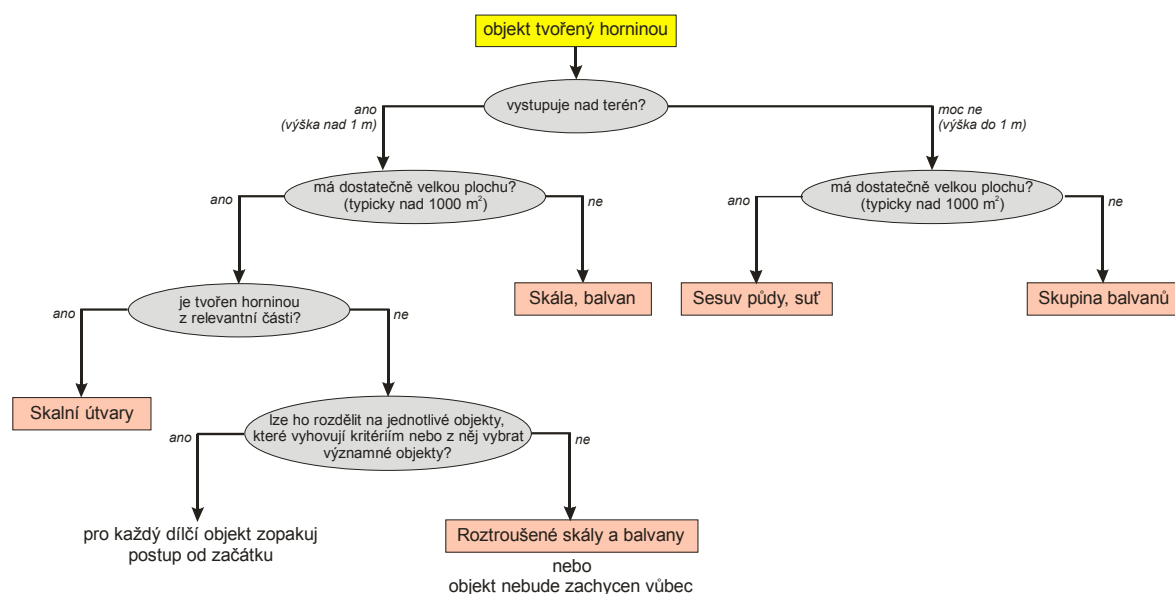
smysl objektu, typ geometrie, atributy, kritéria související se zachycením objektu, zdroje dat, automatizace: stejné jako *Horní hrana*

poznámky: Analogie k objektu typu *Pata terénního útvaru* v ZABAGED, ve vnitřním členění tento objekt analogii nemá, resp. jeho možnost je zmíněna pouze v poznámce u objektu typu *Lomová hrana*. Ne každá část obvodové linie polygonu musí být *Horní hrana* nebo *Dolní hrana*; v případě, že je skalní objekt v daném místě v úrovni terénu, nebude tato část obvodu nijak označena.

3.4.2 Obecný postup zpracování

Z výše uvedeného obsáhlého popisu jednotlivých objektů nemusí být úplně srozumitelné autorův záměr, jak je prakticky používat. K tomuto vysvětlení slouží následující dvě podkapitoly. V kapitole 3.4.2 je popsán obecný způsob zpracování skalního terénu, v kapitole 3.4.3 jsou postupy názorně ilustrovány na konkrétních příkladech.

Prvním krokem při výběru správného typu objektu pro zachycení v podkladových datech identifikovaného skalního útvaru je volba základního typu objektu (*Skalní útvary*, *Skála*, *balvan*, či případně *Roztroušené skály a balvany*) a tvorba přílišné geometrie (polygonu nebo bodu). Obecné schéma výběru správného typu objektu i v kontextu s dalšími typy objektů v databázi ZABAGED je zachyceno na obr. 46.



Obr. 46. Rozhodovací schéma pro výběr správného typu objektu.
Zdroj: upraveno podle Axmanová & Lysák (2014).

Další zpracování se týká pouze objektů typu *Skalní útvary*. Obecný postup pro zpracování vnitřních a obvodových hran jednoho objektu je následující:

1. Rozklasifikují se jednotlivé segmenty obvodové linie objektu útvaru na *Horní hrany*, *Dolní hrany*, přičemž část segmentů může zůstat neoznačená. Toto lze vyřešit automaticky s následnou manuální kontrolou, případně reklasifikací.
2. Pokud v žádné části obvodové linie není *Horní hrana*, přidá se na vrchol skály bodový objekt typu *Významný objekt skalního terénu* ve smyslu vrcholového bodu (skála je v tomto případě vystupující kupa) nebo *Hřbetnici* (jde-li o protáhlý objekt).
3. Vyznačí se případné *Hřbetnice* a *Údolnice*, splňující délková kritéria. Pokud se některá z nich dotýká obvodu objektu, zkontroluje se, že *Hřbetnice* navazuje na *Horní hranu* nebo na neoznačenou část obvodu a *Údolnice* na *Dolní hranu* nebo na neoznačenou část obvodu. Pokud by tomu tak nebylo, došlo k logické chybě při vyhodnocení.
4. Vyznačí se pomocí *Lomové hrany* místa strmých srázů, splňující požadovaná kritéria.
5. Vyznačí se případné další relevantní bodové objekty pomocí bodového objektu typu *Významný objekt skalního terénu*.

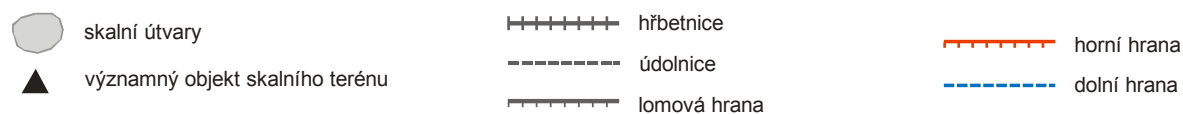
U menších skalních útvarů, které mají charakter stěny, se provede pouze krok 1, tedy v zásadě pouze kontrola správnosti výstupu automatického procesu. U pískovcových skal se dále provede buď krok 2 (typicky s přidáním bodového objektu), nebo kroky 3 (typicky jen *Údolnice*), 4 a u velmi členitého terénu i 5. U nepískovcových skal se provede buď krok 2, nebo krok 3, a spíše výjimečně i 4 a 5.

Správnost zpracování lze zkontrolovat v tom smyslu, že každý výsledný polygon objektu typu *Skalní útvary* by měl spolu s klasifikovanými vnitřními a obvodovými liniemi tvořit logicky konzistentní objekt, splňující určité podmínky. Jednou z těchto podmínek je, že každý objekt, který není v celé své ploše v úrovni terénu, musí mít definovanou svoji horní část a svoji dolní část. Horní část může být tvořena objekty *Hřbetnice*, *Lomová hrana*, *Významný objekt skalního terénu* (použitý ve smyslu vrcholového bodu) nebo *Horní hrana*. Dolní část může být tvořena objekty *Údolnice* nebo *Dolní hrana*. Znamená to, že pro konkrétní objekt typu *Skalní útvary* musí existovat alespoň jeden objekt z každé z uvedených skupin.

Přítomnost objektů uvedeného typu je nutnou, ale nikoliv postačující podmínkou pro konzistenci. Další podmínka vyžaduje následující: Má-li objekt horní část, pak lze z každého bodu horní části sestavit polylinii, začínající v tomto bodě a sledující (s ohledem na generalizaci) směr největšího spádu. Tato polylinie musí skončit na objektu z dolní části nebo na obvodu polygonu mimo *Horní hranu*, případně na objektu horní části, ale jiném, než ze kterého sama vychází. Tato zdánlivě složitá podmínka říká, že objekt musí být „nakreslitelný“ pomocí vertikálních šraf sledujících směr největšího spádu.

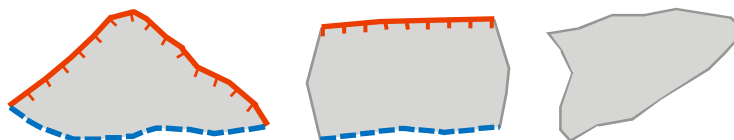
3.4.3 Typové příklady použití objektů

Obecně popsané typy objektů a návod na jejich použití bude nyní vysvětlen na konkrétních příkladech, jejichž smyslem je navrženou metodiku lépe ozřejmit. Pro jednotlivé typy objektů je v této kapitole použita symbolizace uvedená na obr. 47.



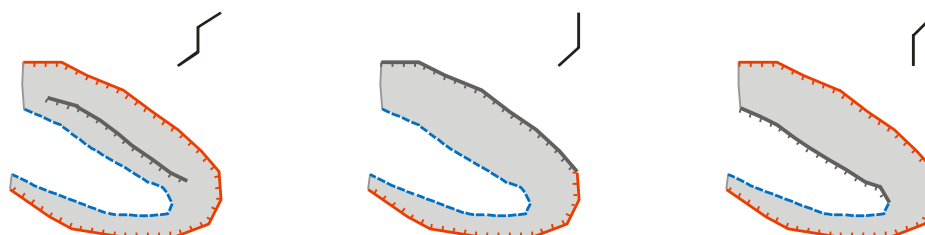
Obr. 47. Symboly pro jednotlivé typy objektů použité v kapitole 3.4.3.

Nejjednodušším, a zároveň velmi častým objektem, je skalní stěna. Ta je vyjádřena plošným objektem typu *Skalní útvary* a na obvodu klasifikovanými hranami (obr. 48 vlevo). Ne každá obvodová hrana musí být objektem typu *Horní hrana* nebo *Dolní hrana*; skála může mít i boční hrany, které není třeba speciálně označovat (obr. 48 uprostřed). V případě, že by skalní výchoz ležel v rovině a nikde nevystupoval nad terén ani nevcházel pod terén, bude vyjádřen pouze svým půdorysem a žádná část jeho obvodové linie nebude ani dolní, ani horní (obr. 48 vpravo).



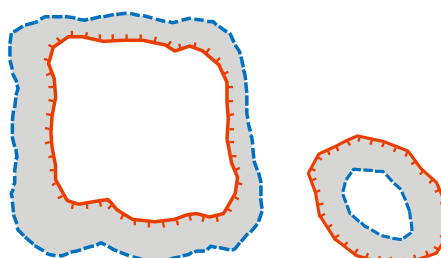
Obr. 48. Reprezentace jednoduché skalní stěny a skalního výchozu.
Vysvětlení v textu.

Skalní stěna může být stupňovitá (například v opuštěném kamenolomu), což se vyjádří přidáním objektu typu *Lomová hrana* (obr. 49 vlevo). Lomová hrana může být uvnitř objektu, dotýkat se jeho hranice či být s částí hranice identická. Situace na obr. 49 uprostřed znamená, že horní část objektu je tvořena sráznou stěnou; situace na obr. 49 vpravo naopak to, že dolní část objektu končí kolmou či převislou stěnou. Vhodným kritériem pro rozlišení, kdy použít na obvodu horní hranu nebo dolní hranu a kdy lomovou hranu, je sklon. Lomová hrana se použije pouze pro kolmé, téměř kolmé či převislé části. V situaci, kdy lomová hrana sleduje obvod objektu, je příslušná část obvodu podle orientace této hrany automaticky vždy dolní nebo horní hrana. V ukázkách je tato informace lomovou hranou překryta.



Obr. 49. Lomová hrana ve skalní stěně.
Nahoře vždy profil příslušnou částí skalní stěny. Vysvětlení v textu.

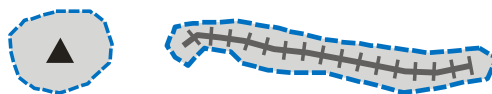
Horní hranu a *Dolní hranu* v kombinaci s půdorysem objektu typu *Skalní útvary* lze použít k rozlišení vystupujícího objektu typu tabulová hora či svědecký kopec (obr. 50 vlevo) od zahloubeného objektu typu propast (obr. 50 vpravo). Za povšimnutí stojí, že bez informace o klasifikaci obvodových hran (tj. pouze na základě půdorysu) by tyto objekty byly jinak nerozlišitelné.



Obr. 50. Vystupující versus zahloubený objekt.
Vysvětlení v textu.

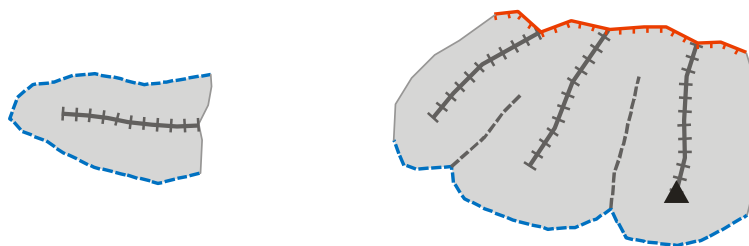
Skalní útvary vystupující nad terén lze zachytit kombinací objektů typu *Skalní útvary* a *Dolní hrana*. Ty se v případě objektu, který má charakter skalnaté kupy, dále doplní *Významným objektem skalního terénu*, použitým ve smyslu vrcholového bodu (obr. 51 vlevo). Jedná-li se

o objekt charakteru skalní zdi či izolovaného úzkého skalnatého hřebítku, použije se pro doplnění objekt typu *Hřbetnice* (obr. 51 vpravo).



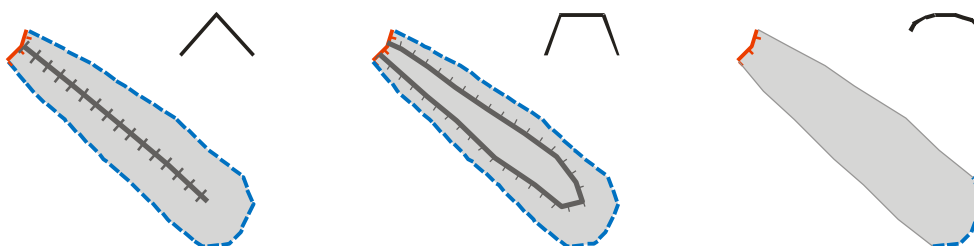
Obr. 51. Reprezentace vystupujících objektů.
Vysvětlení v textu.

Skalnaté hřebeny se reprezentují pomocí půdorysného objektu typu *Skalní útvary*, dále *Dolní hranou* a *Hřbetnicí* (obr. 52 vlevo). Složitější skalní terén pak kombinací *Hřbetnic* a *Údolnic*, které jsou navzájem proložené. Případně výrazně vystupující objekty jako věže se označí bodovým *Významným objektem skalního terénu* (obr. 52 vpravo).



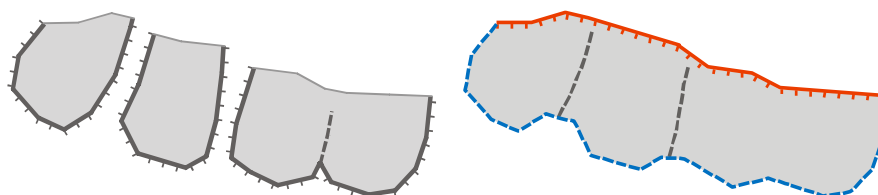
Obr. 52. Reprezentace skalních hřebenů.
Vysvětlení v textu.

Skalní útvary vystupující jako spádnicově protažené skalnaté hřebeny a žebra ve svazích údolí lze v závislosti na jejich morfologii reprezentovat pomocí *Dolní hrany* a *Hřbetnice* (je-li hřbet dostatečně ostrý ve smyslu převýšení a příčného sklonu, obr. 53 vlevo), pomocí *Dolní hrany* a *Lomové hrany* (pokud je hřbet širší a v příčném směru nevytváří výraznou hřbetnici, obr. 53 uprostřed) či jen pomocí *Dolní hrany* a *Horní hrany* (je-li sklon v příčném směru nedostatečný pro zachycení lomovou hranou, obr. 53 vpravo).



Obr. 53. Spádnicově protažené objekty ve svazích údolí.
Nahore vždy příčný profil objektu. Vysvětlení v textu.

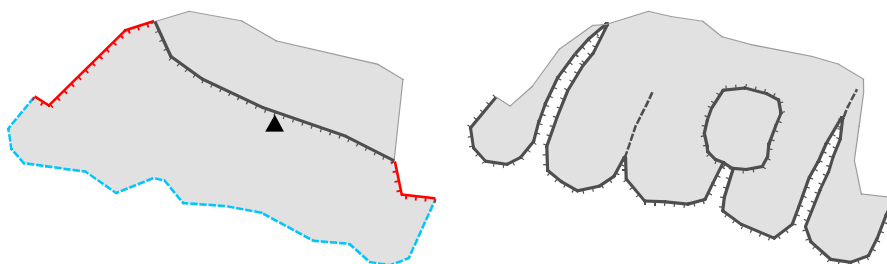
Náročnějším úkolem je zpracování pískovcových skalních měst. V závislosti na měřítku mapování a na podrobnosti dostupných podkladů se zde může použití objektů poměrně lišit. Pro podrobné zachycení se využijí kromě půdorysných objektů typu *Skalní útvary* zejména *Lomové hrany* (na jejich místě budou odpovídající dolní hrany) a *Údolnice* (pro trhliny). Půdorysem se zachytí mezery mezi jednotlivými objekty, viz obr. 54 vlevo.



Obr. 54. Pískovcová skalní stěna zachycená s rozdílnou mírou podrobnosti.
Vlevo podrobnější zachycení s detailním rozkreslením jednotlivých skalních bloků, vpravo generalizovanější reprezentace téhož terénu. Vysvětlení v textu.

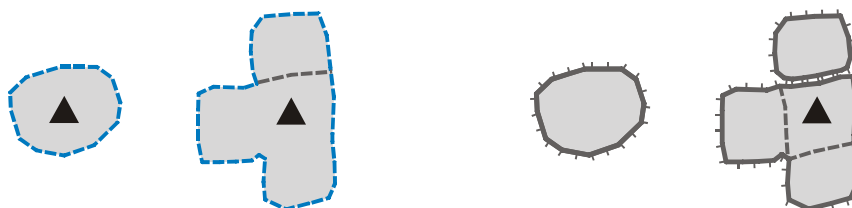
Navržená reprezentace umožňuje ale zachytit terén i v generalizovanější podobě. Tu lze vyjádřit pomocí půdorysu zkombinovaného s *Horní hranou* a *Dolní hranou*; hlavní členění terénu pak lze naznačit *Údolnicemi*, viz obr. 54 vpravo. Míra spojování a oddělování objektů a náhrada mezer mezi nimi liniovým objektem údolnice je záležitostí předem stanovených generalizačních kritérií. Obecně je vhodnější spíše objekty rozdělovat na samostatné jednodušší než jim přidávat vnitřní hrany. To se týká zejména několika pater skal nad sebou či vyznačování údolnic ve smyslu trhlin.

Pokud skalní stěna přechází nahoře do rozčleněného skalního terénu (ten se projevuje v LRM i vrstevnicích typickými kvádrovitými a bočníkovitými tvary), zahrne se tento terén do plochy příslušného objektu typu *Skalní útvary*, s tím, že určení hranice tohoto terénu může být poměrně problematické. Část obvodové linie ohraničující takový terén nebude označena ani jako horní hrana, ani jako dolní hrana. Plocha objektu by měla zahrnovat a generalizovaně kopírovat všechny viditelné trhliny až do jejich konce nebo vyznění. V dalším kroku se tento relativně plošší (i když lokálně potenciálně velmi členitý) terén oddělí od strmé stěny pomocí objektu typu *Lomová hrana*. Stanovit její přesný průběh je v praxi velmi obtížný úkol, a není-li DMR podrobný, může být výsledek zavádějící. Údolnice vyjadřující trhliny, pukliny či rozsedliny mohou zasahovat i do prostoru plošiny za *Lomovou hranou*. Vystupující objekty lze vyznačit bodovým symbolem (obr. 55 vlevo). Při podrobnějším mapování lze zachytit jednotlivé objekty podrobněji analogicky jako v případě stěny (obr. 55 vpravo).



Obr. 55. Pískovcová skalní stěna s členitým terénem na okraji plošiny. Vlevo generalizovaná, vpravo podrobněji rozkreslená varianta. Vysvětlení v textu.

U skalních věží či jejich skupin se vyznačí se pomocí plošného objektu typu *Skalní útvary* jejich půdorys. S tím praxi nebývá potíže, protože obvod je obvykle dobře patrný, byť může být kvůli převisům poněkud zavádějící. Celý obvod bude klasifikovaný jako *Dolní hrana*. Je přípustné podle generalizačních kritérií spojit více věží do jednoho objektu, pokud je tato skupina blízko sebe a zároveň oddělena od ostatních objektů. Na vrchol (vrcholy) se umístí bodový objekt typu *Významný objekt skalního terénu*. Zejména v případě větších agregovaných objektů může být vhodné vyznačit vnitřní členění pomocí *Údolnic*, splňují-li předem daná délková a výšková generalizační kritéria (obr. 56 vlevo). V případě podrobnější reprezentace lze přidat další detaily. Z důvodů kompatibility podrobné reprezentace s okolním pískovcovým terénem je vhodné použít rovněž lomové hrany, jsou-li stěny věží kolmé. V případě skupiny věží lze také zachytit bodovým symbolem nejvyšší místo celého sdruženého objektu (obr. 56 vpravo).

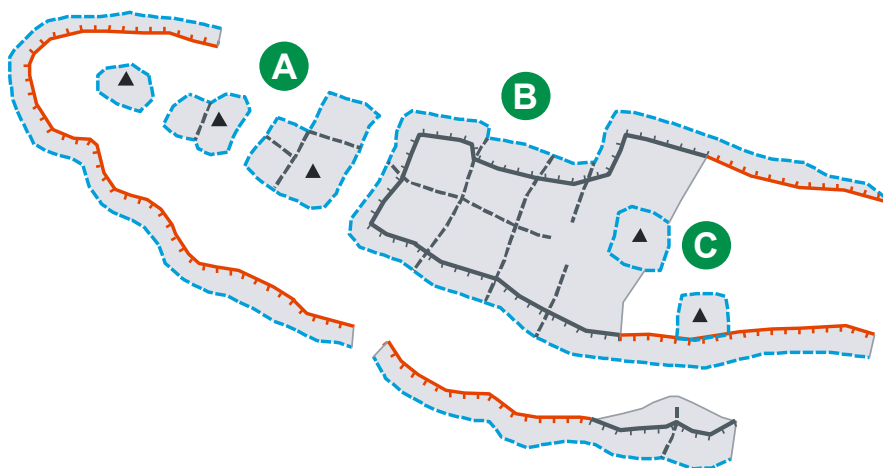


Obr. 56. Reprezentace skalních věží. Vlevo generalizovaná a vpravo podrobnější varianta. Vysvětlení v textu.

Komplexní pískovcový reliéf je tvořen kombinací stěn, věží a rozčleněných plošin. Jeho zpracování může být poměrně obtížný úkol. Nejprve je třeba nejprve rozhodnout, zda bude reliéf reprezentován postavením věží nebo rozčleněním skalní plošiny. Dobrá představa pro rozhodnutí spočívá ve virtuálním dosypání reliéfu do roviny. Pokud je dosypané hmoty méně než stávajících skal, je pravděpodobně lepší „řezat“ plošinu, pokud je tomu naopak, je lepší „stavět“ věže a skalní útvary. Pokud je situace komplikována ještě tím, že se objekty nacházejí ve více výškových úrovních, lze zpracovat každou úroveň zvlášť, s tím, že výsledné plošné objekty typu *Skalní útvary* se mohou dotýkat. Tento postup představuje jednodušší řešení než členění pomocí *Lomových hran*.

Při rozřezání plošiny se zachytí obvod celého objektu pomocí plošného objektu *Skalní útvary* (s případnými vnitřními dírami bez skal), následně se nakreslí generalizovaná hranice mezi plošinou a srázy, které je obklopují (objektem *Lomová hrana*, zejména podle rozčlenění LRM), nakreslí se z ní vystupující skalní věže (nejlépe samostatnou plochou v kombinaci s bodovým objektem typu *Významný objekt skalního terénu*, případně pomocí *Lomové hrany*). Potom se podle nejvýznamnějších trhlin nakreslí vnitřní hrany skalního útvaru (s využitím objektů typu *Údolnice* nebo *Lomová hrana*). Příkladem toho typu terénu je plošina Skalní ostrov v Teplických skalách (viz obr. 1 na str. 15 a obr. 43 na str. 90).

Při stavění věží se nejprve zvektorizuje obvod jednotlivých věží či jejich skupin (objektem *Skalní útvary*), v případě skupin se věže rozčlení podle hlavních trhlin (objekty *Údolnice* nebo *Lomová hrana*) a následně se označí jejich vrcholy nebo hlavní vrcholy souvěží (objektem typu *Významný objekt skalního terénu*). Příkladem toho typu terénu je centrální část Adršpašských skal (viz obr. 63 na str. 123).



Obr. 57. Ukázka reprezentace složitějšího pískovcového terénu.
A – postavení terénu z jednotlivých věží, B – reprezentace skalní plošiny pomocí rozčleněného objektu, C – nad úroveň plošiny vystupující skalní věže reprezentované jako samostatné objekty. Vysvětlení též v textu.

Obě metody lze zkombinovat, protože i v praxi bývá pískovcová plošina nejprve málo členitá, pak se její členitost zvětšuje, až se rozpadne na jednotlivé věže. Viz též ukázku na obr. 57.

3.4.4 Možnosti automatizace získání objektů

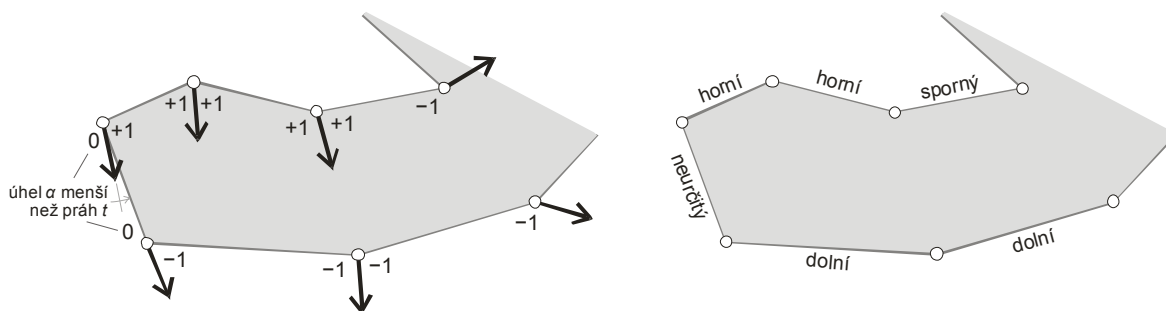
V této kapitole budou diskutovány možnosti automatického získání navržených typů objektů. V některých případech vede tato problematika na řešení obecných úloh, které přesahují rámec této dizertace. Jednotlivé případy jsou popsány formou experimentů provedených autorem nebo studenty v rámci bakalářských a diplomových prací vedených autorem. Délka popisu je přímo úměrná míře specifičnosti dané problematiky ve vztahu ke skalním útvarům.

Klasifikace obvodových hran polygonu

Klasifikace obvodových hran polygonu zahrnuje možnost automaticky vytvořit objekty typu *Horní hrana* a *Dolní hrana* na základě obvodové linie objektu typu *Skalní útvary* a DMR. Postup je součástí algoritmu publikovaného v článku (Lysák, 2015b), dokud je i převzat jeho popis.

Obvod polygonu se skládá z jednotlivých segmentů (úseček mezi dvěma vrcholy polygonu). Protože obvodová linie tvoří hranici polygonu, každý segment (a to včetně segmentů patřících díram v případě polygonů s dírami) má na jedné straně vnitřek polygonu a na druhé vnějšek polygonu. V počátečním a koncovém bodě segmentu se spočítá směr největšího spádu (dále jen spádový vektor) způsobem, který bude popsán dále. Bod segmentu je označen +1, pokud spádový vektor spočítaný v daném bodě směřuje do stejné poloroviny, ve které je vnitřek polygonu. Pokud spádový vektor směřuje do poloroviny, kde je vnějšek polygonu, je tento bod označen -1. V případě, že spádový vektor kopíruje nebo se blíží hraniční polorovině, je označen 0 (viz obr. 58 vlevo). K určení polohy vektoru a poloroviny lze použít *half-plane test* (de Berg et al., 2008). Označíme-li spádový vektor $f = (f_x, f_y)$ a $u = (u_x, u_y)$ směrový vektor segmentu (orientovaný tak, že vnitřek polygonu je vpravo od něj) a spočteme hodnotu $k = f_x u_y - f_y u_x$, pak platí, že pro $k < 0$ směřuje vektor vlevo (tj. ven) a pro $k > 0$ směřuje vektor vpravo (tj. dovnitř).

Za povšimnutí stojí, že označení se vztahuje k bodu a segmentu, tj. tentýž bod může mít v různých segmentech jiné označení. Užitečné je spočítat také úhel α mezi spádovým vektorem a směrovým vektorem příslušné úsečky (segmentu). Tato hodnota slouží k rozlišení vrcholů označených „0“ a „+/-1“, přičemž pro klasifikaci se využije hodnota prahu t . Je-li α menší než t , bude vrchol označen 0.



Obr. 58. Od směru spádu ke klasifikaci obvodu polygonu.

Vlevo: vektory popisující směr největšího spádu (označené šipkami) a označení koncového bodu každého segmentu.

Vpravo výsledná klasifikace segmentů. Podrobnější vysvětlení v textu.

Zdroj: Lysák (2015b).

Pro výpočet směru největšího spádu je potřeba DMR. Pro daný bod $P = [x, y]$ lze vektor největšího spádu $f = (f_x, f_y)$ spočítat podle následujících vztahů:

$$f_x = -1/s \cdot (-dtm[x - s, y - s] + dtm[x - s, y + s] - dtm[x + s, y - s] + dtm[x + s, y + s]),$$

$$f_y = -1/s \cdot (-dtm[x - s, y - s] - dtm[x - s, y + s] + dtm[x + s, y - s] + dtm[x + s, y + s]),$$

kde $dtm[a, b]$ je souřadnice z (tj. výška v modelu reliéfu) na souřadnicích $[a, b]$ a s (sampling) je velikost okolí, která se má při výpočtu zohlednit. Vztah vychází z parciálních derivací bilineární interpolace terénu na základě čtyř bodů rozmístěných symetricky do čtverce okolo bodu, v němž směr spádu hledáme. Uvedený vztah tedy umožňuje pracovat jak s lokálním okolím (malé hodnoty s), tak s globálnějším pohledem (větší hodnoty s). Chceme-li použít tento vztah pro klasifikaci obvodu polygonu, je třeba hodnotu s nastavit opatrně na základě míry podrobnosti zpracovávané obvodové linie. Pro dosažení použitelného výsledku je třeba, aby byl použit model terénu s rozlišením srovnatelným nebo vyšším než je míra detailu, se kterou byla zpracována obvodová linie.

S využitím označení vrcholů lze klasifikovat jednotlivé segmenty obvodové linie polygonu podle následujících pravidel, viz též obr. 58 vpravo:

- segment bude označen jako horní, pokud jsou oba jeho vrcholy označeny +1 nebo jeden je označen +1 a druhý je označen 0,
- segment bude označen jako dolní, pokud jsou oba jeho vrcholy označeny -1 nebo jeden je označen -1 a druhý je označen 0,
- segment bude označen jako neurčitý, pokud jsou oba vrcholy označeny 0,
- segment bude označen jako sporný v ostatních případech (tj. jeden vrchol je označen +1, druhý -1).

Čím větší je nastavena hodnota prahu t , tím spolehlivější výsledky je možné získat, ve smyslu, že segmenty klasifikované jako horní (resp. dolní) jsou opravdu horní (resp. dolní). Cenou za to ale bude nárůst počtu neurčitých segmentů. Pro minimalizaci počtu sporných segmentů je vhodné dlouhé úsečky tvořící obvod polygonu rozdělit na kratší části. Přítomnost sporných segmentů totiž znamená nesoulad v míře generalizace vymezení půdorysu skalního útvaru a modelu reliéfu. Počet sporných segmentů může být dále snížen zvýšením prahu t , ovšem za cenu zvýšení počtu neurčitých segmentů.

Dalším vhodným a jednoduchým krokem vedoucím ke zvýšení spolehlivosti výsledků této metody je generalizace výsledků, která snižuje počet neurčitých a sporných segmentů. Znamená aplikaci následujících pravidel:

- sloučení sousedících segmentů téhož typu do jedné linie,
- výběr neurčitých a sporných segmentů, které jsou z obou stran obklopeny buď horními sloučenými liniemi, nebo dolními sloučenými liniemi, přičemž obě tyto linie jsou vzhledem k délce řešeného segmentu výrazně delší,
- neurčitý nebo sporný segment splňující uvedenou podmínku se pak překlasifikuje na dolní (byl-li obklopen dolními sloučenými liniemi), resp. na horní (byl-li obklopen horními sloučenými liniemi).

Z uvedených pravidel vyplývá, že neurčité segmenty spojující horní a dolní segmenty (resp. sloučené linie) jsou považovány za korektní – odpovídají „bokům“ skalní stěny.

Navržený postup byl prakticky otestován nad polygony ZABAGED. Vybrány byly čtyři testovací lokality (vždy jeden, dva, nebo čtyři listy ZM 10), zahrnující morfologicky rozdílná území, viz tab. 9. Testovací data byla tvořena celkem 1672 objekty typu *Skalní útvary*, což je přibližně 4,2 % z celkového počtu objektů ZABAGED tohoto typu (v době zpracování).

testovací lokalita	čísla listů ZM 10	počet objektů	celková rozloha objektů (m ²)	typ krajiny
České Švýcarsko	02-24-02	1414	2 518 700	pískovcový reliéf
Krkonoše	03-23-19, 03-23-24	60	293 918	horský skalní terén ovlivněný činností ledovce
Moravský kras	24-23-21, 24-23-22, 24-41-01, 24-41-02	144	541 874	kras
Údolí Vltavy	12-24-01, 12-24-06	54	502 669	skály zahloubeného říčního údolí

Tab. 9. Údaje o testovacích lokalitách v experimentu s klasifikací obvodu polygonu.

Experiment byl proveden se dvěma DMR. První DMR o velikosti pixelu 1 m byl interpolován z vrstevnic ZABAGED, které se ale v ploše objektů téměř nevyskytovaly. Důvod pro použití

tohoto DMR představovala vzájemná kompatibilita těchto dat ve smyslu polohové korespondence a míry detailu. Druhý DMR o velikosti pixelu 2 m byl interpolován z dat DMR 5G. Byla testována různá velikost okolí s a použita hodnota prahu $t = 30^\circ$. Výsledky byly následně porovnány s nezávislou, manuálně provedenou klasifikací segmentů na obvodu polygonu. Pro zvýšení objektivitu výsledků manuální klasifikace proběhla zcela nezávisle – byla zpracována jinou osobou a bez znalosti výsledků automatické klasifikace – podle kresby skal na ZM 10. Míra úspěšnosti automatické klasifikace u (měřená v procentech) byla stanovena následovně:

$$u = 100 \cdot d(s) / o,$$

kde $d(s)$ je délka těch segmentů, kde byla klasifikace automatickou i manuální metodou shodná a o je celková délka všech segmentů, tj. obvodu všech polygonů. Dosažené výsledky včetně závislosti na použitém DMR a velikosti okolí jsou shrnuty v tab. 10.

použitý DMR	velikost okolí (hodnota s při výpočtu směru spádu)		
	2 m	5 m	10 m
DMR 5G	80,56	81,55	83,06
vrstevnice ZABAGED	86,19	86,25	86,42

Tab. 10. Výsledky experimentu s klasifikací obvodu polygonů.

Uvedeny hodnoty úspěšnosti klasifikace u v procentech v závislosti na použitém DMR a velikosti okolí s pro určení směru spádu.

Z výsledků je patrné, že postup je relativně spolehlivý. Mírně lepších výsledků bylo dosaženo s využitím DMR odvozeného z vrstevnic ZABAGED. Přímou v ploše jednotlivých objektů typu *Skalní útvary* sice vrstevnice nejsou, ale na jejich hranici už ano. Tato informace už postačuje k tomu, aby klasifikace proběhla relativně úspěšně. O něco vyšší úspěšnosti klasifikace při použití DMR z vrstevnic ZABAGED ve srovnání s DMR 5G bylo dosaženo z důvodů lepší vzájemné harmonizace dat. Relativně horší výsledky s využitím DMR 5G jsou způsobeny právě polohovým nesouladem polygonů skalních útvarů s DMR 5G, podrobněji viz kapitolu 3.1.3. Je patrné, že s větší hodnotou s – tedy s rostoucí mírou generalizace při výpočtu směru spádu – se úspěšnost metody zvyšuje. Větší míra generalizace ovšem přináší i určité nevýhody. Například v situaci, kdy skalní útvary tvoří boky úzkého údolí, může být směr největšího spádu určen chybně.

Podrobnější analýza struktury chyb u nejúspěšnější klasifikace (DMR z vrstevnic ZABAGED, velikost okolí $s = 10$ m) ukázala, že většina chybně klasifikovaných segmentů představuje záměnu neurčitých hran za horní nebo dolní. To představuje méně závažný typ chyby, resp. existují dokonce případy, kdy je sporné, zda jde o neurčitou či horní, resp. dolní hranu. Závažných chyb je relativně málo: záměna segmentů tvořících horní a dolní hranu představuje jen 2,65 % délky obvodu všech polygonů, sporné segmenty pak pouhých 0,30 % délky obvodu všech polygonů. Sporné segmenty by bylo možné částečně vyřešit jejich rozdělením na kratší části. K záměně horní a dolní hrany obecně docházelo u tvarově velmi komplikovaných polygonů, kde je často obtížné rozhodnout o charakteru obvodové linie i při manuální klasifikaci. Další potíž představuje míra podrobnosti některých polygonů, která je vzhledem k reálné generalizaci objektů příliš velká a vede k extrémně krátkým segmentům (případ zejména testovací oblasti Moravský kras). Řešením je v tomto případě generalizace polygonu.

Z uvedených údajů vyplývá, že spolehlivost metody by bylo ještě možné o něco vylepšit tím, že by se vynutila důslednější klasifikace neurčitých segmentů. Pro naprostou většinu (a to i tvarově složitých objektů) se totiž typ obvodové linie mění v místech, kde má polygon extrémně ostrý nebo extrémně tupý vnitřní úhel. Nabízí se tedy obvodovou linií rozdělit na logické celky, přičemž hranici těchto celků tvoří ty body obvodové linie, které jsou vrcholem polygonu s odpovídajícím vnitřním úhlem výrazně odlišným od 180° . Pro výpočet úhlů by se uvažovalo dostatečně velké

okolí, tj. generalizovaný tvar polygonu, aby se předešlo zmiňovaným problémům s příliš krátkými segmenty. Segmenty tvořící logický celek by pak měly jednotnou klasifikaci, určenou na základě délek jednotlivých typů, s tím, že výsledný typ by byl určen na základě typu výrazně převažujícího. To by vedlo k reklasifikaci některých neurčitých segmentů na horní nebo dolní. Idea tohoto postupu je na obr. 59. Návrh zatím nebyl prakticky implementován a testován.



Obr. 59. K navrženému vylepšení klasifikace obvodových linií.

Vlevo: stávající klasifikace s chybným segmentem (označen šipkou), uprostřed: rozdělení obvodové linie na logické celky (hranice celků vyznačeny šedou tečkou), vpravo: reklasifikace původně chybného segmentu podle převažujících hodnot v příslušném logickém celku. Použité barvy pro klasifikaci segmentů stejné jako na obr. 141 na str. 205.

Jiný způsob zvýšení spolehlivosti, aplikovatelný ale pouze v případě dat ZABAGED, by představovalo využití stávajících kartografických reprezentací skalních útvarů uložených v databázi Data 10 (viz dále v kapitole 4.3.6). Podrobnější popis tohoto návrhu v kontextu možného budoucího zpracování skal ve státním mapovém díle je součástí kapitoly 5.

Celkově lze shrnout, že obvodové hrany polygonu skalního útvaru lze klasifikovat poměrně spolehlivě, nicméně nikoliv stoprocentně, protože je v některých situacích obtížné výslednou klasifikaci správně generalizovat.

Vybrané objekty v pískovcových skalních městech

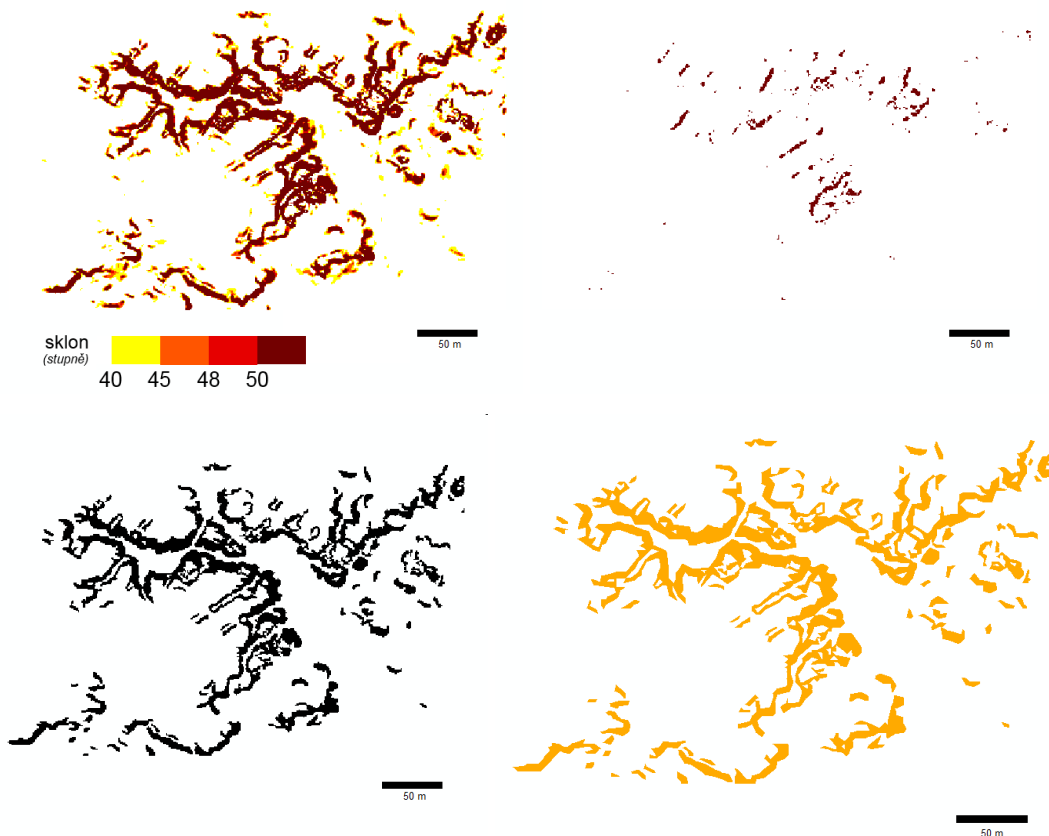
Pro pískovcová skalní města s kolmými až převislými stěnami lze pro automatizované vymezení plochy skalních útvarů použít klasifikovaný rastr sklonu. Klasifikace spočívá v tom, že oblasti s hodnotou sklonu větší než předem určená mez se prohlásí za oblasti se skalními útvary a takto vzniklý rastr se automaticky zvektorizuje. Z pohledu praxe má tento postup několik nedostatků. První z nich spočívá v určení vhodného prahu pro odlišení skal. V literatuře lze najít doporučené hodnoty mezi 42° a 45° (Gloor, 2013). Při vzdálenosti mezi body LLS 1 m má 10 m vysoká kolmá skalní stěna v DMR sklon nikoliv 90°, ale jen 84°; je-li vzdálenost mezi body 5 m, pak jen 63°. Proto je třeba práh zvolit vždy s ohledem na charakter dat LLS.

V praxi se autorovi osvědčila volba dvou prahů: například pro DMR z dat TUD (viz kapitola 2.5.1) jsou typické hodnoty prahů pro identifikaci hlavních stěn přibližně 50° a 60°. Pak se vyberou ty oblasti, které mají hodnotu vyšší než je nižší z prahů, ale pouze takové, uvnitř nichž leží oblast, kde je hodnota sklonu větší, než je druhý práh. To odpovídá situaci, kdy se vyberou místa, kde se na základě sklonu stěna jistě vyskytuje, a pak se místa v jejich okolí (a pouze v jejich okolí) rozšíří i o oblasti s mírně nižšími sklony. To vede k robustnějšímu výběru oblastí, který pak není závislý na jediné hodnotě sklonu. Pro data ZÚ je vhodná hodnota prahu o obecně nižší (okolo 45°).

Klíčovým problémem uvedeného postupu je pak vlastní převod na plošný objekt půdorysu skály. Výsledek je obvykle velmi detailní a je problematické ho rozumným způsobem automaticky generalizovat. Do generalizace může kromě velikosti objektu (plocha, případně délka větší než předem daná mez) vstupovat také jeho převýšení, které umožní eliminovat méně významné objekty. Postup je ilustrován na obr. 60. Velmi podobný postup s využitím limitních parametrů pro sklon, minimální převýšení a délku používá volně dostupný software O-Laser (http://oapp.se/Applikationer/OL_Laser.html), který jako jeden z mála softwarů vůbec nabízí přímo funkci pro detekci útesů (*Create Cliffs*).

Podobnou úvahu jako pro sklon lze provést i pro sky view factor pro detekci puklin a rozsedlin. Ten je ovšem ještě citlivější na kvalitu navzorkování takového objektu, protože snadno dojde

k situaci, že žádný odraz do úzké pukliny nedoputuje a všechny odrazy jsou jen z jejího okolí. V tom případě je výsledkem prahování rastru SVF místo protáhlého objektu údolnice pouze šum. Automatický převod takového výsledku na linii je pak navíc ještě obtížnější úkol než tvorba plošného objektu jako v případě sklonu.



Obr. 60. Ukázka automatické detekce skalních stěn v pískovcovém skalním terénu. Příklad z oblasti Prachovských skal vytvořený s využitím dat DMR 5G a funkcí softwaru ArcGIS for Desktop. Po řadě: vlevo nahoře klasifikovaný negeneralizovaný sklon (hodnoty rozlišeny barvou); vpravo nahoře klasifikovaný negeneralizovaný SVF (barvou znázorněny hodnoty menší než 0,4); vlevo dole generalizovaný rastr vzniklý odstraněním ploch sklonu nad 45° menších než 10 m², navíc kvůli neslévání stěn dohromady odmaskovaný v místech, kde byla plocha SVF větší než 4 pixely; vpravo dole výsledek automaticky převedený na polygony, mírně generalizovaný.
Data DMR: DMR 5G, © ČÚZK, 2016.

Hřbetnice, údolnice a lomové hrany

Hledání terénních čar (linií terénní kostry) představuje samostatný a netriviální problém i v obecném terénu, nejen ve skalách. Omezíme se tedy pouze na stručné shrnutí. Specifikum těchto objektů ve skalnatém terénu spočívá v tom, že jsou tyto objekty obvykle výraznější než v běžném reliéfu a těchto objektů je tam také relativně více. Výraznost se projevuje tak, že hřbetnice a údolnice ve skalách často tvoří terénní hranu; u běžného terénu tomu tak být nemusí. Relativně větší počet těchto objektů v oblasti skalních útvarů pak vede k tomu, že zde není problém s vlastní detekcí terénních čar, ale spíše s jejich generalizací ve smyslu výběru těch nejrelevantnějších v kontextu zpracovávaného objektu nebo území.

Práci věnujících se problematice terénních čar je celá řada. Z prací týkajících se speciálně skalních útvarů lze zmínit článek Csaplovics & Naumann & Wagenknecht (2003), zabývající se extrakcí hran v pískovcovém reliéfu s využitím postupů využívaných v digitálním zpracování obrazu (vysokofrekvenční filtrace, úprava pomocí morfologických operátorů a automatická vektorizace). Další přístupy k extrakci terénních hran včetně návrhu metody, která snadno umožní

pomocí volby parametrů stanovit míru generalizace výsledku, lze najít v článku Jaroš & Lysák (2012), vzniklém na základě diplomové práce J. Jaroše (2011), vedené autorem předkládané dizertace.

Obecnou výhodou uvedených postupů je větší objektivnost při detekci terénních hran, tj. výsledky aplikace metody jsou na rozdíl od manuálního zpracování nezávislé na zpracovateli. Na druhou stranu je pro prakticky využitelné výsledky obvykle potřeba netriviální generalizace výstupu.

Vrcholové body

Hledání vrcholových bodů vyvýšených skalních objektů představuje podmnožinu obecnějšího problému identifikace tzv. kritických bodů terénu, což jsou lokální maxima, minima, případně sedla. Na tato místa se obvykle v mapě umisťují kótované body. Neumisťují se ovšem na všechna taková místa; z pohledu reprezentace výškopisu je klíčové vybrat ty nejvýznamnější. Uvedenou problematikou se zabývaly mimo jiné dvě studentské práce, které autor této dizertace vedl.

Práce P. Poláška (2015) řešila tuto problematiku obecně, s důrazem na generalizaci. Součástí navrženého postupu byla také detekce lokálních maxim, použitelná i v případě skalních útvarů. Podstatou metody je nalezení nejvyššího z množiny bodů ležících uvnitř nejvnitřnějších uzavřených vrstevnic při určitém ZIV. Volba ZIV určuje míru generalizace; čím je tento interval větší, tím významnější body jsou na výstupu.

Podobný princip byl použit v práci M. Tomkové (2015), která se soustředila pouze na skalní útvary a hledala lokální maxima uvnitř objektů skalních útvarů, jejichž obvod byl tvořen uzavřenou dolní hranou. U těchto objektů lze navíc určit automaticky další atributy, například relativní výšku věže odečtením v ploše nalezeného maxima a minima.

Hledání vrcholových bodů představuje relativně dobře algoritmizovatelný úkol. V situaci, kdy je použité bodové mračno dostatečně husté, může navíc dát i relevantní výsledky, protože je velká pravděpodobnost, že nejvyšší místo bylo při skenování minuto jen o málo. Pro relevantní výsledky výše uvedených algoritmů je ovšem třeba mít objekt precizně vymezený.

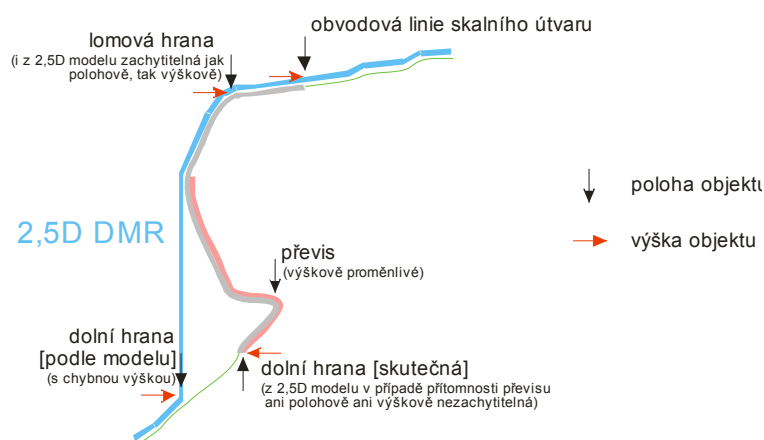
Převod objektů z 2D na 3D

Navržená metodika u některých liniových objektů připouští jak 2D, tak 3D reprezentaci. Existující GIS software umí z 2D do 3D vektorová data převádět automaticky, s tím, že je třeba zadat hodnotu výšky nebo povrch, ze kterého se má odečíst výška (např. ArcGIS for Desktop s využitím funkcí *Feature to 3D by Attribute* a *Interpolate Shape*). Pouhá mechanická aplikace funkcí na 2D data z využitím DMR vytvořeného z dat LLS v členitém terénu ovšem nedává ideální výsledky.

Podobně jako je třeba generalizovat ve 2D, je třeba generalizovat i v souřadnici z , tj. ignorovat drobné změny výšek. Generalizaci lze provádět buď pouze v souřadnici z (v tom případě se souřadnice x a y nemění), případně ve všech třech souřadnicích. Na generalizaci polylinií existuje celá řada algoritmů, vesměs dobře dostupných v GIS softwarech. K nejznámějším patří například metoda Douglas-Peucker (Douglas & Peucker, 1973). Klíčové je ovšem správné nastavení parametrů těchto algoritmů.

V souvislosti se skalami, zvláště v situaci, kdy jde o strmé až převislé stěny, se přidávají další komplikace. Zejména jde o skutečnost, že nepatrná změna v poloze může znamenat značnou změnu ve výšce, a to změnu velkou i tak, že ji nelze „opravit“ ani generalizací. To může způsobit komplikace jak při převodu obvodové linie objektů typu *Skalní útvary* do 3D (týká se i horní a dolní hrany), tak i hřbetnic a údolnic. V případě převisů situaci navíc komplikuje i použití 2,5D

modelu. S jeho využitím dolní hraně nastavit správnou polohu a výšku v podstatě ani nelze, resp. je otázka, jaká by tato výška měla být, když je i poloha chybně (viz obr. 61).



Obr. 61. Problémy s automatizovaným odvozováním výšky dolní hrany z 2,5D modelu. Profil převislou skalní stěnou, reprezentovanou 2,5D modelem (modře). Všimněte si polohového i výškového nesouladu dolní hrany podle modelu a skutečnosti. Podrobnější vysvětlení v textu.

Popsané potíže obecně příliš nevadí při použití menšího měřítka, kdy lze převisy a polohový a výškový nesoulad z převážné části zanedbat. Je pak ale otázka, jaký má mít přidaná informace o třetím rozměru význam. Pokud má přinášet dodatečnou informaci, kterou nelze vyčíst z DMR, minimálně manuální kontrola automaticky odečtených výšek je nutným krokem. Při reprezentaci informací o skalních útvarech ve větším měřítku ovšem uvedené problémy bez rezignace na kvalitu výsledných dat jednoduše ignorovat nelze.

3.4.5 Praktické testování navržené metodiky

Uvedená metodika, resp. její varianty, byly testovány jednak na menším území přímo autorem (okolí Pravčické brány v Českém Švýcarsku), jednak na rozsáhlejších a morfologicky odlišných lokalitách v rámci bakalářské práce M. Tomkové (2015). Dále také na ZÚ na Odboru ZABAGED J. Axmanovou (v roce 2013 a 2014) a na libereckém pracovišti uvedeného odboru v březnu až listopadu 2015 (Neckář, 2015). Nezávislé otestování navrženého postupu považuje autor za poměrně klíčovou věc, protože umožní odhalit potíže, které návrh přehlédl. V následujícím textu budou shrnuty nejvýznamnější závěry týkající se hodnocení uvedené metodiky vyplývající ze zpráv, které byly k testování sepsány.

Zkušenosti autora se zpracováním dat v relativně velké podrobnosti (v měřítku 1 : 1000) v oblasti Pravčické brány nad DMR odvozeným z dat TUD a následnou konfrontaci se situací v terénu ukázaly nutnost velmi opatrného přístupu k polohové přesnosti modelu zvláště v oblasti vysokých strmých stěn. Jejich půdorys neodpovídá skutečnosti v tom smyslu, že v typickém případě je jejich horní hrana posunutá díky odfiltrování dat ležících na samém okraji skalní plošiny a bodů nad případnými převisy. Pro topografické mapování v globálnějších měřítku není tento problém tak výrazný, tj. polohová chyba v řádu nižších jednotek metrů je akceptovatelná, ovšem obecně je žádoucí vytvářené vrstvy poměrně značně generalizovat. Dost často bylo také obtížné určit, kde končí skála a začíná prudký svah (častý případ v horních vyústěních roklí). Navržené objekty (sice v mírně jiné podobě a s odlišnými názvy, principiálně ale se stejným významem) se nicméně ukázaly pro reprezentaci skalního terénu jako dostačující. Na základě těchto zkušeností pak proběhl v roce 2012 na ZÚ i první experiment menšího rozsahu (I. Rybová, J. Axmanová) nad stínovaným modelem reliéfu z dat TUD v oblasti širšího okolí Pravčické brány.

Podstatně rozsáhlejší práce J. Axmanové v roce 2013 využívala větší množství podkladových dat a soustředila se zejména na zpřesnění půdorysu skalních útvarů. Testování probíhalo na 4 mapových listech ZM 10 v oblasti Českého krasu. Hodnoceno bylo využití různých podkladových dat (3D pohled, podrobné vrstevnice, staré topografické mapy, stávající objekty ZABAGED). Testování ukázalo nutnost řešit koncepční otázky minimální rozlohy objektů a jejich přesné definice, zejména ve vztahu k opuštěným lomům. Hranice mezi tímto objektem a skalními útvary se ukázala být poměrně neostrá. Zmíněn je také význam terénního šetření. Rozsáhlejší testy pak proběhly v oblastech Křivoklátska a Kokořínska v roce 2014, za použití v zásadě výše uvedených objektů. Využito při tom bylo stereofotogrammetrie, kdy byly zobrazeny letecké snímky, bodové mračno, stávající objekty a odvozování nových probíhalo ve 3D. Klíčovým problémem se ukázala míra generalizace jednotlivých prvků, tedy hledání odpovědi na otázku jak moc přesně lze DMR a produkty z něj odvozené přímo „obkreslovat“.



Obr. 62. Srovnání terénního šetření s informacemi odvozenými z dat DMR 5G. Zpřesnění ZABAGED jsou data vytvořená J. Axmanovou, Vlastní reprezentace jsou data vytvořená M. Tomkovou a Terénní průzkum jsou data naměřená GPS (se střední polohovou chybou po korekci přibližně 2 m).

Podrobnější vysvětlení v textu.

Zdroj: Tomková (2015).

V rámci bakalářské práce M. Tomkové (2015) byla mimo jiné podrobně zpracována jedna z lokalit na Kokořínsku, ležící severozápadně od Chudolaz, se středem přibližně na $50^{\circ} 28' 41,882''$ s. š. a $14^{\circ} 29' 44,636''$ v. d. Ještě před návštěvou lokality byly vytvořeny jednotlivé objekty na základě dat DMR 5G, a následně byla lokalita podrobně prozkoumána a jednotlivé objekty zaměřeny pomocí GNSS zařízení GeoExplorer XH 6000 od společnosti Trimble. Srovnání stavu zjištěného v terénu s informacemi odvozenými v kanceláři (jak v rámci BP M. Tomkové, tak se zpracováním provedeným na ZÚ J. Axmanovou) zachycuje obr. 62. Ten názorně dokumentuje, že k podrobnému odvozování jednotlivých objektů z DMR je třeba přistupovat velmi opatrně. Existují místa, kde v terénu zjištěná skutečnost odpovídá údajům zjistitelným z DMR velmi dobře včetně detailů členění skalního terénu (na obr. 62 označeno A), jinde naopak informace o přítomnosti skalních útvarů zcela zmizely, např. chybí 10 m vysoká věž (označeno B) či jsou v modelu mezi skalními

útvary mezery, které ve skutečnosti neexistují (označeno C). Skalní útvar může být také polohově naddimenzován v důsledku nedůsledného odfiltrování okolní vegetace (označeno D). Tyto problémy může způsobit chybná klasifikace i jen několika málo bodů. Uvedené zpracování také ilustruje také problém s přesným vymezením objektů typu *Lomová hrana* (na obr. 62 jako hrana skalní plošiny). Při dané podrobnosti dat DMR 5G je tak pravděpodobně nejsprávnější reprezentací daného terénu generalizovaný obvod plochy skal (přerušovaná fialová linie skalní útvary obr. 62).

Uvedené výsledky v zásadě potvrdilo i nejrozsáhlejší testování metodiky provedené pracovníky ZÚ zejména na Kokořínsku, s doplňkovými lokalitami jižně od Loun a jižně od Ledče nad Sázavou, což jsou oblasti s drobnějšími skalními útvary a balvany. Cílem bylo zejména zpřesnění stávajících objektů ZABAGED typu *Skalní útvary*. Dále budou podrobněji uvedeny hlavní závěry vyplývající z dokumentu shrnující provedené práce (Neckář, 2015).

Navrhovanou metodou bylo zhruba 70 % objektů bez problémů vyhodnoceno. Zbývajících zhruba 30 % nejasných objektů, které byly zadány ke kontrole v terénu, bylo špatně rozeznatelných především z důvodu nedostatečného počtu bodů DMR 5G. Tyto objekty byly upřesněny nebo nově objeveny až při terénním šetření. Z hlediska přesnosti a spolehlivosti lze pro 70 % objektů považovat navrženou metodu za vhodnou.

Zpracování nicméně vykazuje značnou časovou náročnost (176 hodin na km² plochy skal). To bylo způsobeno i tím, že bylo šetřeno celé území – nikoli pouze uvažované bezprostřední okolí současných polygonů skal. I vlastní terénní šetření bylo časově náročné, což bylo zapříčiněno především tím, že se z bezpečnostních důvodů uskutečnilo ve dvou pracovnicích. Požadavků na terénní šetření bylo zpočátku zpřesňování více, po získání určité zkušenosti požadavků ubylo. Rovněž se v 90 % případů potvrzuje, že z dat LLS ne zcela jasný objekt v terénu existuje.

Zpřesnění lze urychlit, pokud bude provedeno pouze ve 2D prostředí na základě rastrových podkladů generovaných z dat LLS. Zásadní nevýhodou pro zpřesnění je, že DMR 5G lokálně neobsahuje dostatečný počet bodů nebo body byly chybně filtrovány, což neumožňuje přesně vymezení rozsah skály nebo z dat není patrná vůbec. Z terénního šetření vyplynulo, že ani v datech LLS, ani na leteckých měřických snímcích není viditelných cca 20 % skalních útvarů, které ZABAGED nepovažuje za podměrečné (relativní výška 3–5 m, plocha cca 200–500 m²). Terénní šetření sice umožňuje tyto objekty „objevit“, ale v praxi není možné projít celý list. Pro přiblížení se k obsahové úplnosti je terénní šetření nezbytné. Naopak v zanedbatelné míře data LLS a produkty z nich odvozené chybně indikují místa, kde by skála být mohla, ale ve skutečnosti není. Jedná se např. o úvozy, staveniště, skládky či pozůstatky neodfiltrované vegetace přítomné v modelu, které na malé ploše způsobují vyšší lokální členitost terénu.

Zpráva uvádí i konkrétnější postřehy týkající se jednotlivých typů navržených objektů. Přesné hranice skalního útvaru nelze vždy jednoznačně určit, a proto může být i celá délka linie ohraničující daný objekt zakreslena poněkud subjektivně. I v situaci, kdy je podstatná část skalního útvaru z podkladových dat dobře identifikovatelná, objevují se dva dále uvedené problémy. Prvním z nich je obtížné určení hranice, kde skalní plošina přechází do nescalního terénu. V praxi se hranice vykreslí do místa, kde LRM přestává indikovat skálu, což je stanovení zcela bez záruky. Druhá potíž spočívá v nutnosti do značné míry generalizovat obvod vymezeného polygonu i v situaci, kdy jsou z dat patrné náznaky podrobnějšího členění. Jsou zanedbávány pukliny, výběžky, průrvy nebo rokly mezi bloky. Náznaky dělení na dílčí bloky (pod 10 m) byly ignorovány, protože v terénu nebyla vždy prokázána jejich existence.

Praxe také ukázala, že v terénu není vždy zcela jednoduché ověřit a jednoznačně určit rozsah skalního útvaru. Značným limitem terénního šetření je relativní nedostupnost konkrétního území

nebo objektu. Skalní objekty se mnohdy nacházejí v nepřístupném terénu, často je možné objekt pozorovat pouze z jednoho stanoviště a na značnou vzdálenost, a díky tomu není možné přesně definovat jeho polohu, vymezení nebo detaily.

Řešeny byly rovněž otázky týkající se odstraňování stávajících objektů typu *Skalní útvary* v situaci, kdy podkladová data neindikují přítomnost skalního útvaru. Aplikována byla zásada „nemazat, pokud existence objektu není vyloučena terénním šetřením“. Potíže nastávají v situaci, kdy v místě výskytu stávajícího objektu ZABAGED skála není a je v jeho okolí (má se smazat původní objekt nebo jsou v daném místě skály dvě?) či v situaci, kdy je objekt po zpřesnění značně zmenšen nebo rozdělen na více zpřesněných objektů (neměla by být podle uvedené zásady plocha mezi nimi zachována?). V těchto případech bylo v terénu často zjištěno, že se v těchto místech skalní výchozy se také vyskytují – obvykle v menším počtu a velikosti.

Celkově lze na základě provedeného pilotního projektu konstatovat, že zpracování má pozitivní vliv na spíše na obsahovou úplnost než výslednou polohovou přesnost objektů. Odchytky od vymezení původních skal dosahují ve většině případů do 30 m. Ve věci existence rozsáhlejších skalních útvarů lze po vizuální kontrole prohlásit, že jejich původní vymezení se s novým v zásadě shoduje. V podstatě platí, že původní polygon, který je skálou i ve skutečnosti, je polohován uspokojivě. Nesporným přínosem zpřesňování dle pilotní metody je upřesnění polohy dolních hran a to především pro střední a velké skalní stěny.

Pro některé objekty (případně i lokality) se výrazně změnilo jejich vymezení, kdy jsou původní polygony buď rozšířeny, nebo zmenšeny či rozděleny na několik menších. V případě podlouhlých útvarů často dochází při zpřesnění k jejich zkrácení ve směru podélné osy. Pokud došlo ke změně vymezení objektu, tak poměr, kdy se původní objekt zmenšil a kdy naopak zvětšil, je cca 1:1. Na základě zpracovaného území tedy nelze prohlásit, že původní polygony skal jsou vždy velikostně naddimenzovány oproti skutečnosti, jak se před zpřesňováním očekávalo. Rovněž nelze určit, ve které oblasti jsou skály nově přidávány, či naopak zmenšovány.

Výraznější přínos zpřesnění je především směrem k úplnosti obsahu. Po zpřesnění jsou doplněny střední a menší objekty (doplněno 15 % objektů z původního počtu), zrušeno 15 % polygonů původních skal.

Projekt přinesl i možné náměty týkající se jednotlivých objektů.

1. snížení minimální plochy pro objekt typu *Skalní útvary* z 1000 m² na 400 m². Důvodem je skutečnost, že i objekty menší než 1000 m² lze ze stávajících dat LLS vyhodnotit a také fakt, že v současné ZABAGED je mnoho podměrečných objektů, viz rámeček na str. 74,
2. zvýšení nutného podílu plochy vystupující horniny z jedné čtvrtiny na jednu polovinu, z toho důvodu, aby nebyly skály zbytečně naddimenzované a nezahrnovaly se do tohoto typu objektu i svahy s nízkými, řídkými a dobře průchodnými skalkami,
3. v případě kolmé skalní stěny rozšířit *Skalní útvar* od paty za horní hranu na minimální šířku 10 m,
4. považovat umělý zářez ve skalní hornině podél komunikací za objekt typu *Stupeň, sráz*, nikoliv za *Skalní útvar*,
5. neoznačovat vrcholové body na skalních útvarech (s ohledem na vyhodnocování bez použití stereofotogrammetrie),
6. chápat stávající typ objektu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* na rozdíl od současného stavu jako bodový ekvivalent objektu *Skalní útvary* (protože je takto i v praxi používán),

7. navržený objekt *Roztroušené skály a balvany* nevyhodnocovat (to ostatně ani z dat LLS nelze), resp. ho chápat jako plošný ekvivalent objektu *Skupina balvanů*.

Protože provedené testování a náměty představují určitou oponenturu navržené metodiky, považuje autor práce za vhodné k některým námětům doplnit svůj komentář. S body 1 a 6 lze bez jakýchkoli připomínek souhlasit. I bod 7 v zásadě odpovídá návrhu, bylo by třeba ovšem dořešit podrobněji vztah k objektu *Sesuv půdy, suť*, který také představuje plošný objekt používaný mj. pro kamenné akumulace. Autor se této problematice podrobně věnoval (Lysák, 2015a), a uvedený námět podporuje jeho argumenty pro redefinici (a přejmenování) a případné doatributování objektu typu *Sesuv půdy, suť*. Bod 2 týkající se *Roztroušených skal a balvanů* je diskutabilní: za čtvrtinovou plochou (v kapitole 3.4.1 navíc zdůvodněnou) není snaha objekty naddimenzovávat, ale snaha umožnit topografovi snazší generalizaci v podobě slučování objektů dohromady. Pro vyloučení oblastí s nízkými a řídkými skalními útvary slouží výběrová kritéria pro objekt typu *Skalní útvary*.

Bod 3 nepovažuje autor za ideální, kromě nejednoznačnosti, zda se má rozšíření provádět směrem od dolní nebo od horní hrany, představuje pro topografa práce navíc. Podrobnější diskuze k této otázce je v širším kontextu dále v kapitole 3.6. Co se týká bodu 4, je autor toho názoru, že výrazné skalní zářezy podél komunikací by měly být vyjádřeny objektem typu *Skalní útvary* z toho důvodu, že mohou mít význam v případě mimořádných událostí (informace o tom, že objekt je potenciálně obtížně překonatelný). Skalnaté zářezy, kde je jen minimum vystupující horniny, je vhodnější reprezentovat pomocí stupňů, protože to představuje úsporu práce topografa. Podobné řešení lze ostatně nalézt i na TM 10. Toto řešení je jistě náročnější, protože z produktů odvozených z dat LLS nelze rozlišit, který z objektů by měl být v konkrétní situaci použit.

Konečně bod 5 je v kontextu aplikovaného postupu a použitých dat v pilotním projektu pochopitelný. Obecně je ovšem žádoucí tuto informaci vést, jak z důvodů generalizace modelu reliéfu, tak z pohledu kartografie.

Závěr pilotního projektu, se kterým se autor ztotožňuje, je tedy takový, že s aktuálně dostupnými podkladovými daty nedává příliš smysl půdorysy objektů zpřesňovat a už vůbec ne zachycovat jejich detaily. Čas investovaný do zpřesnění by s ohledem na možnou subjektivitu při interpretaci dat operátorem při vymezení objektů nepřinesl výrazné zvýšení kvality dat. Podkladová data mnohdy nedokážou zachytit skutečný stav, a pak by bylo zpřesnění chybné. Relevantní zpřesnění bude možné až v situaci, kdy budou k dispozici podrobnější data LLS.

3.4.6 Poznámky ke generalizaci reprezentace

Generalizace a víceměřítková reprezentace informací v topografických databázích představuje samostatný a rozsáhlý výzkumný problém (viz např. Meijers, 2011). V této kapitole proto budou zmíněny jenom nejdůležitější principy ve vztahu ke skalám a navržené reprezentaci.

Generalizace plošných objektů typu *Skalní útvary* vede na obecné problémy typu zjednodušování tvaru a agregace polygonů, případně náhradu polygonu bodovým objektem. Podobný typ problémů nastává již při vlastním pořizování dat, kde se provádí podobný typ operace, tj. řeší se spojování, rozdělování či vypouštění jednotlivých skalních výchozů podle předem daných kritérií. Nabízí se určitá analogie s problémy, které vznikají při generalizaci zástavby z dat polygonů jednotlivých budov. Právě pro účely generalizace ploch skal byl navržen i objekt *Roztroušené skály a balvany*.

Generalizace bodových objektů typu *Skála, balvan* spočívá ve výběru, případně typifikaci bodových objektů (výběr se zachováním prostorové struktury rozmístění objektů). Lze uvažovat

i o náhradě skupiny bodových objektů plošným objektem typu *Roztroušené skály a balvany*. Při výběru mohou být užitečné informace o relativní výšce objektu.

Generalizace vnitřních linií pak představuje tvarové zjednodušování a vypouštění příslušných linií. Důležité je zachování informací o topologii (objekt musí zůstat uvnitř či na hranic skalního útvaru, měly by zůstat zachovány prostorové vazby k sousedním vnitřním liniím) a výběr těch nejdůležitějších vnitřních hran. Praktické řešení si lze představit spíše přes metody pracující se zjednodušováním DMR zachovávajícím terénní čáry (linie terénní kostry) v závislosti na jejich významnosti. Šlo by tedy v zásadě o nové vymezení těchto linií z generalizovaného DMR a generalizované plochy skalního útvaru. Podobný přístup bude potřeba i pro klasifikaci obvodu skalního útvaru z nově vymezené plochy. Vybrané konkrétní příklady generalizace lze nalézt v kapitole 3.4.3 na obr. 54 a obr. 55.

3.5 Geografické názvosloví skal

S problematikou reprezentace skalních útvarů v digitálních topografických databázích také souvisí geografické názvosloví skalních útvarů. Jména skal patří mezi pomístní jména (anoikonyma), konkrétně mezi oronyma, což jsou geografická jména tvarů vertikální členitosti povrchu zemského a mořského dna. V této kapitole bude nejprve popsán současný stav názvosloví skalních útvarů v Česku a dále pak možnosti jeho rozvoje s důrazem na relevantní zdroje názvů skal a jejich praktické přínosy.

3.5.1 Skály v Geonames

Databáze Geonames obsahuje kompletní soubor prostorových a popisných informací o standardizovaných geografických jménech (toponymech) České republiky (ČÚZK, 2016). Databázi spravuje sekretariát Názvoslovné komise, který je součástí ZÚ.

V dnešním rozsahu byla pro státní mapové dílo v měřítku 1 : 10 000 standardizace započata již v roce 1958 (Švehlová, 2014). Databáze Geonames vznikla v roce 1996, digitalizace původní evidence byla zahájena v roce 1997, prvotní naplnění databáze Geonames bylo dokončeno v roce 2005. Od roku 2006 je databáze Geonames průběžně aktualizována a doplňována ve spolupráci s orgány místních samospráv a s pracovišti katastrálních úřadů v rámci tvorby digitální katastrální mapy, obnovy katastrálního operátu a prováděných pozemkových úprav. Vzhledem k rozšíření požadavků na Geonames v souvislosti s využitím dat Geonames pro vyhledávání geografických objektů aplikacemi Geoportálu ČÚZK, evropské webové služby EuroGeoNames a v souvislosti s přípravou nové databázové technologie zpracování mapové produkce ZÚ byla v roce 2009 realizována úprava datového modelu a procesů správy Geonames. Výsledkem byl posun Geonames od systému pro správu popisu na ZM 10 k systému pro správu pojmenovaných objektů bez ohledu na měřítko mapy. Proto byla databáze Geonames rozšířena o názvoslovný obsah vybraných map malých měřítek a došlo tak např. k doplnění jmen objektů většího plošného rozsahu, například pohoří.

Databáze Geonames je aktualizována v pravidelném cyklu. Kromě této plošné aktualizace probíhá průběžná aktualizace vybraných objektů. Data Geonames jsou využívána jako zdroj informací o českých geografických jménech v geoinformačních systémech. Standardizovaná jména jsou závazná pro vydavatele státních mapových děl a doporučena k užívání ostatním vydavatelům kartografických děl v Česku.

Každé standardizované geografické jméno má přiřazenu geometrii, určitý typ a obecnou kategorii. Typů je celkem 156, rozřazených do 57 skupin a pěti obecných kategorií (stav v době

psaní práce v roce 2016). Mezi databází Geonames a databází ZABAGED existuje vztah. Část jmen je vázána na objekty ZABAGED; takové objekty mají v ZABAGED geografické jméno vedené jako svůj atribut a geometrie v Geonames pak odpovídá geometrii v ZABAGED. Některé typy jmen v Geonames ale nejsou vázány na objekty ZABAGED. Týká se to zhruba třetiny typů, jde zejména o pozemkové tratě, lesní pozemky a místní části sídel. Ty pak mají zjednodušenou geometrii korespondující s umístěním popisu ve státním mapovém díle. Typy objektů, jejich geometrie a vztah k objektům ZABAGED jsou popsány v Datovém modelu Geonames (ČÚZK, 2016).

Jména související se skalními útvary jsou v Geonames reprezentována třemi typy objektů, zařazených do skupiny *Skála, skály* v obecné kategorii *Pozemky a terén*. Vlastnosti těchto typů objektů jsou uvedeny v tab. 11.

název typu geografického jména	typ geometrie	geometrie vedena v ZABAGED / Geonames
skalní město	plocha	Geonames
skupina skal	plocha	Geonames
osamělý balvan, skála, skály	náčrt – bod	ZABAGED

Tab. 11. Typy objektů v Geonames související se skalními útvary.
Zdroj: ČÚZK (2016).

Typ jména *osamělý balvan, skála, skály* zahrnuje pouze jednotlivé izolované objekty, případně malé skupinky skal výrazné v krajině, které nemají prostorovou souvislost s dalšími skalními útvary. Tento typ jmen je vázán na objekty ZABAGED typu *Osamělý balvan, skála, Skalní útvary a Skupina balvanů*. Typ jména *skalní město* je používán pro rozsáhlejší skalní krajiny v širším slova smyslu, většinou pískovcové. Pro účely Geonames se skalní město chápe ve smyslu definic uváděných v geomorfologické literatuře (např. Rubín & Balatka a kol., 1986). Do Geonames byla zařazena v první řadě jména skalních měst uváděných v odborné literatuře, dále skalní města všeobecně známá a uznávaná a skalní města z dalších ověřených zdrojů. V některých případech se název, resp. vymezení skalního města může krýt s jednotkou geomorfologického členění (např. Tiské stěny tvoří část geomorfologické jednotky, Broumovské stěny geomorfologický podokrsek). Typ jména *Skupina skal* dodržuje v zásadě podobná kritéria jako skalní město, ovšem nemusí splňovat všechny podmínky (existence soutěsek, věží apod.). Další odlišností je rozloha, skupiny skal mají většinou menší rozsah než skalní město.

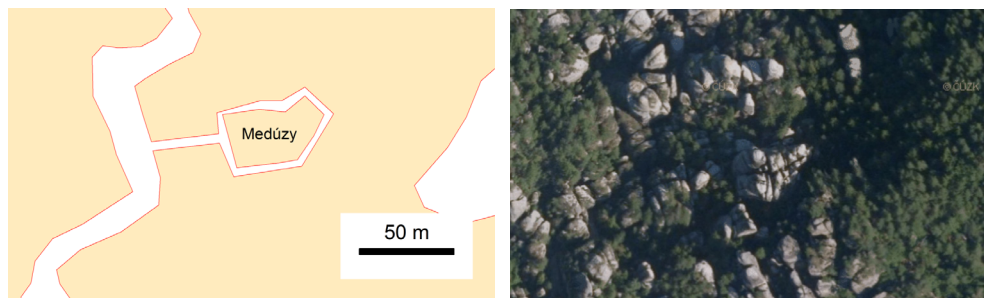
typ geografického jména	počet objektů daného typu v roce				
	2012	2013*	2014*	2015	2016
skalní město	8	47	44	26	26
skupina skal	81	104	112	108	113
osamělý balvan, skála, skály	446	465	513	545	577

Tab. 12. Vývoj počtu geografických jmen souvisejících se skalami v databázi Geonames.
Údaje z let 2013 a 2014 (označené *) mohou být mírně nadhodnocené, protože některé záznamy v databázi byly duplicitní (u objektů tvořených více částmi). Údaje v tabulce by ale měly být porovnatelné, tj. objekt tvořený více záznamy je započítán pouze jednou.

Zdroj: výpočty nad daty dostupnými přes Geoportál ČÚZK.

Uvedená reprezentace velmi dobře odpovídá potřebám pro zachycení geografického názvosloví skal: dokáže zachytit jak názvy širších oblastí (skalní město), tak menších oblastí, které jsou v ZABAGED reprezentovány jako skupina poblíž sebe ležících polygonů (skupina skal), tak i jednotlivých objektů. Určitým problémem je počet těchto jmen ve srovnání s počty objektů v ZABAGED. Z přibližně 50 000 objektů skal jich má uvedené jméno zhruba 700, pro přesnější údaje poskytuje srovnání tab. 7 na str. 78 s tab. 12. Jmen skal v databázi Geonames v průběhu času

postupně přibývá (viz tab. 12), ale aktuální stav je zatím poměrně neúplný, uvážíme-li, že balvany a skály jsou nápadný terénní prvek, který poutá pozornost a díky tomu i relativně malé objekty mívají svá jména. Možnému řešení tohoto problému se věnuje kapitola 3.5.2.

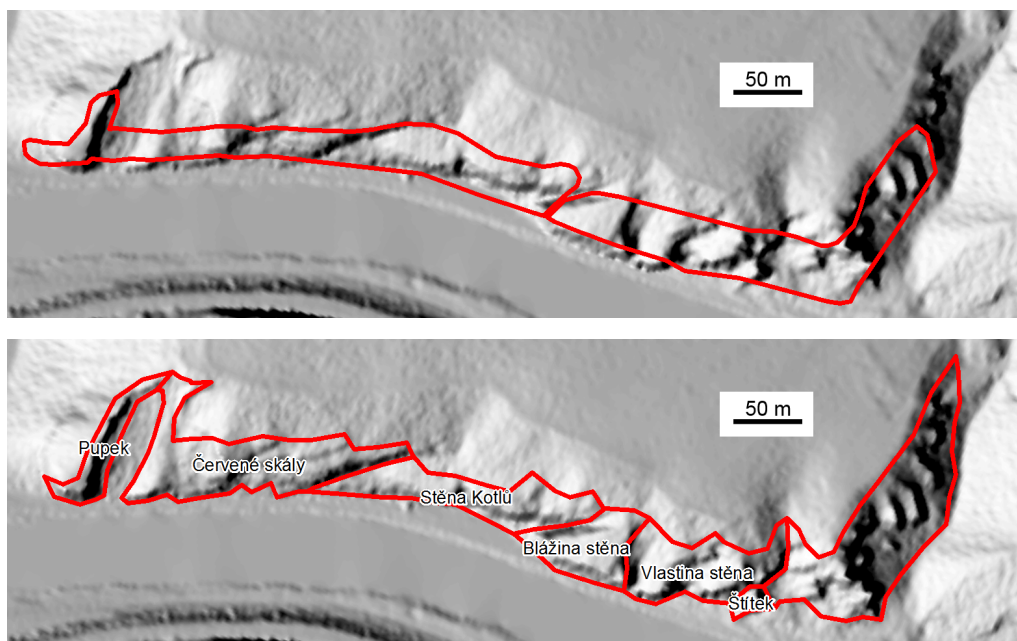


Obr. 63. Oddělení samostatného objektu typu Skalní útvary v ZABAGED kvůli jménu.

Okolo odděleného objektu typu Skalní útvary v ZABAGED byla vytvořena mezera (aby byla splněna podmínka na nepřekrývání se skalních útvarů) a zároveň jméno bylo navázáno na tu část, ke které se vztahuje (název Medúzy patří konkrétní skalní věži, kterých jsou v území na výřezu desítky). Vzniklá mezera přitom asociuje terén bez skal – tedy průchod – což neodpovídá skutečnosti (pro srovnání ortofoto vpravo).

Zdrojová data: ZABAGED a ortofoto, © ČÚZK, 2016.

Jiný typ problému představuje situace, kdy je v ZABAGED reprezentována skála objektem *Skalní útvary* a jméno se vztahuje pouze k části tohoto objektu. Typickým příkladem je situace, kdy se jméno vztahuje k jedné skalní věži uprostřed skalního města, přičemž polygonem je vedena značně rozsáhlejší oblast než jen daná věž. Pak se jméno vztahuje buď k celé ploše, což je zavádějící, případně je nutné plochu věže oddělit jako samostatný objekt. V tomto případě ovšem výsledná geometrická reprezentace (zvláště s ohledem na to, že ve stávající technologii ZABAGED je obtížné tvořit polygony s dírou) neodpovídá skutečnosti a působí přinejmenším zvláště (viz obr. 63), ač je formálně správná.



Obr. 64. K ilustraci návrhu rozdělení objektu typu Skalní útvary na samostatné dotýkající se objekty.

Nahore stávající objekty typu Skalní útvary (bez vyplněného atributu jméno) na podkladě stínovaného modelu reliéfu odvozeného z dat DMR 5G. Dole zpřesněná geometrie spolu s rozdělením objektu na dílčí pojmenované části. Za povšimnutí stojí, že část vpravo zůstává bezejmenná. Lokalita poblíž Srbska v Českém krasu, otočeno.

Zdrojová data: ZABAGED a DMR 5G, © ČÚZK, 2016, jména skal podle Žák (1992).

Možným řešením této situace by bylo povolit dotyk (ale nikoliv překrytí) sousedních objektů typu *Skalní útvary*, což by v případě potřeby umožnilo oddělit pojmenovanou část plochy skalního útvaru, případně rozdělit tento útvar na dílčí plochy, z nichž každá by mohla mít samostatné jméno

(viz ilustrační příklad na obr. 64). Z pohledu ZABAGED jde o situaci analogickou objektu typu *Budova, blok budov*, kdy se z bloku budov vyčleňuje jeho část jako samostatná budova v situaci, kdy je např. daná část specifická svým odlišným využitím (např. škola v rámci bloku budov). Pokud by takto oddělený objekt nespĺňoval velikostní kritéria, nabízí se pro něj použití navrženého bodového objektu typu *Významný objekt skalního terénu* ležícího uvnitř plošného skalního útvaru (viz kapitolu 3.4.1) navázání jména na něj.

Obecně je propojení mezi vybranými objekty ZABAGED a jménem v Geonames výhodou. Ovšem v situaci, kdy žádný vhodný objekt ZABAGED v daném místě není a jméno v Geonames typu *Osamělý balvan, skála, skály* se zjevně k takovému objektu vztahuje, nastává problém. Prozkoumání dat Geonames ukázalo, že v praxi lze řešit tuto potíž vytvořením jména typu *Svah, stráň, suť*. To se týká se ale jen poměrně malého množství případů.

3.5.2 Možnosti využití horolezeckých databází pro geografické názvosloví skal

V kapitole 3.3.3 byly zmíněny horolezecká literatura a databáze jako možný zdroj dat pro topografické mapování skal. V této kapitole jsou tyto zdroje dat analyzovány z pohledu databáze Geonames. Hlavní smysl jejich využití by mohl spočívat v doplnění názvů skalních útvarů, a to jak jednotlivých jmen typu *Osamělý balvan, skála, skály*, tak jmen typu *Skupina skal*. V databázi Geonames je jich celkem necelých 700 (viz tab. 12), horolezecké databáze jich evidují více než 14 tisíc (počty se u jednotlivých zdrojů liší, srovnání počtu u jednotlivých zdrojů uvedených v kapitole 3.3.3 je v tab. 13).

zdroj (a provozovatel)	počet skal (lezeckých objektů)	počet sektorů
Databáze skal ČR (ČHS)	12 033	788
Skalní oblasti ČR (Netsystem Int.)	14 464	921
Sandsteinklettern (J. Brutscher)	11 768	302

Tab. 13. Počty pojmenovaných lezeckých objektů v jednotlivých databázích. Údaje k 20. 3. 2016. Podrobnosti k jednotlivým zdrojům jsou uvedeny v kapitole 3.3.3. Sektory v řadě případů odpovídají skupinám skal. Web Sandsteinklettern používá odlišné členění, proto se tento údaj výrazně liší od zbylých dvou.

Hlavním smyslem integrace databáze lezeckých objektů do Geonames a ZABAGED by byla použitelnost těchto dat složkami integrovaného záchranného systému v případě mimořádných událostí typu nehod horolezců. Pokusy o realizaci takové databáze lezeckých objektů i s dalšími doplňkovými informacemi relevantními z hlediska integrovaného záchranného systému se již objevily (např. projekt *Integrovaný záchranný systém ve skalách ČR*, viz <http://www.izsso.cz>), ale zůstaly nedotažené.

Praktická realizace takové integrace naráží ovšem na řadu problémů jak teoretického, tak praktického rázu. Jedním z těch důležitých je specifčnost horolezeckého názvosloví. Ambicí autora není podrobně analyzovat historii horolezeckého názvosloví skal, ale spíše upozornit na problémy, které může mít pro Geonames. Obecně začaly názvy jednotlivých skalních věží vznikat v souvislosti s rozvojem turistického ruchu po polovině 19. století. V tu dobu na nich ovšem horolezci zdaleka nepůsobili, první výstupy v oblasti Českého Švýcarska jsou datovány až do 90. let 19. století, a například v Adršpachu až ve 20. letech 20. století. Předmětem jejich zájmu byly ty nejvýznamnější a nejnápadnější objekty, jejichž jména se v nezměněné podobě udržela až do současné doby, jsou známá a používána i mimo horolezecké kruhy a některé ostatně v Geonames již jsou (například Milenci či Starosta v Adršpašských skalách). Obvykle vycházejí z tvaru nebo charakteru těchto skalních útvarů. S rozmachem horolezectví došlo i na objevování objektů

odlehlejších a méně nápadných. Horolezci jim dali vlastní jména, a to běžně i v případě, že už svá jména měly. Horolezecké pojmenování se často liší od těch, které jsou používány místními obyvvateli-nehorolezci. Jako příklad lze uvést skálu v Řeži severně od Prahy, které horolezci říkají Ignacius a místní pro ni používají jméno Pasáček (skála v ZABAGED ani Geonames není). V tom případě se nabízí otázka, který název do Geonames zařadit. Pravděpodobně nejsprávnějším řešením je tam zařadit názvy oba.

V extrémnější podobě je tato situace je typická zejména pro oblast Sudet, kde po poválečném odchodu německého obyvatelstva vzalo původní názvosloví za své a řada jmen (nejen skal) byla vytvořena nově a často chybně nebo nelogicky. V posledních letech lze v souvislosti se snazší dostupností starých map a regionální literatury pozorovat určitou snahu o zohlednění starých názvů (v případě skal v Krušných horách na Mostecku se k tomu ostatně trochu pokusil přispět i autor této práce). Z pohledu současného názvosloví s tímto principiální problém není, protože horolezci tak zaplnili „bílá místa“ na mapě, protože původní názvy objektů zanikly.

Specifikum představují samotné názvy vytvořené horolezci. Starší verze pravidel pro skalní lezení uvádějí, že „*prvovýstupce je povinen navrhnout vrcholové komisi pro nově zlezený lezecký objekt vhodné pojmenování a pro novou cestu vhodný název a stupeň obtížnosti. Pojmenování věže i cesty musí být slušné.*“. Jména tedy byla (a jsou) ponechána na fantazii horolezců, což z pohledu toponomastiky není úplně ideální. Názvy objektů (a zvláště ty relativně novější) jsou často z pohledu českého geografického názvosloví minimálně nezvyklé, občas i nespisovné či s gramatickými chybami, v čemž může být nakonec i úmysl a snaha o originalitu. Postřehy k tomuto tématu v oblasti Hruboskalska uvádí ve svém článku např. Kořátko & Veselý (2009). V aktuální verzi pravidel pro skalní lezení navíc není podmínka týkající se slušnosti názvu, a tak lze mezi lezeckými objekty nalézt vulgární pojmenování jako Sračka (u Pašinky jižně Kolína), Kokot (na Hruboskalsku), Skála u Hajzlíku (jihozápadně od Klášterce nad Ohří) či Prdítko (v Adršpašských skalách). To je v přímém rozporu se standardizací geografických jmen, kde je uveden požadavek, že se „*upravují nebo odstraňují pomístní jména hanlivá a vulgární*“ (ČÚZK, 2015b). Určitý problém také představuje obecnost názvů některých lezeckých objektů, které jen popisují kontext okolí objektu a jsou tak spíše lokalizačního než identifikačního charakteru (názvy typu *Skála u X*, *Stěna mezi X a Y*, *Masív vlevo od X*, *První skála*). Z pohledu evidence horolezeckých objektů je takový název pochopitelný, ale lze ho vnímat spíše jako označení polohy než jako geografické jméno. Ještě významněji se pak projevuje u jmen lezeckých sektorů, která jsou v řadě případů velmi obecná (názvy typu *Skály nad vlakovým nádražím*).

Z pohledu geografického názvosloví by měl název mít určitou tradici, tj. nějakou dobu existovat a vžit se. To nakonec ukáže jeho vhodnost. Konkrétní podobu takového vžití lze ilustrovat na příkladu jmen skupin skal v Krušných horách na Mostecku, uměle vytvořených na konci 90. let 20. století (Polední skály, Trempské skály a další). Jména byla zachycena v horolezeckém průvodci z roku 1999 (a v dalších novějších vydáních), odtud se dostala na internetové turistické a volnočasové stránky (turistika.cz propojená s údaji na mapy.cz, stránky věnované geocachingu), čímž se názvy dostaly mezi širší veřejnost a jsou tak pro zařazení do Geonames vhodná. K identifikaci „stáří“ jména mohou pomoci údaje o lezeckých cestách, které jsou k jednotlivým skalním útvarům v databázích vedeny. Součástí informace o cestě je totiž i datum jejího prvovýstupu, což dává dobrý dolní odhad stáří jména.

Z pohledu obsahu databází lezeckých objektů je třeba vzít v úvahu i to, že horolezci nelezou jen na skály, balvany, lomové stěny či v zimě na vertikální ledové útvary, ale také na umělé objekty. V posledních době je populární také bouldering (viz kapitolu 1.5.3), kdy se leze bez lana obvykle

na malé a nízké objekty, které sice mají své jméno, ale jinak jsou v kontextu okolí naprosto nevýznamné a samostatně by se obsahem topografické databáze nestaly. Situaci lze z pohledu ZABAGED přirovnat k objektům typu *Významný nebo osamělý strom, lesík*, který se používá pro reprezentaci pojmenovaných stromů ležících v lese, které by jinak zachyceny nebyly. Mezi lezeckými objekty lze navíc nalézt i staré mostní pilíře (Kníničky) či dokonce plastiky (plastika Rovnováha na jihovýchodním předpolí Barrandovského mostu, horolezcům známá pod jménem Červ dobyvatel). Takové objekty pochopitelně nemají v databázi jmen skal co dělat.

K praktickým problémům při možném použití horolezeckých databází patří zejména jejich obsahová neúplnost. Nejvýznamnějším problémem je absence geografické polohy u řady lezeckých objektů, případně poloha vztahující se pouze k sektoru ne ke konkrétnímu lezeckému objektu. Počet těch, které jsou spolehlivě zaměřeny, lze odhadnout na méně než polovinu. Tento počet by se dal zvýšit kombinací informací z uvedených horolezeckých databází a dalších zdrojů. Popsaný stav má historické důvody, databáze se do elektronické podoby dostaly přepsáním informací z horolezeckých průvodců. Ty vznikaly v době, kdy technologie GPS/GNSS nebyla v podmínkách Česka tak dostupná jako v současnosti. U nově přidávaných objektů již tyto souřadnice obvykle uvedeny jsou. Rovněž údaje o relativní výšce lezeckých objektů, které by mohly být identifikátorem významnosti, jsou velmi neúplné, a často jde jen o různé opisované odhady (viz též rámeček Box 5: Kolik měří Milenci?). Udávaná relativní výška věže by měla představovat výškový rozdíl mezi jejím nejvyšším bodem a nejnižším místem úpatí skály (dno údolí, u skal na svazích údolí pak místo, kde se dolní okraj skály dotýká nescalnatého terénu).

Box 5: Kolik měří Milenci?

Věže v Adršpašských skalách dosahují maximálních výšek v rámci pískovcového fenoménu celé Evropy (Adamovič & Mikuláš & Cílek, 2010). Nejvyšší věží této oblasti jsou Milenci (viz obr. 6 vlevo na str. 26, obr. 9 vlevo na str. 29 a plánec na obr. 44 na str. 92). Udávaná výška této věže (měřená z vyšší údolní strany) kolísá okolo 100 m, v literatuře lze nalézt hodnoty pohybující se v rozpětí od 96 do 110 m. Se stanovením úpatí věže v tomto případě není větší problém, odpovídá výšce dna Řeřichové rokle severně od vrcholu věže. Nejednoznačnosti výšek věží si všimli i na Správě CHKO Broumovsko (Kuna, 2015) a vybrané z nich přeměřili laserovým dálkoměrem a výškoměrem Nikon Forestry Pro. V případě Milenců vyšla výška 80 m (s tolerancí 1–2 metry). Pořízená data LLS umožní na tuto otázku odpovědět o řád přesněji. Nejvyšší bod na vrcholu věže v datech pořízených v rámci Projektu tvorby nového výškopisu ČR (viz kapitolu 2.5.1) má 589,52 m a nachází se na jihozápadním vrcholu (nazývaném Milenec). V experimentálních lokálních datech pořízených ZÚ nad Adršpašskými a Teplickými skalami (viz kapitolu 2.5.1) dosahuje nejvyšší bod výšky 590,37 m. Leží na severovýchodním vrcholu (nazývaném Milenka), jde ale o odraz od plechové vlnky umístěné na vrcholu věže. Druhý nejvyšší bod (ležící na jihozápadním vrcholu) má 589,71 m. Úpatí věže pak leží ve výšce okolo 508,3 m. Milenci tedy dosahují z údolní strany výšky přibližně 81,4 m s tolerancí v řádu decimetrů, způsobenou tím, že odraz z vrcholu věže nemusí být nutně z nejvyššího místa, a s určitou tolerancí výšky úpatí. Údaj se dobře shoduje i s měřením provedeným Správou CHKO Broumovsko. V literatuře udávaná výška Milenců i přes 100 m je tedy přehnaná, pod 490 m se dostává tok řeky Metuje až za Adršpašským nádražím, tedy dále než 1,5 km od vrcholu věže. Správný údaj o výšce věže byl poprvé publikován v práci M. Tomkové (2015).

Určitou specialitou, která s horolezectvím souvisí pouze částečně, jsou jména částí skal. Jejich výskyt je omezen na komerční prohlídkové okruhy nejvýznamnějšími skalními městy. Jde vesměs o bizarně formované části skal, které z určitého pohledu připomínají nějaký tvar, objekt, zvíře apod. (viz obrázek obr. 65). Místo, odkud je daný objekt patrný, se obvykle nachází v odstupu od něj. Tato jména nedává příliš smysl zaznamenávat, protože z pohledu orientace má větší význam tabulka na objekt upozorňující spíše než daný objekt samotný, který navíc obvykle nelze ani z bezprostřední blízkosti, resp. jiného úhlu pohledu vůbec identifikovat. Totéž platí i o názvech částí

konkrétní skály používané horolezci. Tyto informace jsou už příliš podrobné a specifické na to, aby byly zachyceny v topografických mapách. Pouze v případě, že tento charakteristický tvar dal jméno celé skále (Krakonošovo párátko v Teplických skalách), má smysl takový název v Geonames zachytit.

V rámci zkoumání možností využití horolezeckých databází pro účely Geonames byl proveden jednoduchý experiment, jehož cílem bylo odpovědět na otázku, nakolik jsou horolezecká jména skal v Geonames již nyní. Byla využita Databáze skal ČR od ČHS a vybrané objekty Geonames typů uvedených v tab. 12. Následně byla hledána shoda jmen v obou zdrojích. S tím byly určité technické komplikace, protože data získaná z webu ČHS obsahují v rámci názvu občas i alternativní pojmenování v nestruturované podobě, a někdy jsou uvedena velkými a jindy malými písmeny. Alternativní pojmenování řešena nebyla, velikost písmen byla pro účely hledání shody změněna jak v Geonames, tak v datech od ČHS na velká. Shodu se podařilo nalézt u 377 jmen. Následně byla kontrolována také shoda zeměpisných souřadnic. Rozdíl do jednoho kilometru byl u 58 objektů – u nich lze tedy se značnou mírou jistoty prohlásit, že jsou to objekty Geonames odpovídající údajům z Databáze skal ČR. U dalších 76 objektů nebyly v datech ČHS vyplněny souřadnice vůbec, tj. není apriori vyloučené, že tuto podmínku splňují. U zbylých objektů jde pak buď o nesprávně vyplněné souřadnice objektů v datech ČHS, často se vztahující k sektorům a ne k jednotlivým lezeckým objektům a způsobující větší rozdíl ve vzdálenosti, než byla uvedená mez, případně se jedná o náhodnou shodu jmen obecného typu (Skalní brána) ze zcela různých míst Česka.



Obr. 65. K ilustracím jmen částí skal.

Vlevo částí skalních věží nazvané podle charakteristického tvaru při pohledu z určitého místa Ruka se zmrzlinou a Pes, vpravo informační tabulka, která na ně upozorňuje. Prohlídkový okruh v Teplickém skalním městě.

Integrace databáze lezeckých objektů se ZABAGED a Geonames představuje poměrně obtížný úkol, který ale má smysl jak z hlediska praktické využitelnosti, tak z pohledu doplnění neúplného názvosloví. Detailnější analýza je jistě na samostatnou studii, nicméně obecně si lze v první fázi představit jednorázový import vybraných významných lezeckých objektů a jejich integraci s daty ZABAGED ve smyslu přiřazení názvů existujícím bodovým objektům typu *Osamělý balvan*, *skála*, *skalní suk* a *Skalní útvary*, příp. i *Skupina balvanů* a následnou kontrolu. S výhodou by pro tento účel šel použít nově navržený bodový objekt *Významný objekt skalního terénu* (viz kapitolu 3.4.1). Výběr by mohl proběhnout na základě výšky, počtu cest a délky existence názvu (na základě data zdolání nejstarší cesty). Vybrané názvy sektorů a jejich částí by se následně mohly transformovat do jmen Geonames typu *Skupina skal*. Tento proces je z části automatizovatelný, nicméně manuální kontrola správnosti přiřazení by byla jistě potřeba. Tím by byl do značné míry vyřešen problém s nenaplňeností názvů.

V budoucnu si lze pak představit režim dodávání změnových dat od Českého horolezeckého svazu, který všechny objekty centrálně eviduje. Výhodou skalních útvarů je, že změn není mnoho. Objevují se nové objekty, které vznikají zhodnocením dosud nezlezených skal, spíše výjimečně také některé objekty zanikají (z důvodů zřícení věže, např. skála Hraniční kámen byla z důvodů hrozícího zřícení na podzim roku 2000 stržena). Polohu nových objektů lze případně zpřesnit pomocí dat LLS. Tento režim vcelku dobře odpovídá roli ZABAGED (a Geonames) jako základní databáze, která vede polohu, resp. geometrii objektu a spolu se základními údaji o objektu a s identifikátorem do specializovaných databází. Na tato data by pak mohl Český horolezecký svaz vázat další údaje, jako jsou lezecké cesty na daný objekt. K základním údajům by patřily ty, které mohou hrát roli při identifikaci významnosti lezeckého objektu (zejména výška, počet cest, případně počet uskutečněných výstupů za určité časové období), která by pak byla použitelná pro generalizaci dat do menších měřítek. Zde se lze inspirovat například švýcarskou topografickou databází swissTLM3D (swisstopo, 2015), která používá kategorie významnosti jednotlivých horských štítů a vrcholů, či kategorizaci lezeckých objektů v databázi Sandsteinklettern. Ani do nejpodrobnějších map by se tak pravděpodobně nedostaly všechny objekty (v situaci, kdy by jich někde bylo lokálně hodně). Inspiraci pro výběr objektů pro účely kartografie lze hledat například v ATKIS a saské DTK 10 (AdV, 2008).

3.6 Diskuze a závěry ke skalám a digitálním topografickým databázím

Reprezentace skalního terénu v digitálních topografických databázích je poměrně složitý a komplexní úkol, který nemá jednoznačné řešení. Skalní útvary více či méně souvisí s dalšími objekty, tvořenými většími či menšími úlomky kamení, což je třeba při návrhu reprezentace těchto objektů zohlednit. Z uvedené analýzy je zřejmé, že zachycování skal výhradně půdorysem není ideální. Doplňkové informace mají potenciál zvýšit informační hodnotu výsledné reprezentace.

Navrženou metodiku lze hodnotit dvěma úhly pohledu: jednak z pohledu praktické aplikace na širší území s využitím stávajících dostupných dat, jednak z pohledu obecné využitelnosti (ať pro lokální mapování či v budoucnu).

První pohledem lze vidět využitelnost metodiky poněkud skepticky, a to zejména z důvodů nedostatečné míry detailu v datech LLS a produktech z nich odvozených. Ukazuje se problematické v řadě případů vymezit přesně i jen jejich plochy, natož k nim dodávat podrobnější informace. To je možné pouze v některých případech a navíc je na místě obezřetnost při zpracování detailů. Obecně jsou ovšem i z pohledu workflow na ZÚ doplňující informace žádoucí: dává větší smysl je rovnou doplnit při topografickém mapování jednotně na základě exaktně definovaných kritérií spíše než je ponechat na kreativitu kartografa. Vede to v jistém smyslu i ke „spravedlivějšímu“ rozdělení práce mezi topografa a kartografa, kdy kartograf bude řešit pouze vizuální stránku reprezentace těchto dat (viz dále v kapitole 4.3.6). Navíc – na rozdíl od kartografických reprezentací – by taková data mohla být dostupná uživatelům v rámci ZABAGED a tedy opakovaně využitelná. V tuto chvíli je z navržených úprav smysluplné připustit snížení minimální plochy skalního útvaru z 1000 m² na nižší hodnotu (např. na uvedených 400 m²), čímž dojde k lepší harmonizaci specifikace objektu s reálným stavem v databázi ZABAGED. Objektů typu *Skalní útvary* menších než 400 m² bylo v databázi v lednu 2016 méně než 12 %, což je lépe v souladu s Upřesněním požadujícím zachycení objektu menší než hraniční mez spíše výjimečně. Dále by bylo vhodné chápat a předefinovat stávající typ objektu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* na bodový ekvivalent objektu *Skalní útvary*, i s ohledem na to, že je takto i v praxi používán. To má za následek určité drobné komplikace pro kartografii (viz dále v kapitole 4.2).

Z pohledu této práce je ovšem zajímavější spíše pohled druhý, byť je jeho praktické použití limitováno na území s podrobnými lokálními daty, případně důkladně prozkoumané terénním šetřením. Navržená metodika přináší návod, jak tyto informace zachytit a reprezentovat. Jde v zásadě o reprezentaci generalizovaných terénních čar (linií terénní kostry) v ploše skalního útvaru. Postup představuje kombinaci v praxi používaných přístupů a má vztah i ke klasické kartografii (blíže v kapitole 4.1.2), která ostatně byla i částečnou inspirací při návrhu jednotlivých typů objektů. Pohled klasické kartografie na reprezentaci skal může totiž být velmi užitečný zejména z pohledu generalizace. Dobře stanovená míra generalizace s ohledem na podkladová data a měřítko mapování je ostatně tím nejdůležitějším faktorem pro dosažení relevantního výsledku.

U navržených typů objektů nejde o jejich konkrétní názvy, ale spíše o logiku jejich použití v kombinaci s příslušnými typy geometrie. Bylo by například možné jednotlivé typy objektů sloučit v tom smyslu, že by existoval plošný objekt pro zachycení půdorysu pro větší skalní útvary, bodový pro menší, dále jeden liniový objekt pro vnitřní členění (jednotlivé typy linií by byly rozlišeny pomocí atributu), bodový objekt pro významné entity uvnitř skalního útvaru a jeden liniový objekt pro klasifikaci obvodu (jednotlivé typy obvodových linií by byly rozlišeny atributem). To jsou ale z pohledu návrhu spíše jen technické detaily.

Podobně je ke zvážení striktní trvání na tom, že skalní útvar musí být nutně bod nebo plocha. Některé kolmé skalní stěny mají v principu liniový charakter a nemuselo by proto být nutné vytvářet plochu vždy. Pro v půdorysu „úzké“ skály by pak postačovala *Lomová hrana*. Pro přesnou definici lze využít kritérium ze Saské TK 10 (viz dále v kapitole 4.1.3). Podobné řešení ostatně používá pro skály i ATKIS či Maastotietokanta, a analogické je i v ZABAGED pro terénní stupně. Výhodou tohoto přístupu je snazší práce pro topografa, nevýhodou pak nejednotnost ve smyslu použití různých typů geometrie pro tentýž typ objektu, která přináší komplikace při vizualizaci dat a jejich kartografickém zpracování. Povolení různých typů geometrie pro tentýž typ objektu je spíše koncepční otázkou návrhu celé prostorové databáze, který v závislosti na jejím účelu může lavírovat od jednoduchého seznamu mapových vrstev vhodnému k přímé tvorbě kartografických děl až k sofistikované objektově orientované reprezentaci reality zachycující vztahy mezi objekty.

Další otázkou je, zda klasifikace obvodu skalního útvaru je spíše topografická nebo kartografická informace a zda klasifikace segmentů obvodové linie polygonu nespátří spíše do kategorie *data enrichment* pro kartografickou vizualizaci. Autor se domnívá, že je to spíše topografická informace (analogická horní a dolní hraně terénního stupně), proto byla zařazena do této sekce. Význam této informace pro kartografické zpracování a jeho automatizaci je samozřejmě nepopíratelný.

Z pohledu návrhu a zpracování jednotlivých objektů je dobré vyjít z analogií, které jsou v ZABAGED a se kterými jsou zkušenosti u jiných typů objektů, zejména z pohledu generalizačních kritérií a řešení speciálních situací. Tyto analogie jsou zmíněné u popisu jednotlivých typů objektů. U budov může být část bloku budov samostatně vyčleněná, má-li specifické vlastnosti. To může dávat smysl i v případě skalních útvarů zejména s ohledem na geografické názvosloví či různé výškové úrovně jednotlivých pater. Uvnitř budov se mohou vyskytovat bodové objekty, které s ní souvisejí (věž, komín). Analogicky k tomu je pro zachycení významných objektů uvnitř plochy skal použitelný bodový objekt, mající navíc význam také z pohledu geografického názvosloví. Lomová hrana logicky odpovídá terénnímu stupni, na údolnici lze pohlížet jako na objekt typu rokle a aplikovat používaná pravidla pro kombinaci rokle a terénního stupně na kombinaci lomových hran a údolnic. Podobně se u horní hrany nabízí analogie s terénním stupněm, u dolní hrany pak s patou terénního útvaru. Informace o vnitřním

členění skalního útvaru (s výjimkou hřbetnice, která v ZABAGED analogický objekt přímo nemá) by tak teoreticky bylo možné reprezentovat i již existujícími objekty, které se ale v ZABAGED v plochách skalních útvarů nevyskytují.

Autor se domnívá, že navržený postup bude mít svůj význam v situaci, kdy budou k dispozici podrobnější DMR z podrobnějších dat LLS. To platí zejména pro členitý pískovcový reliéf. Na nich by měly být jednotlivé skalní objekty lépe identifikovatelné. Pak bude dávat smysl reprezentaci skal přepracovat a posunout dostupné topografické informace o tomto typu terénu na kvalitativně vyšší úroveň. Do té doby má význam spíše jen opravovat hrubé chyby. Argumentem pro přepracování reprezentace skal je také stálost tohoto objektu v čase. Zpracování sice nelze zautomatizovat, lze ale připravit řadu podkladů vycházejících z DMR odvozených z dat LLS, které zpracování usnadní a urychlí. V reálném světě se v našich podmínkách nové objekty tohoto typu objevují, mění a mizí spíše výjimečně. Investovaná práce pak bude mít dlouhou trvanlivost, o čemž ostatně svědčí i míra shody skalních útvarů v TM 10 a datech LLS, resp. současném obsahu ZABAGED.

Praktické testování navržené metodiky rovněž ukázalo, že hodnocení kvality dat DMR je základním krokem, bez něhož lze jen stěží odhadnout kvalitu a další použitelnost odvozených objektů. Obecně je důležité verifikovat výstupy i tam, kde DMR modeluje tvary zdánlivě spolehlivě. Na data LLS a z nich odvozené produkty tak lze pohlížet jako na další, velmi relevantní, ale nikoliv absolutně spolehlivý zdroj pro odvozování topografické informace, a takto je třeba k nim při tvorbě jednotlivých objektů přistupovat.

Inovativnost výsledků a autorův přínos pro obor

Inovativnost této části práce podle autorova názoru spočívá především ve vlastním návrhu metodiky pro reprezentaci informací o skalním terénu, která se pokouší integrovat způsoby reprezentace skal používané v jiných zemích a zároveň se snaží respektovat stav digitálních topografických databází a dostupnost prostorových dat na území Česka. Za relevantní autorský výstup lze také považovat postup pro automatizovanou klasifikaci obvodových linií půdorysných polygonů skalních útvarů, popsany v kapitole 3.4.4, které je přímo použitelné pro účely kartografie. S ohledem na poměrně praktické zaměření této kapitoly považuje autor za cenné rovněž ověření relevantnosti informací získaných z dat LLS přímo v terénu a také informace o možnostech využití dalších zdrojů dat a prvotní ověření jejich vlastností, zejména horolezeckých databází ve vztahu ke geografickému názvosloví skal.

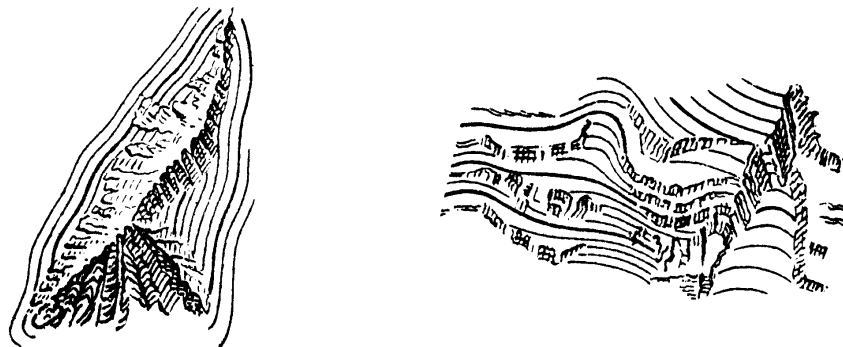
4 Skály a kartografie

Třetí a nejrozsáhlejší část této práce se věnuje skalním útvarům z pohledu kartografa. Kartografická prezentace geografických dat popsaných ve dvou předchozích sekcích by měla uživateli poskytnout informace o charakteru skalního terénu, jeho rozčlenění, průchodnosti, sklonu, relativních výškách atd. Zatímco zpracovaná data LLS či digitální topografická databáze se dostanou do rukou poměrně úzkému specializovanému okruhu uživatelů, mapa na jejich základě vytvořená představuje produkt, který využívá mnohem širší okruh lidí včetně laické veřejnosti. Přidaná hodnota kartografie by měla spočívat zejména v tom, že dokáže získané údaje srozumitelně a názorně prezentovat.

V této sekci budou nejprve popsány způsoby, jakými se znázornění skal řešilo v dobách analogové kartografie. Tento historický exkurz není samoučelný, kartografové totiž v průběhu let vymysleli sofistikované způsoby prezentace informací o skalním terénu. Další část textu je zaměřena na zpracování skal v digitální kartografii. Její součástí je podrobná analýza existujících řešení pro digitální zpracování kartografické reprezentace skalních útvarů. Tato analýza ukazuje, že stávající řešení svojí kvalitou prezentace informací o skalním terénu značně zaostávají za těmi, která byla používána v minulosti. Možným řešením této situace je implementace starých a osvědčených postupů do světa digitální kartografie. Diskuzi smysluplnosti takového počínání se věnuje samostatná kapitola. Následně jsou popsány a zhodnoceny existující pokusy tento úkol vyřešit. Na základě nich, na základě postupů používaných v současné době v digitální kartografii a s přihlédnutím k postupům používaným v minulosti v kartografii analogové jsou navrženy, podrobně popsány a zhodnoceny celkem tři algoritmy pro automatizované znázornění skal. Výsledky jejich testování, shrnutí a diskuze, obsahující doporučení z hlediska praxe, jsou pak součástí závěrečné kapitoly této sekce.

4.1 Přístupy klasické analogové kartografie

Skály představují přirozenou součást reliéfu. Jejich znázorňování je proto úzce spojeno se znázorňováním výškopisu. Nahlédne-li se do některé z učebnic kartografie (například Hojovec, 1987), v kapitole věnované výškopisu na mapách velkého měřítka lze krom vrstevnic narazit i na problematiku znázorňování objektů mikroreliéfu, které pomocí vrstevnic nelze vhodně zachytit. Pro znázornění těchto objektů se tradičně používají šrafy. V případě skalních útvarů jde o fyziografické (též skalní) šrafy, zachycené na obr. 66.



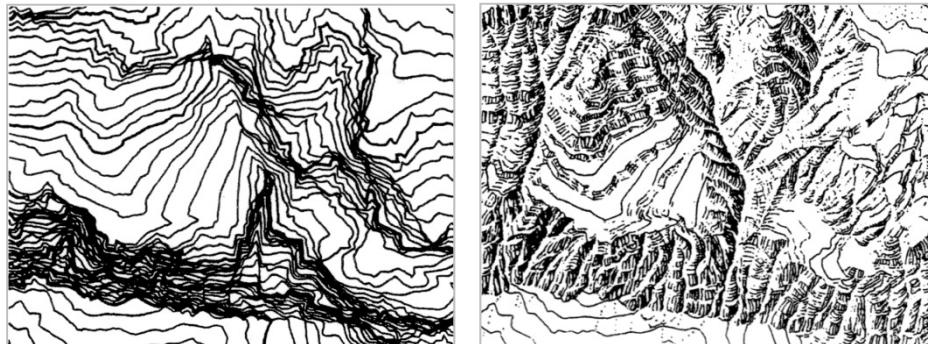
Obr. 66. Ukázka klasického znázornění skal uváděná v některých českých učebnicích kartografie. Vyskytuje se například v Boguszak & Šlitr (1962) či Hojovec (1987).
Zdroj: Boguszak & Šlitr (1962).

Je na místě si položit otázku, zda a proč pro skály vymýšlet speciální kartografický vyjadřovací prostředek a proč pro ně nepostačují vrstevnice. Tato otázka se ve světě topografické kartografie

objevila již po polovině 20. století a neexistuje na ni jednoznačná odpověď. Velmi detailní argumentaci na téma skalní šrafy versus vrstevnice uvádí ve své knize Imhof (2007) na str. 279–281 v kapitole *Critical examination and application of the different methods of rock drawing*. Shrňme zde stručně hlavní argumenty pro šrafy. Skalní terén je obvykle strmý a členitý. Vrstevnice tedy mají tendenci se přibližovat, slévat, v případě převislých stěn i křížit. Výsledný obraz je v mapě sice teoreticky „geometricky přesný“, ale je obtížné až nemožné se v něm vyznat (obr. 67 vlevo). Jednotlivé vrstevnice od sebe nelze odlišit, a pokud ano, tak stejně nelze určit jejich přesnou výšku v situaci, kdy jsou obklopeny oblastmi s nepřehlednou změť čar.

Vrstevnice lze sice vynechávat, lokálně upravovat nebo odsouvat, výsledek je pak z hlediska vnímání uživatelem zavádějící, protože terén působí buď méně strmě, nebo méně členitě. Navíc zvětšování základního intervalu vrstevnic je v přímém protikladu s faktem, že terén je členitý. Pro správnější vyjádření velmi členitého terénu by bylo žádoucí interval vrstevnic naopak zmenšit, čímž se ale popsané problémy ještě zhorší. Imhof problém znázorňování skal vrstevnicemi vcelku trefně přirovnává k pokusu zachytit věže gotické katedrály se všemi opěrnými pilíři, římsami, věžičkami a dalšími architektonickými prvky tak, aby byl názorný a zároveň geometricky přesný. To je jen s využitím vrstevnic nereálné. Šrafy pak nabízejí názornost za cenu větší či menší ztráty geometrické přesnosti (obr. 67 vpravo).

K tomuto problému se v dalším textu ještě vrátíme, v kapitole 4.1.5 z pohledu analogové kartografie, v kapitole 4.4 z pohledu kartografie digitální. Pro lepší pochopení celé problematiky je totiž vhodnější se nejprve podrobněji seznámit s metodami v praxi používanými pro tvorbu skalních šraf.



Obr. 67. Vrstevnice versus skalní šrafy.

K ilustraci názornosti skalních šraf. Vlevo skalní stěna zachycená pomocí vrstevnic bez jakýchkoliv úprav, vpravo tentýž terén vyjádřený stínovanými skalními šrafami.

Zdroj: Imhof (2007).

Situace se znázorňováním skal je v praxi o něco složitější, než je zmíněno v úvodním odstavci této kapitoly. Metod pro znázornění skal šrafami existuje celá řada a navíc jde tradičně o velmi svobodný kartografický vyjadřovací prostředek, který nechává značný prostor pro kreativitu tvůrce mapy. To má své výhody, ale zároveň to přináší určité problémy, které budou popsány v dalších částech této kapitoly.

Pro znázorňování skal byla vyvinuta a používána řada kartografických vyjadřovacích prostředků. V následujících podkapitolách budou ty nejvýznamnější z nich představeny. Délka popisu jednotlivých metod je úměrná významu jejich praktického používání (i s ohledem na kontext české mapové tvorby) a významu pro další části této práce. Nejprve je v kapitole 4.1.1 je představena švýcarská škola skalní kresby, tradičně považovaná za světovou špičku v oboru. V další kapitole 4.1.2 je pak podrobně popsána žebříčková manýra, což je označení pro způsob znázorňování skal používaný na našich topografických mapách. Kapitola 4.1.3 je věnována popisu

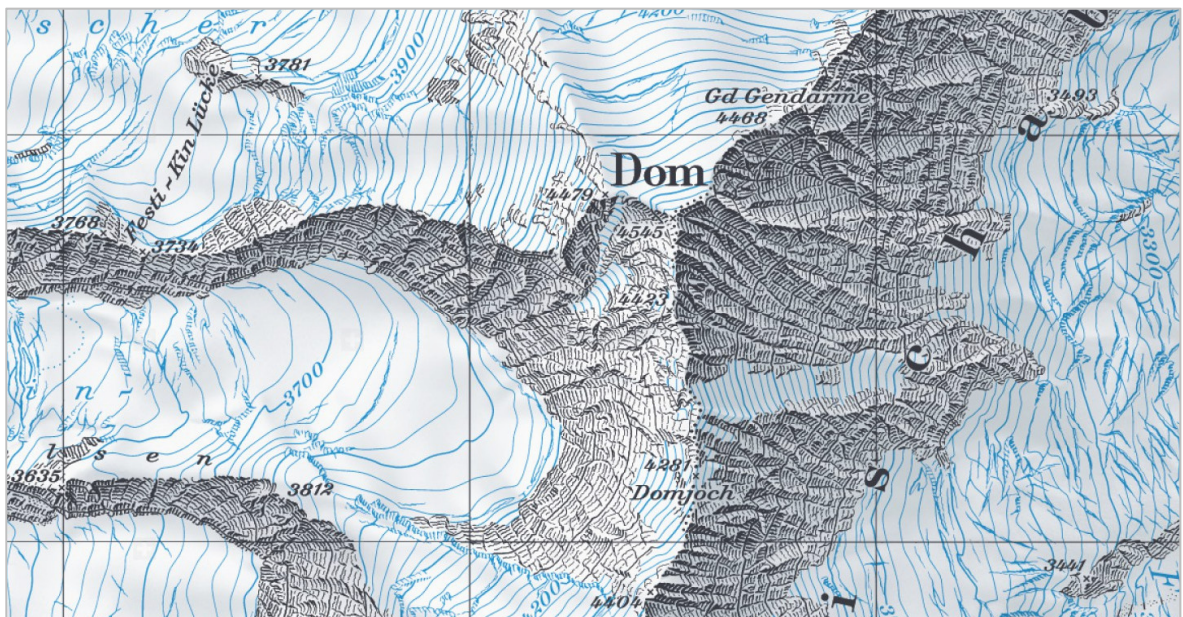
konturové metody, která je velmi vhodná pro mapy pískovcových skalních měst. V kapitole 4.1.4 jsou zmíněny některé další metody, jejichž výběr byl motivován snahou autora ukázat ještě další odlišné přístupy používané v dobách analogové kartografie. Závěrečná podkapitola 4.1.5 přináší obecný souhrn myšlenek týkajících se podstaty znázorňování skal v analogové kartografii, vyplývajících z popsaných metod.

V mapovém díle nejsou skály zachyceny samostatně, ale v kontextu okolního reliéfu, a jejich znázorňování skal je tedy poměrně úzce spojeno se znázorňováním výškopisu ve zbytku mapy, tj. vrstevnicemi, kótovanými body, případně stínováním. Proto je v popisu jednotlivých metod věnovaný určitý prostor i vztahu reprezentace skal a těchto kartografických vyjadřovacích prostředků. V kontextu této práce je vhodné si uvědomit, že se v zásadě popisuje historie: analogová kartografie je dnes mrtvá. Přesto zkušenosti a postupy kartografů té doby mají co říci i dnes, což je důvod, proč do této práce byla tato kapitola zařazena.

4.1.1 Švýcarská metoda

Švýcarská metoda nebo též švýcarská manýra představuje způsob znázornění skal používaný v alpských zemích, zejména ve státním mapovém díle Švýcarska a částečně i Bavorska. Je zde uvedena z toho důvodu, že je všeobecně hodnocena jako nejnáročnější a nepropracovanější způsob znázornění skal.

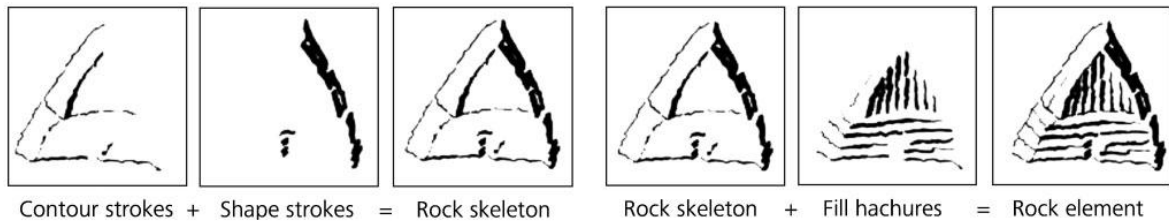
Metoda je obecně popsána v knize Imhofa (2007). Jde o reedici anglického překladu jeho dnes už klasického díla *Kartographische Geländedarstellung* z roku 1965 a nověji také v článku Jenny et al. (2014), který vychází z praktického používání této metody ve švýcarském státním mapovém díle a popisuje ji značně konkrétněji z pohledu praxe.



Obr. 68. Švýcarská metoda kresby skal pro veleňský terén. Ukázka typického zachycení veleňského skalního terénu. V originále v měřítku 1 : 25 000, mírně zvětšeno. Mapa: © Swisstopo, 2016.

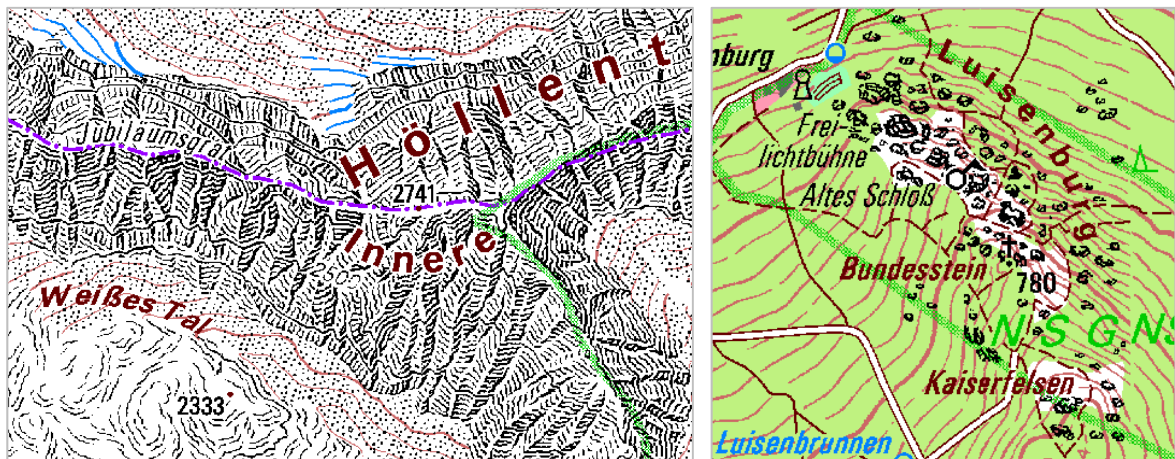
Základem této metody je plasticky působící stínovaná skalní šrafura černé barvy. Ukázka typické reprezentace skal švýcarskou metodou je na obr. 68. Přípustná je i tmavě hnědá či tmavě šedá barva šraf, nevhodná je naopak světle šedá nebo hnědá, protože pak se ztrácí plastický efekt. Základem kresby šraf je rozčlenění skalního terénu na dílčí plochy. Dělicími liniemi jsou hřbetnice, údolnice, případně další terénní hrany. Při jejich zjišťování se doporučuje vycházet nejen z ortofot a šikmých

leteckých snímků, ale také z pozemních snímků a fotografií. Klíčová je správná generalizace obvykle složitého skalního terénu.



Obr. 69. Konstrukce reprezentace pro elementární plochu při kresbě švýcarskou metodou. Vlevo: obrysové linie + tvarové linie = stínovaná terénní kostra. Vpravo: stínovaná terénní kostra + stínované šrafy = výsledná reprezentace dílčí plošky.
Zdroj: Jenny et al. (2014).

Každá dílčí plocha je následně vykreslena pomocí stínovaných šraf. Při kresbě se používá kombinace dvou elementů: stínované terénní kostry a stínované skalní šrafury (viz obr. 69). Stínování vychází ze severozápadního osvětlení, ke kterému se pro zdůraznění menších tvarů může přidat doplňkové osvětlení od západoseverozápadu. Podle tohoto osvětlovacího modelu se jednak mění tloušťka linií (v případě kostry i šraf), jednak jejich rozestup (v případě šraf). V případě švýcarského státního mapového díla je stínování provedeno na ploše celého mapového listu, tedy nejen v oblastech se skalami. To napomáhá lepšímu vnímání reliéfu a stínování skal tento dojem ještě umocňuje. V případě bavorského státního mapového díla v mapě plošné stínování chybí a plastický dojem z výsledné reprezentace je o něco horší (viz obr. 70 vlevo).



Obr. 70. Ukázka aplikace švýcarské metody na německých topografických mapách. Vlevo velehorský terén východně od Zugspitze, vpravo žulové skalní město Luisenburg u Wunsiedelu (Bavorsko). V originále v měřítku 1 : 25 000, mírně zvětšeno.
Mapy: © Bayerische Vermessungswaltung, 2016.

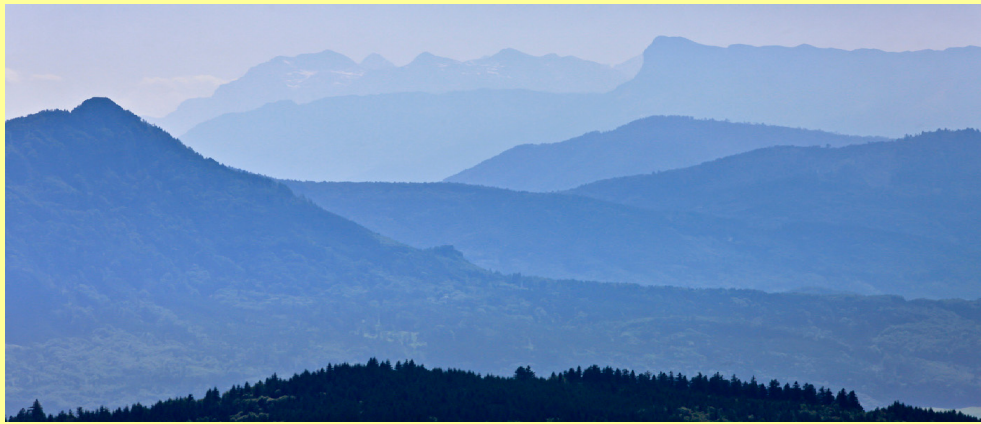
Jak stínovaná terénní kostra, tak stínovaná šrafura, se skládají z jednotlivých linií. Střední tloušťka těchto linií je 0,12 mm, na osvětlených svazích pak osciluje mezi 0,06 a 0,1 mm, případně lze linie i přerušit, za zastíněných v rozmezí 0,22 až 0,26 mm. Obecně platí, že tloušťka linie by se měla měnit s každým jejím ohybem. Na osvětlených svazích jsou linie na úpatí svahu obecně silnější a blíže sobě a naopak ve vrcholových partiích tenčí a řidší. Na zastíněných svazích je tomu naopak. Smyslem toho opatření je zvýšit ve vrcholových partiích kontrast mezi jednotlivými stranami a přispět tak ke výraznější plasticitě terénu a tím napomoci jeho správnému vnímání. Jde o aplikaci principu tzv. vzdušné perspektivy, viz rámeček Box 6: Vzdušná perspektiva.

Stínovaná terénní kostra se skládá z obrysových a tvarových linií. Obrysové linie se používají zejména na osvětlené straně pro zdůraznění výrazných terénních hran. Mohou být přerušené v případě, že v daném místě není hrana úplně ostrá. Tvarové šrafy se používají na zastíněné straně

pro znázornění vhloubených terénních tvarů, kreslí se silnějšími liniemi a mohou nabývat až formy plošek v případě, že zastíněná strana dílčí plochy je velmi úzká. Obecně by obrysové a tvarové linie neměly být hladké, ale měly by svým charakterem odpovídat divokému rozčlenění skal a tedy být zakřivené, přerušované apod. Dobře provedená stínovaná terénní kostra může být sama o sobě vhodným kartografickým vyjadřovacím prostředkem pro znázornění skal (viz Jenny et al., 2014).

Box 6: Vzdušná perspektiva

Vzdušná perspektiva je princip, jakým atmosféra ovlivňuje objekty při pozorování na určitou vzdálenost. Čím je vzdálenost pozorovatele a objektu větší, tím se snižuje kontrast mezi objektem a jeho okolím a rovněž kontrast v rámci daného objektu (tedy rozlišitelnost detailů). Bližší objekty se tedy jeví kontrastnější. Jedná se o věc známou z běžné zkušenosti, dobrý příklad představuje výhled do krajiny, kdy vzdálené objekty v pozadí jsou výrazně méně kontrastní než ty blízké (viz fotografii). Tohoto efektu se využívá v malířství pro dosažení vjemu hloubky. Podobným způsobem lze vzdušnou perspektivu použít v kartografii, kdy se na mapě pozoruje krajina shora. Objekty blíže a tedy kontrastnější jsou ty výše položené.



Vzdušná perspektiva na krajinné fotografii. Foto: © Klaus Leidorf.

Jednotlivé dílčí plochy jsou následně vyplňovány šrafami. Ty mohou být buď vertikální, nebo horizontální. Vertikální šrafy se obecně používají pro strmé neschůdné svahy, na kterých se neudrží vegetace ani sníh a které jsou přístupné pouze horolezcům. Horizontální šrafy jsou použity pro méně strmé svahy, které mohou být obecně schůdné. Horizontální šrafy jsou typicky zakřivené a sledují směr vrstevnic. Vertikální šrafy jsou naproti tomu přímé a sledují směr největšího spádu a jimi vyplněná plocha působí obecně členitěji. Horizontální šrafy jsou konstrukčně jednodušší. Vertikální i horizontální šrafy je možno v rámci jedné plošky kombinovat, je ale třeba tak činit opatrně a pouze v případě, že to odpovídá charakteru terénu, aby nebyl výsledek zavádějící.

Pokud uvnitř plochy vymezené liniemi stínované terénní kostry není dostatek místa, aby se tam vešla šrafa o délce alespoň 0,25 mm, šrafy se do této plošky nekreslí. Průměrná hustota kresby je 7 šraf na 2 mm, tj. průměrně 0,28 mm mezi šrafami. Pokud by kvůli velikosti plošky nebylo možné dosáhnout této hustoty, je přípustné změnit velikost plošky s povolenou odchylkou do 0,3 mm. Podobně je přípustné rozšířit velmi strmé vysoké skalní stěny, které by jinak měly zanedbatelný půdorys. Na osvětlených stranách je v průměru 4–5 šraf na 2 mm, ve vrcholových partiích na zastíněných stranách je až 9 šraf na 2 mm. (V tomto se článek Jenny et al., 2014 liší od Imhofova popisu, který uvádí, že hustota šraf je konstantní a pro dosažení plastického efektu se mění pouze šířka jednotlivých šraf.)

Délka šraf je rovněž omezená, vertikální šrafy dosahují délky mezi 0,25 a 2,5 mm, zakřivené horizontální 0,25 – 4 mm, přímé horizontální 0,25 až 1,8 mm. Obecně by se šrafy neměly křížit. Při napojování šraf na stínovanou terénní kostru se uplatňuje zásada, že na osvětlených stranách jsou

spojeny v horních partiích pouze volně, podobně se nespojují s tvarovými šrafami na zastíněné straně. Smyslem těchto opatření je opět zvýšení kontrastu.

Švýcarské mapy v měřítku 1 : 25 000 kresbu šraf doplňují ještě vrstevnicemi v intervalu 100 m (mimo skalní terén jsou vrstevnice po 20 m a stometrové jsou tedy zdůrazněné). Ve skalách se vrstevnice kreslí tenkou černou čarou, tj. úmyslně nenápadně, aby nerušily plastické působení šraf. K tomu přispívá i fakt, že díky relativně velkému výškovému intervalu jsou poměrně daleko od sebe a navíc jsou stínované, tj. jejich tloušťka se mění na podobném principu jako v případě šraf (viz obr. 71). Okolo vrstevnic je malá mezera, aby se se šrafami nikde nekřížily. V případě, že jsou použity horizontální šrafy, navazují tyto přirozeně na vrstevnice. Díky tomu je možno i ve skalách určovat výšky, byť s omezenou přesností.



Obr. 71. K ilustraci stínování vrstevnic ve skalách.

Ze zvětšené ukázky jsou dobře patrné vrstevnice a jejich stínování, které přispívá k jejich přirozenému souladu se skalními šrafami.

Mapa: © Swisstopo, 2016.

Popsaná reprezentace se týká typického alpského terénu, tvořeného obecně velmi členitými, rozeklanými skalami. Mírně odlišné výrazové prostředky se používají pro případ méně strmého hladkého nebo zvětralého skalního povrchu či krasových oblastí. V prvním případě se používají výhradě stínované horizontální šrafy, v druhém případě je hustota šraf nižší a šrafy reprezentují strukturu terénu (údolí, závrtvy, hřbety, čáry terénní kostry), viz obr. 72.



Obr. 72. Švýcarská metoda kresby skal pro kras a ohlazený skalní terén.

V levé části výřezu kras, v pravé části ohlazený skalní terén. V originále v měřítku 1 : 25 000, mírně zvětšeno.

Mapa: © Swisstopo, 2016.

Uvedená metoda je všeobecně hodnocena jako velmi zdařilá (viz Jenny et al., 2014). Hlavním důvodem je plasticky působící reliéf v celé ploše mapy. Přistupuje k tomu také skutečnost, že uvedená reprezentace skal má blíže k bočnímu než hornímu pohledu, který uživatel mapy v terénu vidí spíše. To umožní čtenáři mapy srovnání skály v mapě a v terénu s okolními prvky. Šrafy navíc

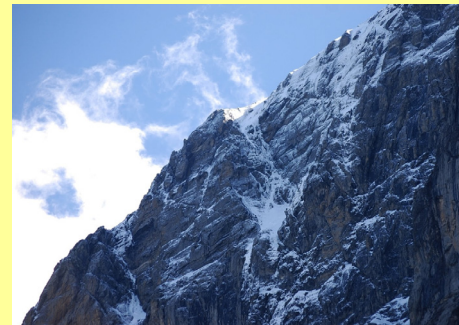
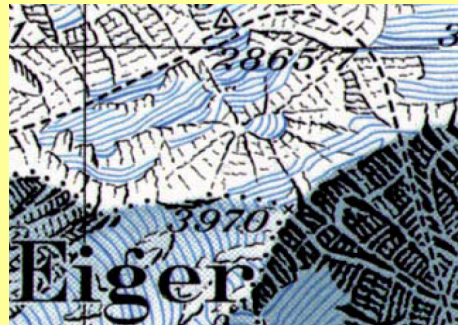
dobře zachycují lokální charakter skalního terénu a umožňují tak vyjádřit až přehnat jeho charakteristické vlastnosti (viz rámeček Box 7: Švýcarská metoda kresby skal jako karikatura terénu).

Box 7: Švýcarská metoda kresby skal jako karikatura terénu

Neotřelý pohled na znázorňování skal švýcarskou metodou přináší Gilgen (2008). Podobně jako kreslíř tvořící karikaturu zveličuje charakteristické rysy zobrazovaného, kartograf používající skalní šrafy zdůrazňuje, ba až přehání, charakteristické tvary skalního terénu, který je pak pro čtenáře mapy názornější. To je ostatně podstatou kartografické generalizace, ale s ohledem na volnost užívání šraf to může být v případě znázorňování skal dotazeno až do absurdní podoby. Zejména u kolmých skalních stěn, které mohou být na ortofotu velmi nenápadné, může být vhodnější je nakreslit půdorysně nesprávně ze šikmého pohledu tak, jak se jeví pozorovateli, když k ní přichází. Autor uvádí konkrétní příklady: skalní „tvář“ *Hardermandli* u Interlaken (horní dvojice obrázků) či sněhové pole horolezci podle charakteristického tvaru nazývané *The White Spider* (bílý pavouk) v severní stěně Eigeru (dolní dvojice obrázků).



Skalní tvář *Hardermandli*. Vlevo výřez ze švýcarské *Landeskarte der Schweiz* 1:50 000, list 254 Interlaken, rok vydání 2003 (mapa: © Swisstopo); vpravo boční pohled na skalní stěnu, kde jsou patrné „oči“ a „nos“ (foto: © Hans Peter)



Bílý pavouk v severní stěně Eigeru. Vlevo výřez ze švýcarské *Landeskarte der Schweiz* 1:50 000, list 254 Interlaken, rok vydání 1980 (mapa: © Swisstopo); v pozdějším vydání byla kresba jako přehnaná upravena; vpravo boční pohled na stěnu – pavouk je sněhové pole uprostřed dolní třetiny snímku (foto: © Hans Jongstra)

Nevýhodou kresby skal švýcarskou metodou je náročnost její tvorby, která vyžaduje značné zkušenosti a i pak je časově náročná. Práce Hurni, Dahinden, Hutzler (2001) uvádí, že zkušený kartograf je schopen za 1 hodinu zpracovat zhruba 1 cm² popisované reprezentace. Průměrná doba strávená zpracováním jednoho mapového listu švýcarské topografické mapy v měřítku 1 : 25 000 pak představuje zhruba 2000 pracovních hodin a náklady dosahují 250 tisíc švýcarských franků (zhruba 5,6 mil. Kč). Určitou výhodou je skutečnost, že skály jsou poměrně stálý jev, který se v čase mění poměrně málo. Úpravy skalních šraf v případě švýcarských topografických map připadají v úvahu při odkrytí skalního terénu po ústupu ledovce či v situaci rozsáhlejšího skalního řízení. Jedná se ale jen o lokální úpravy, které jsou z hlediska časové náročnosti akceptovatelné (Gilgen, 2006).

Pokud je švýcarské metodě kromě pracnosti při tvorbě ještě něco vytýkáno, pak jsou to nedostatky z hlediska lokální orientace v terénu, protože zdůrazňuje makrotvary na úkor mikrotvarů (Čapek, 1973, s. 74). S tím souvisí i určité problémy se zachycením nevelehorských skalních terénů, které je v případě absence dominantních makrotvarů poněkud nevýrazné (obr. 70 vpravo).

Právě z důvodů extrémní časové náročnosti se mapy s touto kresbou skal mimo alpskou oblast vyskytují spíše výjimečně. Ke klasickým dílům využívajícím tuto metodu patří mapa okolí nejvyšší americké hory Mount McKinley amerického kartografa B. Washburna v měřítku 1 : 50 000 z roku 1960, mapa Mount Everestu vydaná v roce 1988 společností National Geographic Society rovněž v měřítku 1 : 50 000 či mapa *The Hearth of the Grand Canyon* v měřítku 1 : 24 000 z roku 1978 rovněž od National Geographic Society (viz obr. 73).



Obr. 73. Nevelehorský skalní terén zachycený švýcarskou metodou.
Výřez z mapy *The Hearth of the Grand Canyon*, v originále 1 : 24 000.
Mapa: © National Geographic Society, 1978.

4.1.2 Žebříčková manýra

Žebříčková manýra představuje určitý standard pro znázorňování skal v topografických mapách středoevropské a východoevropské provenience. Podrobný popis metody, ze kterého se v této kapitole volně cituje, je uveden v článku Kavana (1955), další doplňující informace lze nalézt v práci Čapka (1973). V kontextu vývoje kartografické reprezentace skal na území Česka je tato metoda popsána rovněž v práci autora (Lysák, 2015b). Charakteristická ukázka znázornění skal touto metodou je pak na obr. 74.

Před vlastní kresbou je třeba provést identifikaci hlavních hřbetů, které jsou kresleny dvojitou čarou. Tvarovými čarami je případně naznačeno stoupání a klesání hřbetu, sedla a vrcholy. Od hlavních hřbetů, resp. od vrcholů skal, jsou mechanicky konstruovány linie směřující ve směru spádu a končící na údolnicích nebo na okraji skalního terénu (v kapitole 4.8 budou označovány jako vertikální šrafy). Spádové čáry jsou stínovány na podkladě severozápadního osvětlení, tedy na severozápadních svazích jsou nejtenčí a na jihovýchodních nejsilnější. Pokud probíhá hřbet ve směru severozápad-jihovýchod, zvolí se jedna strana jako zastíněná a druhá jako osvětlená; obvykle se volí doplňkové osvětlení od severu. U horní části hřbetu se navíc spádová čára zesílí a směrem do údolí se postupně zeslabuje. Zastíněná strana hřbetu se zesiluje, a vrcholy se podkládají širšími ploškami.

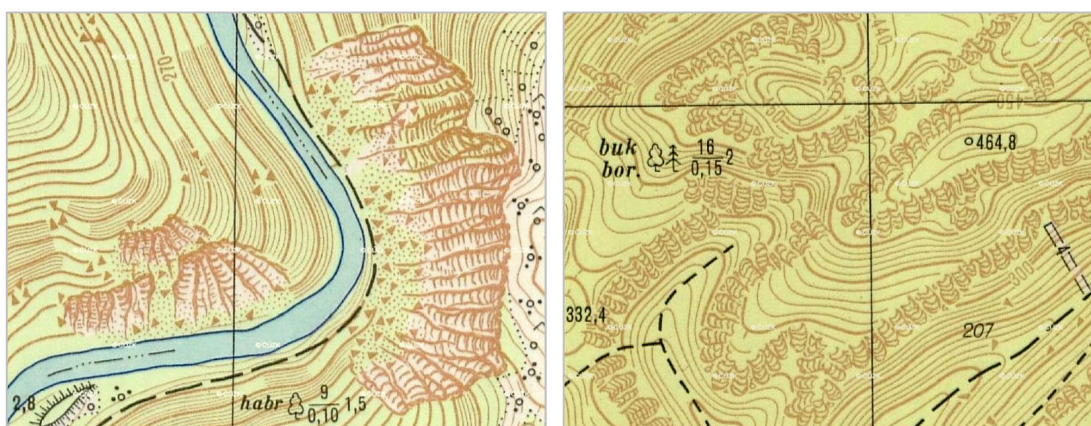


Obr. 74. Ukázka typického znázornění skal žebříčkovou manýrou.

Vlevo výřez z mapového listu ZM 10 z oblasti Vysokých Tater, vpravo zvětšený detail s charakteristickými žebříčky, které daly metodě jméno.

Mapa: Ústřední archiv zeměměřičství a katastru, © ČÚZK, 2016.

Prázdné plošky mezi jednotlivými spádovými čarami se horizontálně šrafují na zastíněných stranách. Tyto horizontální šrafy spojující spádové čáry vytváří strukturu připomínající žebříček (viz obr. 74 vpravo); právě od toho je odvozen název metody (Čapek, 1973, s. 51). Horizontální šrafy jsou u vrcholu hřbetu nebo v horních partiích skal kresleny hustěji a nejsilněji a postupně směrem do údolí se kreslí řidčeji, zeslabují se a zkracují. Osvětlené boky se téměř nešrafují, provede se pouze kresba spádových čar, u horní hranice hřbetu částečně zesílených. Velké skalní zlomy a bloky se znázorní silnější horizontální šrafou i na osvětlených partiích. I u kolmých stěn by mělo stínování zůstat „vzdušné“ (tedy by měly být zachovány dostatečné mezery mezi šrafami), aby se při reprodukci výsledek neslil a nevytvořil nežádoucí tmavé skvrny. V důsledku toho se půdorys strmých stěn uměle rozšiřuje.



Obr. 75. Ukázka žebříčkové manýry pro nevehorský skalní terén.

Výřezy z TM 10. Vlevo skalnatý sráz, vpravo pískovcová krajina tvořená převážně skalními stěnami.

Mapy: Ústřední archiv zeměměřičství a katastru, © ČÚZK, 2016.

Dosud popsaný postup byl aplikovatelný zejména na velehorský skalní terén, analogicky se postupovalo i ostatních typů skalního terénu. Pokud se jednalo o skalní sráz (bez hlavního hřbetu), konstruují se spádové čáry od vrcholu tohoto hřbetu (viz obr. 75 vlevo). Určitá specifika měla kresba pískovcových skalních měst. Ta byla založena na pytlovitém symbolu, který měl zřejmě asociovat šikmý pohled na stylizovanou pískovcovou skálu. Skalní stěny byly reprezentovány

umístováním těchto symbolů vedle sebe (viz obr. 75 vpravo). Mezery mezi symboly vyjadřovaly přerušení skalní stěny a symboly propojené dohromady či nakreslené bez mezer naopak nepřerušovanou stěnu. Symboly umístěné nad sebou představovaly jednotlivá patra skal. V některých případech výška symbolu korespondovala s relativní výškou stěny ve smyslu, že nižší symbol představoval nižší stěnu; to ale rozhodně nebylo prováděno důsledně a konzistentně. Pískovcové skalní stěny jsou obvykle kolmé a jejich půdorys je relativně malý, popsaná metoda ovšem potřebuje poměrně dost místa, a tak byly půdorysy stěn uměle rozšiřovány. To je také důvod, proč jsou v pískovcových skalních městech současné polygony objektů typu *Skalní útvary* nereálně široké, viz kapitolu 3.1.3. S rozšiřováním stěn nastával problém zejména v rozčleněném pískovcovém terénu, kde výsledkem byla často ne příliš přehledná změť čar a kroužků (viz obr. 79 na str. 142).

Hlavní výhodou popsaného přístupu je jeho jednoduchá konstrukce (ve srovnání se švýcarskou manýrou), relativně dobrá čitelnost a podle citovaného článku Kavana (1955) i názornost. Z reprezentace jsou na první pohled dobře patrné hlavní hřbetnice a údolnice a lze určit, kde je horní a kde dolní část skalnatého srázu. Hlavní nevýhodou je mechanické umístění spádových čar bez ohledu na skutečnou strukturu terénu. Tyto linie asociují v terénu ne nutně existující hřbítky a čtenář mapy pak může chybně vidět hřbetnice a údolnice tam, kde ve skutečnosti neexistují. Dochází tak k určitému smíchání kresbou vyjádřené topografické informace (existence hřbetnice, údolnice či průchodu mezi skalami) a „kartografické iluze“ a zvláště pro účely lokální orientace v komplikovaném terénu není snadné tyto dva prvky odlišit. Při použití map v terénu má pak uživatel tendenci přeceňovat míru podrobnosti zachycení terénu, která je ale jen manýrou a s realitou toho nemusí mít mnoho společného. Popsaná situace je ilustrována na obr. 76.



Obr. 76. K ilustraci problému „kartografické iluze“ u žebříčkové manýry.

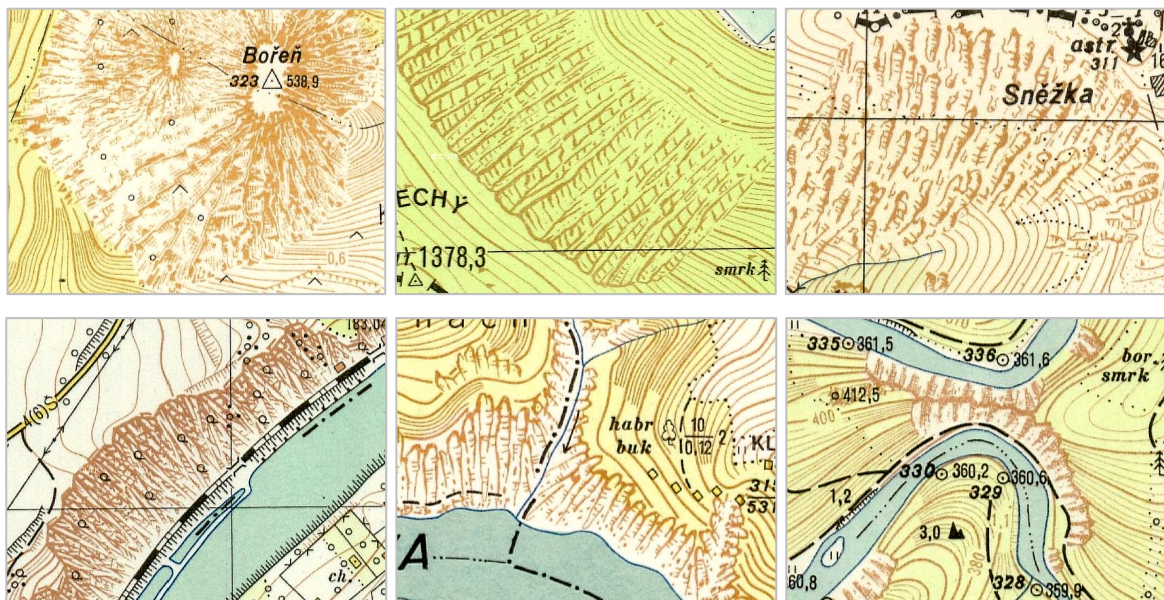
Vlevo žebříčková manýra na TM 10. Uprostřed: totéž s černou linií vyznačenými reálně existujícími terénními hranami zachycenými kresbou, zbytek kresby představují neexistující hřbítky naznačené manýrou. Pro porovnání vpravo stínovaný model reliéfu odvozený z dat DMR 5G doplněný vrstevnicemi a liniemi z prostřední ukázky. Hřbetnice jsou sice polohově ne zcela správně, ale z DMR 5G je jejich existence patrná.

Mapy a zdrojová data: Ústřední archiv zeměměřičství a katastru a DMR 5G, © ČÚZK, 2016.

Určitý problém také představuje skutečnost, že ve skalách nejsou vedeny vrstevnice; v rozsáhlejších skalnatých oblastech je proto třeba reprezentaci doplnit zvýšeným počtem kótovaných bodů, bez nichž by byl vertikální průběh hřbetnic nejasný. Ač se v popisu metody uvádí, že je jejím cílem zachytit rozčlenění, zvětrání a průchodnost skalního terénu, tento předpoklad splňuje pouze omezeně. Ke vnímání plasticity terénu nepřispívá příliš ani to, že obraz skal byl obvykle proveden v hnědé nebo šedé barvě.

Uvedená metoda pochází z bývalého Sovětského svazu a do našich zemí se dostala v 50. letech 20. století v rámci snahy tvořit jednotné topografické mapy pro všechny státy bývalého východního bloku. Plošně byla použita na vojenských Topografických mapách od měřítko 1 : 10 000 až po

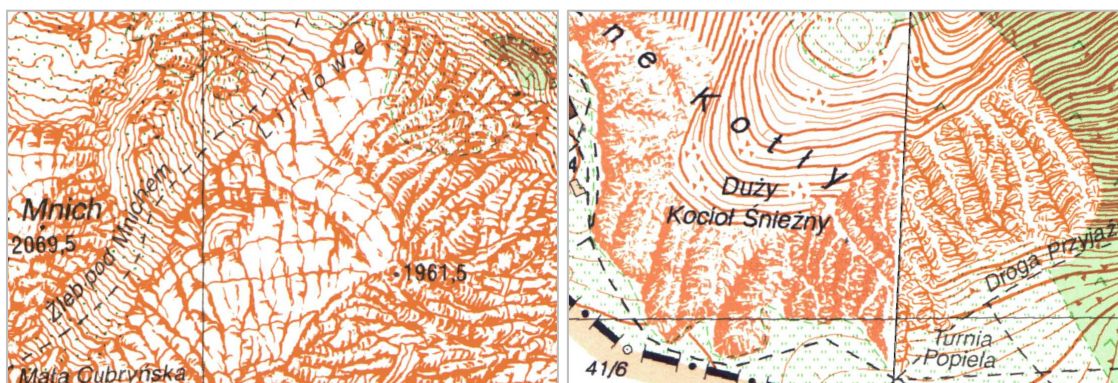
1 : 200 000. Z pohledu této práce je zajímavá zejména nejpodrobnější mapa TM 10, která vznikla v rámci topografického mapování Československa v letech 1957–71 a o které byla již zmínka v souvislosti se ZABAGED v kapitole 3.1.2. V klíči k této mapě (ÚSGK, 1959) jsou rozlišovány skály, skalnaté srázy a pískovcové skály (se znakem odpovídajícím výše uvedeným pravidlům), ovšem jen s velmi stručným popisem a bez přesného návodu, jak kresbu tvořit. Praktická realizace žebříčkové manýry pak ukázala další slabinu této metody: popsany návod není nikterak striktní a výsledek do značné míry záleží na kresličských schopnostech a zkušenostech kartografa a je v tomto konkrétním mapovém díle značně nejednotný (viz obr. 77), čehož si všiml již Čapek (1973), s. 51. Výsledek se pak pohybuje v rozmezí od plasticky působící umělecké kresby, přes schematickou reprezentaci až po bez tvarou změř čar. Na rozdíl od švýcarské metody, kde je jistá variabilita výrazových prostředků ku prospěchu věci, protože může určitým způsobem odrážet morfologii terénu, schematicnost žebříčkové manýry takovou přidanou hodnotu nepřináší. Z pohledu státního mapového díla, které má jinak poměrně velmi striktní a do detailů řešené zásady pro znázornění reality, je to jednoznačně nevýhoda.



Obr. 77. Ukázka nejednotnosti reprezentace skal na TM 10.

Výřezy map mají pro lepší srovnání jednotné měřítko.

Mapy: Ústřední archiv zeměměřictví a katastru, © ČÚZK, 2016.



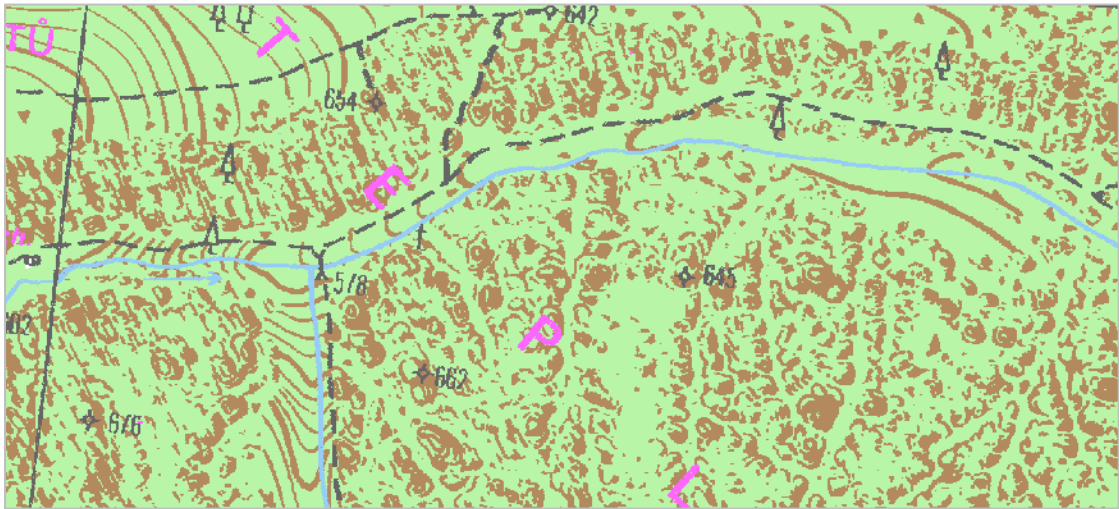
Obr. 78. Žebříčková manýra na polské topografické mapě v měřítku 1 : 10 000.

Vlevo ukázka z oblasti Vysokých Tater (terén podobný tomu na obr. 74), vpravo z oblasti Karkonosze. Z ukázek je patrná nejednotnost znázornění skal jak v rámci daného díla, tak ve srovnání s československou TM 10.

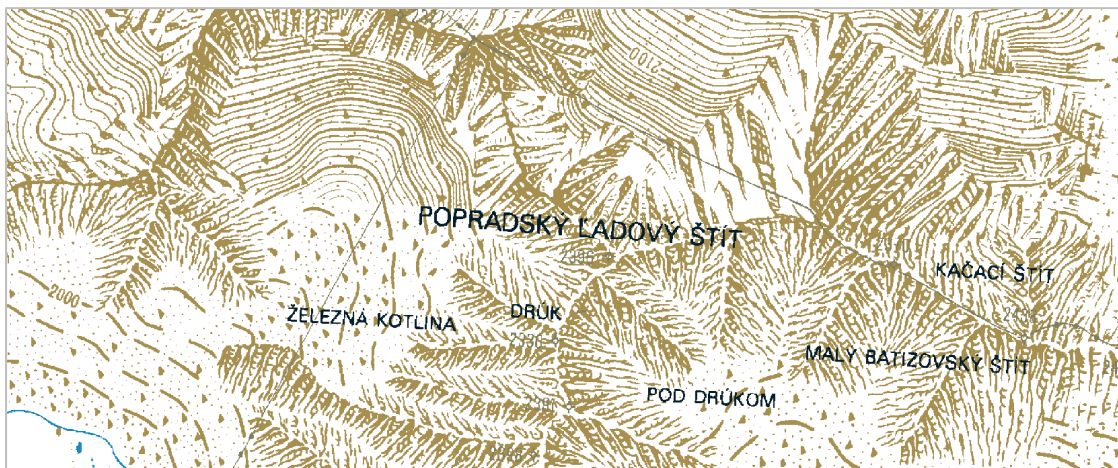
Mapy: © GUGIK, 2016.

Snaha dosáhnout pak ještě o úroveň výše na jednotnou podobu napříč státy celého východního bloku z tohoto pohledu pak působí spíše jako iluzorní představa (viz obr. 78). Další nevýhodou,

zmiňovanou rovněž již Čapkem (1973), s. 51, je skutečnost, že znázorňování skal na těchto jinak velmi podrobných mapách neodpovídá kvalitě, resp. podrobnosti zachycení ostatních objektů mikroreliéfu.



Obr. 79. Ukázka reprezentace členitějšího pískovcového reliéfu na ZM 10. Kresba bez použití pytlovitých symbolů je přehlednější a při vystínování dává určitou představu o rozčlenění reliéfu. Mapa: Ústřední archiv zeměměřictví a katastru, © ČÚZK, 2016.



Obr. 80. Nejednotnost kresby skal na ZM 10. Výřez z mapového listu v oblasti Vysokých Tater, který vznikl spojením dvou listů TM 10, kde byly skály zachyceny sice v obou případech žebříčkovou manýrou, ale pokaždé jiným stylem kresby. Obecně je provedení horní části zdařilejší zejména kvůli plastičnosti výsledného obrazu způsobené povedenějším stínováním a větší nepravidelností. Mapa: Ústřední archiv zeměměřictví a katastru, © ČÚZK, 2016.

Z konkrétních ukávek – zejména těch kresebně zdařilejších – je rovněž patrné, že některá pravidla z obecného popisu metody byla při praktické tvorbě ignorována. Například zužování spádnicových čar na osvětlené straně skalního útvaru směrem dolů bylo bez problémů používáno opačně (viz obr. 74, osvětlené strany jihozápadně od vrcholu Vysoké). To je v souladu se způsobem používaným pro zvýšení plasticity u švýcarské manýry. Dalším charakteristickým prvkem explicitně nezmíněným v popisu metody je střídání rozstupů mezi spádnicovými čarami: rozstupy nejsou pravidelné, ale často mají tendenci se střídát delší a kratší mezera. Kratší mezery se zejména v případě nepřilíš dlouhých spádnicových čar směrem dolů rozšiřují, delší naopak zužují (spádnicová čára je pak mírně prohnutá). Některé kratší mezery pak nejsou horizontálním šrafami vyplněny vůbec. Velmi často také nejsou horizontální šrafy (tvořící „žebříček“) dotaženy až ke spádnicovým čaram, ale jsou s nimi spojeny jen na jedné, případně na žádné straně. Značně variabilní je také ukončení skály u horního okraje, kde se kromě jeho obtažení (vystínování) často

objevují různá polokruhová zakončení. Smyslem všech těchto úprav byla pravděpodobně snaha dodat obrazu skal určitou nepravidelnost. Rovněž pro lepší zachycení rozčleněného pískovcového reliéfu bylo v praxi používáno mírně odlišných výrazových prostředků než popsané stylizované kresby s využitím pytlovitých symbolů (viz obr. 79).

Výškopis z TM 10 včetně obrazu skalních útvarů byl po roce 1968 v podstatě bez úprav převzat do civilní ZM 10, vydávané v letech 1971–1988 (Šíma & Egřmajerová, 2004). Místy pak došlo k absurdní situaci, kdy v případě, že na sousedních listech TM 10 byly skály znázorněny značně různě a oblast se dostala do jednoho listu ZM 10, zůstal přechod mezi listy patrný (viz obr. 80). I v civilních mapách menších měřítek (až do 1 : 200 000) byly skály zobrazeny podobným způsobem. Žebříčková manýra se všemi uvedenými neduhy její praktické realizace tak zůstala hlavním kartografickým vyjadřovacím prostředkem pro znázornění skal na našich topografických mapách téměř půl století až do doby přechodu na jejich digitální tvorbu v roce 2001 (viz kapitola 4.3.6).

4.1.3 Konturová metoda

Konturová metoda představuje způsob znázorňování skal, který je z řady dále popsaných důvodů velmi vhodný pro pískovcová skalní města. I přesto zůstává jeho použití omezeno na saské státní mapové dílo a turistické mapy z oblasti německé části Labských pískovců. Metoda je podrobně popsána v článkách jejího autora K. Ullricha (1969, 1975), v češtině pak v práci R. Čapka (1973).

Základním problémem při znázorňování pískovcových skalních měst je skutečnost, že ve většině případů jsou skály kolmé až převislé, což znamená, že jejich půdorys je zanedbatelný. Na kresbu reprezentace tak není téměř žádné místo. To je navíc v protikladu k tomu, že stěny mohou být vysoké, velmi nápadné a tvoří nepřekonatelnou překážku. Řešení, se kterým přichází konturová metoda, spočívá v reprezentaci skal liniemi (konturami), jejichž tloušťka se mění s relativní výškou stěny. Typická ukázka reprezentace skal konturovou metodou je na obr. 81.



Obr. 81. Ukázka konturové metody.
Oblast Labských pískovců, výřez z topografické mapy TK 10, v originále 1 : 10 000.
Mapa: © GeoSN, 2016.

Tloušťka linie se mění podle zásady „čím je stěna relativně vyšší, tím je kontura silnější“. To dobře odpovídá přirozenému požadavku, aby vyšší a tedy nápadnější stěna byla v mapě znázorněna výrazněji. Obecně jsou kontury kresleny vždy silněji než vrstevnice, aby byly odlišitelné. Motivací k tomuto kroku je skutečnost, že kontury představují určitou náhradu za slité vrstevnice v kolmých

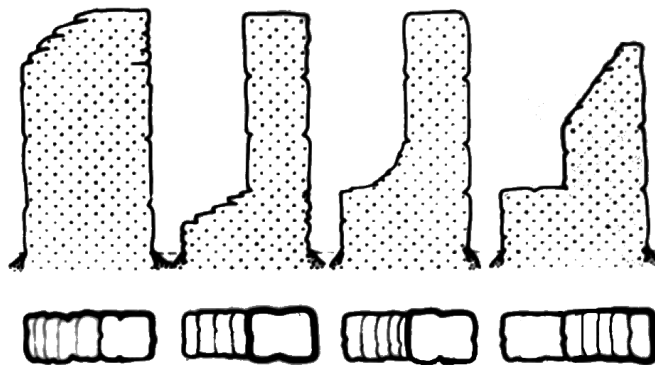
stěnách. Tloušťka linií se podle relativní výšky nemusí měnit spojitě, ale může být rozdělena do intervalů. Příklady takového rozdělení i s doporučenou tloušťkou linie lze nalézt např. v Ullrich (1969), mírně odlišné pak v instrukcích pro tvorbu saského státního mapového díla (ACD 12, 1989). Údaje o doporučených tloušťkách kontur jsou shrnuty v tab. 14.

Zmíněná instrukce ACD 12 (1989) pak přináší další podrobnosti pro praktickou aplikaci metody. Kontury se používají nezávisle na druhu horniny (tedy nejen pro pískovce) v situaci, kdy na každých 5 m výšky stěna ustupuje méně než o 1 m a pro převislé partie stěn. Minimální požadovaná délka a výška stěny je 5 m; ve vysvětlení se dále ale uvádí, že kontury lze použít i pro pásy skal nižší než 5 m. Minimální požadovaná velikost skalních věží je 5 m × 5 m (tedy 0,5 mm × 0,5 mm v měřítku 1 : 10 000). Vybrané exponované partie se doplní relativními výškami.

Ullrich (1969)		ACD 12 (1989)	
relativní výška stěny [m]	tloušťka kontury [mm]	relativní výška stěny [m]	tloušťka kontury [mm]
0 – 15	0,25	< 10	0,2
15 – 25	0,40	≥ 10 a < 25	0,4
25 – 100	0,60	≥ 25	0,6

Tab. 14. Doporučené tloušťky kontur.
Zdroj: Ullrich (1969) a ACD 12 (1989).

Ač je značná část skalních stěn v pískovcových krajinách kolmá, není tomu tak nutně vždy. V případě, že skála nemá půdorys liniového charakteru, používají se doplňkové tvarové čáry. Původní Ullrichova metoda na ně pohlíží jako na pozůstatky vrstevnic, které již neplní svojí exaktní úlohu pro určení výšky, ale změnou rozestupu informují o tvaru skalního útvaru. Tvorbu tvarových čar si lze představit následovně: pro danou stěnu se předepíše určitý výškový interval, nechají se v ní vrstevnice v tomto intervalu a slité vrstevnice se nahradí konturou. Princip je patrný z obr. 82. Aby se tvarové čáry nezaměňovaly s vrstevnicemi a konturami, měly by se kreslit tenčí čarou než vrstevnice.

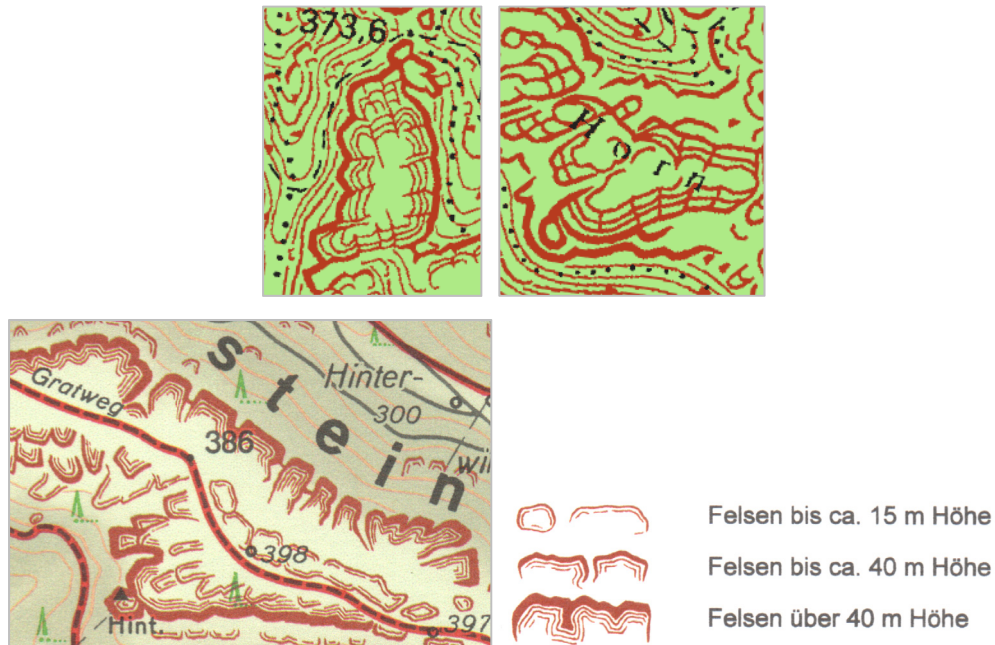


Obr. 82. Tvarové čáry v konturové metodě.
Přístup vhodný pro zachycení detailů skalního terénu.
Zdroj: Ullrich (1969) cit. v Čapek (1973).

Popsaný přístup je teoretická konstrukce vhodná pro velmi podrobné mapy. V praxi se spíše používají tvarové čáry tím způsobem, že se vytvoří rovnoběžky s hlavní konturou, která koresponduje s patou stěny (viz obr. 83). S rostoucí vzdáleností od kontury mohou mít linie větší rozestup a jsou tenčí, příp. i přerušované, což dobře odpovídá „vznívání“ skalní stěny při přechodu na okraj pískovcové plošiny. Zdůrazněná kontura v dolní části stěny a na ni navazující

čáry také přispívají k lepšímu vnímání informace, na které straně kontury je směr nahoru a na které směr dolů. Použití tvarových čar pak z tohoto důvodu může dávat smysl všude, tedy i v situaci, kdy stěna kolmá je.

Obraz výškopisu skalních měst je doplněn vrstevnicemi, které zůstávají na dně a bočních stěnách roklí mezi jednotlivými patry skal. Vrstevnice jsou kresleny tak, aby se kontur nedotýkaly. Na vrcholových plošinách se pro přesnější určení výšek uplatní zejména kótované body.

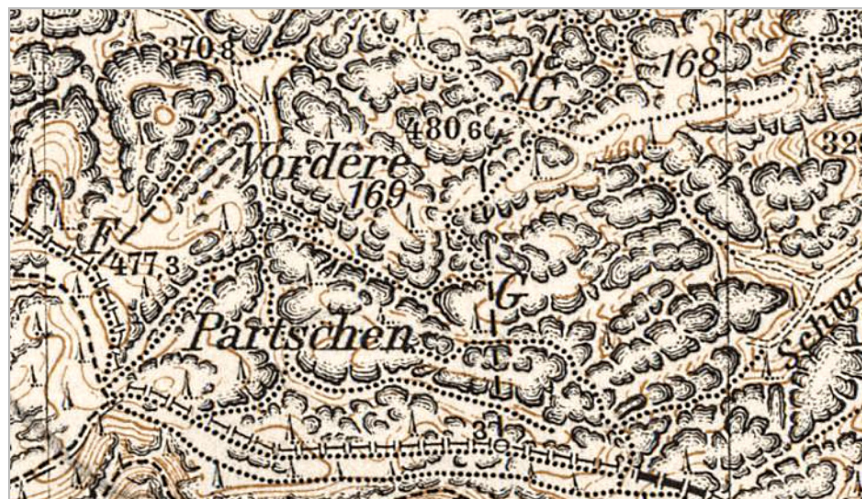


Obr. 83. Ukázky použití tvarových čar v konturové metodě.

Nahoře situace, kdy stěna není kolmá a vyjádření tvarovými čarami je potřeba. Výřez z TK 10.

Dole situace, kdy jsou charakterizační čáry použity pro zvýšení plastického působení výsledné reprezentace, vpravo legenda s kategoriemi výšek jednotlivých kontur. Výřez z mapy Schrammsteinkarte. Obě mapy mají v originále měřítko 1 : 10 000.

Mapy: © GeoSN, 2016.



Obr. 84. Ukázka předchůdce konturové metody.

V originále měřítko 1 : 25 000, oblast severovýchodně od Pravčické brány, srovnajte též s obr. 87.

Mapa: Meßtischblatt 5151 Rosendorf (Růžová), © Reichsamt für Landestopographie, 1942.

Ač je konturová metoda poměrně nová (viz rámeček Box 8: První použití konturové metody), pro zajímavost lze zmínit, že tento přístup s podobnými prvky (zdůrazněná pata, i když ne s exaktním rozlišením podle výšky a směrem nahoru postupně vyznívající charakterizační čáry) byl použit v starším německém státním mapovém díle *Topographische Karte 1 : 25 000 (4cm-Karte)*, jejíž

listy byly označovány starším názvem *Meßtischblatt* (Mikšovský, 2015). Vyjádření pískovcového skalního terénu v těchto mapách je na pomezí žebříčkové manýry a konturové metody, ač ani jedna z těchto metod v této době ještě neexistovala.

Popsaný způsob znázornění skal je vhodný zejména pro mapy velkých měřítek. Čapek (1973) ho doporučuje pro měřítko 1 : 10 000 a větší, v saském státním mapovém díle je použit i pro mapy v měřítkách 1 : 25 000 a 1 : 50 000. Existuje ovšem i omezení měřítkem zdola, protože při přílišném zvětšení měřítko přestanou mít stěny liniový charakter a nabývají formy ploch, pro které se konturová metoda příliš nehodí.

Box 8: První použití konturové metody

Poprvé byla konturová metoda použita na turistické mapě oblasti *Schrammsteine* vydané v roce 1955. *Schrammsteine* (česky též Šrámové kameny) je skupina skal v Saském Švýcarsku východně od města Bad Schandau. Návrh na zpracování uvedené mapy dali v roce 1953 topografové Kurt Ullrich (1919–1987) a Hans Brunner (*1919) z tehdejší saské zeměměřické služby. Na tvorbě mapy se podílela řada dalších topografů, kartografů a milovníků pěší turistiky, kteří v rámci bezprecedentní akce jako dobrovolníci bez nároku na odměnu celou složitě přístupnou oblast podrobně zmapovali. Na kartografickém zpracování mapy se dále podílel Gerhard Peschel (1912–2004), který ji doplnil stínováním. Přítomnost vrstevnic byla tehdy v mapě z politických důvodů nežádoucí. Později se začalo pracovat na mapách dalších částí Saského Švýcarska, po roce 1962 ovšem musely být práce z politických důvodů zastaveny a veškeré podklady měly být skartovány. Mapa *Schrammsteinkarte* byla zakázána a stala se v průběhu času legendou, která byla až svého druhého aktualizovaného vydání v roce 1990 turisty a horolezci potají ilegálně kopírována. Konturová metoda byla později použita i při tvorbě saského státního mapového díla v měřítku 1 : 10 000 (*Topographische Karte der DDR*), která byla v oblasti labských pískovců zpracována v roce 1965. (Zpracováno podle textu na 4. vydání *Schrammsteinkarte* z roku 2013, další informace k tvorbě mapy viz Ullrich, 1956.)

Jednoznačnou výhodou konturové metody je schopnost exaktně a poměrně názorně zachytit rozčlenění i velmi komplikovaného skalního terénu. To je dobře patrné např. z obr. 86 a obr. 87. Krom vlastních stěn a jejich výšky lze zachytit i další rozčlenění skalního terénu, jako jsou trhliny, či průchody mezi skalami, vyjádřené konturami nedotaženými k sobě. Dotažené kontury znamenají naopak bez lezeckého vybavení nepřekonatelnou stěnu. Hledání cesty ve složitém terénu pak znamená najít cestu mezerami v „bludišti“ tvořeném konturami, viz obr. 85. To velmi dobře odpovídá hledání trasy volným terénem mimo komunikace v reálném terénu pískovcové krajiny.



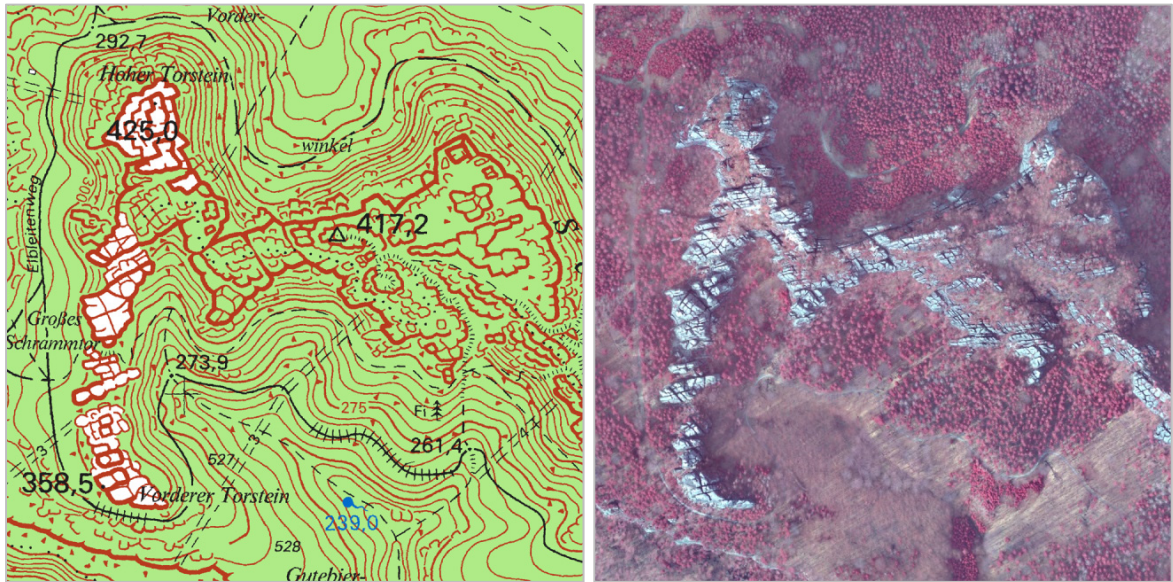
Obr. 85. K ilustraci čtení informací z konturové metody.

Z rokle lemované z obou stran skalními stěnami lze vystoupit pouze na její straně na dvou místech, kde je průchod mezi skalními bloky (A). V uzavěru hlavní části údolí to možné není, neboť tu je nepřekonatelná stěna (B). Možnost výstupu na vrchol skalního útvaru C ze dna rokle je naznačen tečkovanou čarou, klíčové je využít místa, kde se stěny rozestupují, což je vyjádřeno mezerami mezi konturami.

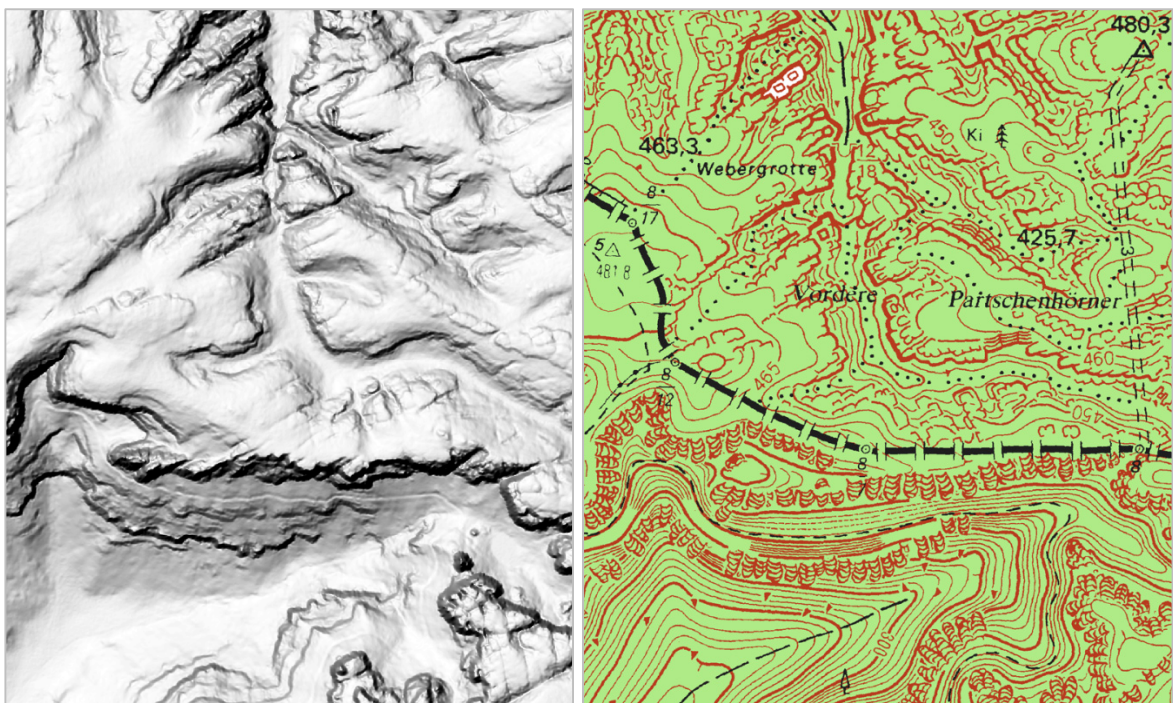
Mapa: © GeoSN, 2016.

Klíčem k úspěšnému zachycení reliéfu je právě použití linií, které nezaberou příliš prostoru a zároveň jednoznačně popisují terén zejména z pohledu lokální orientace, rozčlenění a průchodnosti terénu, ale díky proměnlivé tloušťce kontur i globálně. Z kvalitně zpracované mapy

používající konturovou metodu je na první pohled patrné kudy lze projít a kudy nikoliv. Zvláště patrná je tato výhoda ve srovnání s žebříčkovou manýrou. Z kresby vyplývající exaktnost může ale být paradoxně i nevýhodou. Předpokládá totiž velmi podrobné zmapování terénu. Stávající podrobnost dat DMR 5G na tento typ informace rozhodně nestačí (viz též kapitolu 2.6), protože o průchodnosti rozhodují někdy i decimetry. Došetření v terénu je v širším rozsahu nereálné. To i přes značné výhody širší praktické uplatnění této metody zatím poněkud limituje.



Obr. 86. Porovnání konturové metody s ortofotem. Oblast Schrammsteine v Saském Švýcarsku. Vlevo výřez z TK 10. Snímek vpravo je v infračervené části spektra (CIR).
Mapa: © GeoSN, 2016; ortofoto: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005.



Obr. 87. Porovnání konturové metody s DMR a žebříčkovou manýrou. Vlevo: stínovaný model reliéfu vytvořených z dat TUD popsanych v kapitole 2.5.1. Vpravo: topografická mapa v měřítku 1 : 10 000 zachycuje ve své horní části terén konturovou metodou podstatně podrobněji a výstižněji než žebříčková manýra použitá v dolní části mapy. Jak je patrné ze stínovaného modelu, charakter reliéfu je v obou případech velmi podobný. Oblast východně od Pravčické brány, severní část výřezu odpovídá území na obr. 84.
Data DMR: projekt GeNeSiS, © TUD, 2005; mapa: © GeoSN, 2016.

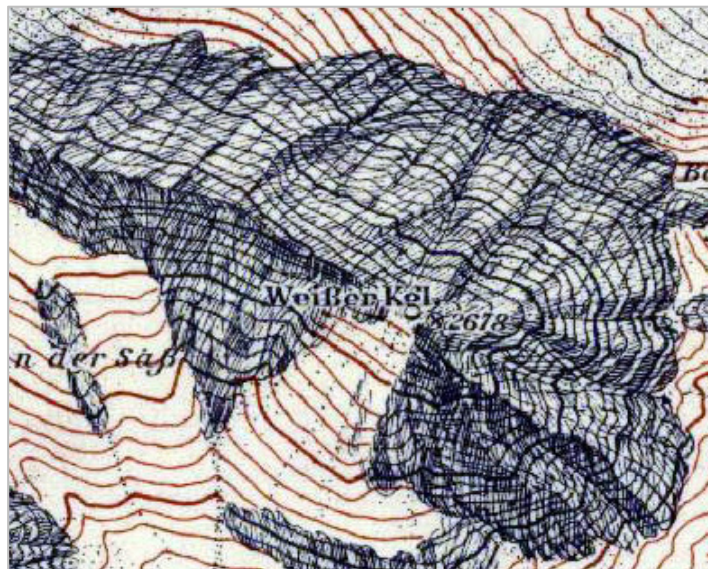
Konturové znázornění skal tak v sobě dokáže spojit informace patrné z ortofota (pokud nejsou skály skryté pod vegetací) a i z DMR (kde naopak nemusí být některé drobné – leč z pohledu průchodnosti zásadní – tvary patrné). I ve velkém měřítku je třeba složitý terén generalizovat, což konturová metoda snadno umožňuje a dokáže tak nabídnout podstatně přehlednější výsledek než stínovaný model reliéfu, zvláště v situaci, kdy není podkladový DMR úplně bez chyb.

K dalším přednostem metody patří relativní jednoduchost kartografického zpracování, pro niž nejsou potřeba žádné speciální kresličské schopnosti či dlouhodobé zkušenosti. To ostatně dokazuje i její digitální zpracování, popsané dále v kapitole 4.3.7. Další výhodou je možnost kontury používat opakovaně v různé podobě. Turistické mapy oblasti Saského Švýcarska německé provenience velmi často používají styl znázornění vycházející z konturové metody, viz například obrázek v rámečku na str. 21.

4.1.4 Další metody

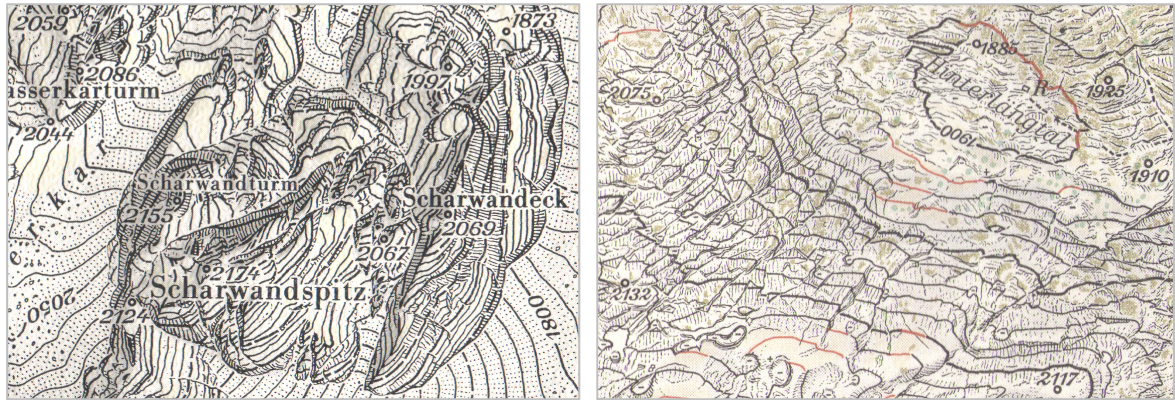
V této části budou pouze stručně uvedeny některé další metody pro analogové znázornění skal. Výčet si nečiní nárok na úplnost, jde čistě o snahu ukázat další různé přístupy k řešení tohoto problému z dob analogové kartografie. Text z části vychází z diplomové práce autora (Lysák, 2008).

Metoda rakouského kartografa Fritze Ebsterera je zajímavá tím, že kombinuje vrstevnice a šrafy. Šrafy jsou velmi jemné tenké linie, protáhlé přes celou délku svahu, takže se s vrstevnicemi kříží. Pro zdůraznění makrotvarů se používá stínování při severozápadním osvětlení, kterého se docílí zhušťováním šrafury a změnou tloušťky čáry. Tento způsob kresby je sice hodnocen relativně příznivě a v zachování všech vrstevnic ve skalním terénu lze vidět výhodu ve srovnání se švýcarskou metodou, na druhou stranu například Imhof (2007) považuje Ebsterovy mapy za málo plasticky působící a špatně čitelné. Ukázka kresby skal Ebsterovou metodou je na obr. 88, podrobnější popis metody lze nalézt v článku Čapka (1976).



Obr. 88. Ukázka kresby skal kombinací vrstevnic a šraf.
Vlevo výřez z Ebsterovy mapy Geigenkamm.
Mapa: © F. Ebster, 1953.

Zcela odlišný přístup ke znázornění skal zaujal další rakouský kartograf a topograf Leonhard Brandstätter. Jeho rozsáhlé zkušenosti s kartografickým znázorňováním velehorského terénu jsou shrnuty v jeho díle *Gebirgskartographie* (Brandstätter, 1983), v češtině pak popsány v článku Čapka (1976). Ukázka znázornění skalního terénu Brandstätterovou metodou je na obr. 89.



Obr. 89. Ukázka znázornění skal Brandstätterovou metodou.

Vlevo strmý skalní terén vyjádřený vertikálními šrafami, vpravo plochý skalní terén s kresbou struktury.

Zdroj: Brandstätter (1983).

Reprezentace skal Brandstätterovou metodou je součástí jeho širší teorie týkající se kartografického znázorňování reliéfu, které má podle něj být geometricky správné, bez mezer, nadbytečnosti, nejednoznačnosti a nekonzistencí. Jeho přístup je pro dnešní dobu zajímavý zejména tím, že se snaží tvorbu výškopisu maximálně zefektivnit, unifikovat a automatizovat, podle zásady, že v mapě by mělo být „méně kartografické iluze, více topografického obsahu“ (Čapek 1976, s. 39). Skály a priori nepotřebují speciální přístup; znázorňují se stejně jako ostatní terén vrstevnicemi. Ve skalách a sutích jsou kresleny černou barvou. V místech, kde sklon terénu přesahuje 65° , se ponechává pouze každá pátá vrstevnice. Půdorys příkrých srázů se nijak nerozšiřuje. Kresba vrstevnic je doplněna znázorněním reálně existujících terénních hran. Ty se na mapě vyjadřují čarami, jejichž síla závisí na ostroti a sklonu hrany. Čím je hrana ostřejší a čím menší má sklon, tím je v mapě (i v terénu) výraznější. V místech skalnatých srázů se sklonem nad 65° se používají vertikální šrafy jako náhrada za plastické působení vrstevnic. Kreslí se tenkými čarami, jejichž tloušťka nepřesahuje tloušťku základních vrstevnic. V plochém skalním terénu, kde dosud popsané výrazové prostředky nic neřekly, se používá kresba struktury. K zákresu se používá velmi jemných slabých čar. Hlavním účelem jejich kresby je ulehčit identifikaci terénních tvarů a ukázat průchodnost terénu. Na rozdíl od hran nemají uvedené linie topografický význam, ale pouze význam charakterizační. Kresba je doplněna tónováním v pruhu na sráznějším svahu hřebene, neodpovídá tedy tradičnímu severozápadnímu osvětlení.

Box 9: Imhof versus Brandstätter: klasické versus geometrické pojetí znázorňování skal

Popsaný Brandstätterův způsob znázorňování skal je v přímém protikladu se švýcarskou metodou, reprezentovanou Imhofem. Oba autoři se ve svých souhrnných dílech k tématu znázorňování skal jeden ke druhému navzájem vyjádřili. Imhof ve své knize *Kartographische Geländedarstellung* z roku 1965 (v reedici z roku 2007 na str. 267–270) Brandstätterův způsob kresby hodnotí (na základě jeho do té doby publikovaných prací) jako příliš schematický. Použité výrazové prostředky podle něj nepůsobí dostatečně plasticky, uživatel může jen těžko rozlišit, zda jde o skálu nebo suť a striktně omezené typy linií nemohou vytvořit uspokojivý dojem o struktuře a detailech skalního terénu. Odpovědí Brandstättera v jeho *Gebirgskartographie* z roku 1983 (str. 128–132) je argumentace, že umělecký dojem z výsledné Imhofovy kresby je sice vynikající, ale je na místě se ptát po jeho smyslu. Brandstätter uvádí, že je chybné ho hodnotit lépe než změřenou objektivitu, skutečný půdorys a vztahy jednotlivých terénních prvků. Považuje švýcarskou metodu – zejména s ohledem na strmé skalní stěny – za pouhou kresbu, nikoliv znázornění skal, která patří do předfotogrammetrických časů a v moderním topografickém mapování nemá co dělat. K tomuto problému obecněji z pohledu analogové kartografie viz kapitolu 4.1.5 a z pohledu digitální kartografie v kapitole 4.4.

Hlavním nedostatkem tohoto přístupu je přílišná roztržitost a na první pohled i nepřehlednost mapy, která ve srovnání s ostatními popisovanými metodami nepůsobí vůbec plastickým dojmem. V libovolném místě mapy lze velmi přesně určovat výšky. I z hlediska lokální orientace v terénu je tato metoda ideální, protože drobné terénní tvary mají velký význam pro orientaci v nejbližším okolí pozorovatele, zvláště pak v nepřehledném terénu. Vztah metody ke švýcarské manýře je diskutován v rámečku Box 9: Imhof versus Brandstätter: klasické versus geometrické pojetí znázorňování skal.

V praxi se používají ovšem i značně jednodušší metody. K nim lze zařadit způsob znázorňování skal v portugalském státním mapovém díle, který připomíná klasické Lehmannovy šrafy (ovšem nestínované). Plocha skalního útvaru se jimi snadno mechanicky vyplní. Vyplňování probíhá tak, že se tvoří pásy linií rovnoběžných s horní hranou útesu v předem dané definované vzdálenosti (okolo 1 mm) a to tak dlouho, dokud nevyplní celou plochu objektu. Výsledek nepůsobí plasticky a výšky lze pouze odhadovat, strmé neschůdné skalnaté útesy ovšem z mapy vynikají (viz obr. 90).



Obr. 90. Znázorňování skal v portugalském státním mapovém díle.
Výřez z Carta Militar de Portugal v originále 1 : 25 000, mírně zvětšeno. Severní pobřeží ostrova Madeira.
Mapa: © Instituto Geográfico do Exército, 2016.

Přehled dalších možných způsobů reprezentace skal používaných v analogové kartografii lze nalézt v článku Dahindena (2002) a některé další pak v práci Čapka (1973). Pro účely této práce nejsou ale příliš podstatné.

4.1.5 Shrnutí přístupů analogové kartografie

Metody používané v klasické analogové kartografii pro znázornění skalních útvarů lze rozdělit na dvě velké skupiny: „klasické“, založené na některé variantě skalních šraf, a „geometrické“ založené na exaktnějším vyjadřovacím prostředku. Ke druhé skupině lze počítat i použití samostatných vrstevnic bez dalších doplňků, používané pro skály např. v analogových topografických mapách státního mapového díla USA.

Smyslem šraf je pomocí kontrastu světlých a tmavých ploch vytvořit názornou trojrozměrnou představu o reliéfu, který co nejlépe koresponduje se skutečným reliéfem. Je to tedy primárně prostředek pro vizuální vnímání člověkem, adaptovaný na fyziologii oka a proces vidění. Různým variantám šraf se to daří lépe či hůře. Na skalní šrafy lze pohlížet i jako na určitý relikv z minulosti, kdy byl výškopis znázorňován značně schematicky, ať kopečkovou metodou, krajinnými šrafami či

později sklonovými či stínovými šrafami. Teprve na základě exaktnějšího geodetického měření se dalo ve většině terénu na topografických mapách přistoupit ke znázornění vrstevnicemi. Určitý problém ovšem zůstal s nepřístupnými skalními oblastmi, kde byl s přesným měřením problém a obraz výškopisu tam zůstal stále ve formě kresby. Řešení tohoto problému přinesla fotogrammetrie, která umožnila relativně přesné měření výšek i v naprosto nepřístupném terénu, pokud tedy skály nebyly skryté pod vegetací. Zdánlivě tedy pro šrafy už nebyl žádný důvod.

Potíž je ovšem v tom, že konvenční vyjadřovací prostředky typu vrstevnic ve strmém terénu obecně nedávají tak názorný obraz jako šrafy. Z tohoto důvodu se od skalních šraf neupustilo, naopak v případě švýcarské metody byla do výsledného obrazu tato přesnost určitým způsobem zanesena. V případě, že se střetává názornost a přesnost, je dána při kresbě šraf přednost názornosti. Zdařile provedené šrafy umožňují čtenáři mapy získat dobrou představu o globálním rozčlenění terénu, s lokálními detaily to bývá horší, resp. jejich čtení vyžaduje jistou zkušenost. Určitou (a ne úplně zanedbatelnou) výhodou šraf je také skutečnost, že v případě, že informace o terénu není změřena exaktně, resp. má určitou nejistotu, umožní šrafy tento fakt do jisté míry elegantně „zamaskovat“. Mapa pak nese informaci o tom, že v daném místě je skalní útvar a uživatel ví, že je třeba dávat pozor a brát podrobnou informaci v jeho ploše s určitou rezervou. Jednoznačnou nevýhodou šraf je pak pracnost jejich tvorby.

Přirozenou reakcí na rozvoj nových metod topografického mapování byly „geometrické“ způsoby zachycení skal (Brandstätterův způsob či konturová metoda). Kladou důraz na dodržení exaktnosti (když už byla pracně změřena) a její explicitní zachycení do mapy i na úkor celkové názornosti. Co se týká zachycení lokálních detailů terénu, jsou tyto metody srovnatelné až mírně lepší než klasické šrafy. Reprezentaci je obvykle možné tvořit výrazně jednodušším způsobem, ke kterému nejsou potřeba žádné umělecké vlohy nebo dlouhodobá zkušenost. Poměrně zajímavé je, že tento druhý způsob se v dobách analogové kartografie stihl prosadit spíše okrajově, ač se diskuze o skalách na téma přesnost versus názornost vede již od 60. let 20. století (Boguszak & Šlitr, 1962). S nástupem digitální kartografie pak tato otázka začala být znovu aktuální. K tomu dále v kapitole 4.4 po bližším představení metod pro znázorňování skal v digitální kartografii.

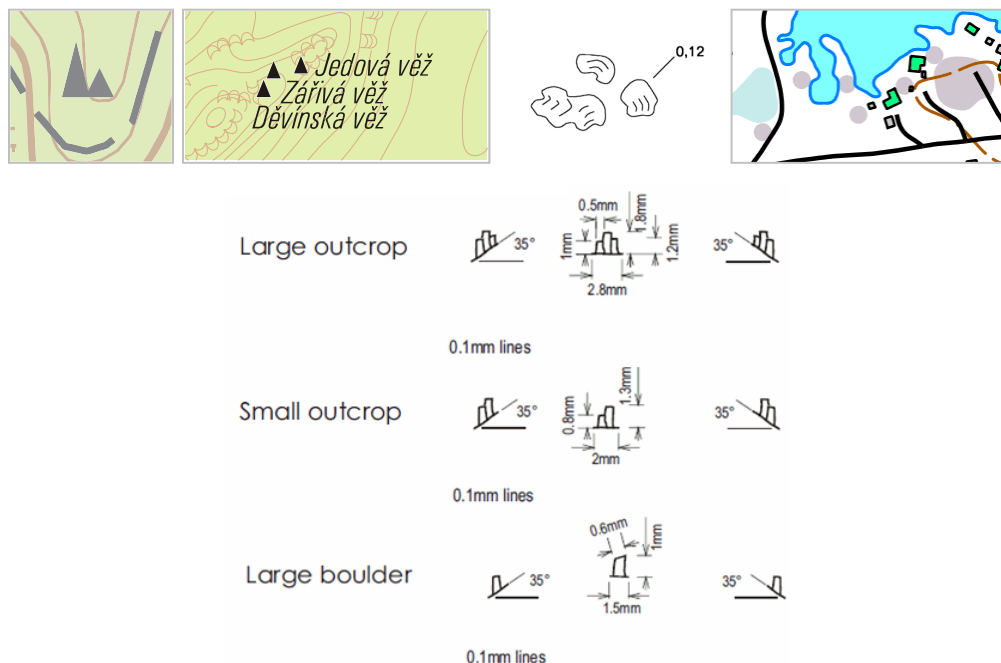
Společným znakem všech uvedených metod je v zásadě zachycení charakteru a rozčlenění skalního útvaru pomocí terénních hran uvnitř jeho plochy. K tomuto účelu využívají různé metody různé vyjadřovací prostředky. Z jednoho území tak lze vytvořit různé reprezentace skal, což může mít význam pro srovnání jednotlivých metod. Této problematice se částečně věnovala bakalářská práce A. Kiššové (2014), jejímž vedoucím byl autor. Z ukázek v práci je patrné, že ze švýcarské metody lze bez problémů přejít ke stylizovanější žebříčkové manýře, pro opačný přechod není v žebříčkové reprezentaci dostatečné množství informací. Stejně tak lze od konturové metody přejít k žebříčkové manýře. Tento postup byl v praxi aplikován na některých listech TM 25 z oblasti Labských pískovců, které zasahovaly na území tehdejší NDR. Rovněž tento postup je ztrátový, protože zmizí podrobné informace o průchodnosti terénu. Z hlediska míry zachování informace o terénu tedy švýcarská a konturová metoda lépe vycházejí lépe než schematická žebříčková manýra.

4.2 Kartografické zpracování bodových skalních útvarů

V této kapitole budou z důvodů úplnosti přehledu kartografických vyjadřovacích prostředků pro skály stručně popsány metody pro kartografické znázornění skalních útvarů vyjádřených pomocí bodových znaků. Ty se používaly v kartografii analogové a používají se bez problémů (na rozdíl od šraf) i v kartografii digitální. Proto je tato kapitola zařazena právě mezi analogové a digitální zpracování skal. Bodový znak pro znázornění skály malého rozsahu má obvykle podobu znaku

symbolického, svým vzhledem asociujícím vystupující špičatou skálu. Méně časté je použití znaku geometrického. Ukázky různých reprezentací bodových skal jsou na obr. 91.

Určitou drobnou nevýhodou ve vztahu k digitálním topografickým databázím je skutečnost, že bodový objekt nemusí nutně znamenat osamělou nad úroveň terénu vystupující skálu, ale také skalní stěnu o ploše menší, než je mez pro zachycení plošným objektem. V tom případě není symbol stylizované skály typu zachyceného na obr. 91 nahoře vlevo úplně asociativní. Z tohoto pohledu se jeví o něco lepší řešení používané např. v novozélandském státním mapovém díle v mapě Topo50, které rozlišuje skály ležící na vrcholu kupy a ve svahu (obr. 91 dole uprostřed). Cenou za lepší asociativnost je ovšem potřeba rozlišovat atributem skály na vrcholech a ve svazích. Jiné řešení je použito ve finském státním mapovém díle na topografické mapě 1 : 20 000, kde jsou bodové skály vyznačeny geometrickým symbolem v podobě kruhu s výplní stejnou, jako mají plošné skály (obr. 91 nahoře vpravo). Podobné řešení bylo používáno ostatně i v analogové ZM 10, kde byly některé velmi malé objekty charakteru skalních stěn ve svazích vyjádřeny šrafami. Při tvorbě ZABAGED z nich byly vytvořeny bodové objekty typu *Osamělý balvan, skála, skalní suk* (blíže viz kapitolu 3.1.2).



Obr. 91. Ukázky kartografických znaků pro bodové skály.

Nahoře zleva: znak používaný v ZM 10, znaky používané v turistických mapách Geodézie On Line v měřítku 1 : 25 000, znaky používané v portugalském státním mapovém díle v měřítku 1 : 10 000, znaky používané ve finském státním mapovém díle v měřítku 1 : 20 000 (bodové skály šedým kruhem, plošné skály jako stejně šedá plocha). Dole: legenda k novozélandskému státnímu mapovému dílu Topo 50, rozlišující velké výchozy (large outcrop), malé výchozy (small outcrop) a velké balvany (large boulder), navíc v kombinaci s umístěním na vrcholu či ve svahu.

Zdroje: © ČÚŽK, © Geodézie On Line, © IGP, © MML, © LINZ, 2016.

Celkově lze shrnout, že kartografické zpracování bodových objektů skal na rozdíl od plošného nepřinášelo žádné významnější problémy ani v kartografii analogové, a nejsou s ním potíže ani v kartografii digitální.

4.3 Stávající přístupy digitální kartografie

Zpracování map na počítači bezesporu výrazně zrychlilo a zefektivnilo kartografickou tvorbu. Odpadla při tom spousta složité a rutinní práce. Kartografický software umožňuje v zásadě všechno, co bylo možné při analogové tvorbě, jen je kresba na skleněné desky či plastové fólie nahrazena prací s myší či grafickým tabletem. Specializovaný kartografický software navíc

umožňuje velice efektivně řešit práci s jednotlivými kartografickými znaky, kdy je stačí jednou definovat a pak opakovaně používat.

Se znázorňováním skal s využitím prostředků digitální kartografie je jako s jedním z mála prvků poměrně zásadní potíž: žádný existující kartografický software totiž neumožňuje přímočarým způsobem aplikovat tradiční metody popsané v kapitole 4.1 do světa digitální kartografie. Z pohledu softwaru jde v zásadě „pouze“ o kreslení určité výplně do plochy. Potíž je ale v tom, že výplň je pokaždé mírně jiná a navíc z důvodů názornosti úmyslně nepravidelná, což jde trochu proti logice návrhu práce s kartografickými symboly, se kterou software počítá (opakované umístění stejných znaků). Z tohoto pohledu je tedy z hlediska znázornění skal digitální kartografie v jistém smyslu kontraproduktivní.

Nejedná se o úplně neřešitelný problém: skály se na mapách vytvořených prostředky digitální kartografie samozřejmě kreslí. Jde o více či méně sofistikované způsoby, jak uchopit pravidla analogového světa a pak je převést do světa digitální kartografie. Zkušenost ukazuje, že čím větší je snaha se některé z analogových metod přiblížit, tím je zpracování časově náročnější. V praxi jde proto často o hledání kompromisu mezi přijatelnou grafickou kvalitou výsledku a množstvím potřebného času.

V současné kartografické praxi zpracování obvykle vychází z digitální topografické databáze. Pro účely kartografického zpracování se na základě ní vytváří digitální kartografický model (*digital cartographic model*, DCM). Jde v zásadě o upravená data z digitální topografické databáze do podoby přímo použitelné pro tvorbu mapy (Buckley & Frye & Battenfield, 2005). Úprava dat může spočívat ve změně geometrie (odsun, generalizace geometrie pro menší měřítko apod.), doplnění atributů (*data enrichment*), případně generování doplňkových objektů, které v databázi původně nebyly atd. Smyslem všech těchto úprav je umožnit vizualizaci dat v kartografickém či geoinformačním software tak, aby byl výsledek akceptovatelný z pohledu kartografie. Tuto podmínku totiž přímá vizualizace obsahu topografické databáze obvykle nespĺňuje.

V této kapitole proto budou podrobně popsány možné, v praxi používané přístupy ke znázorňování skal prostředky digitální kartografie s využitím běžného (kartografického) software, tedy způsob tvorby kartografické vizualizace (DCM) na základě obsahu digitální topografické databáze (DLM). Tento přehled je zaměřen zejména (ale ne výhradně) na topografické mapy velkých a středních měřítek. Popis vychází z diplomové práce autora (Lysák, 2008) a z článku shrnujícího tuto problematiku, který na základě ní vznikl (Lysák & Bláha, 2008). Text je ještě doplněn o některé novější poznatky.

Za prostředky digitální kartografie budou pro účely této práce považovány především software ArcGIS for Desktop (verze 10.2) a OCAD (verze 11). U každé z metod bude poukázáno na její přednosti, nedostatky a možná vylepšení s přihlédnutím ke kritériím, která jsou zmíněna v dalším textu. Jednotlivé metody byly zjištěny převážně empiricky, tj. prohlédnutím a detailním zkoumáním většího množství map z různých kartografických vydavatelství z různých zemí. U každé mapy se autor práce snažil odhadnout postup, jak co nejjednodušším způsobem dosáhnout odpovídající reprezentace v kartografickém software. Ideově podobné přístupy pak vytvořily dále popsané skupiny. I přes detailní a dlouhodobé studium problematiky si výčet nedělá nároky na úplnost; jednotlivé přístupy lze totiž různým způsobem kombinovat.

Výhody a nevýhody každé z popsaných metod budou hodnoceny na základě dále popsaných kritérií. Důležitý předpoklad hodnocení je, že je třeba vycházet pouze ze stávajících dostupných dat. Na základě přehledu zpracovaného v sekci 2 budou za taková data považovány půdorysné

polygony vymezující plochu skalních útvarů a podrobný DMR, vytvořený například z dat LLS. Hodnotícími kritérii pro srovnání jednotlivých přístupů jsou:

- názornost z hlediska globálního zachycení skalního terénu,
- zachycení informací pro lokální orientaci ve skalním terénu,
- časová náročnost při manuální tvorbě reprezentace,
- jednotnost vytvořené reprezentace,
- možnost automatizace tvorby reprezentace,
- možnost generalizace vytvořené reprezentace,
- grafická podoba výsledku ve smyslu míra shody s některou z výše popsaných „klasických“ metod analogové kartografie.

Názornost z hlediska globálního zachycení skalního terénu

Uživatel by měl jediným pohledem na mapu rychle získat všeobecný přehled o přítomnosti a podobě skalního terénu, tj. z mapy by měly na první pohled vynikat makrotvary reliéfu. Reprezentace by měla působit plastickým dojmem. Měly být tedy patrné jednotlivé skalní hřebeny a rokle, u pískovcových skalních měst pak charakter plošin a roklí. Toto kritérium má význam zejména u map menších měřítek, u map velkého měřítka je podstatnější lokální orientace v terénu.

Zachycení informací pro lokální orientaci ve skalním terénu

Použitá metoda by měla čtenáři mapy umožnit zjistit průchodnost skalního terénu, schůdnost jednotlivých skal, jejich podrobné rozčlenění či jejich relativní výšky. Orientace ve skalním terénu je obvykle velmi náročná, podrobná mapa by měla být schopna uživatele tímto terénem provést. Při malém měřítku mapy jsou detaily skalního terénu potřebné pro lokální orientaci nezachytitelné; zde proto nabývá na důležitosti názornost z hlediska globálního zachycení, zmíněná v předchozím odstavci.

Časová náročnost při manuální tvorbě reprezentace

Toto kritérium hodnotí časovou náročnost ve smyslu počtu kroků, které kartograf musí při interaktivní tvorbě dané reprezentace provést. V ideálním případě, kdy je tvorba zcela automatizovaná, není třeba provést žádný takový krok. Podstatné pro hodnocení je, že se vychází z výše uvedených dat. Rovněž je potřeba rozlišovat typ práce kartografa. Jednoduchá vektorizace linií je úkol, který zvládne i nepříliš kvalifikovaná síla, kdežto např. kresba skalních šraf švýcarskou metodou vyžaduje značné zkušenosti.

Jednotnost vytvořené reprezentace

Znázornění skalních útvarů by mělo být jednotné na celé mapě, případně v celém mapovém souboru, aby se předešlo problémům popsaných v kapitole 4.1.2. Znamená to, že by výsledek neměl vůbec záviset na kresličských schopnostech a fantazii kartografa. V ideálním případě by dva různí kartografové měli vytvořit stejný výsledek, a k témuž výsledku by měl dospět i jeden kartograf při dvou pokusech o vytvoření reprezentace. Měla by být tedy možnost stanovit jednotná pravidla pro zachycení různých typů skalního terénu a tato pravidla by měla být důsledně dodržována. Tento požadavek ovšem neznamená, že by se skály měly nutně znázorňovat šablonovitě. Zdařilá reprezentace dokáže odlišit různé typy skalního terénu, a přesto může působit jednotným dojmem, tj. používat tytéž výrazové prostředky, ale pro každý typ terénu v poněkud jiné podobě.

Možnost automatizace tvorby reprezentace

Existuje-li popsáný způsob tvorby reprezentace, lze se ptát, nakolik lze tento přístup automatizovat. Jde tedy o to, zda lze na základě pravidel používaných pro tvorbu reprezentace vytvořit algoritmus, který by dokázal simulovat postup kartografa při interaktivní tvorbě. To může být značně netriviální, protože některé kroky snadno pochopitelné a realizovatelné člověkem („nakreslit čáru zhruba ve směru největšího spádu“) mohou vyžadovat poměrně složité postupy při formalizaci do podoby algoritmu. V praxi se při řešení podobných úloh často využívá toho, že většinu práce lze nějakým způsobem automatizovat, ale toto množství nikdy nedosáhne 100 %. Této hodnotě se lze přiblížit, ale čím větší je toto přiblížení, tím stoupá složitost a časová náročnost celého postupu. Rozumným kompromisem je proto připustit interaktivní práci, případně v určitých situacích mírně rezignovat na kvalitu výsledku.

Možnost generalizace vytvořené reprezentace

Při tvorbě reprezentace skal se pracuje s mapou v konkrétním měřítku. Nabízí se přirozená otázka, zda uvedená metoda nabízí možnost využít již vytvořené reprezentace pro znázornění v mapě menšího měřítku.

Grafická podoba výsledku

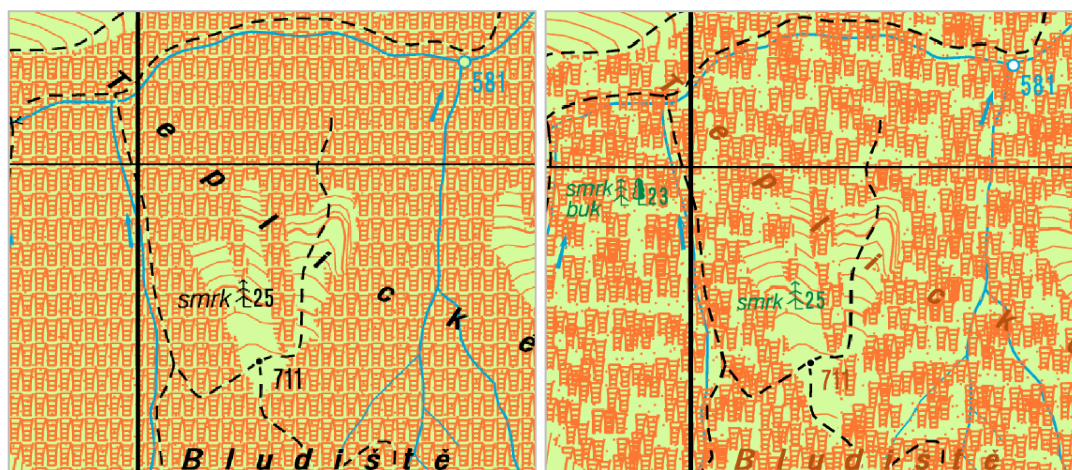
Grafická podoba výsledku představuje věc do značné míry subjektivní. Hodnocení se proto drží „standardu“, který představují výše popsané tradiční metody analogové kartografie, a výsledek bude porovnán s nimi. Lze rovněž hodnotit asociativnost znaku vytvořeného příslušnou metodou, případně další vlastnosti znaku z pohledu kartografické sémiologie, zejména sémantický a sygmatický aspekt (Maule, 2002).

Kvalitativní hodnocení každé z metod ve vztahu k uvedeným kritériím je uvedeno v rámečku na konci popisu každé z nich. Některé z dále popsaných metod jsou zpracovány podrobněji než jiné. To není úplně samoúčelné. Pokud ve stávajícím softwaru nelze reprezentaci skal tvořit efektivně a výsledek je při tom (i za cenu ruční práce) akceptovatelný, nabízí se možnost tento postup automatizovat a množství nutné ruční práce tak eliminovat. Popis takové metody lze pak chápat jako analýzu potřebnou pro detailní návrh a implementaci tohoto postupu.

4.3.1 Polygony s výplní

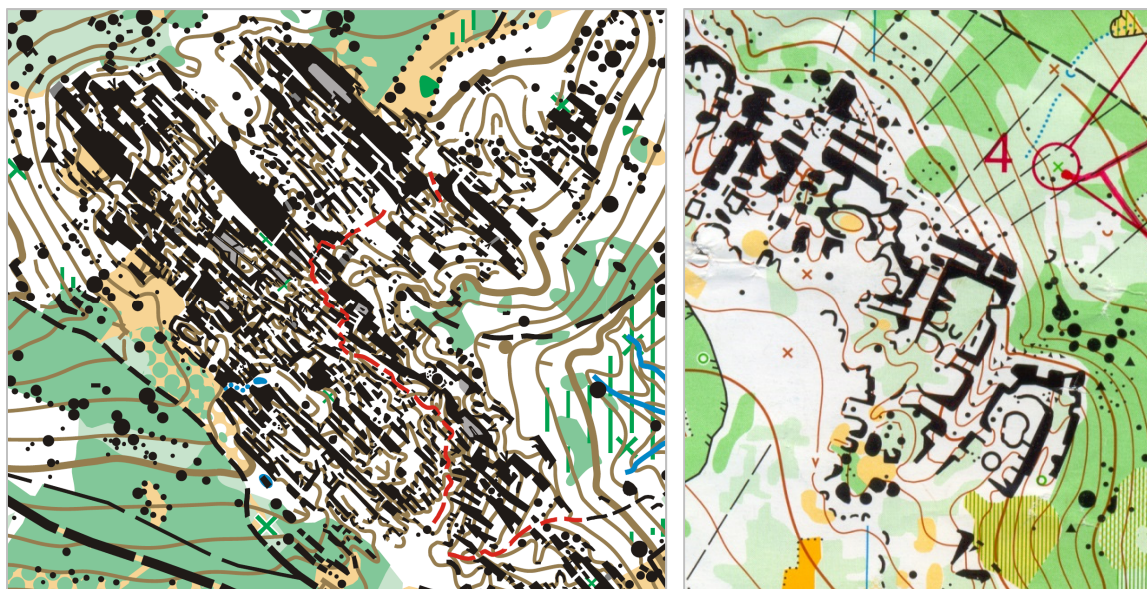
Jednoduchý a velmi často používaný způsob prezentace půdorysných polygonů skalních útvarů. V kartografickém software je polygon vyplněn barvou či rastrem. V případě barvy se obvykle používá hnědá, červenohnědá či šedá. V případě rastru může být plocha polygonu vyplněna buď pravidelně se opakujícím vzorem (tvořícím tzv. *seamless pattern*, aby nebyly patrné přechody mezi jednotlivými dlaždicemi, z nichž je vzor vytvořen), případně vzorem nepravidelným (viz obr. 92).

Vzor může být případně automaticky či manuálně natáčen pro každý polygon individuálně. Obecně je zejména v případě rozsáhlejších polygonů vhodná taková výplň, která nepřekryje celou plochu, a to z toho důvodu, aby v ploše skal zůstaly patrné další informace (zejména o půdním krytu, typicky o přítomnosti/nepřítomnosti lesní půdy). Polygon může být zcela či zčásti ohraničen čarou odpovídající barvě vnitřní kresby či vrstevnic. Uvedenou metodu používá Geografická služba Armády České republiky při tvorbě vojenských topografických map, dále například národní mapovací agentury Belgie a Finska ve svých topografických mapách.



Obr. 92. Polygony zachycující půdorys s rastrovou výplní.
Vlevo varianta s pravidelným rastrem, vpravo varianta s nepravidelným rastrem. Ukázka z RETM 25.
Mapa: © Geografická služba AČR, 2008 a 2016.

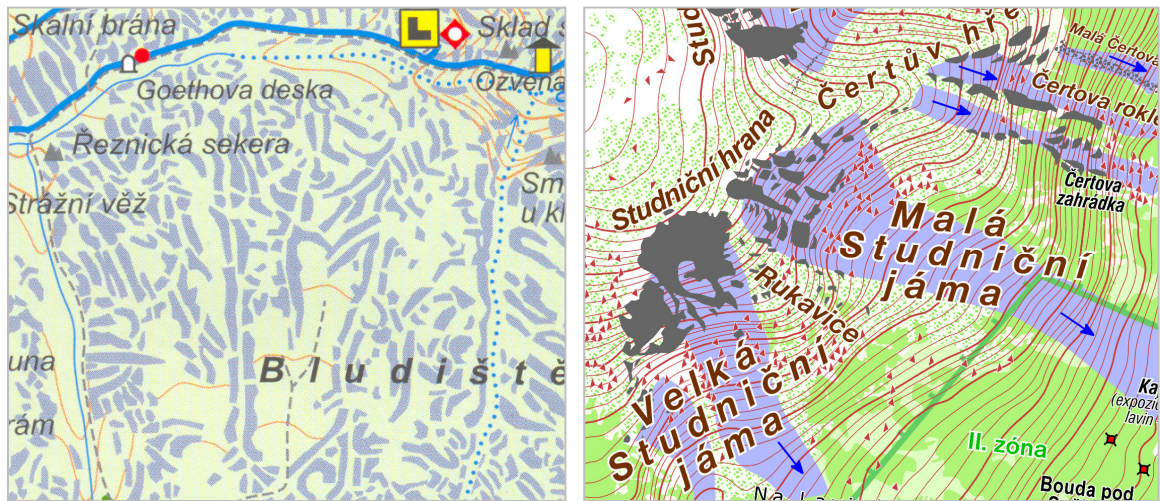
Obecně je tato metoda nevhodná pro situace, kdy jsou polygony velmi rozsáhlé a bylo by žádoucí zachytit jejich vnitřní členění. Relativně použitelná je v situaci, kdy jsou půdorysy skal velmi podrobné a zachycují jednotlivé skály oddělené neskálním terénem. Tento způsob znázornění se pro skalní útvary používá na mapách pro orientační běh (viz též kapitoly 3.2.2 a 3.3.2). Skalní útvary jsou zde zachyceny v půdorysu pomocí polygonů (a případně linií) černé barvy, doplněné barvou šedou. Černá reprezentuje neschůdný skalní sráz či stěnu, šedá schůdný terén se skalnatým povrchem (slouží tedy k rozlišení stěn od plošin). Mapování probíhá v měřítku 1 : 7 500 a výsledná mapa má měřítko 1 : 15 000 či 1 : 10 000 (ISOM 2002, s. 5). Vzhledem k velkému měřítku zachycují tyto mapy terén a tedy i jednotlivé skalní útvary obvykle velmi podrobně (viz obr. 93) a lze si podle nich udělat velmi dobrou představu o rozčlenění terénu a jeho průchodnosti, tj. výborně splňují požadavky pro lokální orientaci v terénu. Černá barva velmi nápadně upozorňuje na neschůdná místa, na druhou stranu ovšem snižuje čitelnost ostatního obsahu a prakticky znemožňuje umístění dalších prvků obsahu (viz obr. 93 vlevo, kde je ve skalách pěšina úmyslně namalována červeně, ačkoliv by měla být černě).



Obr. 93. Reprezentace skal pomocí podrobných půdorysných polygonů na mapách pro orientační běh.
Vpravo výřez z mapy Ostaš (oblast Kočičích skal u Police nad Metují), vlevo výřez z mapy Volské kameny (Ostrov u Tisě v oblasti Labských pískovců).

Mapa vlevo: © T. Leštínský, KOB Dobruška. Zdroj: archiv T. Leštínského.
Mapa vpravo: © Severotuk Ústí n. L. Zdroj: archiv M. Tihonové.

Podobný přístup lze nalézt také na některých novějších velmi podrobných turistických mapách (obr. 94).



Obr. 94. Ukázky reprezentace skal pomocí podrobných polygonů zachycujících půdorys. Vlevo: oblast Bludístě v Teplických skalách (v originále 1 : 16 000), vpravo: oblast Obřího dolu v Krkonoších (v originále 1 : 16 500).

Mapa vlevo: © Geodézie ČS, 2007; mapa vpravo: © Kartografie HP, 2015.

Hodnocení metody

globální informace: obecně špatné, výsledné reprezentaci chybí možnost snadno vnímat makrotvary reliéfu, nese pouze informaci o tom, že na daném místě skála je

lokální informace: jsou-li vstupní data pouze ZABAGED/DMÚ 25, pak velmi špatné. Je-li podkladem velmi podrobné mapování jako u map pro orientační běh, pak poměrně dobré.

jednotnost: bezproblémová

časová náročnost: minimální. Veškerá práce je zde z kartografa přenesena na topografa, který musí pro použitelný výsledek provést velmi podrobné mapování

jednotnost: bez problémů, za případné problémy může opět topograf

možnost automatizace: bezproblémová, celý proces zvládá stávající kartografický software

možnost generalizace: s vlastní reprezentací není žádný problém, potíž ovšem může být s vhodnou generalizací polygonů zachycujících půdorys. Zvláště jsou-li podrobné, je třeba je vhodným způsobem agregovat, což obecně není jednoduchá úloha, viz kapitolu 3.4.6.

grafická podoba výsledku: záleží na míře podrobnosti vstupních dat, obecně spíše velmi špatná

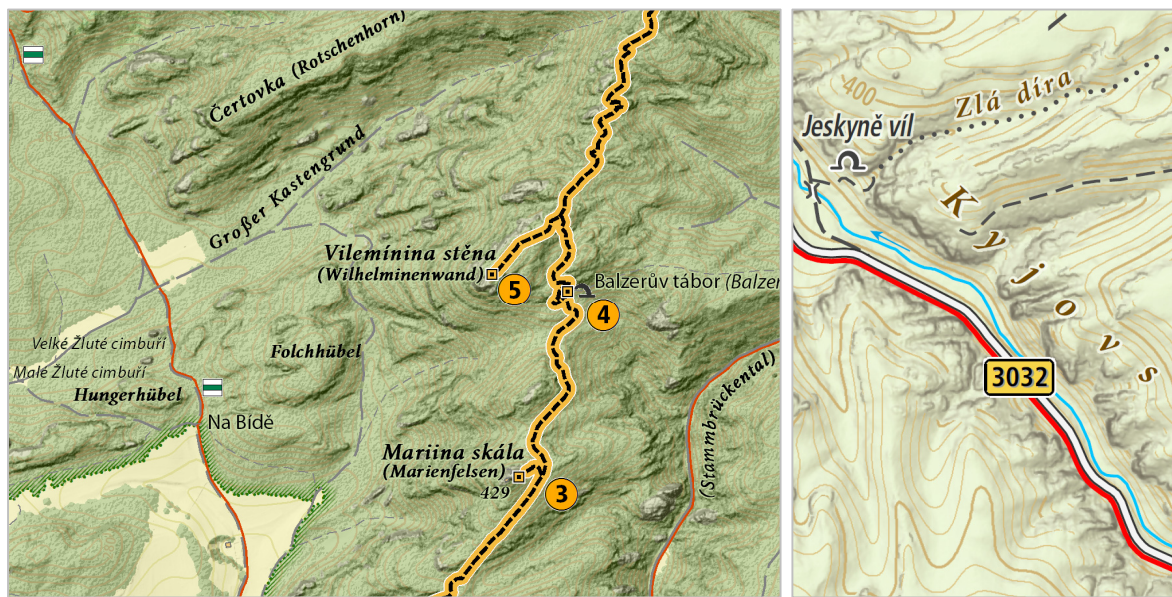
celkové shrnutí: z pohledu kartografa jednoduchá metoda s obecně neuspokojivými výsledky, vhodná spíše pro jednoduchou vizualizaci prostorových dat než jako seriózní kartografický vyjadřovací prostředek. Pro kartografické účely je použitelná v případě velmi podrobných dat a terénu, kde lze jednotlivé skály či jejich skupiny reprezentovat jako samostatné objekty.

4.3.2 Stínování a jeho varianty

Podstatou této metody je vytvoření stínovaného modelu reliéfu, s případnými dalšími úpravami. Stínována je celá mapa, nejen plochy skal. Aby tato metoda měla smysl, musí být k dispozici velmi podrobný DMR, ideálně z dat LLS. Zejména v členitém terénu pak poskytuje metoda poměrně působivé výsledky (viz obr. 95).

Při praktické realizaci je vhodné stínovaný model reliéfu doplnit vrstevnicemi, které by měly působit poměrně nenápadně, aby nerušily jeho plastické působení. Použité vrstevnice by navíc měly být generalizované, protože neupravené vrstevnice odvozené přímo z negeneralizovaného podrobného DMR vytvořeného z dat LLS nejsou pro účely kartografie vhodné, viz kapitolu 2.2.3. V oblastech skal je žádoucí vrstevnice odmaskovat, aby nedocházelo k jejich slévání a nerušily tím

působení stínovaného modelu. Odmaskování lze provést automaticky podle rastru sklonitosti. Následně je ale potřeba vyřešit místa, kde zůstaly velmi krátké potrháné kousky vrstevnic; to je automaticky řešitelné poměrně obtížně.



Obr. 95. Pískovcový skalní terén znázorněný s využitím stínování.

Vlevo výřez z mapy v průvodu naučnou stezkou Jetřichovické stěny, vpravo výřez z mapy k brožuře Brtnické ledopády, obě vydané Správou Národního parku České Švýcarsko. Struktura a rozčlenění jednotlivých skalních útvarů je z výsledné reprezentace velmi dobře patrné.

Mapy: © Oldřich Holešínský, 2011 a 2015.

Stínování se v nejjednodušším případě přidá do mapové kompozice jako poloprůhledná vrstva bezprostředně nad plošné objekty land use / land cover souvisle pokrývající celou plochu mapového pole. Alternativně je neprůhledné stínování v mapové kompozici „nejníže“ a přes něj jsou poloprůhledné polygonové objekty land use / land cover. Při exportu mapy (alespoň ve stávající verzi ArcMap 10.2) totiž nastavená průhlednost vynucuje zrastrování všech vrstev pod poloprůhlednou vrstvou. Nevýhodou tohoto jednoduchého přístupu je efekt „smývání barev“, kdy se snižuje kontrast mezi světlými a tmavými plochami stínování a výsledek ztrácí na plastičnosti. Pro lepší kontrolu nad výsledkem je proto vhodné použít sofistikovanější způsoby interakce stínování a barevného podkladu (viz např. Nagi, 2012). Obecnou nevýhodou stínování je také to, že ve výsledném obraze působí přivrácené svahy méně strmým dojmem (viz kapitolu 2.2.3). To lze částečně eliminovat vyšším úhlem osvětlení při výpočtu stínování, případně se nabízí rastr doplnit např. vizuálně potlačeným sklonem, čímž částečně vyniknou i skalní stěny na svazích přivrácených ke směru osvětlení.

Jednou z nevýhod popisované metody je, že výsledná reprezentace se velmi špatně edituje. Výsledek přesně odpovídá informaci zachycené v DMR, včetně potenciálních chyb, které jsou při zpracování v členitém terénu nevyhnutelné. V případě nalezení takové chyby je ideální řešení překlasifikovat bodové mračno, z něj znovu vytvořit rastrový DMR a na ten aplikovat zpracování. Nejsou-li originální data k dispozici, lze editovat přímo rastrový DMR. Samotná editace stínovaného modelu reliéfu je sice také možná, ale značně nepohodlná. Podobná potíž nastává i v situaci, kdy je DMR málo podrobný. Na rozdíl od ostatních metod se také do výsledku poměrně špatně zanášejí dodatečné informace, které lze vyjádřit pomocí vektorové reprezentace. Například průchodnost některých partií skal může být ze stínovaného modelu nejednoznačná, vektorovou kresbou ji lze vyjádřit jednoznačněji. Řešením je v tomto případě podrobnější stínovaný model.

Značné problémy jsou rovněž s generalizací. Pro kvalitní výsledek je třeba generalizovat DMR, ideálně se zachováním terénních hran, což je netriviální úkol, a následně stínování vytvořit znovu.

V Česku tyto mapy vytváří Oldřich Holešínský ze Správy Národního parku České Švýcarsko, kde byl DMR z dat LLS k dispozici ještě před plošným laserovým skenováním celé republiky (viz kapitolu 2.5.1. Data TUD pro měřítka map zhruba 1 : 5 000 a menší dobře splňují podmínky použitelnosti popsané v úvodním odstavci. Znázorňování členitého pískovcového reliéfu tímto způsobem tak lze označit za autorský styl tvůrce, použitý v řadě kartografických děl vydaných Správou Národního parku České Švýcarsko. Metoda se v průběhu času vyvíjela, ale základem těchto map je stínovaný model reliéfu, s osvětlením od severozápadu (azimut 315°) a s vyšším úhlem osvětlení (75°), následně vylepšovanými dalšími informacemi odvozenými z DMR.

Obecně tato metoda není příliš využívána, ač je z pohledu množství nutné manuální práce a vizuální a informační kvality výsledku velmi dobrá. Stínování zde má tentýž efekt jako šrafy v klasických metodách analogové kartografie: umožní čtenáři mapy si terén názorně prostorově představit. Navíc je výborná i z hlediska lokální orientace v terénu, protože nese většinu informací zachycených v DMR. Čtení této informace vyžaduje určitou zkušenost, ale po jejím získání je (i na základě autorových zkušeností) tento způsob reprezentace pro lokální orientaci v extrémně členitém pískovcovém reliéfu naprosto ideální. Popisovaná metoda celkově představuje koncepčně zcela odlišný způsob tvorby mapy než je vizualizace vektorové topografické databáze a má spíše blíže k postupům používaným v DTP a počítačové grafice.

Metoda ovšem skýtá potenciál pro realizaci dalších nápadů i v jiném než pískovcovém skalním terénu: nabízí se zkombinovat stínování s výplní polygonů (barvou nebo strukturou), aby byl lépe odlišen skalní a nescalní terén. Půdorys polygonů by ale měl v tomto případě velmi dobře korespondovat s daty LLS, resp. stínovaným modelem reliéfu z nich odvozeným. Nabízí se podobně jako u švýcarského způsobu znázornění nechat ve skalách některé vrstevnice, například zdůrazněné, a reprezentovat je tenkou čarou a případně je odlišit i barevně. Tím by byly zejména méně strmé skály ve výsledku o něco nápadnější.

Na stínování lze pohlížet jako na speciální případ obecnější kategorie reprezentace skal, založené na zpracování rastrového DMR, zejména jeho vysokofrekvenční filtrací. To vede v zásadě k produktům popsaným podrobně v kapitole 2.2.3. Ty lze použít podobně jako stínování (jako poloprůhlednou vrstvu přidanou do mapové kompozice), případně je se stínováním zkombinovat. Na rozdíl od stínování je vhodné je tato data použít pouze lokálně v plochách skalních útvarů. Praktické použití tohoto postupu se autorovi v konkrétním mapovém díle najít nepodařilo, nicméně do této kategorie lze zařadit výstupy některých algoritmů popsaných dále v kapitole 4.5.2.

Hodnocení metody

globální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

lokální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

časová náročnost: snadné až velmi snadné, za předpokladu existence DMR splňujícího výše uvedené podmínky

jednotnost: bezproblémová

možnost automatizace: bezproblémová

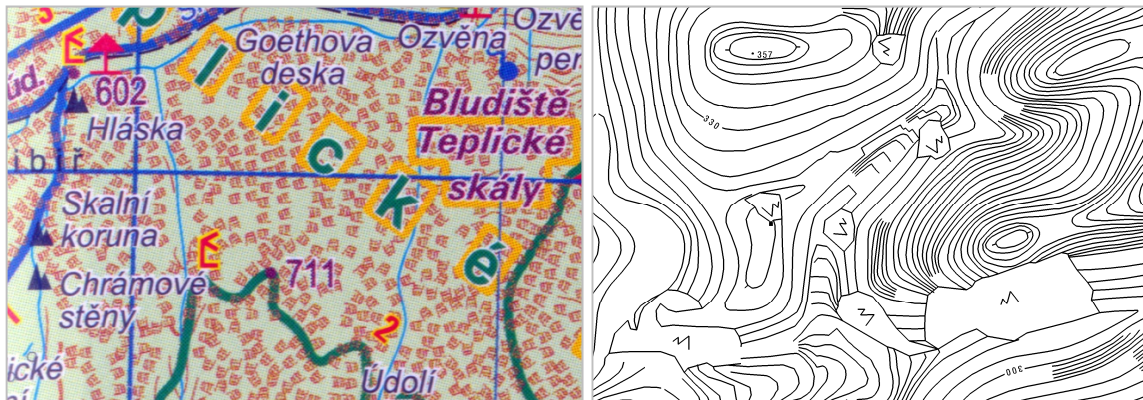
možnost generalizace: teoreticky snadná (stačí převzorkovat DMR na nižší rozlišení), ovšem pro dosažení dobrého výsledku obtížná, vede na obecný problém generalizace modelů reliéfu

grafická podoba výsledku: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

celkové shrnutí: perspektivní přístup s vynikajícím poměrem výsledku a potřebného času. Stojí a padá s kvalitou dostupného podrobného DMR. Velmi obtížné (ve srovnání s ostatními popisovanými metodami) může být doladění některých lokálních detailů skalního terénu.

4.3.3 Bodové symboly

Základem této metody je bodový symbol představující typicky jednu stylizovanou skalní šrafu, respektive jeden element žebříčkové manýry. Tento symbol je obvykle asymetrický, tj. lze u něj označit horní a dolní část v tom smyslu, že by měl být orientován tak, aby vzhledem k terénu byla jeho horní část umístěna vždy výš než část dolní. Tyto symboly se postupně umísťují do půdorysu skalního útvaru a následně se orientují (rotují) tak, aby byly korektně umístěny vzhledem ke směru spádu podle uvedené podmínky. Těmito symboly se postupně a ne zcela pravidelně zaplní plocha celého polygonu (ukázka na obr. 96 vlevo). Do této kategorie lze zařadit i reprezentaci skal pomocí obrysové linie s jedním bodovým symbolem umístěným uprostřed polygonu, který může být orientován podle směru spádu nebo převládajícího rozměru polygonu. Tato metoda se používala na některých listech SM 5 (ukázka na obr. 96 vpravo).



Obr. 96. Reprezentace skal metodou bodových symbolů.

Vlevo: Pískovcový terén zachycený metodou bodových symbolů. Teplické skalní město, v originále 1 : 50 000, digitálně zpracovaná mapa z populární edice KČT. Zvětšeno. Vpravo: výškopisná složka rastrové podoby SM 5 využívající pro každý polygon jeden orientovaný symbol.

Mapa vlevo: © Trasa, 2007; mapa vpravo: © ČÚZK, 2016.

Bodový symbol lze vytvořit v libovolném grafickém softwaru a exportovat ho ve vektorové podobě (např. jako emf soubor), v programu na tvorbu fontů (např. Font Creator Professional) či nakreslit přímo v kartografickém softwaru (OCAD, v ArcGIS for Desktop pomocí kartografických reprezentací). Pro kartografa znamená použití této metody vytvořit bod symbolizovaný tímto symbolem a následně ho otočit. To na jednu stranu umožňuje značnou flexibilitu, na druhou stranu znamená značné množství práce. Tu by bylo možné ušetřit díky tomu, že blízké symboly mají tendenci být orientované stejným směrem. Popsanou úsporu umožňují dále popsané metody vertikálních a horizontálních linií (viz dále v kapitolách 4.3.4 a 4.3.5).

Hodnocení metody

globální informace: lze relativně dobře zachytit pomocí umístění a orientace symbolů

lokální informace: s ohledem na uniformitu použitého symbolu a nutné mezery mezi symboly velmi problematické

časová náročnost: velmi náročné. Je nutné vyplnit polygon bodovými symboly, dodržovat při tom rovnoměrnost jejich rozmístění (které by ale nemělo být úplně pravidelné) a ještě tyto symboly natáčet podle směru spádu.

jednotnost: v případě ruční tvorby problematická, opakovatelnost výsledku není zaručena, ale výsledná reprezentace nese srovnatelné množství informace

možnost automatizace: poměrně dobrá, je-li k dispozici DMR generalizovaný pro měřítko mapy. Lze postupovat například tak, že se opakovaně umísťují bodové symboly, než je celý polygon vyplněn. První symbol umístí na náhodné místo dovnitř polygonu, spočítá se jeho natočení podle

směru spádu (například postupem popsáným v kapitole 3.4.4), a po jeho umístění se označí jeho okolí jako zpracované. Další symbol se umístí tak, aby nezasahoval do již zpracované oblasti.

možnost generalizace: problematická, hustota symbolů závisí na rozměru symbolu a měřítku mapy, obecně nelze snadno umístěné symboly „zředit“, při vhodném poměru zmenšení mapy to teoreticky možné je, ale postup není přímočarý

grafická podoba výsledku: průměrná až podprůměrná, výsledek může vzdáleně připomínat žebříčkovou manýru

celkové shrnutí: pracná metoda s diskutabilní kvalitou výsledku, při manuální tvorbě je vhodné ji používat spolu s dále popsány metodami vertikálních a horizontálních linií, poměrně perspektivní z hlediska automatizace

4.3.4 Symboly na vertikálních liniích

Podstatou této metody je vyplnění polygonu skalního útvaru liniemi vedenými po spádnici. Každá linie je symbolizována s opakovaným využitím bodového symbolu, který má opět představovat jednu část žebříčkové manýry. Plocha skalního útvaru se postupně vyplní těmito liniemi v závislosti na velikosti bodového symbolu tak, aby mezi jednotlivými liniemi nezůstaly horizontální mezery. Velikost a rozmístění symbolů po linii je třeba zvolit tak, aby nezůstaly ani příliš velké vertikální mezery. Symbol je orientován ve směru linie. V praxi to znamená, že je linie třeba kreslit jedním směrem (např. po směru spádu), aby byla zaručena správná orientace symbolů. Ukázky možných výsledných reprezentací vytvořených tímto způsobem zachycuje obr. 97.



Obr. 97. Reprezentace skal pomocí vertikálních linií.
Vlevo kar Plešného jezera na Šumavě, vpravo Sněžka v Krkonoších.
Mapa vlevo: © Geodézie On Line, 2016; mapa vpravo: © Mapy.cz, 2016.

Jak vytvořit bodový symbol bylo již popsáno výše, symbolizace nakreslené linie pak spočívá v opakování uvedených symbolů; v ArcGIS for Desktop k tomuto účelu slouží *Marker Line Symbol*.

Hodnocení metody

globální informace: lze relativně dobře zachytit pomocí umístění a orientace symbolů

lokální informace: velmi problematické, mezery mezi liniemi mohou působit zavádějícím dojmem mezery mezi skalami (viz obr. 97 vpravo).

časová náročnost: relativně jednoduché. Je třeba pokrýt plochu celého polygonu a dbát na dostatečný a pravidelný rozstup nakreslených linií a jejich správnou orientaci.

jednotnost: bez větších problémů, opakovatelnost výsledku sice není zaručena, ale výsledná reprezentace nese srovnatelné množství informace

možnost automatizace: složitější, ale možná, je-li k dispozici DMR generalizovaný pro měřítko mapy. Lze použít postup popsáný v kapitole 4.8.4.

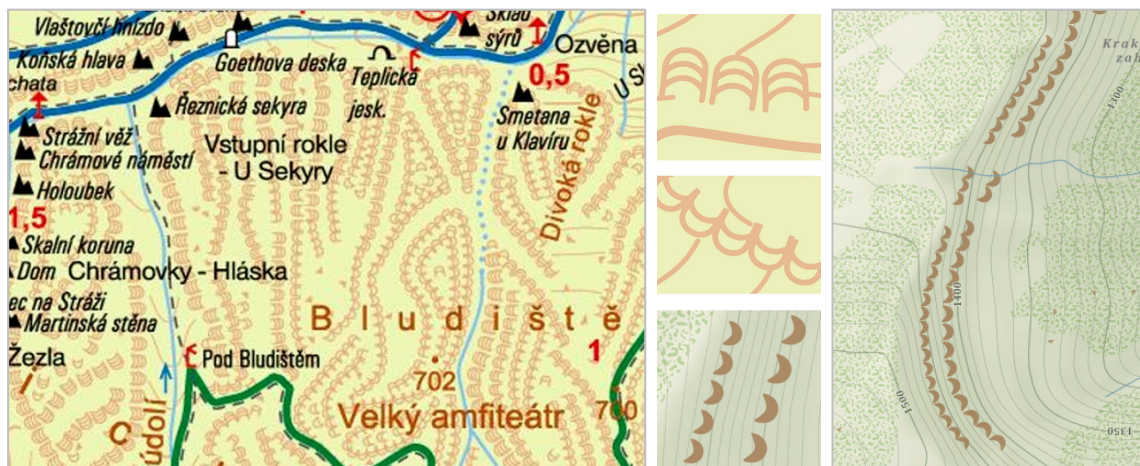
možnost generalizace: problematická, hustota linií závisí na rozměru použitého symbolu a měřítku mapy, obecně nelze snadno nakreslené linie „zředit“. Při vhodném poměru zmenšení mapy to teoreticky možné je poměrně přímočarým způsobem (pro poloviční měřítko vynechat např. každou druhou). Není-li změna měřítka příliš výrazná, postačí pro účely generalizace upravit velikost a rozestup symbolů v definici linie.

grafická podoba výsledku: průměrná, výsledek připomíná žebříčkovu manýru

celkové shrnutí: relativně použitelná metoda s průměrnou kvalitou výsledku, při manuální tvorbě je vhodné ji používat spolu s metodou bodových symbolů a dále popsanou metodou horizontálních linií; perspektivní z hlediska automatizace

4.3.5 Symboly na horizontálních liniích

Analogie k předchozímu způsobu. Podstatou této metody je vyplnění plochy polygonu liniemi vedenými v horizontálním směru. Každá linie je symbolizována s opakovaným využitím bodového symbolu, který má opět představovat stylizovanou část žebříčkové manýry. Plocha skalního útvaru se postupně vyplní těmito liniemi v závislosti na velikosti bodového symbolu tak, aby mezi jednotlivými liniemi nezůstaly přílišné vertikální mezery. Symboly je proto nutné rozmístit ve vhodné vzdálenosti s tím, že jednotlivé šrafy by se neměly příliš překrývat a zároveň by od sebe neměly být příliš vzdáleny. Vzdálenost symbolů v tomto případě může asociovat neprůchodný (symboly se dotýkají) či průchodný skalní terén (mezi symboly jsou mezery). Symboly jsou orientovány kolmo na směr linie. Pro správné vytvoření reprezentace je tedy třeba kreslit linie důsledně orientované jedním směrem (např. tak, že směr dolů je vždy vpravo). Ukázka možných podob výsledné reprezentace je na obr. 98.



Obr. 98. Reprezentace skal pomocí horizontálních linií.

Vlevo pískovcové skalní město v oblasti Bludiště v Teplických skalách, vpravo ukázka z Krkonoš, uprostřed zvětšený detail, z něj je patrný tvar použitých symbolů (podobné symboly jsou použity i na obr. 97).

Mapa vlevo: © Geodézie On Line, 2016; mapa vpravo: © Mapy.cz, 2016.

Praktická realizace v kartografickém software je pak stejná jako u metody vertikálních linií, jen je symbol otočen o 90°. Hlavním problémem uvedeného postupu je, že se špatně vypořádá s proměnlivým rozměrem skalního útvaru měřeným po spádnicí. Snaha o vyplnění polygonu reprezentujícího půdorys skalního útvaru bude úspěšná pouze v případě, že je všude zhruba stejně „široký“. Uvedený problém lze řešit jednak zavedením několika typů linií pro různé šířky skalního útvaru, jednak vrstvením horizontál jedné šířky nad sebe. Druhý z naznačených postupů ovšem není příliš vhodný, protože pak může vznikat dojem přítomnosti ve skutečnosti neexistující terénní hrany asociující stupňovitost objektu. Určité potíže nastávají v také situaci, kdy je nakreslená linie

příliš zakřivená. To může být vynuceno tvarem polygonu. Jednotlivé bodové symboly se začnou buď překrývat, nebo se od sebe příliš vzdalují.

Tato metoda se používá v saském státním mapovém díle na DTK 10 pro skály, které nejsou reprezentovány konturami. Metodu lze v mírně obecnější podobě použít i pro velehorský terén ke znázorňování skalnatých hřebenů. Ty není nutné kreslit jako dvě rovnoběžné linie, ale je vhodnější vytvořit další liniový symbol, který má šrafu na obě strany od hřebene. Tento postup je použit například v práci Veverky (2006).

Hodnocení metody

globální informace: lze relativně dobře zachytit pomocí umístění a orientace symbolů

lokální informace: při vhodné volbě symbolů lze omezeně reprezentovat, viz poznámku o průchodnosti výše v textu

časová náročnost: relativně jednoduché. Je třeba pokrýt plochu celého polygonu a dbát na dostatečný a pravidelný rozstup nakreslených linií a jejich správnou orientaci.

jednotnost: bez větších problémů, opakovatelnost výsledku sice není zaručena, ale výsledná reprezentace nese srovnatelné množství informace

možnost automatizace: v obecném případě poměrně složitá, složitější než v případě vertikálních linií. Je-li k dispozici DMR generalizovaný pro měřítko mapy, lze při tvorbě horizontál vycházet z vrstevnic.

možnost generalizace: problematická, hustota linií závisí na rozměru použitého symbolu a měřítku mapy, obecně nelze snadno nakreslené linie „zředit“. Při vhodném poměru zmenšení mapy to teoreticky možné je poměrně přímočarým způsobem (pro poloviční měřítko vynechat např. každou druhou). Není-li změna měřítka příliš výrazná, postačí pro účely generalizace upravit velikost a rozstup symbolů v definici linie.

grafická podoba výsledku: průměrná až mírně nadprůměrná, výsledek připomíná žebříčkovou manýru

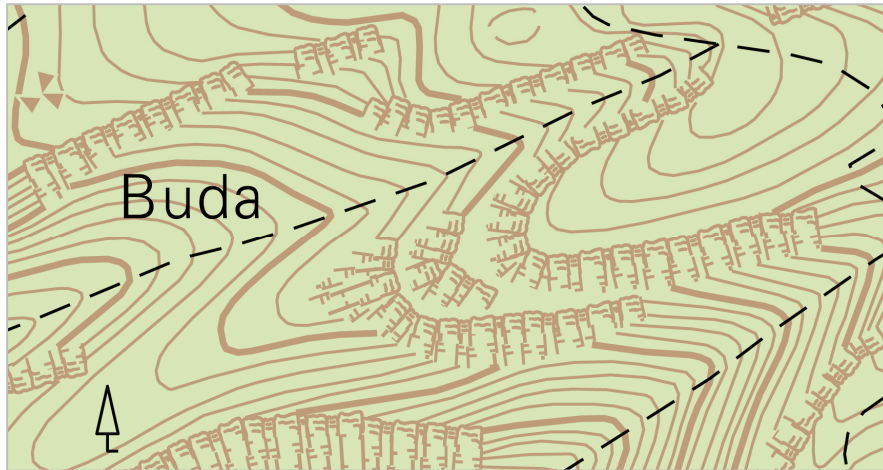
celkové shrnutí: relativně použitelná metoda s průměrnou kvalitou výsledku, při manuální tvorbě je vhodné ji používat spolu s metodou bodových symbolů a metodou vertikálních linií

Metoda horizontálních linií se obvykle kombinuje s metodou bodových symbolů a vertikálních linií (viz kapitoly 4.3.3 a 4.3.4). Bodový symbol se použije v případě, že je potřeba pouze jedna šrafa, horizontální linie se použijí v případě úzkých protáhlých polygonů a vertikální linie v ostatních případech. Jednotnost reprezentace je pak zajištěna tím, že se ve všech třech případech použije tentýž symbol.

4.3.6 Metoda používaná Zeměměřickým úřadem na základních mapách

Metoda vyvinutá a používaná na ZÚ pro znázorňování skal na základních mapách měřítek 1 : 10 000 a 1 : 25 000 (v této kapitole dále jen jako metoda ZÚ) představuje kombinaci přístupů z kapitol 4.3.4 a 4.3.5. Představuje poměrně úspěšný pokus o digitální zpracování žebříčkové manýry a dosahuje dobrého poměru mezi množstvím nutné ruční práce a kvalitou vytvořené reprezentace. Jeví se tak jako nadějný kandidát pro automatizaci tvorby kartografické reprezentace skal (dále viz kapitole 4.7), proto bude popsána poněkud podrobněji. Ukázka reprezentace skal vytvořené touto metodou je na obr. 99.

Podrobnější popis této metody, postavený na informacích od ZÚ a na podrobném prohlédnutí většího množství obrazů skal v digitální podobě ZM 10 byl publikován v článku Lysák & Traurig (2013), v doplněné podobě pak v práci Lysák (2015b). Z těchto zdrojů vychází i popis v této kapitole, kde je navíc doplněn o další postřehy a souvislosti, viz např. Box 10: Autorství metody pro kreslení skal na mapách Zeměměřického úřadu na str. 170.



Obr. 99. Ukázka reprezentace skal vytvořené metodou ZÚ.
Výřez z digitální podoby ZM 10.
Mapa: © ČÚZK, 2016.

Kartografické zpracování nejpodrobnější topografické mapy ZM 10 vychází v zásadě z dat ZABAGED (viz kapitolu 3.1). Při zpracování jde o to, aby kartograf polygony objektů typu *Skalní útvary* vyplnil stylizovanými šrafami, které mají připomínat žebříčkovou manýru, ale nemusel tyto šrafy celé nakreslit čárku po čárce. Za tímto účelem bylo vytvořeno několik liniových symbolů, které se chytrým způsobem kombinují tak, aby co nejlépe vystihovaly charakter skalního útvaru. Vlastní polygonový objekt není v mapě vůbec zobrazen a je použit pouze jako pomocná vrstva pro odmaskování vrstevnic, které v některých případech mohou do plochy skal zasahovat.



Obr. 100. Od linií ke šrafám metodou ZÚ.
Vlevo šedě polygon objektu typu *Skalní útvary*, modře a červeně linie, které musí nakreslit kartograf. Červené linie jsou tvořené horními symboly, modré linie jsou dolní linie a zelené šipky znázorňují směr jejich nakreslení. Vpravo je výsledná reprezentace, jejíž jednotlivé části pro lepší názornost rozlišeny barvou. Podrobnější vysvětlení v textu.
Zdrojová data: © ČÚZK, 2016.

Prvním krokem je vytvoření symbolů pro stylizované šrafy (viz obr. 101). Tyto symboly budou v dalším textu označovány jako horní symboly nebo jako hlavy. Symboly tvoří dvě skupiny, které mají rozdílnou výšku. Smyslem existence více symbolů v rámci skupiny je snaha o dosažení větší nepravidlosti výsledné reprezentace (viz dále).



Obr. 101. Horní symboly připomínající části stylizovaných šraf.
Vlevo skupina vyšších symbolů (pro širší linii), vpravo skupina nižších symbolů (pro užší linii). Vysvětlení v textu.
Zdroj: ČÚZK (2011), upraveno.

Na základě horních symbolů jsou definovány linie (dále označované jako horní linie), tvořené symboly uspořádanými vedle sebe jako perly na náhrdelníku. Kartografové ZÚ je slangově označují jako „pajďuláky“. Ve většině kartografického software lze tuto reprezentaci snadno vytvořit, např. v ArcGIS for Desktop pomocí *Marker Line Symbol*. Velkou výhodou tohoto

přístupu je, že tvůrce mapy nemusí umístit a natočit každý symbol zvlášť, ale místo toho jen nakreslí linii a software zařídí správnou rotaci, umístění symbolů vedle sebe a jejich návaznost. Symboly se pravidelně střídají, a čtyři symboly již stačí k tomu, aby byla výsledná reprezentace dostatečně nepravidelná. K tomu přispívá také to, že výška a šířka dílčích horních symbolů se mírně liší. V praxi se používají dvě linie: širší (tvořená „vyššími“ horními symboly) a užší (tvořená „nižšími“ horními symboly), viz obr. 102. Při vyplňování polygonu jsou tyto linie kresleny podél horních hran skal, resp. jejich lokálně nejvyšších míst. Pro zvýšení nepravidelnosti se často nekreslí jen jediná linie podél celé horní hrany, ale výsledek se poskládá z kratších segmentů, vzájemně posunutých či oddělených.



Obr. 102. Linie tvořené horními symboly.
Vlevo širší varianta, vpravo užší varianta. Vysvětlení v textu.
Zdroj: ČÚZK (2011), upraveno.

Pro vyplnění zbytku plochy polygonu je použit další typ linií (budou dále označovány jako dolní linie). Ty obecně sledují směr spádu a jsou kresleny tak, aby přímo navazovaly na horní symboly a toto rozhraní nebylo vizuálně patrné. V případě, že je polygon úzký a je dostatečně pokryt symboly horní linie, není dolní linie třeba kreslit vůbec. V případě, že je polygon větší nebo širší, dolními liniemi se vyplní jeho zbytek. Tyto linie tedy odpovídají spádovým čarám z popisu žebříčkové manýry v kapitole 4.1.2. Místo žebříčků jsou na dolních liniích krátké příčné čárky. Ač na první pohled vypadají rozmístěné náhodně, tohoto efektu je dosaženo jednoduchou symbolizací s pravidelným (ale dostatečně dlouhým) intervalem opakování, viz obr. 103. Příčné čárky kartograf kreslit nemusí, ale jsou součástí definice symbolizace linie (v ArcGIS for Desktop lze realizovat pomocí *Hash Line Symbol*). Linie má čárky jen na jednu stranu a jsou typicky umístěny tak, že směřují do prostoru pod širší horní symbol a prostor pod úzkým horním symbolem zůstává nevyplněný. I v tom lze nalézt určitou podobnost s žebříčkovou manýrou. Popsaného chování lze docílit tak, že se jedna linie kreslí shora dolů a druhá opačně (viz obr. 100 vlevo, zelené šipky). Pro vytvoření reprezentace stačí tedy jen jeden symbol dolní linie s příčnými čárkami na jednu stranu (v řešení používaném na ZÚ je to vpravo) a ve výsledné reprezentaci jsou příčné čárky jednou nalevo a jednou napravo.



Obr. 103. Symbol pro dolní linii s příčnými čárkami.
Vysvětlení v textu.
Zdroj: ČÚZK (2011), upraveno.

Uvedený postup také umožní zachytit vnitřní členění skalního útvaru. V případě, že skála vytváří hřeben, nakreslí se dvě protisměrné linie tvořené horními symboly. Podobně, je-li součástí objektu údolnice, jsou na ní dolní linie ukončeny uvnitř polygonu (viz obr. 104).

Při analýze praktické aplikace popsaného postupu na různorodé typy skalního terénu se objevují určité problémy, se kterými je třeba se vypořádat. Jedním z nich jsou plošně velmi rozsáhlé polygony. Je-li rozměr polygonu měřený po spádnici příliš velký a jde o objekt charakteru skalnatého srázu, je výsledkem popsaného postupu značně umělá a schematická kresba. Tento problém lze zmírnit různými způsoby: nepravidelným kladením dolních linií (na obr. 105 vlevo), jejich zvlněním či zkroucením (na obr. 105 uprostřed) či umělým přidáním řady horních symbolů

(na obr. 105 vpravo). Poslední z přístupů je ovšem v obecném případě dosti diskutabilní, protože do výsledné kresby může vnést dojem neexistujících terénních hran asociujících stupňovitost skalního útvaru. Jakkoliv je totiž popsán způsob reprezentace skal velmi schematický, hlava skály vyvolává celkem správný dojem přítomnosti terénní hrany. Obecně je řešení rozsáhlejších nerozčleněných ploch touto metodou problematické a dosáhnout grafické podoby srovnatelné s povedenou žebříčkovou manýrou je obtížné až nemožné.



Obr. 104. Hřbetnice a údolnice zachycené metodou ZÚ.

Vlevo hřbetnice zachycená dvojicí horních linií, vpravo údolnice reprezentovaná dolními liniemi končícími mimo obvod polygonu. Výřez z digitální podoby ZM 10.

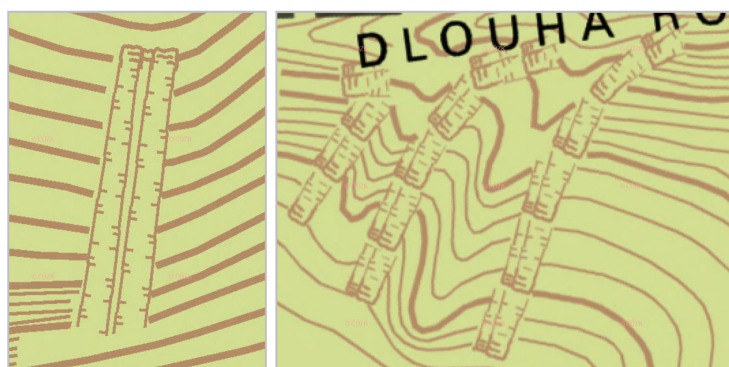
Mapy: © ČÚZK, 2016.



Obr. 105. Přístupy k řešení plošně rozsáhlejších polygonů.

Vlevo nepravidelná kresba dolních linií, uprostřed jejich zvlnění, vpravo sporné přidání horních linií. Podrobnější vysvětlení v textu. Výřezy z digitální podoby ZM 10.

Mapy: © ČÚZK, 2016.



Obr. 106. Přístupy k řešení dlouhých úzkých polygonů orientovaných po spádnici.

Vlevo řešení s dlouhými dolními liniemi, vpravo vizuálně přijatelnější řešení využívající více horních linií. Výřezy z digitální podoby ZM 10.

Mapy: © ČÚZK, 2016.

Podobnou potíž představují úzké polygony výrazně protažené ve spádnicovém směru. Podle popsáných zásad by měly mít ve své horní části horní linii a zbytek by měl být dokreslen dolní linií, přičemž s ohledem na malé množství dolních linií, které se do úzkého polygonu vejdou,

výsledek není ideální (obr. 106 vlevo). Vizuálně lepší řešení představuje v předchozím odstavci kritizované přidání horních symbolů (obr. 106 vpravo). Na rozdíl od předchozího případu zde jednotlivé horní symboly nepůsobí dojmem terénní hrany, ale asociují vcelku správnou představu rozčleněného řetězu skal orientovaného po spádnici. Obecně je tento způsob ale pracnější, protože je třeba horní hrany kreslit a navazovat na ně dolní linie opakovaně. Elegantnějším řešením by bylo pro tuto situaci vytvořit speciální typ linie, na níž by byly jeden (případně dva) symboly umístěné kolmo a opakovaně za sebou. Stačilo by pak nakreslit pouze jednu linii vedoucí po spádnici v ose skalního útvaru. Tento postup by odpovídal metodě symbolů na vertikálních liniích popsané v kapitole 4.3.4.

Další problém nastává v situaci, kdy se délka horní a dolní hrany výrazněji liší a má se dodržet podmínka spádnicové orientace dolních linií. Pokud je totiž horní hrana výrazně delší (skála vytváří amfiteátr), dolní linie se v dolní části začnou křížit. Je nutné je proto zkrátit a nedosahují tak všechny až k dolní hraně či údolnici (obr. 107 zcela vlevo).

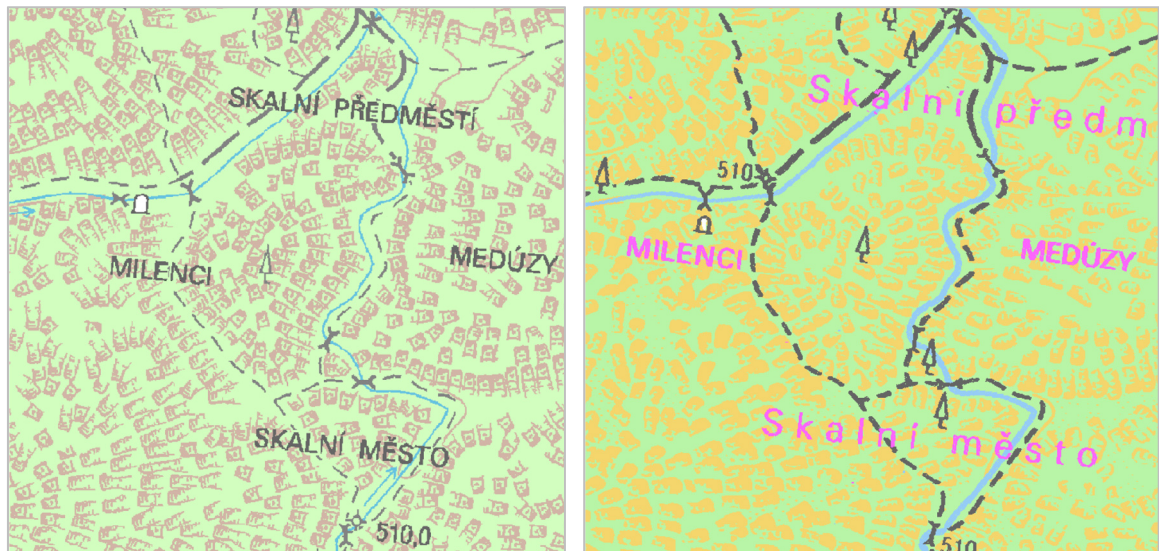
V případě, že je naopak dolní hrana výrazně delší (skála vytváří okraj hřebene), začne mezi elementy vznikat prázdné místo, které je potřeba vyplnit. Zde si lze pomoci přidáním zkrácených dolních linií, které nezačínají až u horních symbolů (obr. 107 uprostřed vlevo). Další možnost je s využitím symbolu pro dolní linii vytvořit umělé horizontály v prostoru dolní části skály mezi dolními liniemi (obr. 107 uprostřed vpravo). Tento přístup je zbytečně pracný.

Speciálním případem uvedené situace se skalním hřebenem je kupa, kdy horní hranu představuje jediný bod. V případě, že je takový skalní útvar plošně nepřilíš rozsáhlý, vzniká problém s tím, jak jeho šrafy do půdorysu skály vůbec vměstnat. Výsledné zobrazení pomocí hlav orientovaných od vrcholu skalního útvaru (případně doplněných krátkými dolními liniemi) pak připomíná květinu, v jejímž středu zůstává prázdná plocha (obr. 107 zcela vpravo).



Obr. 107. Přístupy k řešení v případě rozdílné délky horní a horní hrany skály. Podrobnější vysvětlení v textu. Výřezy z digitální podoby ZM 10. Mapy: © ČÚZK, 2016.

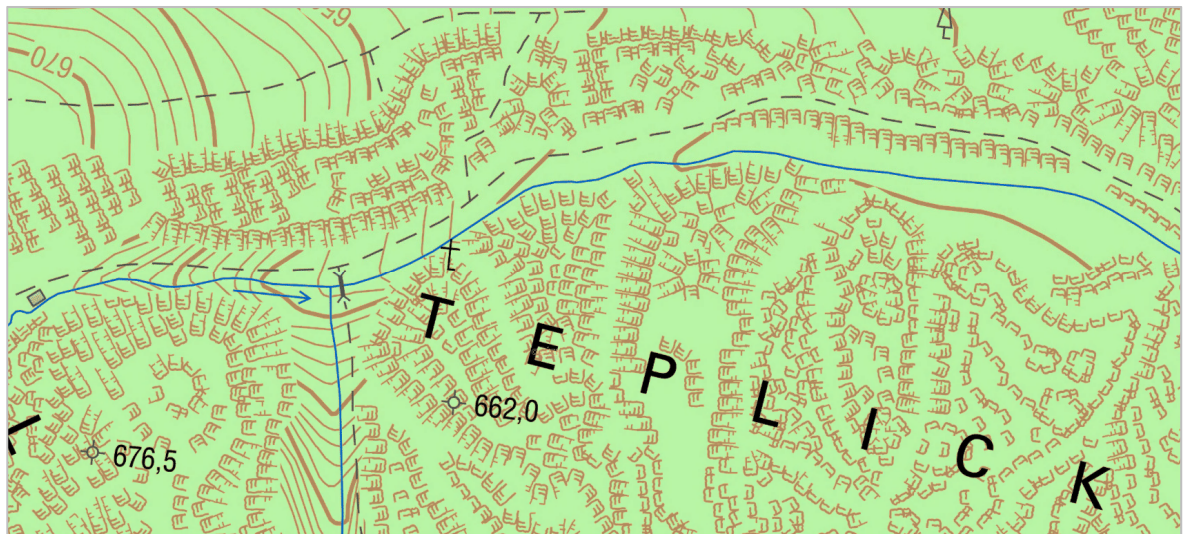
Asi největší potíže má kartograf s využitím popisované metody v oblasti pískovcových skalních měst. Již u žebříčkové manýry bylo konstatováno, že tato metoda je pro jejich znázornění ne úplně vhodná, protože vzhledem k charakteru pískovcového reliéfu není na kresbu skal v podstatě žádné místo. Popisovaná metoda ovšem místo potřebuje, a to minimálně na výšku hlavy užšího symbolu. Velmi členitý terén rozpadlý na jednotlivé skalní věže je na mapě podán hlavami orientovanými ve směru globálního spádu terénu (viz obr. 108 vlevo). To lze vzhledem k charakteru terénu a měřítku mapy očekávat, protože ani na původní ZM 10 nebyly vystiženy detaily skalních věží (viz obr. 108 vpravo). Šrafy se zde nesnaží zachytit jednotlivé věže, nýbrž pouze informovat čtenáře mapy o tom, že jsou zde skály, a případně naznačit jejich hrubé rozčlenění.



Obr. 108. Srovnání digitální a analogové podoby ZM 10 v extrémně členitém pískovcovém terénu.
Podrobnější komentář v textu.

Mapy: Ústřední archiv zeměměřictví a katastru, © ČÚZK, 2016.

V méně členitém terénu lze pak vyjádřit jednotlivé skalní stěny, případně užšími liniemi i rokle (viz obr. 109). Při důsledném dodržování orientace hlav je výsledek sice extrémně schematický, ale určitou informaci nese. Do přehlednosti kresebně podařenější reprezentace v TM 10, resp. analogové ZM 10, má ale daleko (srov. obr. 109 s obr. 79 na str. 142).

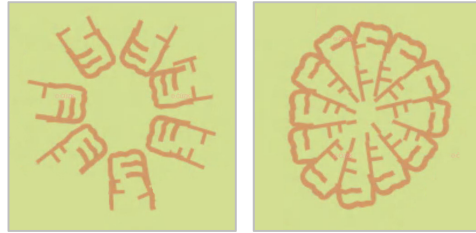


Obr. 109. Ukázka zachycení pískovcového reliéfu metodou ZÚ.

Velmi hrubě jsou zachyceny jednotlivé rokly, vystupující věže a masivy (převážně květinovým, v pravé dolní části i věnečkovým způsobem), výsledný dojem místy stírá nedůsledná orientace šraf. Výřez z digitální podoby ZM 10.

Mapa: © ČÚZK, 2016.

Problém na pískovcích je pak s rozsáhlejšími vystupujícími skalní masivy se strmými stěnami a plochým vrcholem, které je možné v měřítku mapy zachytit. Ty jsou znázorňovány jednak stejně jako vyvýšené skalní kupy v podobě „květinek“ (obr. 110 vlevo), jednak v podobě „věnečků“ (obr. 110 vpravo). Výhodou „květinového“ způsobu je skutečnost, že zachovává orientaci hlav směrem ze svahu dolů. Seskládání hlav ovšem neumožní dobře vystihnout tvar věže a navíc je náročné na prostor. „Věnečkový“ způsob dokáže lépe vystihnout tvar věže, její kolmé stěny jsou pak zachyceny horním okrajem hlavy. Je ale porušeno pravidlo o tom, že horní část hlavy skály tvoří lokálně nejvyšší místo a vzniká tak dojem vhloubeného terénního útvaru se skalními stěnami odpovídajícím spíše propasti.



Obr. 110. Nejednotný způsob kresby pískovcových věží na digitální ZM 10. „Květiny“ (vlevo) a „věnečky“ (vpravo) použité pro kresbu skalních masivů z oblasti Teplických skal. Pro větší názornost odmazány okolní mapové prvky. Výřezy z digitální podoby ZM 10.
Mapa: © ČÚZK, 2016.

Podobné potíže se vyskytují na rozčleněných plošinách, kde je terén sice lokálně velmi členitý, ale v globálním měřítku není celkové převýšení významné. Pomocí hlav lze nelze rozumného vyjádření plošiny dosáhnout. Určitou možnost by představovalo její nakreslení z dolních linií, o což i byly v prvním digitálním vydání určité pokusy (viz např. na obr. 113 vlevo). To je ale extrémně pracné. Jinou – a z pohledu grafické podoby výsledku horší – možností je plošiny „vytapatovat“ pomocí opakování horních linií (viz např. na obr. 113 uprostřed).

Tvorba digitální podoby ZM 10 využívající popsaný způsob znázornění byla zahájena v roce 2001 a do roku 2006 bylo vytvořeno první vydání všech listů pro území celé republiky. Při zpracování se postupovalo manuálně, tj. popsané linie kreslil kartograf na základě analogové ZM 10. Jak bylo zmíněno v kapitole 3.1.2, součástí ZABAGED se totiž nestaly informace potřebné pro zpracování digitální reprezentace skal. Zpracování v letech 2001–2010 probíhalo v softwaru MicroStation a MGE, od roku 2010 jsou mapy vytvářeny novou technologickou linkou IS SMD (Informační systém státního mapového díla), postavenou na technologiích společnosti ESRI. Při přechodu na nový systém byly linie tvořící kresbu skal namigrovány z výkresů v MicroStationu s tím, že vizuální podoba reprezentace se změnila jen velmi nepatrně.

Geometrie horních a dolních linií skal v ZM 10 je součástí interní databáze ZÚ Data10, jejíž obsah není běžně dostupný. Skály tak představují jednu z výjimek, kdy výslednou kartografickou reprezentaci nelze vytvořit výhradně na základě dat ZABAGED, ale jsou k tomu potřeba doplňkové informace vytvořené kartografy. To se při tvorbě ZM 10 týká velmi malého množství objektů, krom skal například technických šraf („fousů“) u dvoučarých terénních stupňů vyjádřených horní hranou a patou. Vedení speciální geometrie pro kartografické účely, která není bez nutnosti interaktivní práce odvoditelná z podkladových topografických dat, představuje z pohledu automatizace mapové tvorby značnou nevýhodu.

Podobný přístup se používá i v Základních mapách měřítka 1 : 25 000, viz obr. 111. Vytvořená reprezentace se negeneralizuje, pro ZM 25 a ZM 50 se kreslí znovu. Pro ZM 100 se obraz skal znovu netvoří, používají se linie a body ze ZM 50 zmenšené na polovinu. V měříkách 1 : 50 000 a 1 : 100 000 se používají pouze bodové a liniové symboly pro horní hranu, dolní linie se nekreslí. Jde tedy o kombinaci bodových symbolů a symbolů umístěných na horizontální linii ve smyslu výše popsané klasifikace metod. Pro měřítko 1 : 200 000 je grafická podoba symbolů ještě navíc zjednodušená (ČÚZK, 2011).

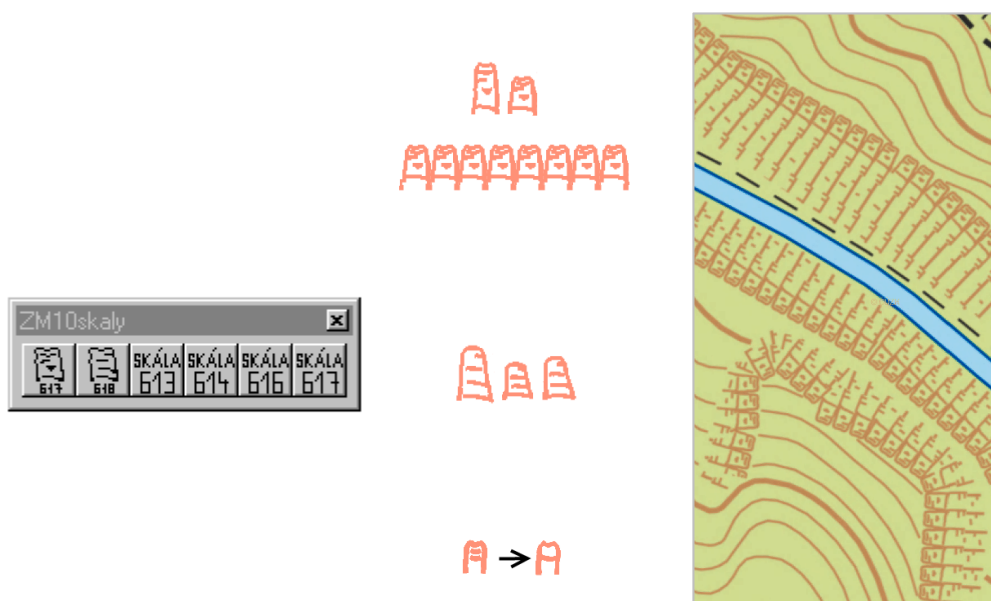


Obr. 111. Symboly pro znázornění skal na digitální ZM 25 a ZM 50. Zleva: dva symboly pro ZM 25: symbol zcela vlevo je kombinací horní linie a dolních linií, symbol uprostřed představuje samotnou horní linii. Vpravo liniový symbol pro ZM 50.
Zdroj: ČÚZK (2011), upraveno.

Box 10: Autorství metody pro kreslení skal na mapách Zeměměřického úřadu

Když se při přechodu na digitální tvorbu ZM 10 řešilo znázornění skalních útvarů na základě polygonů ZABAGED, byla ve hře i varianta vyplnění areálu rastrem, podobně jako je vyřešena na vojenských topografických mapách (viz obr. 92). Vizuální kvalita výsledku byla vyhodnocena jako neuspokojivá, proto bylo navrženo popsání řešení, které se používá dodnes. Jeho autorkou je Ing. Olga Volkmerová ze sedlčanského Odboru kartografie a polygrafie ZÚ, která vytvořila mapové symboly pro ZM 10 a ZM 25. Pro ZM 50 vytvořil symboly Milan Křížek tak, že obkreslil „nejhezčí“ analogové skály ze ZM 50 a z těch vytvořil liniové (tři kopečky za sebou) a bodové (jeden kopeček) značky (viz obr. 111 vpravo).

Zpracování skal v digitální edici ZM 10 prodělalo určitý historický vývoj. Ve starších vydáních digitální ZM 10 bylo původně používáno více typů horních symbolů: jeden pro pískovcové skály (zaoblenější), druhý pro ostatní typy skalního terénu. Použití symbolů vycházelo z historického rozlišování pískovcových skal a dalších jevů ve znakových klíčích, blíže viz kapitulu 3.1.2. Informace o tom, zda je skála pískovcová či nikoliv v ZABAGED není uvedena. Při prvním digitálním zpracování mapy se to rozlišilo podle poznámek topografů k původní analogové mapě. Nicméně ani na ZÚ se již neví, zda toto rozlišení bylo prováděno důsledně. Bohužel i velmi letný průzkum ukázal, že rozlišení důsledné opravdu nebylo, řada pískovcových skal je na ve starších digitálních vydáních ZM 10 zachycena jako skály nepískovcové (například Prachovské skály). Opačnou záměnu se autorovi objevit nepodařilo.



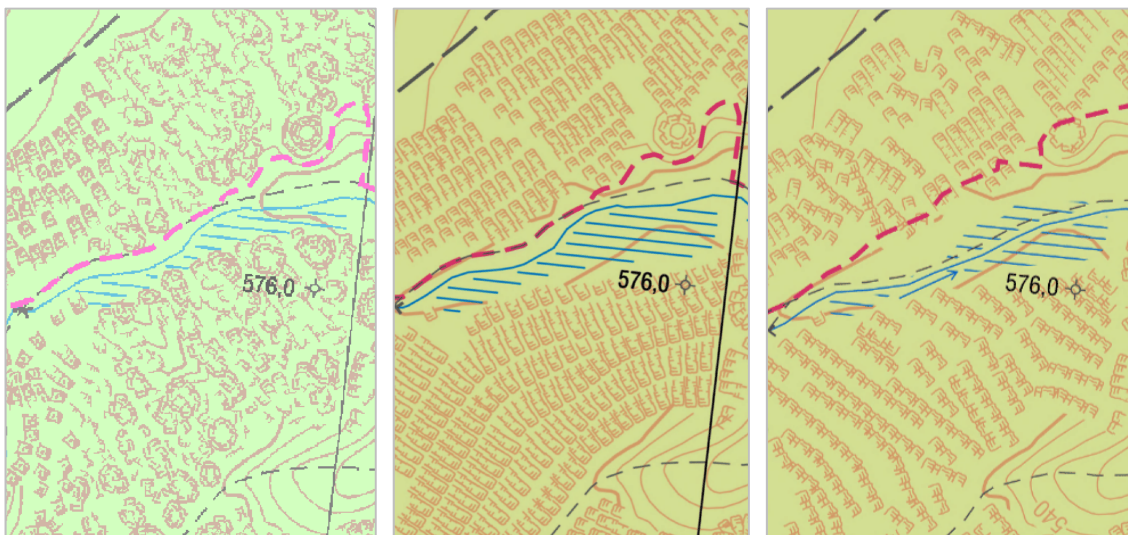
Obr. 112. K historickému vývoji horních symbolů na ZM 10.

Vlevo tlačítko pro tvorbu reprezentace skal v MicroStationu umožňující umísťovat bodové symboly a linie (na rozdíl od dokumentace [ČÚZK, 2006] je zde jeden typ čáry navíc, pravděpodobně pro linie typu „nábojové pásy“). Uprostřed nahoře: řadě horní symboly v minulosti používané pro pískovcové skály (jednotlivé symboly, pod nimi z nich vytvořená linie připomínající „nábojové pásy“); ve středě: v praxi nepoužívané horní symboly pro pískovcové skály; dole: při přechodu na tvorbu v IS SMD upravená varianta horního symbolu pro nepískovcové skály. Vpravo ukázka použití „nábojových pásů“ v digitální ZM 10. Podrobnější vysvětlení v textu.

Zdroj: ČÚZK (2011), upraveno.

Při zpracování v MicroStationu byly kromě uživatelských čar v knihovně buněk připraveny pro malé polygony i buňky jediné skály. Ty se ale moc nepoužívaly. Výsledná kombinace se tedy sestávala z kombinace dvou typů (natočených) bodových symbolů a tří typů linií popsaných výše (ČÚZK, 2006). První typ bodového symbolu, původně používaný pro pískovcové skály, který se již při tvorbě nové reprezentace nepoužívá, je na obr. 112 uprostřed nahoře spolu s linií z něj vytvořenou. U linií tvořených z těchto symbolů pro pískovcové skály menší přechodové symboly chyběly a výsledek měl o něco horší vizuální kvalitu (kartografové výsledné reprezentaci přezdívali

„nábojové pásy“, viz obr. 112 vpravo). Tyto symboly byly tvořeny buňkami v MicroStationu. Při přechodu na tvorbu v IS SMD zmizely z toho důvodu, že v ArcGIS for Desktop není možné buňky roztahovat a deformovat stejným způsobem, jako se to dělalo v MicroStationu, kde se při změně velikosti a poměru stran neměnila tloušťka linie. Střední část obr. 112 uprostřed pak představuje druhý typ bodového symbolu, který se vyskytoval v legendě ke starším digitálním vydáním ZM 10, ale autorovi se nikde nepodařilo najít jeho reálné použití v mapách. Při detailním zkoumání lze nalézt určité drobné rozdíly i ve vizuální podobě jednoho horního symbolu používaného pro pískovcové skály, který byl při přechodu z MicroStationu na IS SMD kvůli lepší čitelnosti nahrazen vyhlazenou a zjednodušenou variantou (na obr. 112 uprostřed dole).



Obr. 113. Stejný pískovcový skalní terén zachycený metodou ZÚ třikrát jinak.

Oblast Vlčí rokle v Teplických skalách, tři digitální vydání ZM 10. Vlevo je patrná snaha přiblížit se analogové ZM 10 s využitím dolních linií, uprostřed zjednodušená podoba a vpravo poslední verze vytvořená s využitím stínovaného modelu reliéfu z dat LLS.

Mapy: Geoportál ČÚZK a Ústřední archiv zeměměřictví a katastru, © ČÚZK, 2016.

Při aktualizaci se reprezentace skal přebírá z minulého, již digitálně zpracovaného vydání, a případné opravy či změny operátor opět provádí ručně. Změny nastávají pouze v případě, že se v datech objeví nový polygon vrstvy *Skalní útvary* nebo je změněna geometrie polygonu existujícího. Pro zajímavost lze uvést, že některé oblasti pískovcových skalních měst byly překresleny již třikrát (viz obr. 113), v poslední době i s využitím stínovaného modelu reliéfu vytvořeného z dat LLS. Jak již bylo vysvětleno výše, tato metoda je pro členitý pískovcový reliéf nevhodná ideálního výsledku z pohledu podrobného zachycení informací o rozčlenění terénu uvedenými vyjadřovacími prostředky nelze dosáhnout.



Obr. 114. Návrh možného vylepšení kresby pískovcových plošin s využitím stávajících symbolů.

Vlevo stávající podoba, vpravo podoba navržená. Podobnější vysvětlení v textu. Orientace dolních linií s příčnými symboly vynikne zejména ve srovnání s ortofotem lokality (na obr. 43 vpravo na str. 90).

Mapa vlevo: © ČÚZK, 2016.

Možné drobné vylepšení v souvislosti s pískovci, o kterém by se dalo uvažovat, se týká skalních plošin ohraničených kolmými stěnami. Stěny by bylo možné vyjádřit linií horních symbolů a plošinu pomocí dolních linií, které by byly umístěny opačně, než je obvyklé, tedy nad linií tvořenou horními symboly, a této linie by se navíc nedotýkaly. Pokud by dolní linie navíc byly orientované ve směru hlavního rozčlenění terénu, je výsledek poměrně dobrý, protože kolmé příčné čárky dobře odpovídají vedlejšímu směru puklin. Použití ale přichází v úvahu pouze v omezeném množství situací, viz příklad na obr. 114.

Hodnocení metody

globální informace: dobrá, nepůsobí sice plasticky, ale z reprezentace jsou na první pohled dobře patrné požadované informace o skalním útvaru

lokální informace: s ohledem na velikost horních symbolů většinou problematické, některé informace nicméně lze reprezentovat (viz popis výše)

časová náročnost: středně náročné, pravděpodobně největší potíží je s precizním navazováním dolních linií na horní symboly

jednotnost: velmi dobrá, některé situace ovšem nemají jednoznačné řešení

možnost automatizace: netriviální, ale s určitými omezeními realizovatelná (viz kapitulu 4.7)

možnost generalizace: velmi problematická, zejména proto, že umístění dolních linií závisí na přesném rozměru použitých horních symbolů, který se při změně měřítka mění. Teoreticky lze znovu využít horní linie, pokud nejsou kresleny příliš přerušovaně, dolní linie je třeba při změně měřítka nakreslit znovu.

grafická podoba výsledku: nadprůměrná, z uvedených „jednoduchých“ metod jednoznačně nejlepší poměr množství práce ku přiblížení se žebříčkové manýře

celkové shrnutí: nápaditý a v praxi na státním mapovém díle důkladně otestovaný postup tvorby, obecně ho lze doporučit pro rychlou a relativně zdařilou tvorbu reprezentace skal na mapě velkého měřítka, v níž nejsou extrémně rozsáhlé plochy skal, ve srovnání s tradičními metodami analogové kartografie přesto velmi schematický

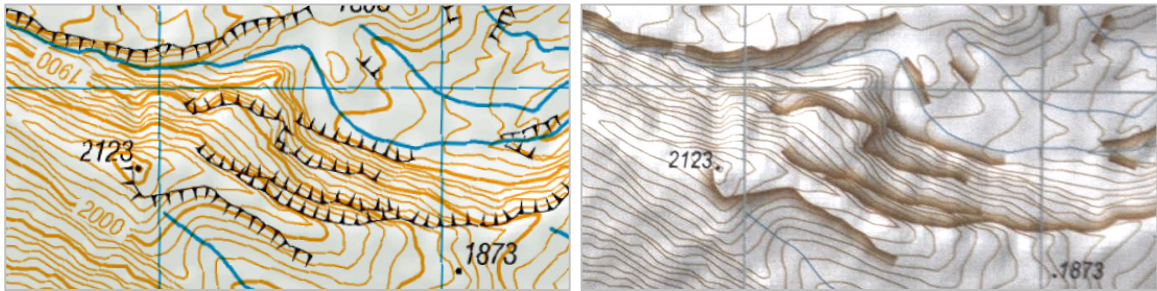
Srovnání reprezentace skal na analogové a digitální ZM 10

Reprezentaci skalních útvarů na TM 10 (která odpovídá podobě na analogové ZM 10) hodnotil ve své práci (Čapek 1973, s. 51–52). Zachycení skalních útvarů na mapě hodnotí vesměs negativně: kritizuje nejednotnost provedení a s přihlédnutím k měřítku nedostatečnou tvarovou věrnost ve srovnání s ostatními terénními prvky. Protože podoba skal na digitální ZM 10 byla odvozena v zásadě pouze z analogové ZM 10, tvarová věrnost nemůže být o nic lepší. V případě, že byla použita žebříčková manýra, je množství informace prezentované v digitální ZM 10 stejné jako v podobě analogové. Pokud se topograf na analogové mapě snažil o lepší zachycení terénu, je s ohledem na větší šablonovitost použitých kartografických vyjadřovacích prostředků digitální mapy podání terénu o něco horší. Tato situace je zachycena například obr. 79 na str. 142 a obr. 109 na str. 168. Ač šablonovitost znázornění skal zvláště v případě rozsáhlejších polygonů výsledek vizuálně poněkud degraduje, paradoxně přináší i určitou výhodu: porovná-li se jednotnost zachycení skalních útvarů, vychází díky použití prostředků digitální kartografie a poměrně důsledně dodržovaným postupům digitální podoba ZM 10 ze srovnání jednoznačně lépe.

4.3.7 Linie či polygony zachycující terénní hrany

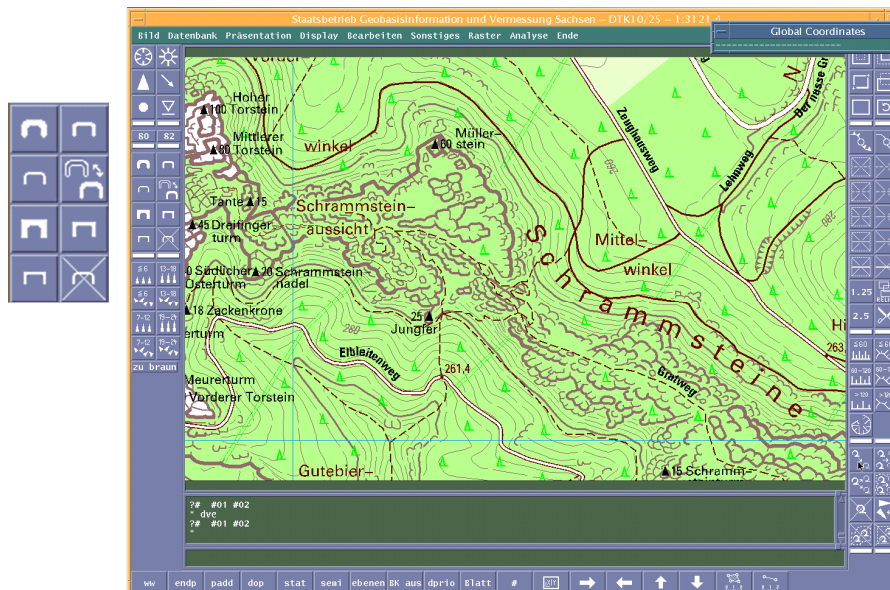
Podstatou této metody je vyplnění polygonu nebo jeho obvodu jednoduše symbolizovanými liniemi, představujícími terénní hrany na obvodu nebo uvnitř plochy skalního útvaru. Na rozdíl od dosud popsaných metod nemají vytvořené linie význam šraf, resp. nepokouší se je napodobit. Hranice mezi napodobováním a nenapodobováním není nijak ostrá, takže se tato metoda volně

prolíná s dalšími metodami popsány dále v kapitolách 4.3.9 a 4.3.10. Zde tedy předpokládáme, že kartograf chce nakreslenými liniemi zachytit reálně existující objekty nacházející se v ploše skalního útvaru, nikoliv vytvořit prostorovou iluzi jako je tomu v případě šraf.



Obr. 115. Reprezentace skalního útvaru pomocí zdůrazněné horní hrany. Podrobnější vysvětlení v textu.
Mapy: © LINZ, 2013.

V nejjednodušší podobě lze tuto metodu použít tak, že se znázorní pouze část obvodové linie skalního útvaru. V úvahu připadá zejména horní nebo dolní hrana ve smyslu definice objektů v kapitole 3.4.1. Použitý liniový symbol je obvykle asymetrický, resp. orientovaný. V případě horní hrany může mít podobu symbolu používaného pro terénní stupně, případně barevného přechodu, viz obr. 115. Obvykle je výraznější u hrany a směrem dovnitř skalního útvaru vyznívá, případně přechází do barvy jeho výplně. Analogický postup lze aplikovat i na dolní hranu, což je vhodné obzvláště na pískovcích. Zvýraznění jednoho typu hran tak v kombinaci s výplní polygonu přináší velmi snadno doplňující informace o charakteru skalního útvaru, viz též kapitolu 3.4.3.



Obr. 116. GUI software používaného pro tvorbu topografických map v GeoSN.

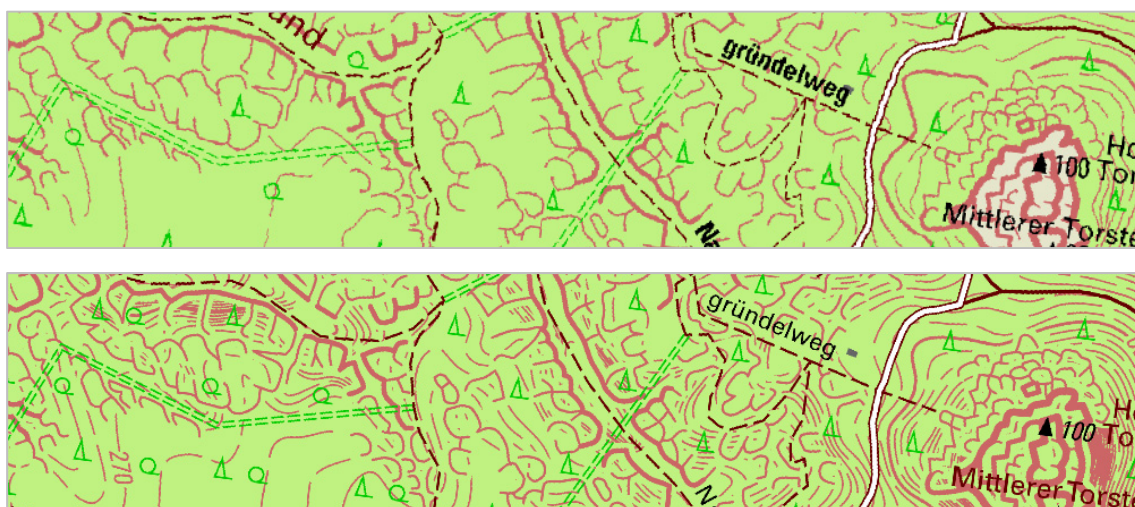
Vlevo zvětšené tlačítko pro znázorňování skal. Vysvětlení v textu. Stav v roce 2012. Srovnajte též s analogovou verzí téže mapy ze stejného území na obr. 86.

Zdroj: GeoSN, 2012.

Do této kategorie patří také digitální zpracování konturové metody, popsané v analogové podobě v kapitole 4.1.3. V saské národní mapovací agentuře GeoSN bylo digitální zpracování konturové metody pro DTK 10 řešeno vektorizací původních rastrových podkladů TK 10. Vektorizovány byly liniové objekty. Pro zpracování liniových objektů do podoby kartografické reprezentace byl vytvořen interaktivní nástroj, který vytváří z linií polygony (použito pro „hranaté“ skály), resp. spliny (pro zaoblené skály), viz obr. 116. Druhá z uvedených variant reprezentace převažuje. Tlačítka odpovídají třem kategoriím pro tloušťku kontury odstupňovaným podle relativní výšky

stěny (do 10 m, 10–25 m, více než 25 m). Tyto kategorie i tloušťka linie výsledné reprezentace pak odpovídá hodnotám uvedeným v předpisu ACD 12 (viz kapitolu 4.1.3), tj. 0,2; 0,4 a 0,6 mm. Linie pro hranaté skály mají rovné zakončení, linie zpracované pomocí splinů mají zakončení zakulacené.

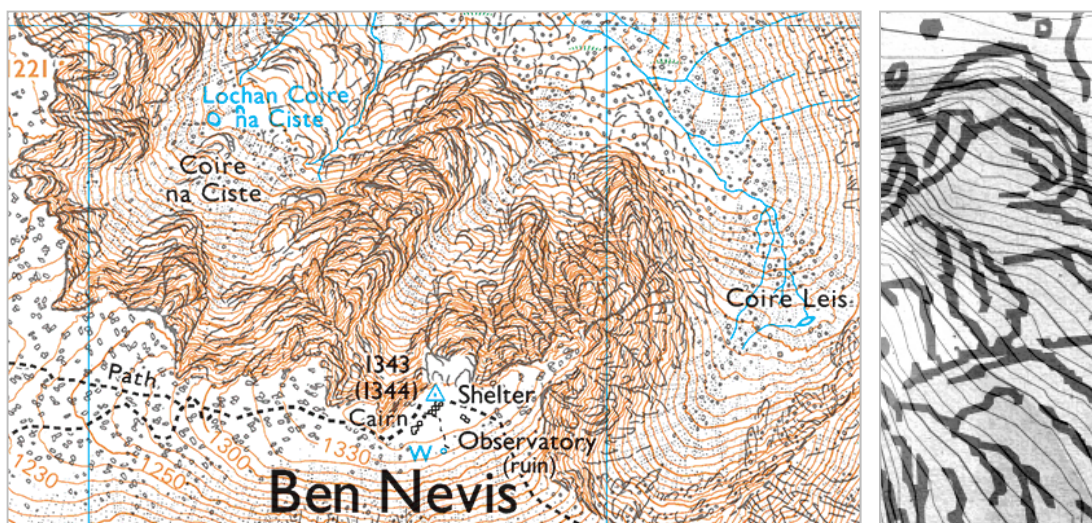
Pro zajímavost lze uvést, že na rozdíl od přístupu ZÚ popsaného v kapitole 4.3.6, se GeoSN při tvorbě kartografické reprezentace skal na topografické mapě DTK 10 objektů z ATKIS-Basis DLM vůbec nedrží, protože zdaleka nedosahují té míry podrobnosti, jaká byla v analogové TK 10. To vede k určitým problémům při interakci s dalším obsahem mapy. Například nově odvozené vrstevnice z dat LLS byly v mapě vyřešeny tak, že byly v oblastech okolo kontur odmaskovány. Výsledek není úplně ideální: na řadě míst zbývají „potrhané“ kousky vrstevnic, u nichž nelze určit výšku, a v místech, kde byly kontury polohově chybně nebo vůbec, pak dochází ke slévání vrstevnic, viz obr. 117.



Obr. 117. Interakce vrstevnic a kontur.

Nahore původní vrstevnice, které byly v souladu s konturami (mapa z roku 2008), dole nově odvozené vrstevnice, které s nimi na některých místech v souladu nejsou (mapa z roku 2016). Výřezy ze saské DTK 10. Podrobnější vysvětlení v textu. Mapa: © GeoSN, 2016.

Existují také mapy, kde se pracuje i s barvou kontur, která pak má význam pro odlišení jednotlivých výškových pater pískovcových skal.



Obr. 118. Kresba skal pomocí polygonových objektů na mapách Ordnance Survey.

Výřez z mapy v měřítku 1:25 000 OS Explorer Map (Scale Colour Raster), vpravo zvětšený a přebarvený detail středu horní části výřezu, ze kterého je patrné, že reprezentaci tvoří polygony nudlovitého tvaru.

Mapa: © Ordnance Survey, 2016.

Metodu v podobě lavírující mezi popisovanou kategorií a šrafami v podobě vektorové polygonové kresby (viz dále v kapitole 4.3.10) používá pro znázornění skal na svých mapách rovněž britská národní mapovací agentura Ordnance Survey (viz obr. 118). V některých případech znázorněné polygony (liniového charakteru) představují skutečné hrany a stěny (kolmé útesy na mořském pobřeží), v plošším terénu se svým významem spíše blíží šrafám.

Ve zjednodušené podobě by bylo možné metodu použít v terénu, kde převládají kolmé stěny nebo srázy. Je ovšem třeba dbát na míru podobnosti zpracování: metoda je přirozeně vhodnější pro lokální orientaci v terénu, tedy zachycení jednotlivých detailů skalních stěn atd. Znázornění by mělo tedy být buď velmi věrné realitě, nebo zjevně schematické (např. v menších měřítkách), aby výsledek uživatele nezmátl.

Hodnocení metody

globální informace: obecně spíše podprůměrná, nepůsobí příliš plasticky, lze vylepšit rozdílnou tloušťkou linií, resp. šířkou polygonů

lokální informace: spíše nadprůměrná, velmi záleží na míře podrobnosti a způsobu zpracování, viz výše v textu

časová náročnost: liší se, v případě využití obvodových linií málo náročné, v případě objektů uvnitř plochy skalního útvaru středně až velmi náročné, zahrnuje ovšem poměrně nenáročné úkoly (obkreslit stěny, určit jejich relativní výšku)

jednotnost: průměrná, pro daný typ reliéfu lze stanovit kritéria vedoucí k jednotnosti

možnost automatizace: obecně netriviální, pro klasifikaci obvodu realizovatelná (viz kapitolu 3.4.4), pro konturovou metodu částečně realizovatelná (viz kapitolu 4.9)

možnost generalizace: obecně velmi problematická, vede na úlohy agregace a zjednodušování linií

grafická podoba výsledku: záleží na míře podrobnosti vstupních dat, od pod průměrné až po velmi dobrou

celkové shrnutí: technologicky přímočarý postup, vhodný ovšem obecně pouze pro specifické typy terénu (s kolmými stěnami, např. pískovcová skalní města)

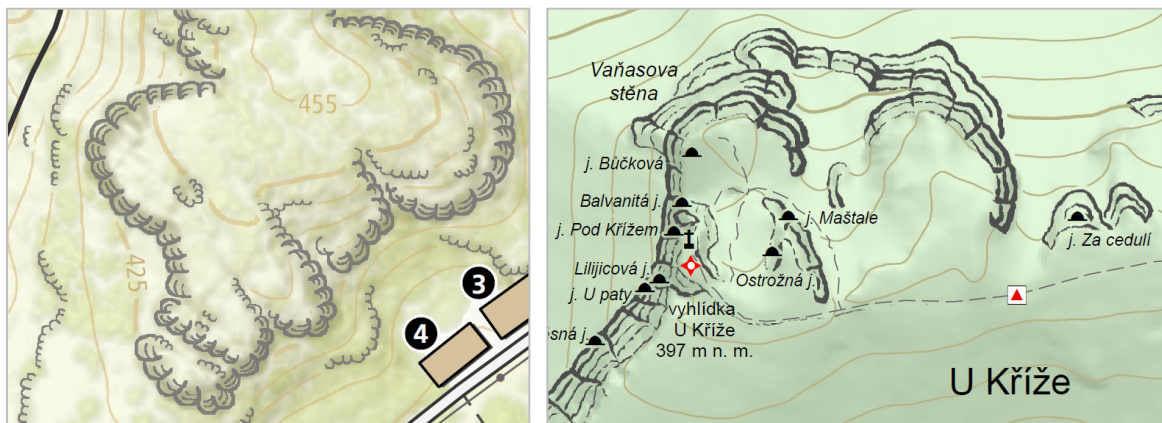
4.3.8 Šrafy jako rastrová kresba

Podstatou této metody je reprezentace obrazu skal pomocí šraf reprezentovaných rastrovým obrazem. Tento obraz lze buď z větší či menší části převzít z existujícího díla nebo vytvořit zcela nově. V případě, že kresba není k dispozici v digitální podobě, je nutné ji nejprve vhodným způsobem naskenovat. Převzetí existujícího díla připadá v úvahu v situaci, kdy jsou k dispozici velmi kvalitní podklady ve vhodném měřítku, jejichž tvorba by enormně pracná. V situaci, kdy je v mapě kvalitní, plasticky působící kresba skal v podobě šraf vytvořených některou z tradičních metod, je poměrně pravděpodobné, že vznikla tímto způsobem. Pro jednorázovou tvorbu mapy je tento způsob velmi efektivní, pro dlouhodobou udržitelnost je ovšem třeba nějakým způsobem řešit aktualizaci.

S tím se velmi dobře vypořádala švýcarská národní mapovací agentura Swisstopo. Popsanou metodou je mj. řešen obraz skal na švýcarských topografických mapách v měřítcích 1 : 25 000 až 1 : 100 000, kde binární rastr o rozlišení 1270 dpi vznikl skenováním podkladů na původních skleněných deskách. Aktualizace obrazu skal původně probíhala ve vektorovém módu (viz dále v kapitole 4.3.9), ale ukázala se jako nepříliš efektivní. Od roku 2009 probíhá v rastrovém režimu v prostředí programu Adobe Photoshop s využitím grafického tabletu, díky kterému lze snadno kreslit linie různé tloušťky pouhou změnou přítlaku na pero. Tento intuitivní postup značně zvyšuje efektivitu práce (Gilgen, Jenny, 2010).

V našich podmínkách je použití tohoto způsobu spíše výjimečné. Šlo by ho aplikovat v situaci, kdy měřítko vytvářené mapy koresponduje s měřítkem některé z map státního mapového díla a zároveň jsou na něm šrafy na ZM 10 / TM 10 zpracované zdařile. Pak by bylo možné naskenovaný rastrový obraz skal převzít a mírně modifikovat, například změnou barvy. To není úplně přímočaré, protože je třeba odstranit ostatní prvky mapového obsahu, nicméně mazání a retušování je výrazně snazší úkol než kresba šraf.

Tato metoda je použitelná při vytváření vizuálně zajímavých map menších území, kde bude časová náročnost zpracování kresby skal akceptovatelná. Příkladem je experimentální mapa lokality Na Tokání v Českém Švýcarsku (výřez na obr. 119 vlevo), kterou pro chystanou publikaci o lokalitě vytvořil Oldřich Holešinský. Kresba šraf probíhala myší v Adobe Photoshop nad rastrem sklonitosti DMR. Jiný experiment byl proveden v bakalářské práci A. Kiššové (2014) při tvorbě mapy Sv. Jana pod Skalou. Šrafy byly v tomto případě kresleny analogově – tužkou. Nejprve byly obrysy skal a další digitální podklady potřebné pro tvorbu šraf vytištěny světle žlutou barvou na hladký papír, tužkou byly vytvořeny šrafy, ty byly následně naskenovány. Skener byl nastaven tak, aby vznikl binární obraz a práh pro černou barvu měl takovou hodnotu, aby byla světle žlutá podkladová kresba ignorována. Výsledný rastr byl následně zgeoreferencován a zkombinován s dalšími digitálními podklady. Ukázka výsledné mapy je na obr. 119 vpravo.



Obr. 119. Skalní šrafy jako rastrová kresba.

Vlevo ukázka pískovcového skalního terénu v Českém Švýcarsku, vpravo oblast Sv. Jana pod Skalou v Českém krasu.
Mapa vlevo: © Oldřich Holešinský, 2014; mapa vpravo: © Adéla Kiššová, 2014.

Obecně se digitální mapy vytváří spíše ve vektorové podobě a šrafy jako rastr do této koncepce příliš nezapadají. Tento problém ale nemusí být nijak zásadní v situaci, kdy jsou při tvorbě mapy použita další prostorová data v rastrové podobě – například stínovaný model reliéfu. Nicméně i bez něj jde o v praxi používané řešení, např. v již zmiňovaném švýcarském či bavorském státním mapovém díle.

Hodnocení metody

globální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

lokální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

časová náročnost: extrémně náročné v případě nové tvorby, málo až středně náročné v případě již existujících digitálních podkladů

jednotnost: problematická, ovlivněno tvůrcem mapy, resp. jednotností použitého podkladu v případě obkreslování

možnost automatizace: dosud otevřený problém, viz dále v kapitole 4.5

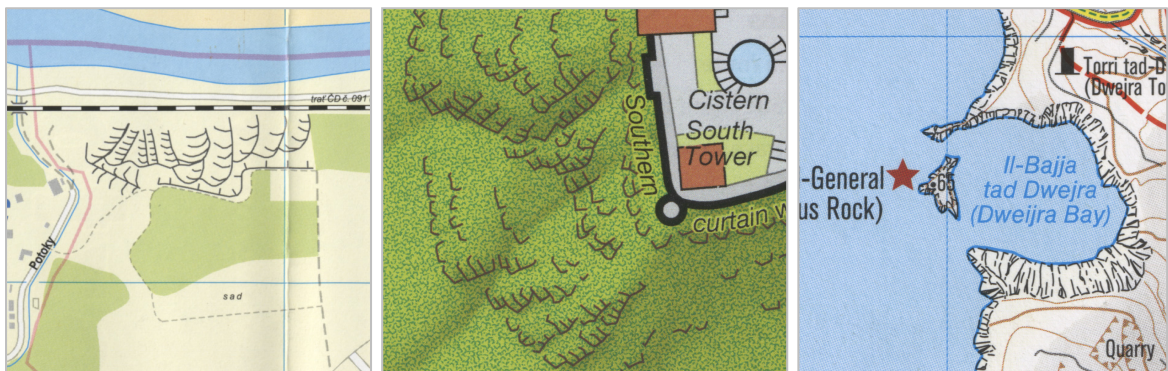
možnost generalizace: žádná není, při výraznější změně měřítka je nutné reprezentaci nakreslit znovu od začátku

grafická podoba výsledku: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

celkové shrnutí: časově extrémně náročný přístup, který dosahuje kvalit klasických metod analogové kartografie. V případě analogové tvorby šraf je i postup tvorby stejný jako v minulosti. Z hlediska praktického nasazení vhodné pro mapy malých území, kde je očekávána velmi vysoká vizuální kvalita výsledku. Vhodné v případě, že lze rastrový obraz adaptovat z již existujících kartografických děl.

4.3.9 Šrafy jako liniová vektorová kresba

Podstatou této metody je vyplnění plochy polygonu liniemi, které mají představovat přímo šrafy. Na rozdíl od předchozích způsobů je symbolizace vytvořené linie jednoduchá: čára hnědé, šedé či černé barvy. Linie mohou mít jednotnou tloušťku či se může jejich tloušťka měnit. Kvalita provedení může značně kolísat: od značně neumělého (obr. 120 vlevo), přes zdařilejší, ale schematické (obr. 120 uprostřed), až po kvalitu blízkou se klasické analogové tvorbě (obr. 120 vpravo).



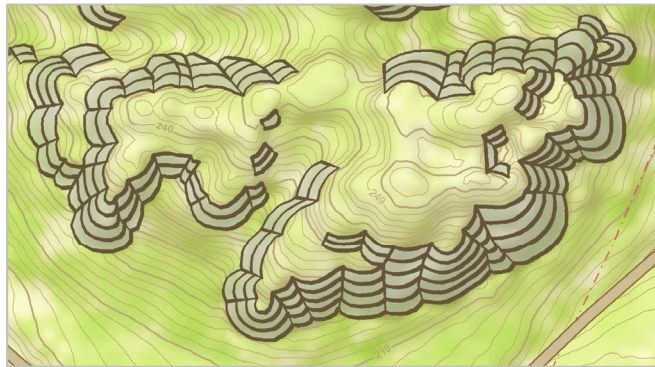
Obr. 120. Šrafy jako liniová vektorová kresba.

Vlevo: výřez z plánu města Roztoky u Prahy (v originále 1 : 10 000), uprostřed výřez mapy hradu Wartburg z atlasu Diercke Weltatlas (v originále 1 : 2000), vpravo výřez z turistické mapy Malty a Goza (v originále 1 : 25 000).
 Mapa vlevo: © Žaket, 2008; mapa uprostřed: © Westermann, 2015; mapa vpravo: © Kompass, 2009.

Má-li být tloušťka linie proměnlivá, lze to řešit několika způsoby. Jeden z nich představuje kresbu šrafy na tom konci, kde je ji třeba zesílit, ohnout do protisměru (a v části šrafy tak mít de facto dvě linie vedle sebe). Tento způsob byl po krátkou dobu používán ve Swisstopo při aktualizaci kresby skal v softwaru LorikCartographer (Gilgen, Jenny, 2010). Kresba šraf tímto způsobem byla nicméně vyhodnocena jako značně neefektivní a byla nahrazena kresbou v rastrovém režimu (viz výše v kapitole 4.3.8). Druhá možnost, která se nabízí, je kreslit šrafu po částech, a každé části přiřadit určitou tloušťku jako atribut. Tloušťka každé části navíc nemusí být nutně konstantní, např. OCAD (na rozdíl od ArcGIS for Desktop) podporuje spojitě proměnlivou šířku šrafy. Podle citované práce lze tento způsob doporučit ještě méně než předchozí, protože kartograf musí kresbu neustále přerušovat.

Modifikace tloušťky liniové kresby šraf pomocí atributů byla použita na mapě Dolského mlýna vytvořené M. Tomkovou v rámci předmětu Tematická kartografie na PřF UK v Praze s využitím experimentálních skriptů autora, viz obr. 121. Rozdělení šraf pro účely změny tloušťky linie a její nastavení zde bylo provedeno z větší části automaticky (viz kapitola 4.9.3). Nevýhodou tohoto přístupu je, že vzniká velké množství segmentů (v uvedené mapě jich bylo přes 70 000), jejichž interaktivní vykreslování (závislé navíc na hodnotě atributu) je velmi neefektivní. Při napojování rozdělených šraf je třeba řešit přechody mezi nimi a zakončení šraf. Efektivnějším řešením ve vektorové podobě je pak konverze vytvořené reprezentace na polygony a dále na rastr. Ty se pak vykreslují efektivněji; rastr je z tohoto pohledu lepším řešením. Nevýhodou konverze je ovšem ztráta možnosti reprezentaci relativně snadno upravovat, což lze u linií relativně snadno. Prakticky

konverze probíhá tak, že se z každého segmentu v závislosti na hodnotě atributu vytvoří nárazníková (obalová) zóna (dále v textu práce jen *buffer*), a výsledné polygony se pak spojí do jednoho pomocí funkce *Dissolve*.



Obr. 121. Šrafy jako liniová vektorová kresba s proměnlivou tloušťkou linie. Výřez z mapy Dolského mlýna, vysvětlení v textu. Mapa: © Michaela Tomková, 2013.

V případě, že je k dispozici pouze mapa v rastrové podobě (nebo tištěná), může být v některých případech obtížné odhadnout, zda jde o vektorovou liniovou reprezentaci či o rastrovou reprezentaci, zvláště v případě, kdy se tloušťka linie mění. Z liniové reprezentace lze přes polygonovou na rastrovou snadno přejít automaticky, obráceně je to obtížnější a při větší tloušťce šraf, které by měly tendenci vytvářet plošky, je to automaticky takřka neřešitelný úkol.

Hodnocení metody

globální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

lokální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

časová náročnost: extrémně náročné v případě nové tvorby, středně náročné v případě obkreslování již existujících digitálních podkladů

jednotnost: problematická, ovlivněno tvůrcem mapy, resp. jednotností použitého podkladu v případě obkreslování

možnost automatizace: dosud otevřený problém, viz dále v kapitole 4.5

možnost generalizace: žádná není, při výraznější změně měřítka je nutné reprezentaci nakreslit znovu od začátku

grafická podoba výsledku: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

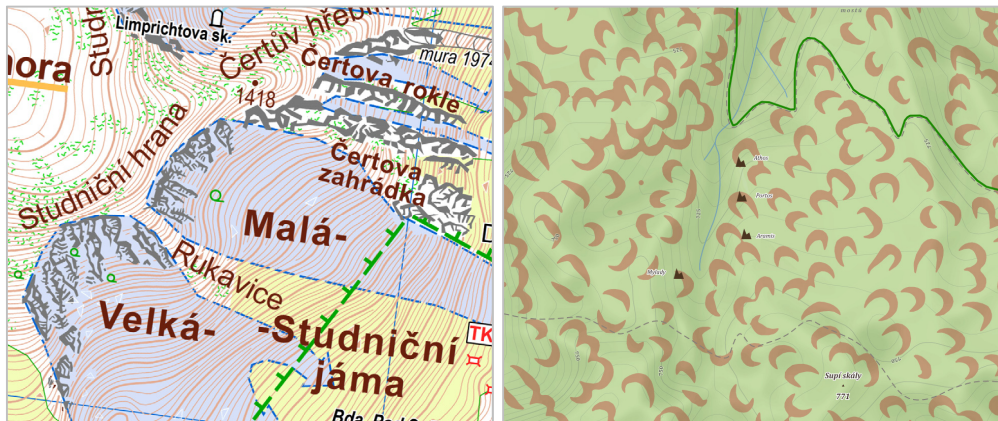
celkové shrnutí: časově extrémně náročný přístup, který dosahuje kvalit klasických metod analogové kartografie. Mírně pracnější ve srovnání s tvorbou v rastrové reprezentaci, obzvláště v situaci, kdy je třeba manuálně měnit tloušťku linie. Výhodou je ovšem větší flexibilita, např. snadnější dodatečná změna tloušťky linie, je-li zachycena atributem. Z hlediska praktického nasazení vhodné pro mapy malých území, kde je očekávána velmi vysoká vizuální kvalita výsledku.

4.3.10 Šrafy jako polygonová vektorová kresba

Podstatou této metody je vyplnění plochy polygonu skalního útvaru polygony představujícími šrafy. Jde o podobný přístup jako v kapitole 4.3.9, jen kresba není tvořena liniemi ale polygony. Od metody půdorysných polygonů popsaných v kapitole 4.3.1 se tato metoda liší tím, že nevyplňuje celou plochu polygonu, ale jen jeho části, a výsledek má připomínat některou z klasických analogových reprezentací. Dobrý příklad pro pochopení rozdílu mezi metodami při zobrazení stejného území představuje srovnání obr. 122 s obr. 94 na str. 157.

Tato metoda je v praxi poměrně hojně využívána v situaci, kdy jsou k dispozici podklady, kde je kresba skal zpracována, nejlépe některou z tradičních metod. Znázornění skal pak zahrnuje

pouhé manuální obkreslení této obvykle rastrové reprezentace. To sice může být sice zdlouhavé a pracné, ale je to mechanická práce, méně náročná tvorba než tvorba šraf od začátku. Vektorizace navíc může být provedena i automaticky za předpokladu, že jsou k dispozici dostatečně kvalitní podklady. Před vektorizací je vhodné z rastru odstranit všechny oblasti, kde šrafy nejsou a výsledek převést na binární obraz, kde jedna barva představuje šrafy a druhá pozadí. Automatická vektorizace dá pak použitelný výsledek. V ArcGIS for Desktop je pro účely vektorizace možné použít nástroj *Raster To Polygon* s možností *Simplify Polygon*, která tvarově zjednoduší vzniklé polygony. Polygonová reprezentace může vzniknout i z liniové reprezentace na základě znalosti šířky segmentů (konstantní či spojitě proměnlivé), viz poznámku v předchozí kapitole 4.3.9.



Obr. 122. Šrafy jako polygonová vektorová kresba.

Vlevo: oblast Obřího dolu v Krkonoších (v originále 1 : 25 000), vpravo oblast Bludiště v Teplických skalách na turistické mapě na serveru Mapy.cz

Mapa vlevo: © Kartografie HP, 2015; mapa vpravo: © Mapy.cz, 2016.

Polygonová reprezentace šraf na rozdíl od liniové popsané v předchozí kapitole přináší tu výhodu, že lze snadno simulovat změnu tloušťky šraf. Cenou za to je ale značně nepohodlná editovatelnost výsledné polygonové reprezentace. Podobně jako u předchozí metody, v případě, že je k dispozici mapa pouze v rastrové nebo tištěné podobě, může být v některých případech obtížné odhadnout, zda jde o vektorovou polygonovou reprezentaci či o rastrovou reprezentaci. Mezi těmito reprezentacemi lze snadno navzájem přecházet, což může mít význam v situaci, kdy je třeba reprezentaci editovat (to jde pohodlněji v rastrovém režimu) či rychle vykreslovat (i v tomto případě je rastrový režim lepší volba).

Hodnocení metody

globální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

lokální informace: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

časová náročnost: časově nejnáročnější ze všech popsaných metod v případě nové tvorby, málo až středně náročné v případě již existujících digitálních podkladů

jednotnost: problematická, ovlivněno tvůrcem mapy, resp. jednotností použitého podkladu v případě obkreslování

možnost automatizace: dosud otevřený problém, viz dále v kapitole 4.5

možnost generalizace: žádná není, při výraznější změně měřítka je nutné reprezentaci nakreslit znovu od začátku

grafická podoba výsledku: stejná jako u metod analogové kartografie, tedy potenciálně výborná

celkové shrnutí: časově extrémně náročný přístup, reprezentaci tímto nemá smysl tvořit bez existujících podkladů ručně. Výrazně pracnější ve srovnání s tvorbou v rastrové reprezentaci i liniové reprezentaci. Přímocharé a velmi dobře automatizovatelné řešení v případě, že jsou k dispozici již hotové kvalitní podklady.

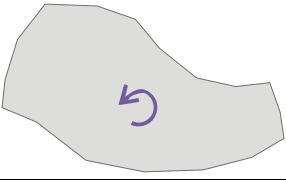
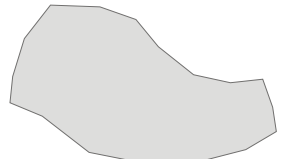
4.3.11 Shrnutí a srovnání v praxi používaných metod

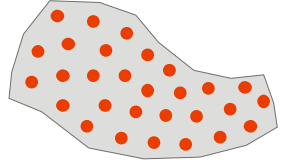
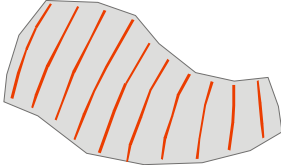
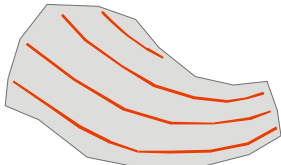
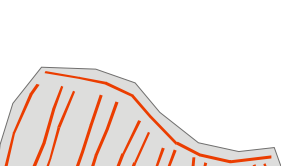
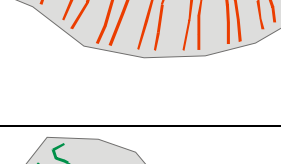
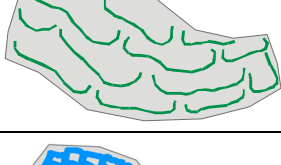
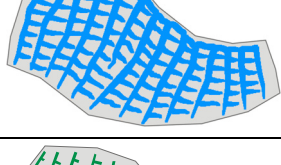
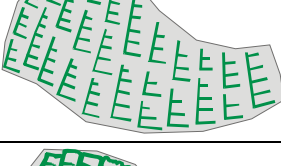
Způsobů, jakými se soudobá digitální kartografie v praxi vypořádává se znázorněním skalních útvarů, je až překvapivě množství. Obecně většina jednoduchých metod působí ve výsledku spíše šablonovitě a schematicky a nenabízí příliš prostoru pro zohlednění morfologických zvláštností jednotlivých typů skalního terénu. V praxi jednoznačně převládá využití metod používajících vektorovou kresbu nad rastrovou. Z pohledu poměru nutné ruční práce ke kvalitě výsledku (ve smyslu shody s žebříčkovou manýrou) lze pro širší použití doporučit zejména kombinaci horizontálních a vertikálních linií. O tom svědčí i fakt, že ji využívají kartografické společnosti vytvářející mapy s celorepublikovým pokrytím, například Geodézie On Line či mapy.cz (viz rámeček Box 11: Skály na serveru mapy.cz) a v sofistikovanější variantě také ZÚ. Oproti tomu kresba šraf (ať již v kterékoliv podobě) zůstává z důvodů extrémní časové náročnosti metodou vyhrazenou pouze pro mapová díla menšího rozsahu, kde hraje významnou roli grafická podoba výsledku. Perspektivní metodou se v případě dostupnosti podrobného a kvalitního DMR jeví stínování.

Box 11: Skály na serveru mapy.cz

Server mapy.cz používá pro znázorňování skal na turistické, letní, zimní, fotografické a zeměpisné mapě několik výše popsaných metod. Základním symbolem pro kresbu skal je symbol ve tvaru rohlíčku (půlměsíce) v několika velikostech, viz obr. 98 uprostřed dole na str. 162. Ten se v mapě objevuje ve formě symbolů umístěných jak na vertikálních, tak na horizontálních liniích. V některých oblastech je použita polygonová vektorová kresba šraf. Ta vznikla zjednodušeným obkreslením skal z map pro orientační běh. Obkreslovány byly linie, které byly následně symbolizovány se spojitě proměnlivou šířkou (čímž vznikl tvar podobný rohlíčku) a výsledek byl převeden na polygony. V místech, kde tyto podrobné podklady nebyly k dispozici, byla použita zjednodušená reprezentace pomocí symbolů na vertikálních a horizontálních liniích.

Pro názornější srovnání jednotlivých metod je dále v tab. 15 uveden jejich přehled z pohledu časové náročnosti práce kartografa. Tento přehled vychází z předpokladu, že jsou k dispozici polygony skalních útvarů a úkolem je vytvořit kartografickou reprezentaci. Pro každou z metod je uvedeno, co je třeba připravit před zpracováním, a co musí kartograf vytvořit manuálně. U každé metody je uvedena grafická ukázka, vycházející z polygonu (označen šedě). Jsou v něm vyznačeny body, linie a polygony, které je třeba nakreslit. Červená barva označuje, že záleží a při tvorbě je třeba dávat pozor na orientaci jednotlivých linií, resp. bodů. V případě označení zelenou barvou na orientaci nezáleží. Modrá barva pak vyjadřuje kresbu v rastrovém režimu.

metoda	co je třeba připravit před zpracováním	co je třeba do polygonu manuálně nakreslit	
polygony s výplní	barvu pro výplň, rastr pro výplň		nic, případně jen natočit rastr
stínování a jeho varianty	parametry stínování, barevnou stupnici pro výsledný stínovaný model reliéfu, vyřešit interakci s plošnými vrstvami		nic

metoda	co je třeba připravit před zpracováním	co je třeba do polygonu manuálně nakreslit	
bodové symboly	bodový symbol nebo symboly (tvar, velikost, barva)		umístit symboly a každý z nich natočit
symboly na vertikálních liniích	symbol nebo symboly (tvar, velikost, barva), definici umístění symbolů na linii		nakreslit správně orientované linie
symboly na horizontálních liniích	symbol nebo symboly (tvar, velikost, barva), definici umístění symbolů na linii		nakreslit správně orientované linie
metoda používaná ZÚ na ZM 10 a ZM 25	symboly pro horní část skály (tvar, velikost, barva), definici umístění symbolů na linii/liniích pro horní část skály, symboly pro dolní linie (tvar, velikost, barva), definice umístění symbolů pro dolní linie		nakreslit správně orientované horní linie, navázat na ně správně (střídavě) orientované dolní linie
linie či polygony zachycující terénní hrany a stěny	linie pro reprezentaci stěn (barva, tloušťka, struktura), příp. barva pro výplň polygonové reprezentace		linie správné tloušťky, případně polygony
šrafy jako rastrová kresba	barva, rozmezí tloušťky linií (projeví se jako parametr štětce v rastrovém grafickém editoru)		kompletní kresbu linií po linii
šrafy jako vektorová liniová kresba	barva, tloušťka, příp. rozmezí tloušťky linií		kompletní kresbu linií po linii
šrafy jako vektorová polygonová kresba	barva		kompletní kresba plošku po plošce

Tab. 15. Přehled metod pro digitální zpracování skal z pohledu náročnosti práce kartografa.

Z výše uvedeného je patrné, že současný kartografický software se se znázorňováním skal neumí ideálně vypořádat. Popsané metody představují způsob, jak stávající software využít k více či méně úspěšnému napodobení některé z klasických analogových metod. Obecně platí, že toto napodobení

Lze udělat relativně snadno a pak je špatné (ve smyslu shody s analogovými metodami), nebo je sice lepší, ale je příliš pracné ho vytvořit. V této souvislosti se nabízejí minimálně dvě otázky. Má smysl to vůbec řešit? A pokud ano, není řešením spíše vytvořit doplněk do stávajícího software, než se snažit s využitím stávajících funkcí kresbu šraf složitě simulovat? Odpověď na první otázku přináší následující kapitola 4.4, odpověď na druhou pak kapitola 4.5.

4.4 Kritický pohled na šrafy očima digitální kartografie

Otázka smyslu skalních šraf na topografických mapách byla z pohledu analogové kartografie diskutována již v kapitole 4.1.5. K již uvedenému budou nyní přidány další argumenty související s technologií digitální kartografie a soudobých postupů používaných při zpracování prostorových dat. Autor si je vědom, že zde na rozdíl od kapitoly 4.1.5 podepřené názory kartografických autorit prezentuje do značné míry *subjektivní* názory, vyplývající ale z jeho zkušeností a dlouhodobého sledování této problematiky.

S nástupem geoinformatiky se role mapy jako jediného prostředku pro poskytování prostorové informace poměrně zásadním způsobem proměnila. Konkuruje jí topografické databáze, efektivně reprezentující exaktně změřenou realitu. Ač s tím řada klasických kartografů nebude souhlasit, mapy tím ztratily význam pro účely přesného měření a prostorové analýzy. K tomu slouží negeneralizovaný a lokálně klidně nepřehledný obsah topografické databáze. Neznamená to rozhodně rezignaci na přesnost při tvorbě mapy, nicméně pokud je někde přesnost ve sporu s názorností a přehledností, měly by dostat poslední dvě jmenované vlastnosti přednost; zvláště s klesajícím měřítkem mapy. Brandstätterův přístup popsán v kapitole 4.1.5 reprezentuje přesně to, co je v současné době obsahem digitálních topografických databází – objektivně změřenou realitu. Na mapu lze pak pohlížet jako na jeden z možných způsobů prezentace těchto dat. Jeho hlavní přidanou hodnotou by měla být názornost, srozumitelnost a schopnost rychle předávat informace. Z tohoto pohledu skalní šrafy smysl dávají; roli zde v případě topografických map navíc hraje i určitá kartografická tradice. Analogová kartografie jako obor činnosti starý řádově staletí může být svými zkušenostmi užitečný i pro digitální kartografii, starou v řádu maximálně desetiletí. Zkušenosti z řady oborů lidské činnosti ukazují, že nové technologie nemusí nutně znamenat zahození starých postupů, dávají-li alespoň trochu smysl. Smysl ovšem dávají pouze za předpokladu, že jejich tvorba bude časově únosná, resp. poměr času stráveného jejich tvorbou ku přidané hodnotě výsledku bude adekvátní. To o skalních šrafách z pohledu jejich tvorby ve stávajícím software úplně neplatí.

Za myšlenkou uchopit informaci vyjádřenou v analogové mapě šrafami stojí také návrh objektů pro reprezentaci objektů skalního terénu, představený v kapitole 3.4. Tyto objekty totiž informaci vyjádřenou šrafami nesou, a na základě nich by mělo být možné šrafy vytvořit. Vytvořené objekty lze vizualizovat jednoduchým způsobem s využitím stávajících funkcí GIS software a výsledkem bude informace v zásadě ekvivalentní té, kterou vyjadřují šrafy. Potíž je v tom, že tento způsob vyjádření bude obtížněji srozumitelný a málo názorný, a čtenáři mapy informace o skalním terénu efektivně nepředá.

Roli skalních šraf z pohledu současné digitální kartografie lze tedy vnímat v následujících rovinách:

- šrafy jako nositel informace o detailech skalního terénu. Tato role již není důležitá, může být nahrazena informacemi v topografické databázi,

- šrafy jako prostředek pro efektivní přenos informace. Tato role je stále významná, protože srovnatelně názorný, asociativní a srozumitelný alternativní vyjadřovací prostředek pro znázornění skal dosud neexistuje,
- šrafy jako estetický prvek mapy. Ve srovnání s předchozí role spíše marginální, ale určitý význam stále také má.

Diskuzi lze tedy shrnout tak, že v případě dostupnosti podrobného DMR v kombinaci s vektorovými prostorovými daty popisujícími detaily skalního terénu se lze bez skalních šraf bez větších problémů obejít. Rezignuje se tím ale do jisté míry na názornost a grafickou podobu mapy.

Hledat způsob, jak nakreslit digitálně šrafy, může mít i čistě pragmatické důvody. Příkladem takové situace byla v Česku doba po pořízení dat ZABAGED na podkladě naskenované analogové ZM 10 (viz kapitolu 3.1.2). V oblastech polygonů skalních útvarů nebyl zachycen žádný výškopis (nebyly tam vrstevnice ani DMR). Jediné řešení tedy představovalo do těchto oblastí *něco* nakreslit. Dnes je pro území Česka s ohledem na plošně dostupná data LLS tento argument již bezpředmětný. Stejná situace se ale může opakovat někde jinde, kde jedinou dostupnou podrobnou topografickou informací budou analogové mapy s některou z tradičních reprezentací skal šrafami.

O budoucnosti skalních šraf podle autorova názoru rozhodne to, zda se podaří jejich tvorbu zefektivnit, tj. z podstatné části zautomatizovat. Pokud ano, mají naději zůstat relativně rozšířené jako tradiční kartografický výrazový prostředek pro zachycení skal se všemi svými výhodami. Pokud nikoliv, zůstanou spíše kuriozitou nebo specialitou používanou při tvorbě kartografických děl malých území, kde bude kladen důraz na vizuální stránku mapy a kde budou náklady na manuální práci kartografa řešícího detailně reprezentaci skal ospravedlnitelné. Současná kartografie klade stále větší důraz na aktuálnost prostorové informace a tím i rychlost zpracování mapy i za cenu určité rezignace na její grafickou podobu. Bez možnosti efektivní tvorby tak skalní šrafy v podobě známé z analogových map postupně vymizí zcela nebo budou nahrazeny výrazně zjednodušenou, stylizovanou reprezentací.

Tento proces může být do značné míry ovlivněn i přístupem jednotlivých národních mapovacích agentur, protože jejich data jsou při tvorbě map intenzivně využívána. ZÚ a švýcarské Swisstopo z toho pohledu patří spíše k zastáncům skalních šraf. K jejich „záchraně“ by ostatně měla přispět i tato práce.

4.5 Automatizace kartografického znázorňování skal

Další text práce vychází z předpokladu, že znázorňovat skály šrafami určitý smysl i v době digitální kartografie dávat může. Když si tedy se znázorňováním skal stávající software neví příliš rady, nabízí se přirozené řešení: vytvořit software, který to umět bude. Automatizace, resp. zefektivnění znázorňování skal představuje dosud otevřený problém, který dobře zapadá do aktuálního výzkumu v oblasti digitální kartografie týkající se vizualizace a generalizace prostorových dat, vcelku pravidelně diskutovaný a prezentovaný na mezinárodních kartografických konferencích. Lze na něj též pohlížet jako na určitou výzvu s ne nutně přímým praktickým uplatněním. V tom případě argumenty o míře užitečnosti šraf trochu ztrácí na důležitosti, viz též rámeček Box 12: Automatizace znázorňování skal jako kartografická výzva.

V této kapitole budou nejprve popsány obecné problémy související s automatizací znázorňování skal a dále představeny existující pokusy a algoritmy, které se snaží tento problém řešit. Autorovou snahou bylo přinést v rámci možností úplný výčet toho, co se v této oblasti výzkumu od jejího počátku dělo, s tím, že jsou popsány klíčové myšlenky navržených postupů,

kteřé budou dále v práci použity. Z tohoto důvodu je zařazena i podkapitola věnovaná automatizaci tvorby jiných typů šraf než skalních.

Box 12: Automatizace znázorňování skal jako kartografická výzva

Aktuálnost daného tématu z pohledu soudobého výzkumu v kartografii lze ilustrovat slovy Karla Krize, někdejšího předsedy komise ICA pro horskou kartografii (*ICA Commission on Mountain Cartography*), pronesenými na 26. mezinárodní kartografické konferenci v Drážďanech v roce 2013: „Kdo vyřeší efektivní způsob znázorňování skal v mapách, měl by obdržet jakousi Nobelovu cenu v kartografii.“ Zefektivnění a automatizace znázorňování skal je i jedním z cílů ICA (viz též Bláha, 2015).

4.5.1 Obecné problémy automatizace znázorňování skal

Zásadní problém automatizace znázorňování skal představuje neexistence dostatečně exaktních pravidel pro tuto činnost. Pravidla uváděná v učebnicích, znakových klíčích apod. uvádějí jen obecné zásady, ilustrované na několika příkladech. To je pro algoritmizaci nedostatečné. Lepší způsob proto v praxi představuje zpětné odvozování těchto pravidel na základě podrobného průzkumu již vytvořené reprezentace. Po prohlédnutí většího množství konkrétních řešení problému lze vypořádat obecnější postup, jak je která situace řešena. Ani tato strategie není přímočará, protože výsledek je velmi ovlivněn osobou kartografa a různí kartografové řeší stejné situace různě. To je obecná potíž, se kterou se lze vypořádat například tak, že se z různých řešení téže situace vybere to lepší, přičemž „lepší“ je vztaženo k určitým hodnotícím kritériím. Jinou možností je vybrat to, které je snáze automatizovatelné. Prvním nutným krokem pro automatizaci kresby skal vybranou metodou je tedy podrobné popsání pravidel, na základě nichž kresba vzniká.

Dalším krokem je pak převod těchto pravidel do podoby algoritmu, resp. programovacího jazyka. Ani to nemusí být triviální proces, protože úkol „nakreslit linie podle směru největšího spádu, který se pozná podle analogového vydání mapy“ je sice velmi jednoduchý pro člověka, ale hůře realizovatelný pro počítač, protože ten správný směr takto „nepozná“.

Další otázkou, která s praktickým řešením celého problému souvisí, je míra automatizace. Řešení podobných problémů (např. z oblasti kartografické generalizace) ukazuje, že je obtížné až nemožné vyřešit problém zcela. Z pohledu praxe je mnohem užitečnější takový přístup, kdy se problém vyřeší z podstatné části a zbytek se dořeší manuálně. Při návrhu řešení je tedy vhodné zohlednit i možnost interaktivní práce uživatele, která by měla být efektivní a sloužit k vyřešení těch problémových míst, se kterými si navržený algoritmus/software nebude „vědět rady“, resp. jejich automatizované řešení by bylo příliš komplikované. Pokud se taková situace vyskytuje jen vzácně, nedává smysl investovat čas do návrhu jejího řešení, protože čas strávený efektivně navrženými manuálními úpravami bude ve výsledku kratší než čas potřebný pro vývoj obecného řešení. Existuje-li požadavek se interaktivní manuální práci vyhnout zcela, je samozřejmě alternativní (a v praxi i využívanou) možností také do určité míry rezignovat na grafickou kvalitu výsledku.

Vhodnost jednotlivých existujících metod pro znázornění skal (jak analogových, tak digitálních) pro automatickou digitální tvorbu hodnotil ve svém článku Dahinden (2002). Na základě množství prohlédnutých map rozdělil existující metody do 4 skupin podle náročnosti (a tedy i nákladů):

- do první skupiny patří reprezentace, kterou lze vytvořit zcela automaticky ve standardním (karto)grafickém software. Náklady jsou velmi nízké. Sem patří vyjádření skal vrstevnicemi, výplň barvou, stínovaný model reliéfu či ortofoto.

- do druhé skupiny patří reprezentace, které lze vytvořit speciálními nástroji existujícího software s minimem interaktivní práce. Sem patří především využití textur (viz též dále) a některé historické způsoby kresby skal.
- třetí skupinu představují metody, které jsou částečně nakreslitelné ve standardním softwaru a lze je částečně automatizovat, ale výsledek potřebuje manuální úpravy. Důležité je, že u těchto metod existují jasná pravidla, jak se reprezentace tvoří, a na základě toho může být napsán software. K této skupině lze zařadit tzv. ridge-line reprezentaci (viz dále).
- čtvrtou skupinou jsou metody, kde se musí celá reprezentace kompletně manuálně nakreslit pixel po pixelu. Navíc nejsou k dispozici jasná pravidla, záleží do značné míry na zkušenosti kartografa a celý postup je obtížně algoritmizovatelný. Náklady na tvorbu reprezentace jsou tedy vysoké. Sem patří klasické skalní šrafy.

Přiřazení jednotlivých metod do kategorií je do určité míry poplatné době vzniku textu, nicméně obecný princip platí stále.

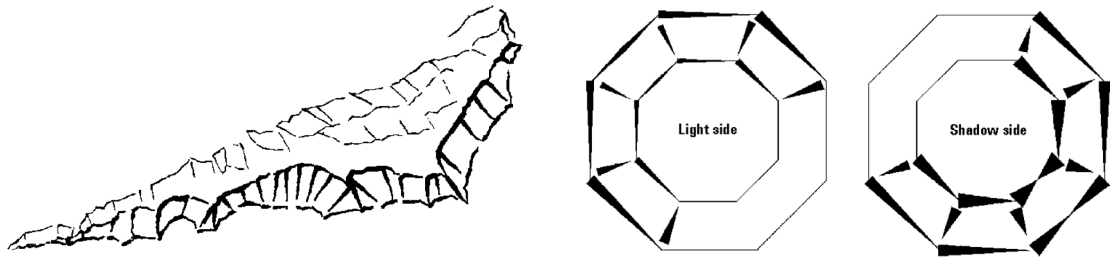
4.5.2 Existující algoritmy pro znázorňování skal

Tato kapitola přináší přehled existujících prací týkajících se automatizace znázorňování skal. Obecně se dají algoritmy rozdělit do dvou základních skupin: jedna z nich vychází z DMR a ideově spadá do kategorie pokročilých analýz nad tímto modelem. Výstupem je rastrový obraz, který se snaží působit stejným vizuálním efektem jako šrafy. Algoritmy využívají klasické analytické funkce GIS (orientace, sklon, stínování) či postupy známé z digitálního zpracování obrazu (filtrace obrazu, detekce hran apod.). Vstupem druhé skupiny algoritmů jsou vektorová data a jejich snahou je automaticky kreslit body, linie či polygony s využitím algoritmů používaných spíše v počítačové grafice zejména z oblasti tzv. nefotorealistického zobrazování (*nonphotorealistic rendering*) či výpočetní geometrie. Existují i algoritmy, které oba přístupy kombinují.

Automatizace znázorňování skal je poměrně málo studovaný problém, kterým se ve světě zabývá pouze několik málo pracovišť a lidí. Z nich je třeba zmínit zejména *Institut für Kartografie und Geoinformation* na ETH ve švýcarském Curychu a tým okolo prof. Lorenze Hurniho, kteří na této problematice pracují dlouhodobě. Možnostem znázorňování skal na topografických se ostatně věnovala již diplomová práce L. Hurniho, dokončená v roce 1989, na kterou navázal dizertační práci týkající se mj. automatizace znázornění skal (Hurni, 1995). Tyto první pokusy o automatizaci znázorňování skal jsou shrnuty v přehledovém článku Hurni & Dahinden & Hutzler (2001). Podstatné jsou zde dvě věci: algoritmus pro tvorbu *ridge-line reprezentace* a algoritmus pro šrafování ploch ve stylu švýcarské metody.

Podstatou ridge-line reprezentace jsou linie reprezentující terénní hrany (viz obr. 123 vlevo). Je-li k dispozici digitalizovaná horní a dolní hrana, algoritmus umí vytvořit spojovací linie mezi nimi, stínovat je, vnést do kresby určitou nepravidelnost a umožňuje zohlednit, zda je stěna konvexní či konkávní. Z parametrů metody je významný zejména navržený model osvětlení popisující, jakým způsobem se mění šířka linie v závislosti na orientaci vůči světovým stranám (viz obr. 123 vpravo). Ze schématu je patrné, že na osvětlené straně jsou linie obecně tenčí, na zastíněné silnější. Vertikální linie se na osvětlené straně zužují směrem nahoru, na zastíněné straně směrem dolů. Horizontální linie jsou na zastíněné straně výše obecně širší a dole užší, na osvětlené straně je tomu naopak, a zužují se směrem od zdroje osvětlení. Pro dosažení klínovitého vzhledu šrafy je dostačující rozdělit linii na 5 úseků. Nepravidelnost je do výsledné kresby přidána náhodnou změnou šířky části a náhodnou změnou polohy dílčích vrcholů (měřené azimutem, odchylka je maximálně 9°). Navržený algoritmus má určitá omezení, například počet vrcholů horní a dolní

hrany musí být stejný, krom toho je poměrně obtížné provést digitalizaci tak, aby byla výsledná reprezentace názorná.



Obr. 123. K ridge-line reprezentaci.

Vlevo výsledná ukázka kresby skal pomocí ridge-line reprezentace, vpravo schéma modifikace tloušťky horizontálních i vertikálních linií v závislosti na orientaci vůči světovým stranám.

Zdroj: Hurni & Dahinden & Hutzler (2001).

Na základě navrženého algoritmu byl napsán program, původně fungující jako dávkový v prostředí operačního systému Unix, později byl vyvinut plugin pro software Macromedia Freehand, který byl následně použit v praxi v minimálně čtyřech mapovacích projektech.

Dalším řešeným úkolem bylo vyplňování plochy šrafami. Plochy pro vyplnění je třeba zvektorizovat ručně a zvolit, zda se mají generovat horizontální nebo vertikální šrafy. Algoritmus pak vyplní oblast šrafami o zadané hustotě či dokáže kreslit jednotlivé šrafy, přičemž mění tloušťku čáry podle stejného principu jako předchozí algoritmus. I tento algoritmus by implementován jako nástroj pro Macromedia Freehand (Dahinden, 2000). Z publikovaných ukázek a i vlastního hodnocení autorů je patrné, že k dokonalosti má navržený postup ještě dost daleko (viz obr. 124).

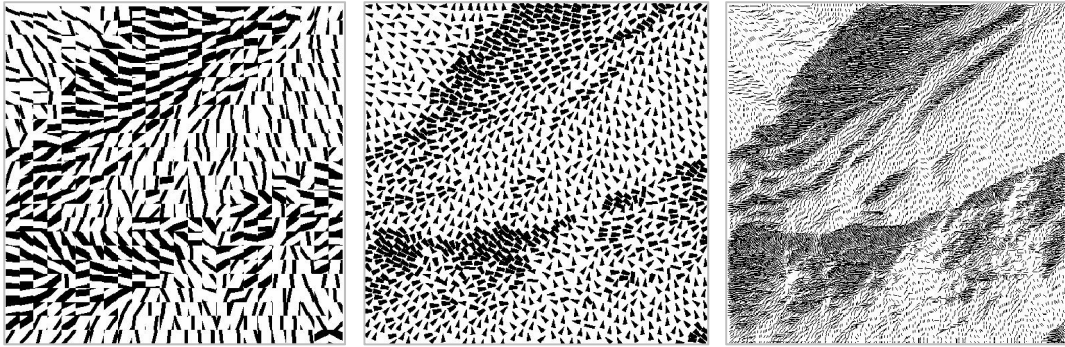


Obr. 124. Výstup algoritmu pro vyplňování ploch šrafami ve stylu švýcarské manýry.

Vlevo výstup algoritmu, vpravo originální předloha, které by se měl výsledek blížit.

Zdroj: Dahinden (2000).

Předmětem dalšího výzkumu byla možnost využití rastrových DMR pro generování reprezentace skal. Tímto tématem se ve své dizertaci zabýval Dahinden (2008), nejdůležitější výsledky jsou pak shrnuty v článku Dahinden & Hurni (2007). Testována byla celá řada možností, kdy na modely byly aplikovány klasické algoritmy z oblasti zpracování obrazu, například vysokofrekvenční filtry, textury orientované podle směru největšího spádu, chybová difúze (viz obr. 125) či různé varianty stínování. Žádná z těchto jednoduchých metod ale nepřinesla ideální výsledky. Jednou z hlavních potíží je nedostatečná generalizace modelu reliéfu, protože výsledné šrafy představují specifickou abstrakci reality (další souvislosti v rámečku na str. 137).



Obr. 125. Reprezentace skal odvozená z DMR podle Dahindena (2008).
Vlevo a uprostřed výsledek mapování textur, vpravo chybová difúze metodou Floyd-Steinberg.
Zdroj: Dahinden & Hurni (2007).

S těmito problémy se z větší části vypořádali až Geisthövel & Hurni (2015). Ve svém článku popisují postup založený na pokročilých algoritmech zpracování obrazu. Zpracování začíná vytvořením abstrakce terénu, ke kterému je využita metoda LIC (*line integral convolution*), která na rozdíl od klasických nízkofrekvenčních filtrů zdůrazňuje hrany a zároveň vyhlazuje plochy mezi nimi. Dalším krokem bylo stínování generalizovaného modelu, přičemž byla použita jeho upravená varianta, která zvyšuje kontrast i ve směru kolmém na směr osvětlení. K výsledku je navíc přidána také křivost plochy pro zdůraznění detailů struktury povrchu na zastíněných místech. Postup je založen na relativně nové technice *gradient domain image processing*, která nepočítá přímo s hodnotami v obraze, ale pouze s jejich derivacemi (rozdíly).

Následně jsou generovány šrafy ve vektorové podobě technikami používanými pro vizualizaci vektorových polí (*streamlines*). Začíná se na libovolném místě, z něj šrafa pokračuje kolmo na směr gradientu a skončí v situaci, kdy narazí na hranu. Iniciální bod další šrafy se určí posunem od bodu šrafy již vytvořené ve směru gradientu. Vrcholy každé šrafy jsou následně mírně posunuty s využitím funkce sinus s přidaným šumem, aby bylo dosaženo jejich charakteristického zvlněného vzhledu. Tloušťka každé šrafy je definována na základě generalizovaného stínovaného modelu reliéfu. Hrany, na kterých kresba šraf končí, jsou extrahovány z generalizovaného stínovaného modelu pomocí Cannyho hranového detektoru, a jsou rovněž přidány ve vektorové podobě do výsledného obrazu. Pro zvýšení kontrastu jsou pak ještě odmazány části šraf dotýkající se hran na osvětlených stranách. Dílčí kroky celého procesu jsou znázorněny na obr. 126.



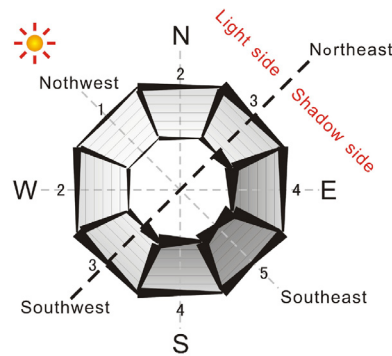
Obr. 126. Generování šraf metodou Geisthövel, Hurni (2015).
Vlevo stínovaný model reliéfu, uprostřed generalizovaný stínovaný model po lokálním zvýšení kontrastu a přidání křivosti,
vpravo výsledné šrafy (jen v oblastech, kde jsou skály, a na podkladě potlačeného stínování).
Zdroj: Geisthövel & Hurni (2015).

Uvedený postup představuje kombinaci pokročilých algoritmů z oblasti počítačové grafiky a jeho výsledky se blíží švýcarské metodě. Některé aspekty ovšem ještě chybí, např. vertikální šrafy pro strmé stěny či možnost aplikovat výrazové prostředky pro zachycení struktury stěn. V době psaní

této práce nebylo zatím k dispozici mnoho ukázek, nicméně metoda byla vyzkoušena mj. na mapě Mount Everestu (Hurni et al., 2015). Obecně je vzhledem k popsaným pravidlům (viz kapitola 4.1.1) je úplná algoritmizace švýcarské metody složitý komplexní a dosud otevřený problém.

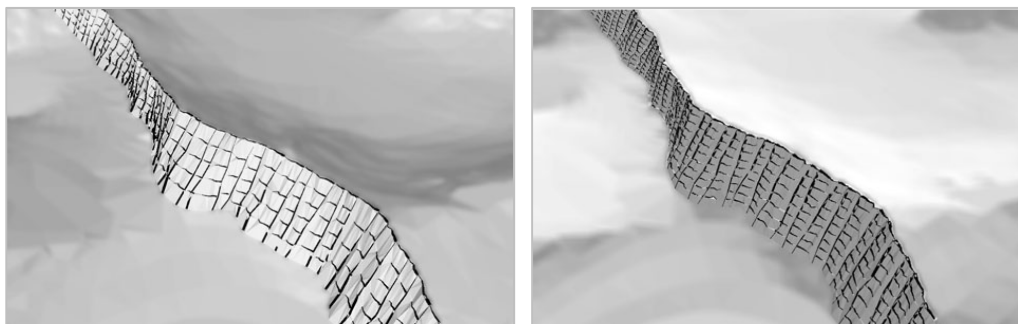
Mimo ETH Zürich lze najít pouze několik prací, které se problematikou automatizace znázorňování skal zabývají. Jednou z nich je Yang & Guo & Shen (2009), kteří vyšli z výše popsaného přístupu pro ridge-line reprezentaci. Vstupem algoritmu je horní a dolní hrana. Následně proběhne jejich navzorkování tak, aby měly stejný počet vrcholů. Ve vzorkování je prvek náhody, aby výsledná reprezentace působila nepravidelně. Na spojnice vrcholů jsou dále navázány spádové čáry (v terminologii autorů *crest-lines*) a na ně příčné čárky (*break-lines*). Rovněž při jejich generování je použit prvek náhody. U spádových čar je stejně jako u ridge-line reprezentace dovolena odchylka o maximálně 9° , v případě příčných čárek činí tato hodnota pouze 5° .

Pro účely výpočtu tloušťky linií a jejich změny se vychází z DMR. Ten je podle orientace vůči světovým stranám překlasifikován jednak na osvětlenou a zastíněnou stranu, jednak do 5 kategorií, odpovídajících schématu navrženému Hurnim (viz obr. 127).



Obr. 127. Schéma pro změnu tloušťky šraf v práci Yang & Guo & Shen (2009).
Čísla udávají jednotlivé kategorie při klasifikaci.
Zdroj: Yang & Guo & Shen (2009).

Následně jsou podle tohoto schématu stínovány horní hrana, spádové čáry a příčné čárky. Dolní hrana není explicitně vyjádřena. Pro každou linii se určí, zda leží na osvětlené nebo zastíněné straně a podle toho se určí její šířka a změna tvaru. Výsledné čáry mají klínovitý charakter. Logika změny tloušťky čáry je pro všechny typy linií stejná jako u ridge-line reprezentace, tloušťka příčných čárek vychází z tloušťky spádové čáry, na kterou je navázána. Výsledná reprezentace pak připomíná žebříčkovou manýru (viz obr. 128). V zásadě stejný postup byl otestován i pro znázorňování závrtů, kdy jsou dolní i horní hrana uzavřené (Yang et al., 2015).

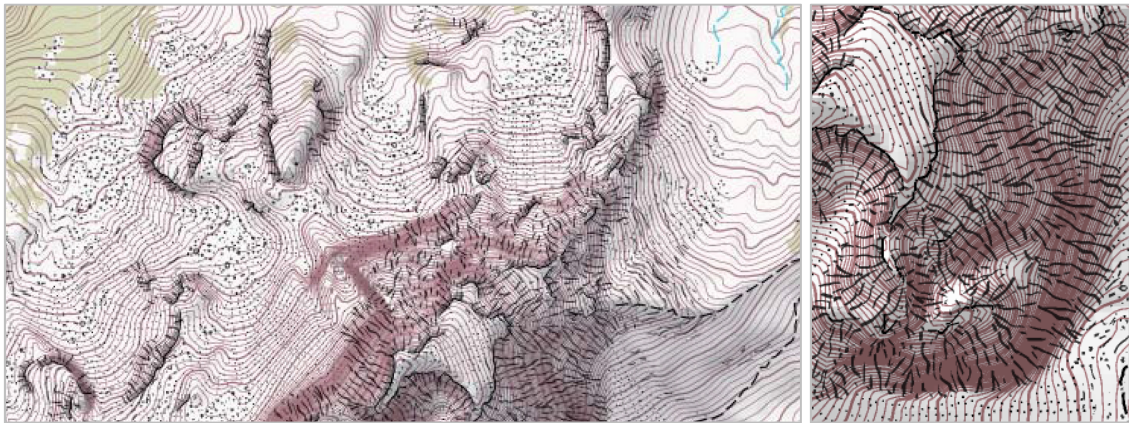


Obr. 128. Kresba šraf metodou Yang & Guo & Shen (2009).
Vlevo kresba pro osvětlenou část, vpravo pro zastíněnou část.
Zdroj: Yang & Guo & Shen (2009).

Zcela odlišný přístup byl použit francouzskou národní mapovací agenturou IGN při experimentech s digitální reprezentací skal na topografických mapách 1 : 25 000 a 1 : 50 000, popsaných

v článcích Gondol & Le Bris & Lecordix (2008a, 2008b). Podstatou znázorňování skal je aplikace textury vázané na sklon a orientaci. Oblasti skal jsou klasifikovány podle orientace vůči světovým stranám do celkem 18 kategorií, rozdělených po 20°. Dále jsou oblasti rozděleny do dvou skupin podle sklonu (s hranicí 100 %, tedy 45°). Pro strmé oblasti jsou použity vertikální šrafy. Vytvořený vzorek je následně natočen podle spočítané orientace svahu, například pro orientaci mezi 0° a 20° je vzorek otočen o 10° a je jím vyplněn celý polygon splňující příslušnou podmínku pro sklon a orientaci. Pro méně strmé svahy je použit jiný vzorek, kde jsou šrafy horizontální a jsou mezi nimi větší mezery. Natočení vzorku je pak podle průměrného směru vrstevnic v každé dílčí zpracovávané oblasti.

Na horní hraně skal je navíc nakreslena dvojice linií. První linie je černá, druhá je tmavě šedá a má mít význam stínu. Černá linie má proměnlivou šířku, aby reprezentace nepůsobila příliš pravidelně. Smyslem této linie je kromě naznačení členění skalního terénu také zvýraznění přesnější hranice potenciálně nebezpečné oblasti, která by jinak pomocí šraf nebyla dostatečně zřetelná. Výsledná reprezentace je na obr. 129.



Obr. 129. Automatizovaná reprezentace šraf pomocí natočených vzorků podle IGN.

Vlevo širší pohled na výslednou reprezentaci (z důvodů nekvalitní reprodukce v citovaném článku poněkud rozostřený), vpravo detail výsledné reprezentace.

Zdroj: Gondol & Le Bris & Lecordix (2008a, 2008b).

Do určité míry podobný přístup je popsán v práci Grünwald & Kriz (2015). Navržený postup se skládá ze tří kroků: v prvním kroku se spočítají charakteristiky odvozené z DMR (sklon a orientace) a tyto hodnoty se přenesou na vygenerované horizontální a vertikální linie. Dále jsou ručně vytvořeny terénní hrany a hranice skalního terénu. Ve druhém kroku se podle sklonu a orientace na základě vytvořených linií vygenerují horizontální, resp. vertikální šrafy (ty pouze v místech, kde je sklon větší než předem daná mez). Tloušťka šraf je modifikována podle principů osvětlení od severozápadu. V posledním kroku je upravena geometrie šraf tak, aby bylo dosaženo jejich ostře lomeného, nepravidelného vzhledu.

Jiný přístup, rovněž využívající podrobný DMR, je popsán v článku Pattersona (2014). Podstatou metody označované jako *texture shading* je kombinace klasického stínovaného modelu reliéfu a speciálního typu textury. Tvorbu této textury lze intuitivně chápat jako vysokofrekvenční filtraci či zaostření DMR, které zdůrazní jeho detaily. Výsledek reprezentuje v určitém smyslu relativní výšky vůči okolí, přičemž světlé pixely znamenají vyvýšená místa (hřeben) a tmavší pixely místa relativně nižší (údolí). Matematicky jde o variantu Laplaceova filtru (*fractional Laplacian*) s parametrem, který určuje míru detailu. Pro určitou hodnotu přechází tento filtr v klasický Laplaceův hranový detektor. Výsledná reprezentace je zachycena na obr. 130. Autor metody na základě provedených experimentů konstatuje, že tato metoda funguje nejlépe v situaci, kdy členitý skalnatý terén vystupuje nad mírně sklonitá údolí.

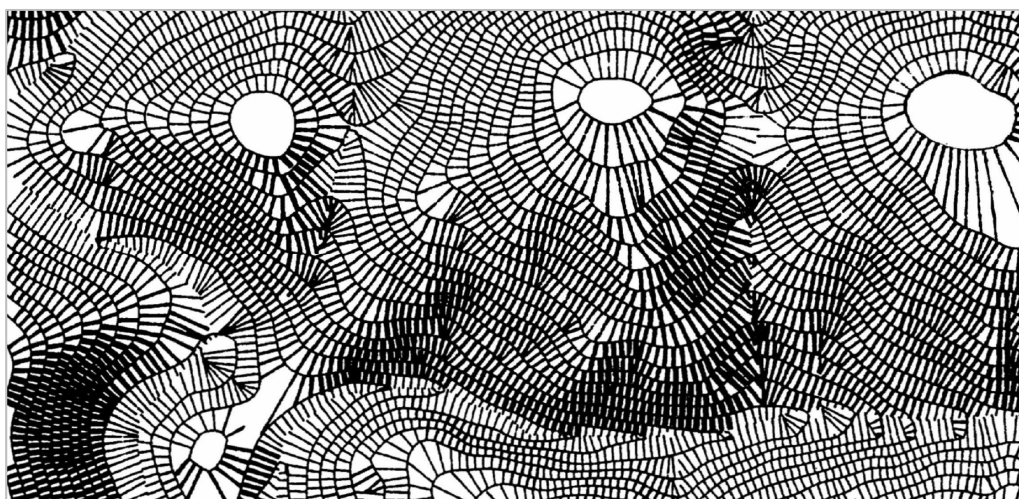


Obr. 130. Znázornění skal s využitím metody texture shading.
Citadel Mountain (Montana), kombinace šedé textury a běžového stínovaného modelu reliéfu.
Zdroj: Patterson (2014).

4.5.3 Existující algoritmy pro tvorbu šraf

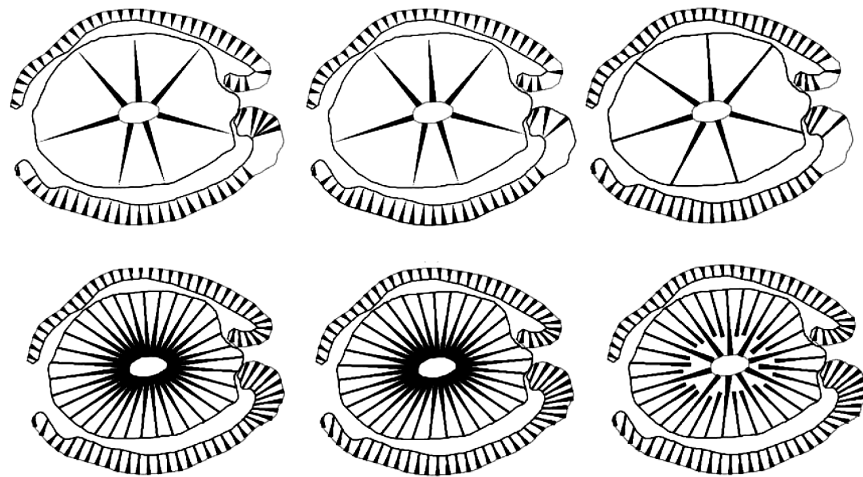
Z pohledu algoritmizace znázornění skal jsou užitečné také myšlenky některých algoritmů pro tvorbu šraf, ač tyto primárně nebyly určeny pro skály. Proto zde budou podrobněji popsány vybrané práce vztahující se k tomuto tématu, jejichž myšlenky jsou použity dále. Obsáhlejší přehled metod pro tvorbu šraf lze nalézt v diplomové práci K. Rohelové (2014), jejímž vedoucím byl autor.

Jedním z průkopníků automatizace zpracování složitějších kartografických vyjadřovacích prostředků týkajících se výškopisu byl Pihnas Yoeli. Ve svém článku (Yoeli, 1985) vychází z vyhlazených vrstevnic. Šrafy jsou linie začínající v pravidelných rozstupech na vrstevnicích, jejich orientace je určena pomocí osy úhlu určeného předcházejícím, aktuálním a následujícím bodem na linii. Šrafa je ukončena na prvním průsečíku s dolní vrstevnicí, případně tak, aby neprotínala jinou šrafu. Při tvorbě linie lze přidat rovněž linie terénní kostry (zejména údolnice), šrafa pak může být ukončena na nich. Článek nijak neřeší uzavřené vrstevnice. Metoda pracuje i s tloušťkou linie, založenou na výpočtu sklonu a orientace plošky vymezené okolo šrafy (podobně jako u klasického stínování). Výsledek je zachycen na obr. 131.



Obr. 131. Stínované šrafy vytvořené metodou Yoeli (1985).
Zdroj: Yoeli (1985).

Vylepšení této metody je popsáno v článku Regnaud & Mackaness & Hart (2002). Jejich algoritmus je primárně určen pro tvorbu technických šraf do map využívaných v archeologii. Šrafy jsou zde rovněž reprezentovány úsečkami. Podstatou je postupné vylepšování polohy iniciálních šraf, které jsou podobně jako u Yoeliho vytvořeny v pravidelných rozstupech jako kolmice na horní hranu srázu. Vylepšování má několik fází: nejprve se vyřeší průsečíky šraf, a to tak, že dvě protínající šrafy se odstraní a nahradí jejich průměrem. Tento postup se opakuje až do doby, než jsou všechna křížení vyřešena. Další krok spočívá ve zprůměrování orientace mezi sousedními šrafami, čímž se vizuálně lépe sjednotí. Následně jsou do mezer vzniklých kvůli vyhadzování šraf vloženy nové šrafy, a dále se nepravidelné mezery mezi šrafami upraví průměrováním tak, aby každá šrafa ležela uprostřed mezi dvěma sousedními. V posledním kroku jsou šrafy ležící blízko sebe zkráceny. Celý postup je zachycen jako sekvence shora zleva doprava dolů na obr. 132.



Obr. 132. Generování šraf metodou Regnaud & Mackaness & Hart (2002).
Obrázek zachycuje postup generování od vyřešení křížení iniciálních šraf. Podrobnější vysvětlení v textu.
Zdroj: Regnaud & Mackaness & Hart (2002).

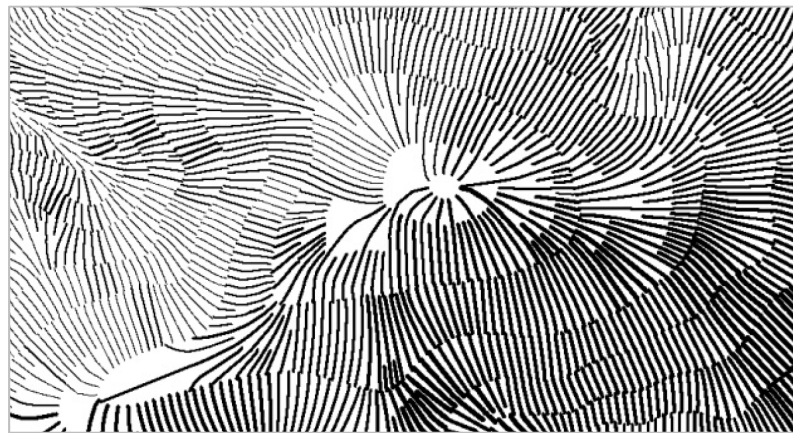
Jiný přístup k tvorbě šraf využila ve své diplomové práci K. Rohelová (2014). Vychází se z vrstevnic, kterými je celá oblast ke zpracování rozdělena na jednotlivé pásy. Ty se zpracovávají nezávisle na sobě. Nejprve se vytvářejí pravidelně rozmístěné iniciální šrafy, které jsou od sebe dostatečně daleko, aby se neprotínaly a ovšem ne příliš daleko, aby tvar sousedních dvou nebyl extrémně odlišný. Šrafa není reprezentována úsečkou, ale polylinií.

Generování iniciální šrafy začíná na mezilehlé vrstevnici, která má výšku v polovině mezi vrstevnicemi tvořícími horní a dolní okraj pásu. Šrafa je generována postupně. Vždy se ve výchozím bodě vypočítá směr největšího spádu, v tomto směru se nakreslí úsek předem dané délky a jeho konec představuje nový výchozí bod, kde se spočítá směr největšího spádu znovu. Takto se postupuje, dokud se nenarazí na okraj pásu nebo údolnici. Analogicky se postupuje od prvního iniciálního bodu na mezilehlé vrstevnici směrem vzhůru.

Následně jsou mezi iniciální šrafy postupně doplňovány šrafy mezilehlé s využitím metody *medial axis*, která spočítá linii ležící „uprostřed“ mezi dvěma zadanými polyliniemi. Postup je rekurzivní; nejprve se mezi iniciální šrafy doplní jedna mezilehlá, dále se doplní mezi iniciální a nově vniklou na každou stranu další mezilehlá atd., dokud není dosaženo požadované hustoty šraf. Díky použití *medial axis* se mezilehlé šrafy nikde neprotínají, jsou si velmi podobné a tvoří tak přirozený přechod mezi dvojicí iniciálních šraf. Každá šrafa začíná a končí na vrstevnici na okraji pásu, resp. na údolnici.

Dále se šrafy zkracují v místech, kde jsou příliš hustě. Zkracování probíhá tak, že je pás rozdělen podél mezilehlé vrstevnice na dvě poloviny. Tím vzniknou dva nové pásy. Na okrajových liniích každého nového pásu se zkontroluje hustota šraf, resp. rozestup mezi nimi. Pokud je na obou okrajových liniích vyhovující, příslušný nový pás se dále nezpracovává. Pokud nevyhovuje na obou okrajích, odstraní se v příslušném novém pásu každá druhá mezilehlá šrafa. Nevyhovuje-li hustota jen na jednom okraji, nový pás je opět rozdělen na dva další a celý postup se rekurzivně opakuje. To vede k inteligentnímu a postupnému odstranění šraf v místech velkého zakřivení vrstevnic.

Jako poslední krok se provádí stínování šraf. Vychází se hodnot šedi ve stínovaném modelu reliéfu. Pro každou šrafu se spočítá průměr z hodnot šedi v jejím okolí a tato hodnota se přepočítá na výslednou tloušťku. Výsledná reprezentace se tak blíží tradičním Lehmannovým šrafám podstatně více než výše popsaný výstup algoritmu Yoeliho (viz obr. 133).

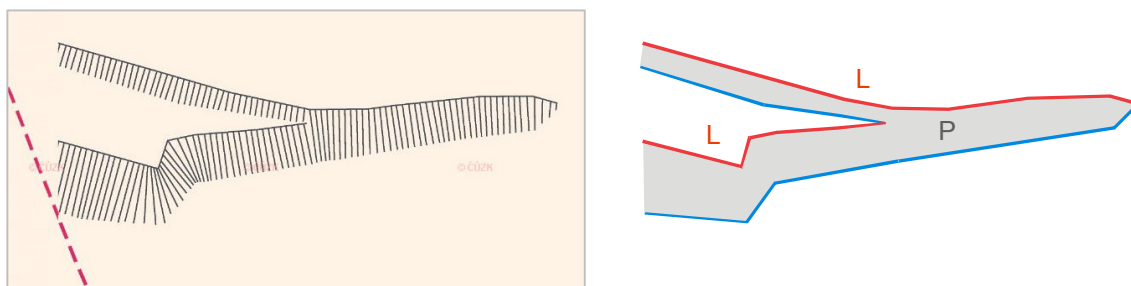


Obr. 133. Generování šraf metodou Rohelová (2014).

Za povšimnutí stojí postupné zkracování šraf v místech, kde jsou zakřivené vrstevnice. Podrobnější vysvětlení v textu.
Zdroj: Rohelová (2014).

Na rozdíl od šraf, které tvoří reprezentaci skalních útvarů, jsou technické i Lehmannovy šrafy úmyslně pravidelně uspořádané linie. Tento jev je u skalních šraf spíše nežádoucí, což je z pohledu algoritmizace spíše výhoda, protože není třeba tak striktně hlídat soulad jednotlivých linií a rozestupů mezi nimi.

S ohledem na metodu používanou ZÚ pro tvorbu reprezentace skal na základních mapách budou ještě zmíněny přístupy používané při automatizované tvorbě terénních stupňů vyjádřených horní a dolní hranou, protože využívají podobný princip. Souvislost bude podrobněji vysvětlena dále v kapitole 4.7.3. Terénní stupně jsou tradičně vyjádřeny technickými šrafami, tvořenými linií podél horní hrany a na ni navazujícími příčnými úsečkami, spojujícími horní a dolní hranu, viz obr. 134 vlevo.



Obr. 134. Šrafy a terénní stupně.

Vlevo ukázka technických šraf na ZM 10, vpravo značení z popisu problému, podrobnější vysvětlení v textu.
Mapa a zdrojová data: © ČÚZK, 2016

Úlohu lze formulovat následovně: je dána plocha P a linie L (viz obr. 134 vpravo). Úkolem je vyplnit plochu P neprotínajícími se úsečkami tak, aby byly umístěny rovnoměrně a zároveň aby byly kolmé na L (a případně i na dolní hranu). Jde tedy o vyvážení požadavku na lokální rovnoměrnost a kolmost při zachování neprotínání úseček. Rovnoměrnost je s ohledem na vizuální stránku výsledku důležitější požadavek než kolmost, nejdůležitější je však neprotínání se. Řešení spočívá v pravidelném navzorkování L . Tyto body budou tvořit počáteční bod příslušné úsečky. Koncový bod je na průsečíku této úsečky s dolní hranou stupně. Klíčové je určit orientaci úsečky. To lze například následujícími způsoby:

- přesná kolmice k danému segmentu horní hrany v místě počátečního bodu. Tento postup nefunguje, protože nezaručuje ani neprotínání, ani rovnoměrnost.
- kolmice vycházející z průměrné orientace segmentů v okolí počátečního bodu. Vede k lepší rovnoměrnosti, ale nezaručuje neprotínání.
- proporcionalní navzorkování dolní hrany vycházející z délky horní hrany a požadavku na rozestup úseček. Alternativně lze použít průměr z délek horní a dolní hrany. Například při požadavku na 20 příčných čárek je dolní linie rozdělena na 20 dílů. Odpovídající si body jsou následně spojeny. Dává poměrně dobré výsledky z hlediska rovnoměrnosti a neprotínání se, byť neprotínání není zaručeno v případě, že je plocha nekonvexní a dolní hrana členitá. Neoptimalizuje kolmost.
- lineární interpolace mezi počátečními a koncovými body horní a dolní linie. S výjimkou extrémních případů zaručuje neprotínání se úseček, částečně i rovnoměrnost, nezaručuje ovšem kolmost. Nefunguje v případě tvarově velmi členitých objektů.

Možné vylepšení je výsledky výše uvedených postupů upravovat posouváním koncových bodů příčných úseček po dolní linii ohraničující plochu tak, aby se příčné úsečky neprotínaly. Tento postup ale nevede k rovnoměrnému rozmístění úseček a obecně navíc nemusí mít vždy řešení.

Problém lze vyřešit lépe ve dvou krocích: v první fázi je plocha rozdělena na dílčí jednodušší části, ve druhé fázi je pak každá z jednodušších částí zpracována samostatně. Vhodným způsobem rozdělení je využití podélné osy polygonu; dělicí linie jsou pak kolmice na tuto osu. Mohou být rozmístěny v pravidelných vzdálenostech či lépe například v inflexních bodech osy, s tím, že je potřeba ohlídat jejich nekřížení. Pro zpracování dílčích částí se nabízí použít některý z výše uvedených postupů, který v případě tvarové jednoduchosti obvykle dává akceptovatelné výsledky. Jinou možností je aplikovat metodu z výše uvedené práce K. Rohelové (2014). Ta zaručuje rovnoměrnost a neprotínání, ale nezaručuje kolmost. Výsledkem dělení ovšem není úsečka, ale obecná polylinie.

Existují i koncepčně zcela odlišné přístupy k řešení dané problematiky, např. s využitím triangulace (Watagawa & Uramoto & Shimada, 2007). V praxi se tento problém často řeší manuálně, což je i případ map na ZÚ. Například ve Swisstopo se podle dostupných informací tento problém podařilo úspěšně automatizovat (s využitím ESRI technologií problém řeší nástroj *CartoProcesses: Embankments*).

4.6 Návrhy vlastních metod pro automatizaci kartografického znázorňování skal

Jedním z cílů této dizertační práce je přispět do sbírky algoritmů uvedených v předchozí kapitole algoritmy novými. Aby toto rozšíření nebylo samoúčelné, je vhodné před jejich vlastním popisem vysvětlit motivaci, která k jejich návrhu vedla a vymezit se vůči algoritmům stávajícím, resp. zdůraznit, v čem se návrhy od stávajících liší a co přinášejí nového.

Navržené algoritmy jsou celkem tři. První z nich, popsany v dále v kapitole 4.7, představuje snahu o automatizaci postupu znázorňování skal používaného na ZÚ na základních mapách, který je podrobně vysvětlený v kapitole 4.3.6. Druhý z algoritmů, popsany v kapitole 4.8, se pokouší o automatizovanou tvorbu žebříčkové manýry, popsané detailně v kapitole 4.1.2. Konečně třetí z algoritmů směřuje k automatizaci konturové metody, diskutované v kapitole 4.1.3, s doplňkovými poznámkami týkající se převodu do digitální podoby v kapitole 4.3.7. Tento výběr odpovídá míře užitečnosti jednotlivých metod pro topografické mapy v Česku: metoda ZÚ pro základní mapy se v současné době prakticky používá, ale vytváří se ručně; žebříčková manýra představuje tradiční způsob znázorňování skal používaný na našich topografických mapách přes půl století a konturová metoda představuje ideální kartografický vyjadřovací prostředek pro nejrozšířenější typ skalního terénu na našem území – pískovcová skalní města.

Na rozdíl od existujících pokusů o automatizaci švýcarské metody navržené postupy cílí na jiný typ kartografických vyjadřovacích prostředků a také na jiný typ reliéfu než velehorský skalní terén. Na rozdíl od metody Yang & Guo & Shen (2009) by postupy měly fungovat i na složitější tvary, nejen na jednoduché skalní stěny tvořené srovnatelně dlouhou horní a dolní hranou a dvěma bočními hranami.

Z pohledu klasifikace algoritmů uvedené v kapitole 4.3.2 jde o algoritmy z druhé skupiny, pracující primárně s vektorovými daty a snažící se vytvořit vektorovou kresbu. V některých krocích je využit DMR a operace s ním. Algoritmy jsou navrženy tak, aby pracovaly s informacemi o skalách v podobě navržené v kapitole 3.4, s tím, že jsou u nich uvedena případná omezení, která se týkají jejich aplikace na stávající data ZABAGED. Hlavní část popisu obsahuje podrobné vysvětlení jednotlivých kroků, s důrazem detailní rozbor netriviálních operací. V závěru u každého z algoritmů jsou shrnuty zkušenosti získané jeho testováním, provedeným na základě implementace podstatných částí algoritmu v prostředí ArcGIS for Desktop s využitím skriptů v jazyce Python, a také diskutovány dosažené výsledky a omezení navržených postupů. S ohledem na experimentální podobu skriptů, nevhodnou pro produkční nasazení, jsou tyto dostupné u autora na vyžádání.

4.7 Automatizace metody používané Zeměměřickým úřadem na základních mapách

Text této kapitoly vychází z převážné části z článku Lysák (2016). Jde o automatizaci postupu popsaného v kapitole 4.3.6, s drobnými vylepšeními vizuální kvality výsledku. Terminologie použitá v dalším textu odpovídá pojmům definovaným ve zmíněné kapitole.

Vstupem této metody je v ideálním případě reprezentace skalních útvarů navržená v kapitole 3.4. Použití algoritmu na současná data ZABAGED má určité omezující podmínky. Nejprve je potřeba dodat obvodovým liniím polygonu informaci o tom, zda jde o horní, dolní, či neurčitou hranu (ve smyslu kapitoly 3.4.4). Tuto informaci lze – za předpokladu, že je k dispozici DMR – dodat do značné míry automaticky postupem uvedeným v kapitole 3.4.4. Dále je třeba doplnit případné vnitřní hrany skalních útvarů ve smyslu kapitoly 3.4.1, tedy hřbetnice, údolnice a lomové hrany, případně bodové objekty použité ve smyslu vrcholových bodů skalních útvarů.

Výstupem této metody jsou linie, představující přímo vlastní kresbu skalního útvaru. Jde tedy o linie určené k přímé vizualizaci, nikoliv tedy o geometrii uživatelských čar se složitou symbolologií. To umožňuje výsledek snadno vizualizovat i v jiném software než ArcGIS for Desktop, stačí nastavit požadovanou barvu a tloušťku linie. Z pohledu klasifikace metod

v používaných v digitální kartografii tedy výsledek patří do kategorie z kapitoly 4.3.9 šrafy jako liniová vektorová kresba.

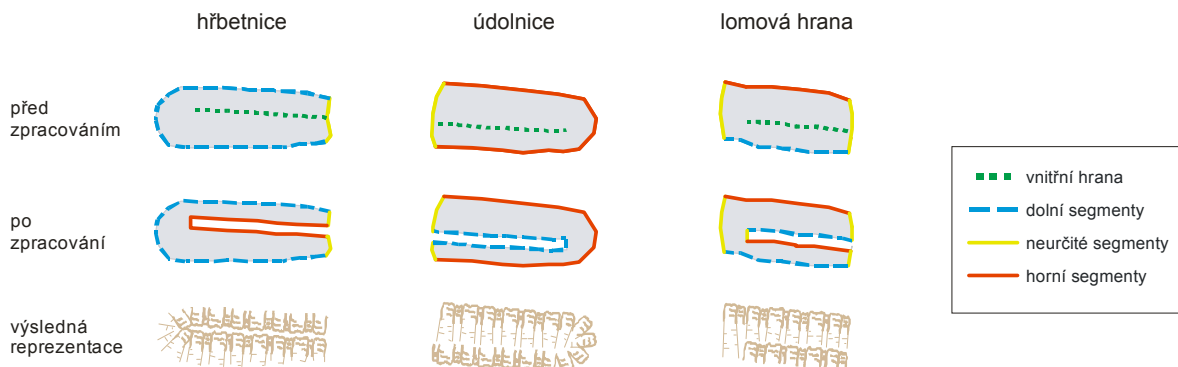
Zpracování se provádí polygon po polygonu. Začíná se zpracováním vnitřních hran a následným rozhodnutím, nakolik je pravděpodobné polygon zpracovat úspěšně zcela automaticky. Polygon je následně rozdělen na dvě části: dolní, která je vyplněna dolními liniemi s příčnými čárkami, a horní pás, který je vyplněn horními symboly. Následně je aplikováno vylepšení výsledné reprezentace. V obecném případě se provádí následující kroky:

1. zpracování vnitřních hran a kontrola zpracovatelnosti polygonu,
2. rozdělení polygonu na horní a dolní část,
3. zpracování linií v dolní části polygonu,
4. zpracování symbolů v horní části polygonu,
5. zpracování příčných čárek v dolní části polygonu,
6. vylepšení reprezentace přidáním nepravidelnosti.

Každá z těchto částí je popsána podrobně dále jako samostatná kapitola.

4.7.1 Zpracování vnitřních hran a kontrola zpracovatelnosti polygonu

Protože základem metody je kresba linií spojující horní a dolní část polygonu, je potřeba, aby každý polygon tyto části měl. Tyto části jsou tvořeny kombinací klasifikovaných obvodových a vnitřních hran. Vnitřní hrany jsou přepracovány na kombinaci horních, dolních a neurčitých dále popsaným způsobem (viz též obr. 135).



Obr. 135. Zpracování vnitřních hran.
Vysvětlení v textu.
Zdroj: Lysák (2016).

Okolo každé vnitřní hrany je vytvořen malý buffer, který je následně z polygonu odstraněn. Tím vzniknou neklasifikované segmenty na obvodu, příp. i ve vzniklých vnitřních dírách polygonu. Jsou klasifikovány následovně:

- v případě hřbetnice jsou všechny segmenty označeny jako horní hrana,
- v případě údolnice jsou všechny segmenty označeny jako dolní hrana,
- v případě lomové hrany je část segmentů označena jako horní hrana, část jako dolní hrana a část jako neurčitá. Horní část je na té straně, kde je směr od lomové hrany dolů, dolní část na té straně, kde je směr nahoru a neurčitá ve zbytku.

Podobným způsobem lze postupovat v případě vrcholového bodu, okolo něž vznikne oblast tvořená horní hranou. Výsledkem popsaného procesu je tedy polygon, který má každou část své obvodové linie včetně všech případných vnitřních děr klasifikovanou jako dolní hrana, horní hrana nebo neurčitou hrana.

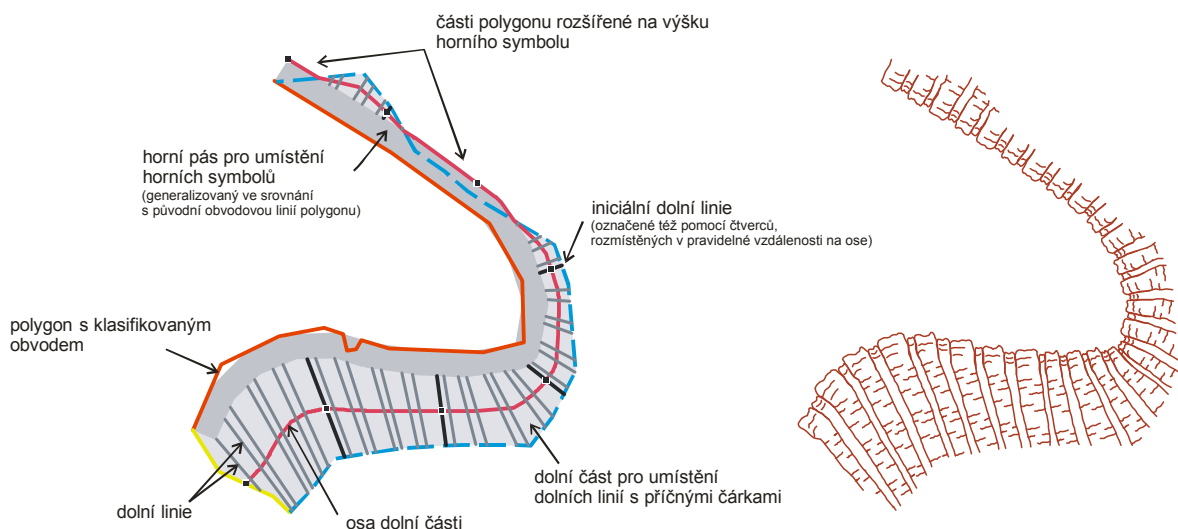
Pro účely dalšího zpracování jsou polygony rozděleny do třech skupin:

1. jednoduché zpracovatelné. To jsou takové, které splňují obě následující podmínky:
 - a) mají právě jednu horní hranu, právě jednu dolní hranu a nejvýše dvě neurčitě hrany,
 - b) délka horní hrany je více než polovina délky dolní hrany a méně než dvojnásobek délky dolní hrany.
2. jednoduché problémové. To jsou takové, které splňují podmínku a) z předchozího bodu, ale nespĺňují podmínku b) z předchozího bodu. Tento typ polygonů by mohl způsobovat problémy při tvorbě linií v dolní části polygonu, viz dále v diskuzi v kapitole 4.7.8.
3. komplexní. To jsou takové, které nespĺňují ani podmínku a). Za povšimnutí stojí, že podmínka se týká počtu hran, nikoliv jejich tvarové složitosti. Tím není příliš omezující. Komplexní polygony lze rozdělit tak, že každá část bude typu 1 nebo 2; dělicí linie budou neurčitě hrany. S ohledem na reálný výskyt komplexních polygonů v testovacích datech toto nebylo řešeno automaticky. Nejedná se ovšem o triviální úkol. Jako vhodný způsob případné automatizace se jeví postupné rozebrání polygonu například s využitím jeho topologické kostry.

Další zpracování se týká jednoduchých zpracovatelných polygonů, kde je zcela automatizovatelné, u jednoduchých problémových může být potřeba ruční zásah, resp. bez něj nemusí být výsledek vyhovující.

4.7.2 Rozdělení polygonu na horní a dolní část

Pro účely dalšího zpracování je třeba z polygonu oddělit pruh podél horní hrany (dále v textu jako horní pás), kde budou umístěny horní symboly. Zbytek plochy (dále v textu jako dolní část) bude tvořen dolními liniemi s příčnými čárkami, viz obr. 136. S ohledem na velikost horních symbolů může být užitečné polygon podél horní hrany generalizovat některým ze standardních algoritmů pro generalizaci linie, např. metodou Douglas-Peucker (Douglas & Peucker, 1973). Horní pás tedy představuje buffer okolo generalizované horní hrany o velikosti odpovídající výšce horních symbolů. Je-li polygon příliš úzký, je v těchto místech uměle rozšířen tak, aby bylo možno horní symboly umístit vždy.



Obr. 136. K vysvětlení pojmů týkajících se zpracování jednotlivých částí polygonu.

Vlevo vysvětlení pojmů, vpravo výsledná reprezentace.

Zdroj: Lysák (2016).

4.7.3 Zpracování linií v dolní části

V tomto kroku je dolní část polygonu vyplněna dolními liniemi tak, aby byly umístěny dostatečně hustě a zároveň se nepřekrývaly. Umístěné dolní linie jsou v navrženém řešení striktně úsečky, nikoliv obecné polylinie. Protože délka horní a dolní hrany se může poměrně lišit, pro dosažení optimální hustoty dolních linií byla využita osa dolní části polygonu, určená jako *medial axis* tohoto polygonu (de Berg et al., 2008). V místech, kde je polygon příliš úzký, byla využita dolní část horního pásu (viz obr. 136).

V prvním kroku zpracování byly vytvořeny iniciální dolní linie jako kolmice na tuto osu, rozmístěné v pravidelných vzdálenostech (měřených podél osy). Vzdálenost je třeba určit jako násobek šířky horních symbolů a ideálně takovou, aby se iniciální linie nikde neprotínaly. V implementaci byla použita pro měřítko 1 : 10 000 vzdálenost 45 m, odpovídající dvojnásobku šířky čtveřice opakujících se symbolů z obr. 101 vlevo. To se spolu s podmínkou pro zpracovatelnost polygonu z kapitoly 4.7.1 ukázalo jako dostatečné, protože při testování se iniciální linie nikde neprotínaly. V případě, že je zvolena příliš velká vzdálenost mezi iniciálními liniemi, nebude dobře fungovat dále popsané generování mezilehlých dolních linií.

Mezi iniciální dolní linie byly následně doplňovány mezilehlé dolní linie pomocí lineární interpolace mezi počátečními a koncovými body dvojice sousedních iniciálních linií. Dělení prostoru koresponduje se šířkou symbolů na obr. 101 vlevo. S ohledem na zvolený rozestup iniciálních linií odpovídající dvěma čtveřicím symbolů proběhlo rozdělení na 8 dílů v poměru 11 : 5 : 9 : 4 : 11 : 5 : 9 : 4. Tento přístup má určitou nevýhodu: požadovaný rozestup dolních linií je dodržen pouze na ose, nikoliv u horní a dolní hrany. V případě extrémně zakřivených polygonů může docházet k tomu, že jsou někde dolní linie přehustěné nebo naopak řídké. V těchto případech je potřeba zásah uživatele.

Při ruční tvorbě reprezentace na ZÚ se začíná horními symboly a na ně se navazují dolní linie. V navrženém algoritmu jsou tyto kroky přehozeny z několika důvodů. Tím nejdůležitějším je skutečnost, že dolní část polygonu může být v porovnání s horním pásem poměrně velká, a je tedy potřeba ji udržet graficky konzistentní spíše než relativně menší horní pás. Další důvodem je fakt, že požadavek na rovnoměrné vyplnění dolní části liniemi je obtížnější úkol v situaci, kdy bychom měli navíc přidanou podmínku na počáteční bod této linie, vyplývající z již umístěného horního symbolu. Pozitivním vedlejším efektem tohoto přístupu je zvýšení nepravidelnosti u horních symbolů, protože průsečíky dolních linií s dolním okrajem horního pásu nebudou s ohledem na konstrukci dolních linií rozmístěné úplně pravidelně.

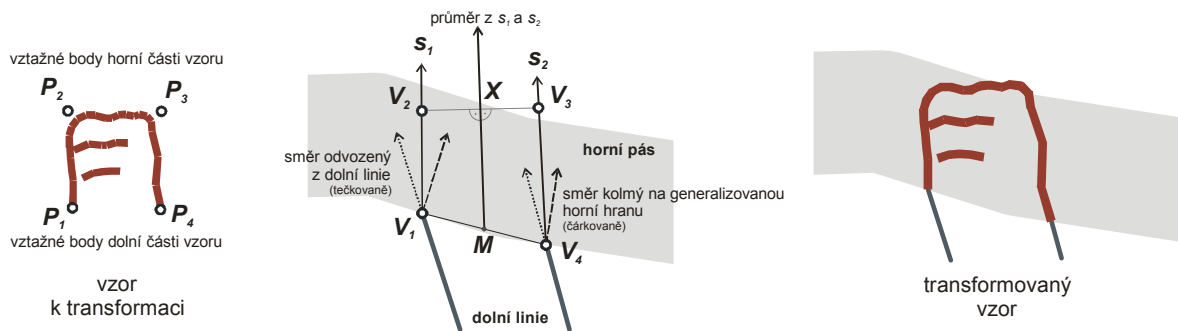
4.7.4 Zpracování symbolů pro horní část

V tomto kroku bude horní pás vyplněn horními symboly tak, aby byly splněny následující podmínky:

- a) strany horních symbolů pokračují již vytvořenými dolními liniemi, ideálně tak, aby tyto strany do dolních linií přecházely bez vizuálně patrného napojení, tedy bez zlomu,
- b) horní symboly jsou umístěny kolmo na generalizovanou horní hranu,
- c) horní symboly mají zachovaný tvar, případně jsou zdeformované pouze mírně.

Tyto podmínky není obvykle možné splnit současně. Pro vyplnění horního pásu byly použity čtyři symboly z obr. 101 vlevo. Symbolů může být pochopitelně využit větší či menší počet. Jejich přesná podoba není důležitá. Co je ovšem důležité, jsou vztažné body symbolu (dále označované P_1 až P_4), založené například na ohraničujícím obdélníku, a jejich orientace ve smyslu rozlišení horní/dolní a levý/pravý, viz obr. 137 vlevo.

Umístění konkrétního horního symbolu na konkrétní pozici je založeno na projektivní (kolineární) transformaci vzorového horního symbolu. Nejprve se spočte osm parametrů této transformace na základě čtveřice identických bodů, a následně je transformace aplikována na vzorový horní symbol. Dvě dvojice identických bodů tvoří průsečíky dolních linií s hranicí horního pásu (V_1 a V_4) a jim odpovídající vztažné body v dolní části symbolu (P_1 a P_4), viz obr. 137 uprostřed. Zbylé dvě dvojice tvoří vztažné body v horní části symbolu (P_2 a P_3) a jim odpovídající body V_2 a V_3 , jejichž poloha je určena na základě podmínek z úvodu této kapitoly. Podmínka a) předpokládá, že směrové vektory V_1V_2 a V_3V_4 jsou stejné jako směrové vektory odpovídajících dolních linií. Podmínka b) požaduje směrové vektory V_1V_2 a V_3V_4 orientované kolmo na odpovídající horní hranu. Kompromisní výsledná hodnota určující orientaci horního symbolu je pak jejich průměr (vektory s_1 a s_2 na obr. 137 uprostřed). To znamená, že horní symboly do dolních linií nepřecházejí nutně spojitě bez zlomu, nicméně toto se objevuje i při ruční tvorbě reprezentace (srov. s obr. 105 uprostřed na str. 166).



Obr. 137. K umístování horních symbolů do horního pásu.
Podrobnější vysvětlení v textu.
Zdroj: Lysák (2016).

Pro splnění podmínky c) je třeba se vyhnout lichoběžníkovému tvaru polygonu $V_1V_2V_3V_4$. To lze zařídit následovně:

- spočte se střed M úsečky V_1V_4 ,
- spočtou se souřadnice bodu X , který vznikne posunutím M ve směru průměru z vektorů s_1 a s_2 ,
- určí se V_2 a V_3 jako průsečíky přímky, kolmé na polopřímku MX a procházející bodem X s polopřímkami odpovídajícími vektorům s_1 a s_2 .

Tím může dojít k mírné deformaci tvaru horního symbolu a k tomu, že jeho část bude mimo polygon. V praxi to ale příliš nevádí, protože generalizace horní hrany změnila tvar polygonu z tohoto pohledu podstatněji.

Horní pás je takto vyplněn postupně transformovanými horními symboly, tj. pro každou dvojici průsečíků dolních linií s horním pásem se určí transformační koeficienty a pak se provede transformace vzorového symbolu. Jednotlivé horní symboly se mohou střídat pravidelně nebo náhodně. Díky tomu, že průsečíky dolních linií s horním pásem jsou ne zcela pravidelně rozmístěné, mají výsledné horní symboly pokaždé mírně odlišnou podobu. To je pozitivní vlastnost, protože nepravidelnost výsledné reprezentace je spíše žádoucí.

4.7.5 Zpracování příčných čárek v dolní části polygonu

Příčné čárky pomáhají vyplnit prostor mezi dolními liniemi v dolní části polygonu. Umisťují se v typickém případě vždy mezi lichou a sudou dolní linií a orientují se proti sobě, viz obr. 136

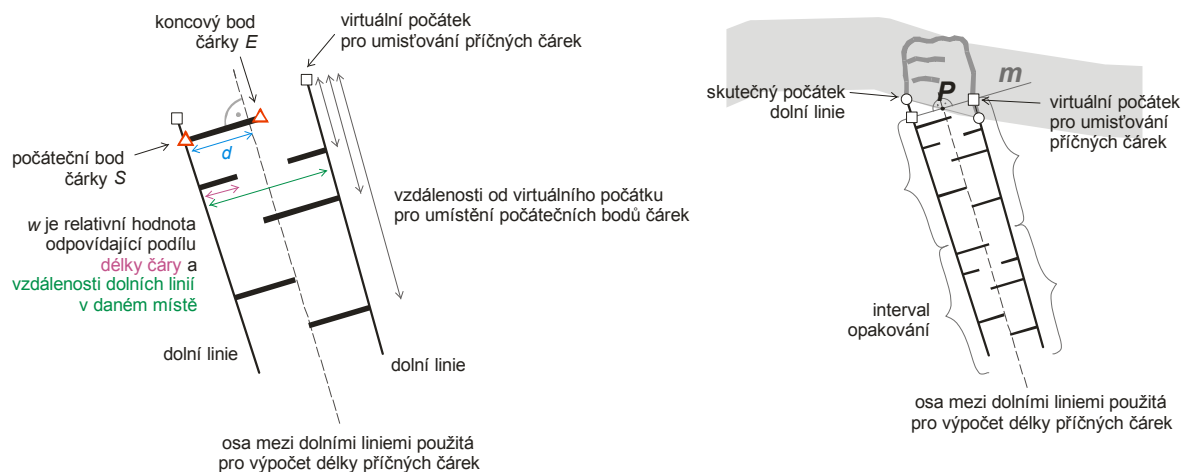
vpravo na str. 196. V navrženém algoritmu je aplikováno několik vylepšení oproti stávajícímu řešení používanému při ruční tvorbě:

- proměnlivá délka příčných čárek vedoucí k lepšímu vyplnění plochy polygonu,
- vzájemný posun protilehlých příčných čárek ležících na sousední dvojici dolních linií tak, aby se nepřekrývaly, resp. nedotýkaly,
- přidání nepravidelnosti do kresby tím, že se rozestupy mezi jednotlivými příčnými čárkami v rámci dolních linií náhodně mění.

Přepokládejme nyní, že je úkolem vytvořit příčné čárky mezi dvojicí sousedních dolních linií. Čárky budou kolmé na osu mezi těmito dvěma liniemi. Délka každé čárky je obecně jiná, určená na základě vzdálenosti d mezi počátečním bodem S dané čárky (ležícím na dolní linii) a osou. Souřadnice koncového bodu E se určí podle vztahu

$$E = S + 2 \cdot n \cdot w \cdot d,$$

kde w je relativní délka čárky vztažená ke vzdálenosti sousedních dolních linií ($0 < w < 1$), a n je normálový vektor osy dvou sousedních dolních linií. Viz též obr. 138 vlevo.



Obr. 138. K umístění příčných čárek.
Podrobnější vysvětlení v textu.
Zdroj: Lysák (2016).

Iniciální body čárek mohou být umístěny na dolní linii pravidelně, tj. v pevné vzdálenosti od jejího počátečního bodu. Je-li dolní linie delší, umístění se opakuje v pravidelných intervalech. Relativní délky čárek použité při implementaci pro měřítko 1 : 10 000 a jejich umístění jsou uvedeny v tab. 16; interval opakování byl 19 m. Čárky mohou být umístěny také zcela náhodně, což není ideální řešení, protože by se mohly překrývat. Kompromisem je použití pravidelného intervalu s drobnou náhodnou změnou. Při implementaci byly hodnoty vzdáleností pro umístění počátečního bodu čárky v tab. 16 upraveny přičtením náhodného čísla z normálního rozdělení $N(0, 0,5)$.

dolní linie na pravé straně		dolní linie na levé straně	
vzdálenost od virtuálního počátku (m)	relativní šířka w	vzdálenost od virtuálního počátku (m)	relativní šířka w
4,3	0,3	1,5	0,6
7,3	0,6	4,5	0,3
14,2	0,5	11,5	0,5

Tab. 16. Poloha vztažená k virtuálnímu počátku a relativní šířka příčných čárek použitá při implementaci.
Podrobnější vysvětlení v textu.

Iniciální body čárek mohou být umístěny na dolní linii pravidelně, tj. v pevné vzdálenosti od jejího počátečního bodu. Je-li dolní linie delší, umístění se opakuje v pravidelných intervalech. Relativní délky čárek použité při implementaci pro měřítko 1 : 10 000 a jejich umístění jsou uvedeny v tab. 16; interval opakování byl 19 m. Čárky mohou být umístěny také zcela náhodně, což není ideální řešení, protože by se mohly překrývat. Kompromisem je použití pravidelného intervalu s drobnou náhodnou změnou. Při implementaci byly hodnoty vzdáleností pro umístění počátečního bodu čárky v tab. 16 upraveny přičtením náhodného čísla z normálního rozdělení $N(0, 0,5)$.

Určité problémy nastávají v situaci, kdy dolní linie nenavazují na horní symbol úplně ideálně. Rozdílná poloha počátků a délka dolních linií pak mohou vést k tomu, že se začnou příčné čárky dotýkat. Za tímto účelem lze provést změnu polohy počátku dolní linie, od níž se budou vzdálenosti pro umístění čárek počítat („virtuální počátek“). To lze pro dvojici sousedních dolních linií, mezi nimiž čárky budou, zařídít následovně (viz též obr. 138 vpravo):

- určí se souřadnice bodu P jako průměru z počátečních bodů příslušné dvojice dolních linií,
- určí se přímka m , která je kolmá na osu mezi příslušnými dolními liniemi a prochází bodem P ,
- určí se souřadnice virtuálních počátků jako průsečíku m s přímkou odpovídající dané dolní linii.

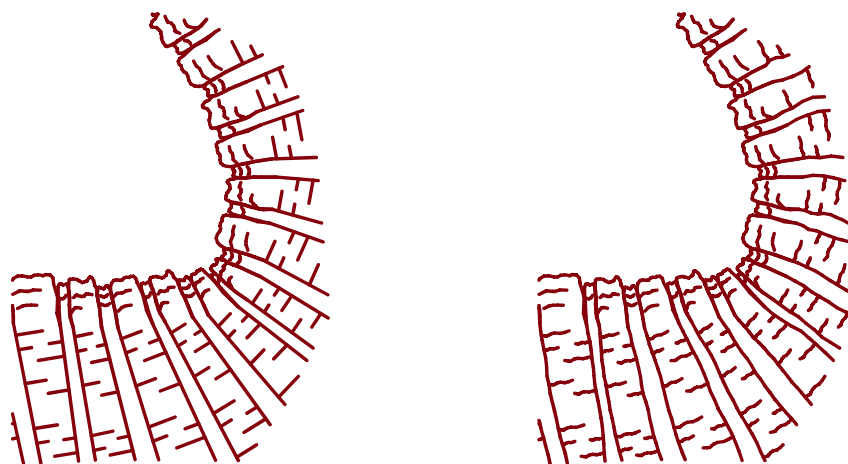
Při využití virtuálních počátků pro počítání polohy počátečních bodů čárek je tak garantováno, že čárky budou ve vzájemném vizuálním souladu a budou dolní část vyplňovat rovnoměrně.

4.7.6 Přidání nepravidelnosti do výsledné reprezentace

Po aplikaci výše uvedených kroků je reprezentace rámcově odpovídající kapitole 4.3.6 vytvořená. Dále budou uvedena možná drobná vylepšení takto vytvořené reprezentace, založená na přidání nepravidelnosti do vytvořené geometrie. Tyto úpravy zahrnují následující kroky:

- úpravu dolních linií pomocí náhodného přesouvání středního bodu,
- přichycení příčných čárek na upravené dolní linie,
- aplikace nepravidelného vzoru na upravené příčné čárky.

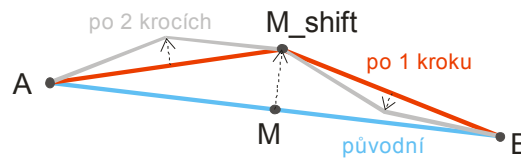
Porovnání vytvořené geometrie před a po aplikaci těchto operací je na obr. 139.



Obr. 139. Porovnání vytvořené reprezentace před (vlevo) a po aplikaci vylepšení (vpravo). Vylepšení řeší vizuální nesoulad dolních linií a příčných čárek s nepravidelnými horními symboly.
Zdroj: Lysák (2016).

Metoda náhodného přesouvání středního bodu (*random midpoint displacement*) je často používána v oblasti počítačové grafiky pro tzv. procedurální modelování (*procedural modelling*), viz např.

Ebert et al. (2003). Obecně se jedná o způsob, jakým lze přidat do pravidelných objektů nepravidelnost tak, aby vypadaly přirozeněji. Tento přístup lze použít na linie, polygony i pro tělesa.



Obr. 140. Princip algoritmu náhodného přesouvání středního bodu. Zachyceny jsou pouze první dvě iterace algoritmu. Podrobnější vysvětlení v textu. Zdroj: Lysák (2016).

Dále bude popsáno jeho použití na linie. Podstata metody spočívá v rekurzivním dělení úsečky na polovinu a posouvání středního bodu o náhodnou hodnotu, přičemž rozptyl normálního rozdělení, na základě něž se hodnoty generují, postupně klesá. Metoda tedy nahrazuje segment linie l sérií segmentů p_i , kde každý segment p_i má délku menší než předem daný práh m . Parametrem metody je rovněž dovolený posun d , tj. přípustná maximální vzdálenost upravené linie od linie původní. Princip algoritmu je zachycen na obr. 140; jeho přesné fungování je následující:

Náhodné přesouvání středního bodu (pro linii)

vstup: linie l_{in} , povolený posun d , maximální délka segmentu m

výstup: nepravidelná linie l_{out} , vzniklá fraktální interpolací, a lišící se polohově od l_{in} v libovolném místě nejvýše od d

function rmd_line(l_{in} , d , m):

if délka(l_{in}) < m :

return l_{in}

A = počáteční bod l_{in}

B = koncový bod l_{in}

M = střed l_{in} // spočtený jako průměr souřadnic A a B

M_{shift} = M posunutý kolmo na l_{in} o náhodnou hodnotu z intervalu $\langle -0,5 d; 0,5 d \rangle$

// kladná hodnota znamená posun vpravo ve směru orientace linie, záporná vlevo

$p1$ = rmd_line(linie(A , M_{shift}), $d/2$, m)

// rekurzivní aplikace na počáteční část linie

$p2$ = rmd_line(linie(M_{shift} , B), $d/2$, m)

// rekurzivní aplikace na koncovou část linie

l_{out} = spojená part1 a part2

return l_{out}

Algoritmus náhodného přesouvání středního bodu je aplikován na dolní linie. Tím se mírně změní jejich geometrie, čímž ale přestanou být příčné čáry přesně zarovnané k dolním liniím. Tento problém lze vyřešit funkcemi pro úpravu topologie (např. v ArcGIS for Desktop funkce *Snap*), které zařídí zarovnání počátečních bodů příčných čar zpět na upravenou dolní linii. Vedlejším efektem může být smazání některých příčných čar v případě, že jejich délka klesla pod stanovenou mez (viz obr. 139 vpravo mezi třetí dvojicí dolních linií shora).

Dalším krokem je vylepšení příčných čar. Jeho podstata spočívá v podobnostní transformaci připraveného vzoru vlnkovitého tvaru. Idea postupu je stejná jako v případě horních symbolů, popsaném v kapitole 4.7.4. Jsou ovšem použity pouze dva identické body (počáteční a koncový bod příčné čáry a počáteční a koncový vztahový bod vzoru) a čtyři parametry (posun ve směru x , posun ve směru y , rotace a změna měřítko). Pro každou příčnou čáru jsou na základě těchto bodů nejprve spočteny parametry transformace a následně je transformace aplikována na příslušný vzor.

S ohledem na omezenou délku příčných čárek se toto řešení jeví vhodnější než náhodné přesouvání středního bodu.

Posledním krokem je vytvoření polygonové vrstvy pro odmaskování vrstevnic. S ohledem na generalizaci horní hrany nepostačuje k tomuto účelu použít pouze půdorysný polygon, ale je vhodné ho sjednotit s bufferem okolo linií vytvořené reprezentace. Z polygonu vzniklého sjednocením je dále potřeba odstranit případné vnitřní díry menší než předem daný práh, které by v oblasti horní hrany mohly vzniknout. Hodnota prahu vychází z rozměrů horních symbolů a zároveň nesmí překročit hodnotu, která je stanovena pro minimální velikost oblasti bez skal uvnitř skalního útvaru, tj. neměla by odstranit vnitřní díry původního polygonu skalního útvaru.

4.7.7 Implementace a testování

Navržený algoritmus byl v experimentální podobě implementován v jazyce Python s využitím modulu *arcpy*, zpřístupňujícím funkce software ArcGIS for Desktop pro neinteraktivní práci. Testování probíhalo nad stejnými oblastmi jako testování automatizované klasifikace obvodových hran polygonu, popsané v kapitole 3.4.4; zahrnovalo tedy přibližně 4,2 % počtu všech objektů typu *Skalní útvary* vyskytujících se v ZABAGED. Hlavním cílem bylo zjistit, jakou část polygonů lze zpracovat zcela automaticky a kolik interaktivní práce a jakého typu je potřeba pro doladění části zbývajících.

Testování proběhlo ve dvou fázích. V první fázi byl celý proces spouštěn bez jakéhokoliv manuálního zásahu. Následně byly výsledky porovnávány s kresbou skal na ZM 10. Výsledek byl pro každý polygon hodnocen jako „vyhovující“, pokud byl srovnatelný, případně i lepší než na ZM 10. Polygon byl označen jako „nutno reklasifikovat“ v situaci, kdy výsledná reprezentace byla chybně z důvodů chybné klasifikace obvodových linií. V těchto případech není třeba editovat geometrii, stačí upravit atributy příslušným segmentům. Polygony, které potřebovaly dokreslit nebo upravit geometrii v průběhu některé z fází zpracování, byly označeny jako „nutno editovat“. Do této skupiny patří také převážná část polygonů, které neměly vnitřní linie. Konečně polygony, kde by ani změna klasifikace obvodové linie, ani jednoduché úpravy geometrie mezivýsledků nevedly k vyhovující kvalitě výsledné reprezentace, byly označeny jako „nevyhovující“. Do této skupiny patří zejména tvarově složité komplexní polygony. Celková míra úspěšnosti byla 57 % (949 vyhovujících z celkového počtu 1672). Podrobnější výsledky ukazuje tab. 17.

testovací lokalita	počet objektů	1. fáze (zcela automaticky)				2. fáze (s ruční úpravou klasifikace obvodu)			
		OK	REKL	EDIT	ERR	OK	REKL	EDIT	ERR
České Švýcarsko	1414	838	232	108	32	1190	0	155	42
Krkonoše	60	28	6	10	7	35	0	10	7
Moravský kras	144	62	2	7	2	35	0	12	4
Údolí Vltavy	54	21	7	8	2	109	0	15	5
celkem	1672	949	247	133	43	1369	0	192	58

Tab. 17. Výsledky testování automatizace metody používané ZÚ pro základní mapy.
 Význam zkratk: OK = vyhovující, REKL = nutno reklasifikovat, EDIT = nutno editovat, ERR = nevyhovující. Zbýlé polygony do celkového počtu objektů byly buď komplexní a nebyly zpracovány vůbec, nebo při jejich zpracování došlo ještě před poslední fází tvorby reprezentace k chybě, což neumožnilo výsledek hodnotit.
 Podrobnější vysvětlení v textu.

Zdroj: upraveno podle Lysák (2016).

Ve druhé fázi byla provedena manuální reklasifikace obvodových linií. Ta vyřešila polygony typu „nutno reklasifikovat“ z předchozího odstavce a dále také převedla část polygonů z kategorií „jednoduché problémové“ a „komplexní“ (viz kapitolu 4.7.1) do kategorie „jednoduché

zpracovatelné“. Následnou aplikací automatizovaného procesu na takto upravená data, spuštěného navíc vynuceně na všechny „jednoduché“ polygony (bez ohledu na to, zda byly v úvodní fázi označeny jako „zpracovatelné“ nebo „problémové“), vzrostla úspěšnost na 82 % (1369 vyhovujících z celkového počtu 1672). Podrobnější výsledky uvádí tab. 17.

V rámci praktického uplatnění pak byla metoda částečně použita v bakalářské práci K. Fenclové (2015) při tvorbě mapy velkého měřítka obce Tetín ležící v Českém krasu.

4.7.8 Závěry k metodě

Na základě provedených testů je patrné, že při spolehlivé klasifikaci obvodové linie a dostupnosti vnitřních hran polygonu (což jsou mimochodem vlastnosti reprezentace skalních útvarů navržené v kapitole 3.4) je metoda relativně úspěšná. Příčiny problémů automatické klasifikace byly diskutovány v kapitole 3.4.4; text dále se proto soustředí jen na věci související s tvorbou reprezentace skal.

Navržený algoritmus funguje bez problémů pro protáhlé objekty včetně těch s variabilní šířkou, které mají charakter skalnatých srázů nacházejících se ve svazích. Z tohoto důvodu byly relativně velmi dobré výsledky z testovací lokality České Švýcarsko. To ale nelze zobecnit na všechny pískovcové krajiny, speciálně ne na ty, kde jsou rozsáhlejší rozčleněné skalní plošiny. Obecně nastávají komplikace tím spíše, čím je polygon větší a tvarově komplikovanější. V některých případech je téměř nemožné umístit dolní linie v podobě úseček automaticky, zejména při velmi rozdílné délce horní a dolní hrany nebo v situaci, kdy je polygon příliš široký (měřeno po spádnicí). Nesprávně umístěné dolní linie pak vedou k tomu, že horní symboly jsou příliš deformované či je není možné umístit vůbec. To nastává často v situaci, kdy jsou horní linie příliš členité nebo prohnuté. Ve druhém z těchto případů příliš nepomůže ani generalizace horní hrany.

Pozitivní z hlediska zpracování je skutečnost, že počet „komplexních“ polygonů (ve smyslu kapitoly 4.7.1) je poměrně malý: z 1672 jich bylo ve druhé fázi označeno z komplexní (a tedy zatím automaticky nezpracovatelné) pouze 29. Jejich případné manuální dělení na dílčí části se tak nejvýše z celkového pohledu jako časově příliš náročný úkol.

Pro vylepšení úspěšnosti celého procesu by bylo žádoucí vyřešit zejména následující body:

- nalezení lepšího řešení pro umísťování iniciálních dolních linií, např. s využitím inflexních bodů osy dolní části. Zde se lze inspirovat algoritmy používanými pro tvorbu symbolů pro terénní stupně vyjádřené horní a dolní hranou. To je v zásadě tentýž problém, ovšem u terénních stupňů s poněkud přísnějšími podmínkami na vzájemný soulad iniciálních dolních linií než v případě obrazu skal, kde je určitá nepravidelnost nejen přípustná, ba dokonce i žádoucí. Pro konkrétní řešení viz též poznámky v kapitole 4.5.3.
- automatizace případného zkracování a prodlužování dolních linií v situaci, kdy se délka horní a dolní hrany dramaticky liší. To by ovšem znamenalo problémy s umísťováním příčných čárek, zvlášť mají-li být orientovány proti sobě.
- povolit dolní linie nejen v podobě úseček, ale v podobě obecných polylinií, což umožní obecně rovnoměrnější vyplnění dolní části polygonu. To přináší opět komplikace s umísťováním příčných čárek, mají-li být proti sobě.
- automatizovat rozdělení a tím i zpracování komplexních polygonů,
- nalezení obecně lepšího řešení pro podlouhlé polygony orientované po spádnicí, protože jejich reprezentace pomocí jednoho nebo několika málo horních symbolů a v poměru

k jejich velikosti extrémně dlouhé dolní linie je nevyhovující, srov. též obr. 106 na str. 166 a související diskuzi v kapitole 3.4.6.

Praktické zkušenosti také ukázaly určité potíže s koncepčním způsobem celé práce při tvorbě reprezentace skalních útvarů. Dávkové zpracování všech objektů najednou je reálně použitelné pouze v případě, že dá vždy spolehlivé výsledky. Kontrolovat výsledek procesu polygon po polygonu po každé fázi zpracování je zdlouhavé a nepohodlné. Pro tento účel by bylo obecně vhodnější nepostupovat po jednotlivých fázích aplikovaných na všechny polygony, ale po jednotlivých polygonech a na každý z nich aplikovat všechny fáze s případnou interaktivní úpravou jejich mezivýsledků. Určitou obecnou nevýhodou představuje také obtížná editovatelnost výsledné reprezentace, kdy editace výsledku linii po linii je extrémně nepraktická. Pro zajímavost lze uvést, že výsledná reprezentace vytvořená v rámci testování obsahovala celkem 24 283 horních symbolů, 22 482 dolních linií a 42 807 příčných čárek. Z tohoto pohledu může být užitečné zachovat dílčí výstupy některých fází a manuálně editovat tyto, a následně spustit další fáze zpracování. Použitá implementace také ukazuje, že některé části výpočtu mohou být časově poměrně náročné. Jde zejména o určování směru spádu v generalizovaném DMR a výpočet *medial axis* při tvorbě osy dolní části polygonu.

4.8 Automatizace žebříčkové manýry

Na základě zkušeností s předchozí metodou a zejména jejími problémy popsány v kapitole 4.7.8 byla navržena inovovaná metodika, která většinu z nich řeší. Předchozí metoda byla automatizací postupu, který se snaží napodobit žebříčkovou manýru způsobem pohodlným pro manuální tvorbu. V této kapitole je navržen ideově odlišný koncept, který se také snaží napodobit žebříčkovou manýru, ale je primárně navržen pro automatizovanou tvorbu. Jde tedy o pokus o automatizaci tvorby žebříčkové manýry, popsané v kapitole 4.1.2.

Vstupní data pro tuto metodu musí splňovat stejné vlastnosti jako vstupy pro metodu z kapitoly 4.7. To se týká i omezení ve vztahu k současným datům ZABAGED. Výstupem této metody může být liniová kresba, s tím, že každý segment nese informace o své tloušťce (jde tedy o reprezentaci odpovídající kapitole 4.2.9 šrafy jako liniová vektorová kresba). Pro vizualizaci výsledné reprezentace je tedy třeba zvolit barvu a proměnlivou šířku linie v závislosti na atributu. Výstupem metody může být též polygonová vrstva, tedy reprezentace odpovídají kapitole 4.3.10. Tu je vhodné použít v situaci, kde je tloušťka jednotlivých linií odladěna vzhledem k měřítku mapy, barvě, příp. požadovanému plastickému účinku výsledné reprezentace. Pak stačí v kartografickém nebo GIS software nastavit pouze barvy výplně polygonu.

Zpracování se provádí opět polygon po polygonu. Začíná se konceptuální generalizací skalního útvaru, reprezentované syntetickým modelem reliéfu. Na základě něj se nejprve tvoří vertikální šrafy (spádové čáry z kapitoly 4.1.2), následně horizontální šrafy a reprezentace podél horních hran skalního útvaru. Výsledné meziprodukty se na závěr stínují. V obecném případě se provádí následující kroky:

1. zpracování vnitřních hran,
2. přiřazení syntetických výšek hranám,
3. tvorba syntetického modelu reliéfu pro účely šrafování,
4. tvorba vertikálních šraf vycházejících z horních hran,
5. zahuštění vertikálních šraf šrafami nevycházejícími z horních hran,
6. tvorba horizontálních šraf,

7. tvorba reprezentace v okolí horní hrany,
8. stínování vertikálních šraf, reprezentace u horní hrany a horizontálních šraf.

Každá z těchto částí je popsána podrobně dále jako samostatná kapitola, v níž jsou vysvětleny obecné principy a detaily realizace každého kroku a diskutovány doporučené hodnoty jednotlivých parametrů algoritmu. Postup zpracování je ilustrován na konkrétním netriviálním příkladu. U některých kroků jsou též zmíněny alternativní přístupy vedoucí k řešení popisovaných úkolů.

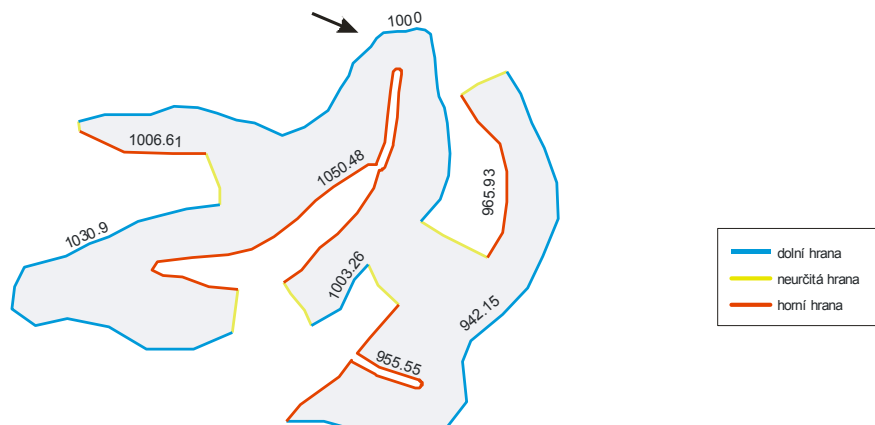
4.8.1 Zpracování vnitřních hran

Postup je stejný jako v kapitole 4.7.1 u automatizace metody používané ZÚ pro základní mapy. Na konci této fáze se ovšem neprovádí kontrola zpracovatelnosti polygonů; do dalších fází zpracování postupují všechny.

4.8.2 Přiřazení syntetických výšek hranám

Základní idea celého dále popsaného postupu vychází z předpokladu, že skalní šrafy představují specifickou abstrakci reliéfu. Do doby, než byly zpracovány výškopisné produkty mapování nového výškopisu ČR, nebyl uvnitř plochy skal k dispozici vhodný popis reliéfu ve formě DMR. Nyní takový DMR k dispozici je, je ovšem příliš podrobný. Z tohoto důvodu byl navržen způsob tvorby abstraktního modelu pro účely šrafování pouze na základě klasifikace vnitřních a obvodových hran, který je použitelný v obou případech. Tento abstraktní model je dále označován jako syntetický a výšky odečtené z tohoto modelu jako syntetické výšky.

Smyslem tvorby syntetického modelu je tedy vytvořit určitou abstrakci reálného reliéfu, která zachovává všechny rysy terénu podstatné pro tvorbu šraf, a ty nepodstatné zcela opomíjí. Výhodou z pohledu zpracování je, že na syntetický model lze použít některé analytické funkce GIS (zejména počítání směru spádu, tvorba vrstevnic) tak, že jejich výsledkem je určitá část kresby žebříčkové manýry. To je velmi výhodné, protože se tím problém převádí na již vyřešené úkoly, což představuje výhodu i z pohledu implementace. Diskuze na téma vztahu syntetického a reálného modelu reliéfu je součástí kapitoly 4.8.9.



Obr. 141. Příklad možného přiřazení syntetických výšek hranám.

Příklad tvarově složitého komplexního polygonu, na kterém bude ilustrován průběh celého zpracování. Přiřazování výšek začalo od hrany označené šipkou, která dostala syntetickou výšku 1000.

Syntetický model se interpoluje na základě výšek hran. V prvním kroku proto budou přiřazeny syntetické výšky všem horním a dolním hranám, a to jak hranám na obvodu polygonu, tak hranám vnitřním. Základní myšlenka postupu vyplývá z toho, že vertikální šrafy tvořící součást kresby žebříčkové manýry spojují vždy horní a dolní hranu. Cílem je tedy přiřadit hranám výšky tak, aby byla vždy horní hrana výše než asociovaná dolní hrana. V tom případě bude možné vyjít z bodu na

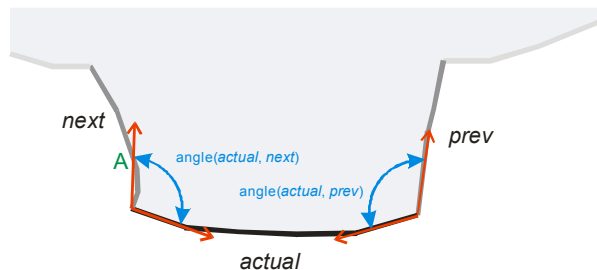
horní hraně, postupně kreslit vertikální šrafu vždy ve směru největšího spádu a kresbu ukončit na hraně dolní. Konkrétní příklad možného přiřazení výšek je na obr. 141.

Výškový rozdíl mezi horní hranou a dolní hranou bude určen délkou neurčité hrany, přes kterou jsou tyto dvě hrany spojeny. V případě, že spolu asociovaná horní a dolní hrana sousedí přímo (na což lze pohlížet jako na speciální případ, že jsou spojeny neurčitou hranou nulové délky), bude výška dolní hrany nižší o předem danou pevnou hodnotu. Za zmínku stojí, že pro daný účel nejsou konkrétní hodnoty výšek podstatné, důležitý je pouze výškový rozdíl, který umožní určit směr největšího spádu.

Přiřazení výšek probíhá ve čtyřech fázích:

1. Začne se na libovolné dolní nebo dolní hraně (tedy nikoliv na neurčité). Horní a dolní hrana bude mít vždy konstantní výšku v celé své délce, výšky se mění pouze na neurčité hraně, resp. na přechodu mezi horní a dolní hranou. Změny výšek se postupně přiřazují na základě pořadí hran po obvodu polygonu po směru hodinových ručiček. Ve výpočtu se pokračuje až do té doby, než přijde opět na řadu hrana, na které se začínalo.
2. Seznam změn výšek se zkonsoliduje (pře počítá) tak, aby byl výsledek nezávislý na hraně, na které se začíná.
3. Na základě zkonsolidovaného seznamu výšek se všem horním a dolním hranám přiřadí konkrétní hodnota výšky, která bude použita v dalších výpočtech.
4. Vyřeší se výšky případných vnitřních hran nespojených s obvodem polygonu způsobem analogickým k 1., 2. a 3.

Přiřazování výšek v první fázi probíhá následovně. Označme *actual* hranu, která je právě zpracovávána, *prev* předchozí hranu na obvodu polygonu (v případě první zpracovávané hrany je tedy předchozí hranou hrana poslední), *next* hranu následující po právě zpracovávané (viz obr. 142) a $\text{angle}(h_1, h_2)$ úhel mezi hranami h_1 a h_2 ve stupních. Jde o vnitřní úhel polygonu, který svírají dvě polylinie (klasifikované hrany). Ten lze snadno spočítat s využitím skalárního součinu znormovaných směrových vektorů segmentů hran (červené šipky na obr. 142) v kombinaci s *half-plane testem* (viz kapitolu 3.4.4). S ohledem na to, že je potřeba zohlednit tvar polygonu, nemusí být úplně vhodné počítat úhel na základě velmi krátkých segmentů ležících na rozhraní h_1 a h_2 . Lepších výsledků lze v případě velmi krátkých segmentů dosáhnout např. tak, že se pro účely počítání úhlů uvažuje bod na polylinii ležící v určité vzdálenosti od průsečíků h_1 a h_2 (na obr. 142 použito v případě bodu označeného A). To lze pochopitelně realizovat pouze v případě, že je daná polylinie dostatečně dlouhá.



Obr. 142. K vysvětlení přiřazování výšek.
Podrobnosti v textu.

V případě, že je aktuální hrana dolní a bezprostředně následující hrana horní, bude se výška přičítat o pevně danou minimální hodnotu *minStep* (tedy následující horní bude mít větší hodnotu výšky). Následuje-li hrana neurčitá, záleží na úhlu, který aktuální hrana s touto hranou svírá. Je-li tento úhel menší než 180° , bude mít změna kladné znaménko (tj. hrana následující po *next* bude mít větší

hodnotu výšky než *actual*), v opačném případě bude mít změna znaménko záporné. Viz též následující algoritmus:

```

if actual.edge_type == "lower":
  if next.edge_type == "upper":
    changes.append( minStep )
  elif next.edge_type == "indefinite":
    chVal = max( minStep, next.length ) // hodnota, o kterou se bude výška měnit
    if angle(actual, next) < 180.0:
      changes.append( chVal )
    else:
      changes.append( (-1) * chVal )

```

Je-li aktuálně zpracovávaná hrana horní, je situace analogická předchozí:

```

if actual.edge_type == "upper":
  if next.edge_type == "lower":
    changes.append( (-1) * minStep )
  elif next.edge_type == "indefinite":
    chVal = max( minStep, next.length ) // hodnota, o kterou se bude výška měnit
    if angle(actual, next) < 180.0:
      changes.append( (-1) * chVal )
    else:
      changes.append( chVal )

```

Konkrétní hodnota změny by měla korespondovat s délkou neurčité hrany (případně se vzdáleností jejích krajních bodů) a měla by dosahovat určité minimální hodnoty (klidně shodné se situací, kdy spolu přímo sousedí horní a dolní hrana), aby byla splněna podmínka existence spádu mezi asociovanou horní a dolní hranou. Z praktických důvodů, kdy je vhodné se při provádění dalších analýz nad syntetickým modelem vyvarovat extrémních sklonů, se ukazuje vhodné volit změnu výšky přibližně stejnou jako délku neurčité hrany, což vede ke sklonům okolo 45°. Hodnota minimálního převýšení v případě absence neurčité hrany by neměla být úplně nízká, aby byl vynucen spád mezi horní a dolní hranou. V implementaci byla zvolena hodnota minimálního převýšení $minStep = 10$ m.

V případě, že je aktuálně zpracovávaná hrana neurčitá, lze zkontrolovat logickou konzistenci tvaru polygonu a klasifikace hran. Měla by být splněna podmínka, že pokud jsou oba úhly přilehlé k aktuálně zpracovávané hraně větší než 180° nebo oba menší než 180°, měly by být předchozí a následující hrana různých typů. V situaci, kdy je jeden z úhlů větší než 180° a druhý menší než 180°, měly by být předchozí a následující hrana téhož typu:

```

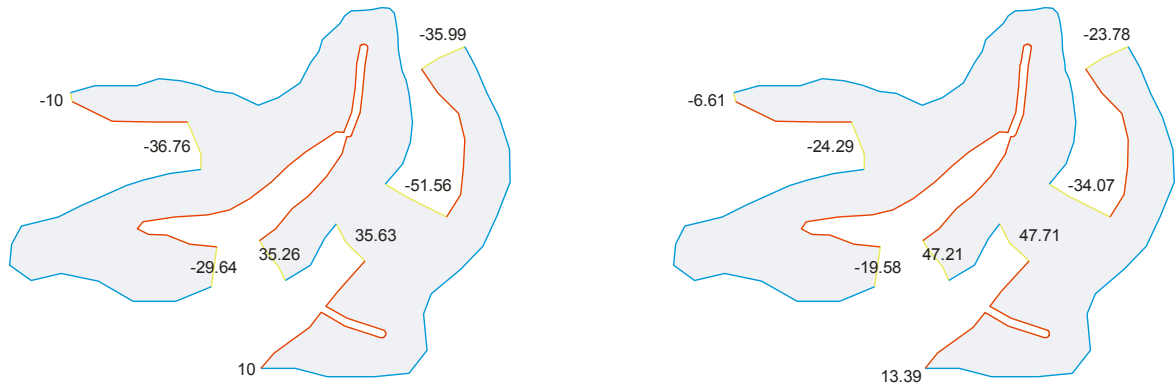
if actual.edge_type == "indefinite":
  prev_angle_flag = -1 if angle(actual, prev) < 180 else 1
  next_angle_flag = -1 if angle(actual, next) < 180 else 1
  if prev_angle_flag * next_angle_flag > 0:
    if not prev.edge_type <> next.edge_type:
      // potenciální problém: nekonzistence mezi klasifikací hran a tvarem polygonu
    else:
      if not prev.edge_type == next.edge_type:
        // potenciální problém: nekonzistence mezi klasifikací hran a tvarem polygonu

```

Na konci výpočtu by měl být součet hodnot v poli *changes* roven 0, protože po projití všech obvodových hran polygonu a změn výšek by se mělo dospět k původní hodnotě výšky hrany, na které se začínalo. Tento předpoklad v praxi bude jen málokdy splněn, z toho důvodu je potřeba změny výšek zkonsolidovat. To lze udělat snadno následovně:

- spočte se hodnota *sum* jako součet všech hodnot v poli *changes* (o tuto hodnotu je třeba zvýšit, resp. snížit hodnotu jednotlivých prvků pole, aby byl součet 0),
- spočte se hodnota *total* jako součet absolutních hodnot v poli *changes*,
- spočtou se nové hodnoty v poli *changes* podle vztahu $c[i] - \text{abs}(c[i]) * (\text{sum} / \text{total})$, kde $c[i]$ je *i*. hodnota v poli *changes*.

Příklad změn hodnot výšek před a po konsolidaci je na obr. 143.



Obr. 143. Relativní změny výšek mezi horními a dolními hranami. Vlevo před konsolidací, vpravo po konsolidaci. Vysvětlení v textu.

Na základě konsolidovaných hodnot rozdílů výšek lze již snadno přiřadit konkrétní hodnotu výšky každé horní a dolní hraně. Vyjde se ze stejné hrany jako v předchozím kroku, nastaví se jí libovolná iniciální hodnota výšky a každá další horní nebo dolní hrana bude mít výšku vypočtenou z předchozí hrany na základě konsolidovaného pole změn. Na iniciální hodnotě výšky principiálně vůbec nezáleží. U příkladu na obr. 141 byla zvolena iniciální hodnota výšky 1000, a hodnoty dopočteny postupně přičítáním, resp. odečítáním hodnot podle obr. 143 vpravo.

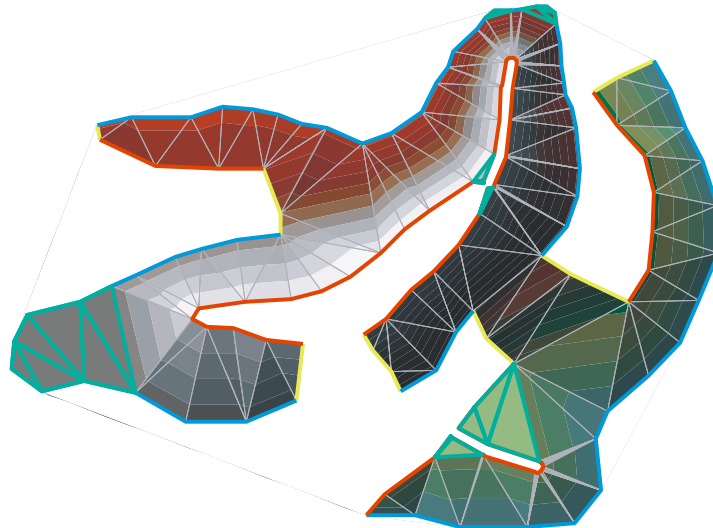
Pokud existují v polygonu vnitřní hrany (které se v upraveném polygonu projeví jako díry v polygonu), je postup zpracování analogický k výše uvedenému. Zpracovává se každá díra v polygonu zvlášť. Určitá komplikace může nastat s nastavením iniciální výšky, aby byla v souladu s již dopočítanými výškami na obvodu polygonu. V typickém případě, kdy je vnitřní hrana tvořena výhradně hranou horní, postačuje jí nastavit hodnotu větší než je nejvyšší z hodnot na obvodu, je-li tvořena výhradně hranou dolní, postačí hodnota nižší, než je libovolná z hodnot na obvodu. Při zpracování díry se postupuje tak, že je považována za samostatný polygon (tj. vnitřní úhly se počítají v díře). Alternativním – i když ne zcela ideálním – způsobem, jak se těchto problémů zbavit, je propojení vnitřních děr s obvodem polygonu pomocí neurčitých hran, podobně jako je to řešeno v ZABAGED (viz kapitolu 3.1.3 a obr. 41 na str. 81).

Výstupem této fáze zpracování jsou 3D linie, mající v případě horní a dolní hrany konstantní výšku, v případě neurčité hrany pak výšku lineárně přecházející z výšky horní hrany do výšky dolní hrany, které příslušná neurčitá hrana spojuje.

4.8.3 Tvorba syntetického modelu reliéfu pro šrafování

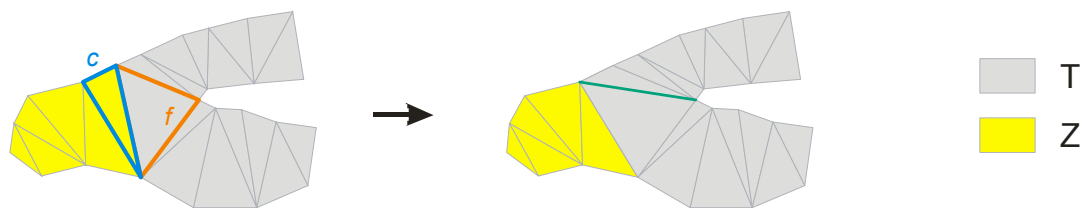
Na základě syntetických výšek linií vzniklých v předchozím kroku je vytvořen syntetický model reliéfu, který bude sloužit pro výpočet šraf za použití standardních funkcí pro analýzy DMR. Tvorba modelu probíhá v několika krocích. Nejprve je z horních, dolních a neurčitých hran vytvořen TIN, s tím, že uvedené 3D hrany jsou při jeho tvorbě vloženy jako povinné hrany triangulace. Model je obvykle vytvořen uvnitř konvexní obálky obsahující všechny body daných linií. Ukázka vytvořeného TIN je na obr. 144.

Po vytvoření TIN je třeba zkontrolovat podmínku, že každý trojúhelník, ležící uvnitř polygonu vymežujícího skalní útvar, má nenulový sklon. Pro účely šrafování je totiž třeba dosáhnout toho, aby vytvořený model byla plocha „svažující“ se od horní hrany k hraně dolní tak, aby směr největšího spádu kopíroval v konkrétním místě směr nejkratší spojnice horní a dolní hrany. Pro tvarově nekomplikované polygony je tato podmínka splněna automaticky, v případě složitějších tvarů je potřeba triangulaci upravit.



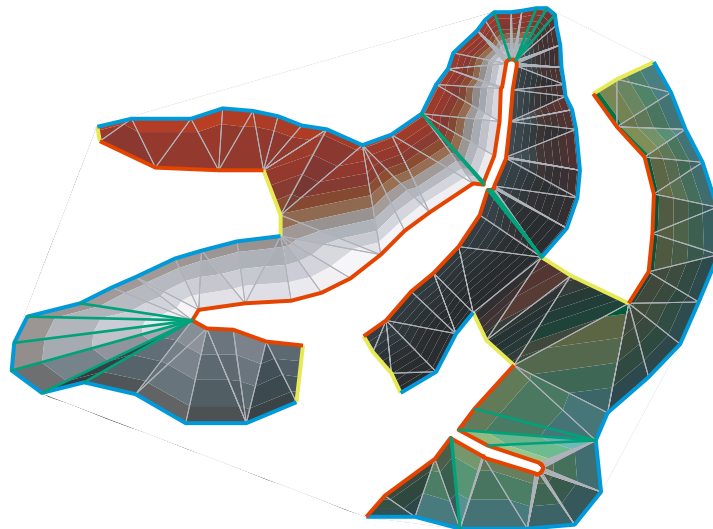
Obr. 144. TIN vytvořený z hran bez úprav.
Zeleně zvýrazněn obvod trojúhelníků s nulovým sklonem. Podrobnější vysvětlení v textu.

Úprava proběhne následovně. Předpokládejme, že uvnitř polygonu vymežujícího plochu skalního útvaru existuje množina trojúhelníků T , které mají nenulový sklon, a množina trojúhelníků Z , které mají sklon nulový. Pak vždy existuje trojúhelník $c \in Z$, který splňuje podmínku, že sousedí s některým z trojúhelníků T přes hranu triangulace (nikoliv jen přes vrchol). Označme tento trojúhelník f . Upravená triangulace vznikne tak, že se „prohodí“ hrany ve čtyřúhelníku $c \cup f$, viz obr. 145. Tím jeden trojúhelník z množiny Z ubude. Celý postup se opakuje až do doby, než je množina Z prázdná.



Obr. 145. K úpravě triangulace.
Vlevo stav před úpravou, vpravo výsledek úpravy, nově přidaná hrana je vyznačena zeleně. Obrázek zachycuje pouze jeden krok, celý postup se opakuje, dokud existují nějaké trojúhelníky z množiny Z . Podrobnější vysvětlení v textu.

Při implementaci postačuje nově vytvořené hrany zadat jako povinné hrany triangulace. Upravený model je pak na obr. 146. Výsledný model je následně vhodné převést na rastr a je žádoucí ho mírně vyhladit, aby nebyly vizuálně příliš patrné hranice mezi jednotlivými trojúhelníky. Toho lze jednoduše dosáhnout např. převedením na hrubší rastr a následnou bilineární interpolací zpět na rastr jemnější. Bylo by samozřejmě možné použít i sofistikovanější způsoby typu plátování apod. Na výsledný rastrový model lze pohlížet jako na zjednodušenou abstrakci reliéfu vytvořenou na základě informací o charakteru obvodových linií skalního útvaru. Vytvořený syntetický model je zásadním mezivýsledkem potřebným pro snadné generování šraf.



Obr. 146. TIN po úpravách.
Zeleně zvýrazněny nové hrany triangulace. Podrobnější vysvětlení v textu.

4.8.4 Tvorba vertikálních šraf

V další fázi zpracování budou tvořeny šrafy. Nejprve budou tvořeny šrafy vertikální, následně pak šrafy horizontální. Z vertikálních šraf budou nejdříve vytvořeny ty, které začínají na horní hraně, následně – bude-li to potřeba – pak ty, které na horní hraně nezačínají. Mechanismus generování vertikálních šraf je v obou případech stejný. Z toho důvodu bude nejprve popsán postup tvorby jedné šrafy a potom bude vysvětleno, jakým způsobem se šrafami vyplní celá plocha polygonu.

Obecný popis generování vertikální šrafy

Algoritmus pro generování jedné vertikální šrafy vyžaduje jako vstup počáteční bod šrafy, DMR a některý ze vstupů nutných pro ukončení trasování šrafy (viz dále). Výpočet probíhá nad syntetickým modelem, ale postup principiálně funguje i pro reálný DMR. Volitelným vstupem je iniciální směr šrafy, který má svůj význam při šrafování celé plochy (rovněž viz dále). Idea celého postupu je poměrně jednoduchá: z počátečního bodu je vytvořen úsek šrafy o fixní délce ve směru největšího spádu (v případě zadání nepovinného iniciálního směru v daném směru). Tím vznikne nový počáteční bod, opět se určí směr největšího spádu, vytvoří další úsek atd. Šrafu se snažíme vytvořit co nejdelší, tedy postup se opakuje do té doby, dokud nenastane jedna z následujících podmínek:

1. koncový bod právě vytvářeného úseku se dostal mimo zpracovávanou oblast, v níž je povoleno šrafy tvořit. V tom případě bude výsledkem tohoto kroku pouze ta část úseku, která leží uvnitř zpracovávané oblasti.
2. právě vytvářený úsek protnul linii, která je volitelným vstupem algoritmu (dále jen *stop-line*, o významu těchto linií při šrafování tvarově komplikovanějších ploch viz dále). V tom případě bude výsledkem tohoto kroku pouze část úseku od počátečního bodu po průsečík se stop-linií.
3. právě vytvořený úsek svírá s předchozím úsekem příliš malý úhel (menší, než je předem zadaná mez). Pokud k tomu dojde, znamená to, že šrafa se v daném místě příliš láme. V tomto případě se nově vytvořený úsek ke stávajícímu výsledku nepřidá vůbec.

Výsledná šrafa je polylinie tvořená sjednocením všech vytvořených úseků. Výslednou šrafu může být ještě vhodné upravit, resp. přidat jí určitou nepravidelnost, která je pro znázornění skal žádoucí. Formálně lze popis algoritmu pro generování jedné šrafy shrnout následovně:

Generování šrafy

vstup: počáteční bod *seed_pnt*, DMR *dem*, oblast, v níž se má šrafa tvořit *process_area*, volitelně iniciální směr *init_direction* a volitelně stop-linie *stop_lines*
výstup: šrafa (v podobě polylinie)

```

function traceHachure(seed_pnt, dem, process_area, [init_direction], [stop_lines] )
  iter = 0 // iterace
  result = [] // pole pro uložení úseků výsledné šrafy
  stop = False // příznak, který je nastaven na True v případě, že se má skončit
  start_pnt = seed_pnt // iniciální bod šrafy

  while not stop:
    if iter == 0 and init_direction: // první iterace – použije se iniciální směr
      [dx, dy] = init_direction
    else:
      [dx, dy] = fallLineDirection(start_pnt, dem)
      // jiná než první iterace – použije se směr největšího spádu

    new_part = drawLine(start_pnt, [dx, dy], length)
    // vytvoří se nový úsek z bodu start_pnt ve směru (dx, dy) o délce length

    if iter > 0: // test koncové podmínky na úhel (pouze v jiné než první iteraci)
      angle = angleBetweenLines(new_part, result[iter-1])
      if angle < minAllowedAngle:
        stop = True
        new_geom = None

    if not stop and newPart.crosses(stop_lines): // test na protínání se stop-liniemi
      stop = True
      new_geom = Polyline(new_part.firstPoint, intersection(newPart, stopLines))

    if not stop and not new_part.lastPoint.within(process_area):
      // kontrola, zda koncový bod úseku leží uvnitř oblasti ke zpracování
      stop = True
      new_geom = intersection(new_part, process_area)

    if not stop:
      new_geom = new_part

    result.append(new_geom) // přidá se nový segment šrafy na výstup
    startPnt = newPart.lastPoint // nový iniciální bod dalšího úseku šrafy
    iter = iter + 1 // další iterace

  return result // výsledná šrafa

```

Zbývá vysvětlit některé dílčí kroky a parametry: směr největšího spádu (se zohledněním okolí předem dané velikosti) lze vypočítat postupem uvedeným v kapitole 3.4.4. Délka úseků šrafy by měla být zvolena s ohledem na měřítko výsledné mapy, při testování byla zvolena vzdálenost 0,8 mm. U ukončovací podmínky (1) je vhodné zmínit, že se testuje pouze poloha koncového bodu vůči zpracovávané oblasti. Pokud právě vytvářený úsek šrafy začíná uvnitř této oblasti, vychází z ní a vrací se do ní zpět, tj. jeho koncový bod leží opět uvnitř zpracovávané oblasti, nevádí to a není to důvodem pro ukončení výpočtu. Touto generalizací se částečně předejde příliš „potrhaným“ šrafám.

Vhodná hodnota mezního úhlu pro ukončení výpočtu podle podmínky (3) byla na základě experimentů stanovena 120°. Vyšší hodnoty úhlů vedou k tomu, že šrafy budou rovnější, ovšem zejména u tvarově komplikovanějších polygonů kratší, protože bude z důvodů porušení této

podmínky častěji docházet k ukončení trasování šrafy. Naopak nižší hodnoty úhlu povedou k tomu, že šrafa se začne kroutit, sebeprotínat apod. Tato podmínka má význam zejména v případě, kdy z dat vyplývá existence údolnice, která ale není zachycena vnitřní hranou – zaručí totiž, že šrafy budou (alespoň přibližně) na této údolnici ukončeny.

Pro přesnější kontrolu nad případným ukončením šraf slouží výše zmíněné stop-linie. Pokud jsou v podkladových datech zachyceny všechny vnitřní hrany skalního útvaru a jsou ve fázi zpracování korektně zahrnuty do plochy skalního útvaru, není třeba stop-linie používat vůbec. V návrhu algoritmu pro generování šraf nicméně možnost používat stop-linie zahrnuta je a zvyšuje tak jeho obecnou použitelnost.

Prevence kroucení a sebekřížení šraf při generování je také tím hlavním důvodem, proč se pro účely výpočtu používá extrémně generalizovaný syntetický model a nikoliv reálný DMR, i když by byl k dispozici. Výsledkem pokusů o trasování vertikálních šraf nad podrobným reálným DMR z dat LLS na velmi členitých plochách skal s malým okolím uvažovaným pro výpočet směru spádu by byly jen velmi krátké úseky, protože by velmi rychle nebyla splněna podmínka týkající se úhlu.

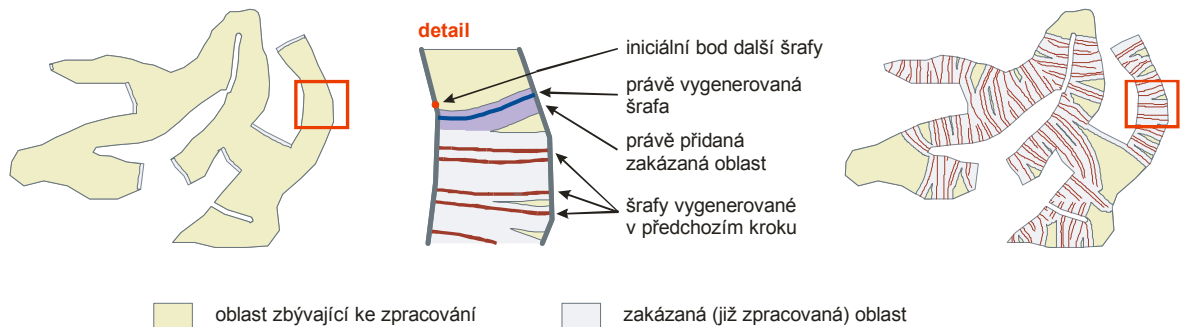
Volitelného přidání nepravidelnosti výsledné šrafě lze dosáhnout např. pomocí upraveného náhodného přesouvání středního bodu, popsaného v kapitole 4.7.6. V případě obecné polylinie se postup liší od zpracování úsečky v tom, že rekurzivní dělení vychází ze středu polylinie (bod, jehož vzdálenost od počátku a konce polylinie, měřená po jednotlivých segmentech, je stejná) a posun o náhodnou vzdálenost není kolmo, nýbrž ve směru náhodně zvoleného úhlu. Míra roztřesení přidaná pomocí náhodného přesouvání středního bodu by neměla překročit určitou mez, protože pak hrozí, že se výsledná šrafa dostane mimo oblast určenou ke zpracování. To by s ohledem na mechanismus, jakým je šrafami vyplňována plocha, mohlo přinést potíže (viz dále). Náhodné přesouvání středního bodu samozřejmě není jediným způsobem, jak dosáhnout nepravidelnosti výsledku. Téhož efektu by bylo možné dosáhnout např. náhodným posunem koncového bodu každého generovaného úseku.

Na rozdíl obvyklé podoby žebříčkové manýry tento postup netvoří nutně „rovné“ polylinie (charakteru úseček), ale o to lépe kopíruje směr největšího spádu. To se projevuje zejména v oblastech, kde skála vytváří hřeben (a které jsou problematické i při ruční tvorbě metodou používanou ZÚ na základních mapách i její automatizované variantě). Popsaným způsobem vygenerované vertikální šrafy vytvářejí charakteristické křivky kopírující lokální směr největšího spádu terénu. Svým průběhem připomínají klasické Lehmannovy šrafy – podobně jako například na obr. 133 na str. 192. Pokud by byl tento efekt nežádoucí, lze se ho zbavit zvýšením minimální hodnoty úhlu v podmínce (3), ovšem za cenu, že výsledné šrafy budou kratší.

Generování vertikálních šraf vycházejících z horních hran

Nyní bude popsán způsob, jakým se jednotlivými šrafami vyplní plocha zpracovávaného polygonu. Jak již bylo zmíněno, nejprve se vytváří šrafy začínající na horní hraně (resp. horních hranách, je-li v rámci jednoho polygonu těchto hran více). Postup spočítá v tom, že poblíž začátku horní hrany se začne trasovat šrafa. Proč je to „poblíž“ a ne na úplném začátku, bude vysvětleno záhy. Území pro zpracování je na počátku nastaveno tak, že zabírá celý polygon, zmenšený případně o oblasti okolo neurčitých hran (viz dále a obr. 147 vlevo). Po vygenerování šrafy se okolo ní vytvoří buffer (zakázaná zóna, kam se další šrafa již nemůže nakreslit) a o tuto zónu se zpracovávané území zmenší. Následně se vyber další bod na horní hraně (o strategii výběru viz dále) a vytvoří se další šrafa, viz obr. 147 uprostřed. S ohledem na podmínku ukončení generování šrafy ve vztahu ke zpracovávanému území je tak zaručeno, že se šrafy nemohou protnout. Tímto způsobem se

postupuje podél horní hrany; v případě, že jich je v rámci jednoho polygonu více, tak podél všech horních hran. Takto se postupně vyplní šrafami část zpracovávaného polygonu (ovšem ne nutně celý polygon), viz obr. 147 vpravo.



Obr. 147. Vysvětlení generování vertikálních šraf vycházejících z horních hran.

Vlevo stav na začátku zpracování: ke zpracování zbyvá téměř celý polygon kromě oblastí okolo neurčitých hran. Uprostřed detail přidávání šrafy: okolí nově vygenerované šrafy zmenší oblast zbývající ke zpracování a rozšíří již zpracovanou oblast.

Generování následující šrafy bude pokračovat od dalšího iniciálního bodu. Vpravo výsledek po vygenerování všech vertikálních šraf vycházejících z horní hrany a generalizaci zbývajících oblastí ke zpracování. Podrobnější vysvětlení v textu.

Strategií pro výběr dalšího bodu na horní hraně se nabízí hned několik:

- a) pravidelný rozestup, tj. body jsou od sebe v předem dané vzdálenosti,
- b) pravidelný rozestup s prvem náhody, stejné jako předchozí, pouze konkrétní vzdálenost je do nějaké míry ovlivněna náhodou (řeší se typicky normálním rozdělením se střední hodnotou pravidelného rozestupu a daným rozptylem určujícím, jak velký vliv má náhoda mít); výhodou je, že vede k větší nepravidelnosti,
- c) střídání krátkých a dlouhých úseků pevné délky, tento přístup odpovídá metodě používané ZÚ pro základní mapy popsané v kapitole 4.3.6,
- d) střídání krátkých a dlouhých úseků s prvem náhody, představuje kombinaci b) a c), výhodou je ještě větší nepravidelnost než u b) a větší podobnost obvyklé podobě původní žebříčkové manýry, viz kapitolu 4.1.2. Tento postup byl použit při testování, s hodnotami 1,8 mm s povolenou odchylkou $\pm 0,2$ mm v případě delšího úseku a 0,7 mm s povolenou odchylkou $\pm 0,1$ mm pro kratší úsek.
- e) náhodný rozestup z předem daného intervalu přípustných hodnot (řeší se typicky rovnoměrným rozdělením, posunutým a změřitovaným podle mezí požadovaného intervalu)

Vzdálenost mezi předchozím a dalším bodem pro trasování šrafy může být měřena buď po linii, nebo přímo. Měření po linii není vhodné v případě, kdy je horní hrana velmi členitá, v tom případě by mohla nastat situace, že by iniciální bod další šrafy ležel uvnitř zakázané zóny okolo šrafy předchozí. V ukázce byla použita metoda měření přímo, kdy se hledá bod ležící od posledního na kružnici o daném poloměru s nejbližší vyšší vzdáleností od počátku linie, než měl naposledy zpracovaný iniciální bod. V závislosti na strategii volby iniciálních bodů je potřeba volit velikost zakázané oblasti okolo právě vygenerované šrafy. Bod pro generování nové šrafy by neměl být příliš blízko, aby výpočet další šrafy hned neskočil z toho důvodu, že se dostane mimo zpracovávanou oblast. Aby měla nová šrafa určitý prostor, je vhodné velikost zakázané oblasti zvolit o něco větší než je polovina přímé vzdálenosti k dalšímu bodu. Při testování byla použita hodnota 0,61 násobku této vzdálenosti. Naopak příliš malá velikost zakázané oblasti vede k tomu, že se v následujícím kroku bude generovat příliš mnoho dodatečných vertikálních šraf nevycházejících z horní hrany.

Úvodním krokem, který přechází vytvoření první šrafy z počátečního bodu některé horní linie, je zpracování neurčitých hran. S ohledem na to, že zhruba kopírují směr spádu, měly by být součástí vertikálních šraf. Z důvodů grafické konzistence je vhodné neurčité hrany upravit pomocí náhodného přesouvání středního bodu stejně jako generované šrafy. Podobně jako u výše popsaného zpracování se okolo nich vytvoří zakázaná oblast, o kterou se zmenší polygon ke zpracování. Tím tedy první generovaná šrafa nezačíná přesně v počátečním bodě horní hrany. To je výhoda i z toho důvodu, že se šrafa nedostane hned mimo polygon skalního útvaru a tím i zpracovávanou oblast.

Při generování šraf vycházejících z horní hrany je žádoucí určit a při trasování šrafy zohlednit iniciální směr, který představuje normálu k dané horní hraně v místě, odkud šrafa vychází. Pro zjištění této normály je vhodné zohlednit určité předem definované okolí. Nastavení iniciálního směru tak zaručí, že první úsek šrafy bude kolmý na horní hranu. Ještě větší význam má toto nastavení v situaci, kdy je horní hrana identická s hranicí oblasti, kde byl vygenerovaný syntetický model. Generování směru největšího spádu totiž vychází z odečtených výšek v určitém okolí daného bodu (viz kapitolu 3.4.4) a mohlo by se stát, že se toto okolí dostane mimo oblast, kde je model vytvořen.

Další význam má iniciální směr u horních vnitřních linií. V situaci, kdy „mezera“ vytvořená v polygonu při zapracování vnitřních hran úpravou popsanou v kapitole 4.7.1 bude menší než okolí, ze kterého se počítá směr spádu, může dojít k jeho ovlivnění protilehlou hranou hřebene. Je proto vhodné s iniciálním směrem počítat (pomůže právě v těchto okrajových případech) a dále nastavit krok při generování úseků šraf tak, aby se po první iteraci iniciální bod následujícího úseku šrafy dostal dovnitř zpracovávané plochy aspoň o polovinu velikosti okolí pro určování směru největšího spádu. Tím už v dalším kroku problémy s odečítáním výšek ze syntetického modelu nenastanou. Analogické obtíže mohou nastat i u dolní hrany, tvoří-li tato okraj oblasti, kde byl syntetický model vytvořen. V tomto případě si lze ale pomoci tím, že se při neúspěšném pokusu o odečtení výšek pro účely určení směru největšího spádu se zachová směr šrafy stejný jako v předchozím kroku.

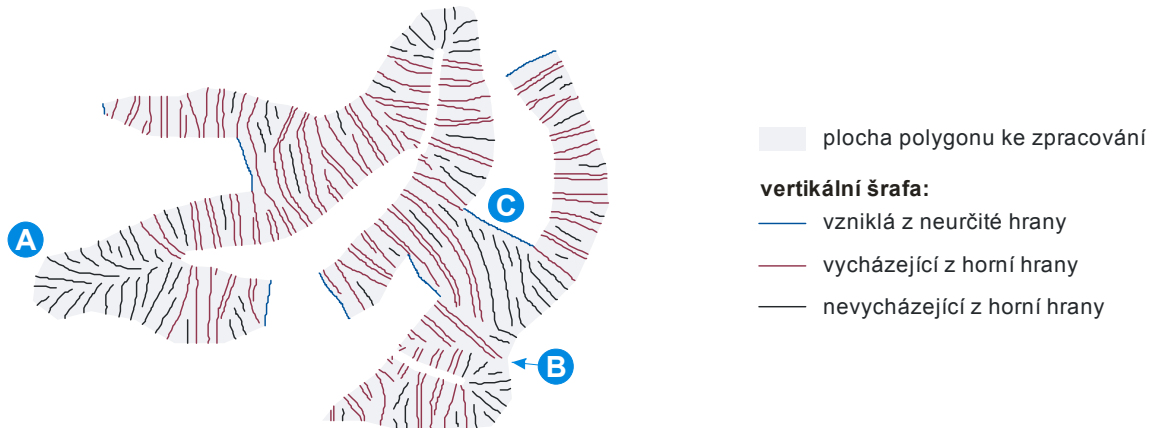
Zakázané zóny okolo šrafy logicky končí na okraji polygonu (to má význam v případě, že by buffer přesahoval do další části polygonu, která ale s vytvořenou šrafou vůbec nespojuje) a analogicky také končí na stop-liniích. Je to z toho důvodu, že šrafy končící na údolnicích by nijak neměly ovlivňovat šrafu ve svahu ležícím za hřbetnicí, údolnicí či lomovou hranou.

Další zdroj potenciálních potíží představuje volitelné přidání nepravidelností ve výsledné šrafě. Tak, jak bylo popsáno výše, nijak nerespektuje oblast ke zpracování. Pokud se dovolí při metodě náhodného přesouvání středního bodu příliš velká odchylka, mohly by se šrafy začít křížit. Povolenou změnu geometrie je tedy potřeba udržet v „rozumném“ okolí vygenerovaného výsledku zejména s ohledem na strategii výběru dalšího bodu, odkud bude šrafa generována. Přípustná odchylka v prvním kroku metody náhodného přesouvání středního bodu by neměla přesáhnout polovinu vzdálenosti k sousední šrafě, vhodná je spíše jedna čtvrtina této hodnoty.

Generování vertikálních šraf nevycházejících z horních hran

Tvorba šraf vycházejících z horní hrany a zakázaných zón okolo nich postupně zmenšovala území určené ke zpracování. Pokud po této fázi ještě nějaké území ke zpracování zbylo (srov. obr. 147 vpravo), bude došrafováno následujícím způsobem. V území ke zpracování se v syntetickém modelu nalezne maximum a z tohoto maxima se začne generovat šrafa. Dosáhne-li šrafa předem dané minimální délky, zařadí se do výsledku, vytvoří se okolo ní buffer podobně jako

v předchozím kroku a o tuto zakázanou zónu se zmenší zpracovávaná oblast. Pokud šrafa požadované minimální délky nedosáhne (typicky z toho důvodu, že se její koncový bod příliš brzo dostal mimo oblast ke zpracování), nezařadí se do výsledku, ale příslušné místo se označí jako zpracované (a tedy se vyjme z oblasti ke zpracování). Celý postup je opakován, dokud nějaké území ke zpracování zbývá. S ohledem na to, že v každé iteraci nějaká část území ke zpracování ubude, je celý tento proces konečný.



Obr. 148. Výsledné vertikální šrafy.

Obrázek zachycuje barevně rozlišené vertikální šrafy vzniklé v jednotlivých fázích zpracování. Podrobnější vysvětlení včetně situací (A) – (C) v textu.

S ohledem na efektivitu zpracování je vhodné zbývající oblast ke zpracování generalizovat v tom smyslu, že se z ní odstraní plošky menší než je daná mez, vyplývající z požadované minimální délky šrafy. Při testování byla použita mez $0,4 \text{ mm}^2$, vycházející z poloviny délky úseku použitého při generování šrafy. Generalizaci je vhodné provádět i v průběhu výpočtu, i když ne nutně v každém kroku. Uvedený způsob hledání iniciálních bodů šrafy pomocí maxima vychází z předpokladu, že je požadováno vytvořit co nejdélší šrafu. S ohledem na popsaný mechanismus generování vertikálních šraf by tedy měla začínat co nejbližší horní hraně, tj. z pohledu syntetického modelu co nejvýše. Výhodou minimální požadované délky šrafy je, že umožňuje nalézt „lepší“ řešení (ve smyslu delší šrafy). Často se totiž stane, že generování z prvního maxima v dané oblasti by vytvořilo šrafu krátkou, zatímco z některé další buňky by mohla být delší. Na druhou stranu při požadavku na přílišnou minimální délku se může stát, že šrafu nebude možné do oblasti ke zpracování umístit vůbec. Nepříjemným vedlejším efektem pak bude prodloužení doby výpočtu: úspěšně vygenerovaná šrafa zmenší území ke zpracování mnohem výrazněji než označení okolí jednoho bodu a eliminace území ke zpracování bod po bodu je z principiálních důvodů delší proces.

Výsledek generování vertikálních šraf je zachycen na obr. 148. Ve srovnání s metodou používanou ZÚ na základních mapách působí výsledek nepravidelně až chaoticky. V případě obrazu skalních útvarů to ale nemusí být nutně nevýhoda, protože určitá nepravidelnost je žádoucí a objevuje se i u manuálně zpracované žebříčkové manýry. Tato nepravidelnost je navíc podporována při samotné tvorbě šrafy náhodným přesouváním středního bodu. Další výhodou je, že uživatel má v této fázi možnost zasáhnout a nepovedené nebo příliš potřhané úseky interaktivně vymazat či překreslit.

Z ukázky na obr. 148 je dobře patrné chování popsaného šrafovacího mechanismu: poměrně dobře a nepravidelně, ale vcelku rovnoměrně vyplní zadanou plochu, místy vznikají tvary vertikálních šraf, které nemají přímkový charakter (na obr. 148 označeno A). Metoda se díky ukončovací podmínce (3) dokáže vypořádat s chybějící údolnicí (označeno B, šipka naznačuje

směr údolnice). Problém představují neurčité hrany, které z pohledu syntetického modelu nejsou striktně orientovány přesně ve směru spádu. V důsledku toho nemusí být vertikální šrafy ideálně rovnoběžné s vertikálními šrafami odvozenými od neurčitých hran (C).

4.8.5 Tvorba horizontálních šraf

V této fázi zpracování budou dotvořeny příčky žebříčků. Ty budou představovány částmi vrstevnic vhodné výšky vygenerovaných ze syntetického modelu. Výhodou tohoto přístupu je mimo jiné to, že funkce pro tvorbu vrstevnic z DMR jsou standardní součástí většiny GIS software a není tedy třeba implementovat speciální funkčnost.



Obr. 149. Rozdělení zpracovávaného polygonu na dílčí polygony podle vertikálních šraf. Jednotlivé dílčí polygony jsou pro lepší přehlednost barevně odlišeny a očíslovány.

Celý zpracovávaný polygon bude rozdělen vertikálními šrafami vytvořenými v předchozím kroku na menší části (viz obr. 149), dále nazývané dílčí polygony. Hranice dílčího polygonu tvoří z převážné části ty vertikální šrafy, které začínaly na horní hraně a jejich trasování dospělo až k hraně dolní, případně neurčité. Uvnitř tohoto polygonu pak mohou být další vertikální šrafy.

V typickém případě má dílčí polygon tvar blízký obdélníku, resp. lichoběžníku, jehož základny jsou horní a dolní hrana a ramena vertikální šrafy, resp. neurčitá hrana. U tvarově komplikovanějších skalních útvarů zejména v situacích typu hřeben nebo amfiteátr může mít dílčí polygon tvar komplikovanější (viz např. polygony s číslem 11, 22 nebo 37 na obr. 149). Horizontální šrafy se budou vytvářet pro každý dílčí polygon zvlášť, a to následovně. Nejprve se zjistí počet vertikálních šraf, které budou vytvořeny. Následně se určí konkrétní výšky vrstevnic, které je třeba vygenerovat. Nakonec se vygenerované vrstevnice oříznou a „začistí“ s ohledem na dílčí polygon a vertikální šrafy uvnitř něj.

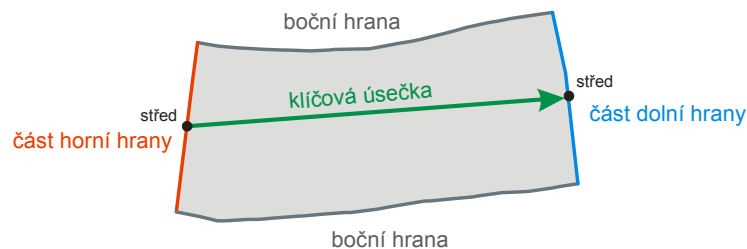
Počet horizontálních šraf vychází z nastavení, které určuje jejich ideální hustotu (ve smyslu počtu šraf na mm, resp. rozestupu horizontálních šraf v mm). Tento údaj lze ze znalosti měřítka mapy přepočítat ideálně na vzdálenost mezi šrafami v jednotkách souřadnicového systému mapy. V případě jednoduchého lichoběžníku vychází nejsnazší způsob určení ideálního počtu horizontálních šraf z výšky lichoběžníku (tj. vzdálenosti mezi základnami lichoběžníku). Označme tuto vzdálenost jako klíčovou délku. S ohledem na značnou tvarovou variabilitu dílčích polygonů

se ovšem ukazuje vhodné určit ideální klíčovou délku v dílčím polygonu několika na sobě nezávislými způsoby (viz obr. 150):

- na základě délky klíčové úsečky. Část obvodové linie každého dílčího polygonu je identická s úsekem některé horní hrany, další část obvodové linie je identická s úsekem některé dolní hrany. V typickém případě jsou takové části právě dvě: jedna pro horní hranu, jedna pro dolní hranu. V případě tvarově komplikovanějšího dílčího polygonu ale může být takových částí více (polygon č. 37 na obr. 149). V tom případě je relevantní část odpovídající nejvyšší horní hraně a nejnižší dolní hraně. Úsečka je pak spojnice středů relevantních částí. Teoreticky může nastat i situace, kdy dílčímu polygonu část identická s úsekem horní nebo dolní hrany zcela chybí. V tom případě se příslušný bod klíčové úsečky nahradí průsečíkem neurčité hrany a vertikální šrafy tvořící část obvodu dílčího polygonu. V případě lichoběžníku odpovídá klíčová úsečka výšce. Počet horizontálních šraf se pak určí vydělením délky klíčové úsečky a požadovaného rozestupu šraf.
- na základě délky „bočních“ hran (představujících v typickém případě ramena lichoběžníku). Od obvodu dílčího polygonu se odečte délka všech částí, které jsou identické s úsekem některé horní nebo dolní hrany, a výsledek se vydělí dvěma. V případě lichoběžníku se tím nedostane výška, ale průměr z délek obou ramen.
- na základě plochy dílčího polygonu. V případě lichoběžníku se spočte výška v na základě znalosti plochy a délky základen lichoběžníku podle vzorce:

$$v = 2 S / (a + c),$$

kde S je plocha dílčího polygonu a a a c jsou délky základen. Základny lichoběžníku představují úseky obvodu dílčího polygonu odpovídající horní, resp. dolní hraně. Uvedený vzorec lze aplikovat i v obecném případě, kdy dílčí polygon není lichoběžník.



Obr. 150. K metodám určení klíčové délky při tvorbě horizontálních šraf. Podrobnější vysvětlení v textu.

V případě, že se dílčí polygon blíží svým tvarem lichoběžníku, dávají všechny tři metody přibližně stejné a správné výsledky. Z hlediska robustnosti navrženého algoritmu jsou ovšem podstatnější situace, kdy mají jednotlivé přístupy problémy. To nastává v případě, kdy se dílčí polygon od lichoběžníku tvarově výrazně odlišuje. Hlavní potíží prvního přístupu je umělé prodlužování délky klíčové úsečky v situaci, kdy jsou hrany vůči sobě posunuté z důvodů zakřivení bočních hran dílčího polygonu či horní nebo dolní hrany. Druhý způsob má problém zejména v situaci, kdy se boční hrany výrazně liší od úseček. I v tomto případě vyjde požadovaný počet horizontálních šraf nadhodnocený. Výpočet s využitím plochy nadhodnocuje, resp. podhodnocuje počet šraf v případě, že jsou boční hrany prohnuté směrem dovnitř, resp. ven z polygonu.

Je proto výhodné pro účely stanovení počtu horizontálních šraf zkombinovat všechny tři přístupy a za výsledek vzít např. jejich průměr, případně i sofistikovanější statistiku typu váženého průměru zohledňující lépe odlehlosti hodnot dílčích výsledků. V nejjednodušší podobě může odpovídat tomu, že pokud se dva přístupy dobře shodly, bude se výsledek blížit jejich průměru a k třetímu se bude přihlížet pouze minimálně.

V některých případech i tento poměrně robustní postup nefunguje úplně ideálně. Typicky je to v situaci, kdy je značný délkový rozdíl bočních hran (polygon č. 8 na obr. 149), jde o rozsáhlý polygon typu hřebene či amfiteátru (polygon č. 22 na obr. 149), nebo je výsledný dílčí polygon příliš tvarově komplikovaný (polygony č. 11 a 37 na obr. 149). Poslední situace obvykle souvisí s absencí vnitřní hrany skalního útvaru. Uvedený postup vede ke značným rozdílům v určení ideálního počtu horizontálních šraf. Ten ovšem u rozlehlejších polygonů stanovit nelze, resp. libovolná hodnota vede k tomu, že jsou šrafy buď lokálně příliš nahuštěny, nebo naopak příliš řídké. Možné řešení představuje dodatečné vymazání vybraných úseků horizontálních šraf po jejich rozdělení vertikálními šrafami (viz dále). Tento postup nebyl automatizován.

Z klíčové délky se následně určí ideální počet horizontálních šraf v dílčím polygonu. Ještě než se z této délky vypočítá počet šraf, je vhodné tuto délku upravit. Poslední (z pohledu syntetického modelu nejnižše ležící) šrafa by neměla ležet přesně na hranici polygonu, ale být odsazena o vhodnou vzdálenost (i s ohledem na stínování). Podobně nejvyšší šrafa by ze stejného důvodu neměla ležet přesně na horní hraně. Z tohoto důvodu je vhodné tuto „výšku“, resp. „délku“ snížit o fixní hodnoty, které jsou volitelným parametrem metody. Teprve ze zbylé vzdálenosti se vydělením ideálního rozestupu horizontálních šraf a zaokrouhlením určí jejich počet, který se v daném dílčím polygonu použije. Při testování byly použity hodnoty ideálního rozestupu šraf 1,1 mm, odstup první šrafy od horní hrany 0,1 mm a odstup poslední šrafy od dolní hrany 0,3 mm.

Je-li znám potřebný počet šraf, může následovat určení výšky jednotlivých vrstevnic, které budou dané šrafy představovat. Vychází se při tom již z vygenerované klíčové úsečky a vygenerují se na ní v pravidelném rozestupu určeném počtem šraf a se zohledněním začátku a konce body. Body budou vygenerovány od počátku úsečky ve vzdálenostech $first + k \cdot step$, kde

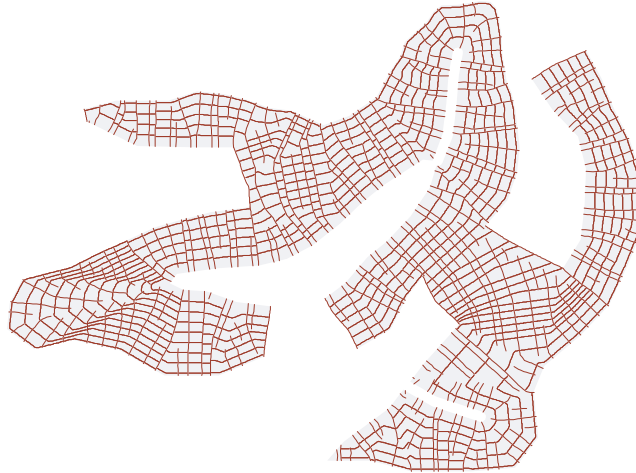
$$step = (key_l - first - last) / hach_cnt,$$

kde $first$ je odstup první šrafy od dolní hrany, $last$ je odstup poslední šrafy od dolní hrany, key_l je délka klíčové úsečky, $hach_cnt$ je počet šraf stanovený v předchozím kroku a k je celočíselná hodnota od 0 do $hach_cnt - 1$.

V místě takto určených bodů se odečte výška ze syntetického modelu. Tím je garantovaný přibližně stejný rozestup horizontálních šraf. Je potřeba zdůraznit, že mezi odečtenými výškami mezi stejně vzdálenými body nemusí být stejný výškový rozdíl. Tato podmínka je v typickém případě splněna (v situaci, kdy má syntetický model mezi horní a dolní hranou v daném dílčím polygonu konstantní hodnotu sklonu), ale u složitějších tvarů splněna být nemusí. Jediný požadavek, který byl na syntetický model při jeho generování v kapitole 4.8.3 kladen, byl požadavek na směr největšího spádu od horní hrany k dolní. Uvedenou obtíž lze popsaným způsobem ve většině případů obejít. Jednoduché určení výšek vrstevnic tvořících horizontální šrafy jen na základě maxima a minima v daném dílčím polygonu nemusí vést k ideálním výsledkům.

Nyní lze ze syntetického modelu vygenerovat vrstevnice. Je vhodné tak učinit s určitým přesahem přes plochu dílčího polygonu, aby nedocházelo z důvodů okrajových podmínek k jejich nekorektnímu generování. I to je jeden z důvodů, proč je poslední posunutá směrem dovnitř do polygonu. Mají-li být speciálním způsobem řešeny hlavy skal, lze generování první šrafy vynechat, protože tato šrafa bude nahrazena hlavou. Šrafy se následně oříznou na plochu dílčího polygonu a dále se z nich odmažou ty části, které leží příliš blízko vertikálním šrafám. Pokud po úpravě některá šrafa dosahuje délky menší, než je daná mez, je z výsledku odstraněna. V ukázce použité hodnoty mají minimální délku horizontální šrafy 0,5 mm a mezeru mezi vertikálními a horizontálními šrafami 0,1 mm.

Uvedený postup se opakuje pro každý dílčí polygon. Sousední polygony, které mají podobný tvar, mají i stejný počet šraf ležících v zásadě v podobných výškách. Individuální zpracování každého dílčího polygonu tak přináší další nerovnoměrnost, která je v tomto případě spíše opět žádoucím jevem. Výsledek zpracování je na obr. 151. Výsledek je z převážné části vyhovující, s výjimkou lokální přehuštění u polygonů č. 22 a 37, a naopak malého počtu šraf u polygonu č. 11.



Obr. 151. Horizontální a vertikální šrafy.

Popsaný postup navíc umožňuje zohlednit podmínku uvedenou v popisu žebříčkové manýry v kapitole 4.1.2, která se týká změny hustoty horizontálních šraf v závislosti na osvětlené/zastíněné straně a vzdálenosti od horní/dolní hrany pro zdůraznění plastického efektu výsledné reprezentace. K ní mohou přispět horizontální šrafy následovně:

- stínováním (tj. změnou tloušťky linie horizontální šrafy),
- změnou rozestupu horizontálních šraf,
- kombinací obojího.

Popsaný mechanismus generování umožňuje aplikovat libovolnou z možností. Ze syntetického modelu lze snadno zjistit, zda jde o zastíněnou nebo osvětlenou stranu (lze spočítat průměrnou orientaci na ploše dílčího polygonu pomocí funkce *Aspect*) a změny rozestupu mezi šrafami lze dosáhnout úpravou vzorkování podél klíčové úsečky. Ta je orientována jednotně (např. shora dolů), tudíž lze snadno zohlednit podmínky typu „u horní hrany jsou horizontální šrafy hustější“. Tyto podmínky nejsou v ukázkách zohledněny.

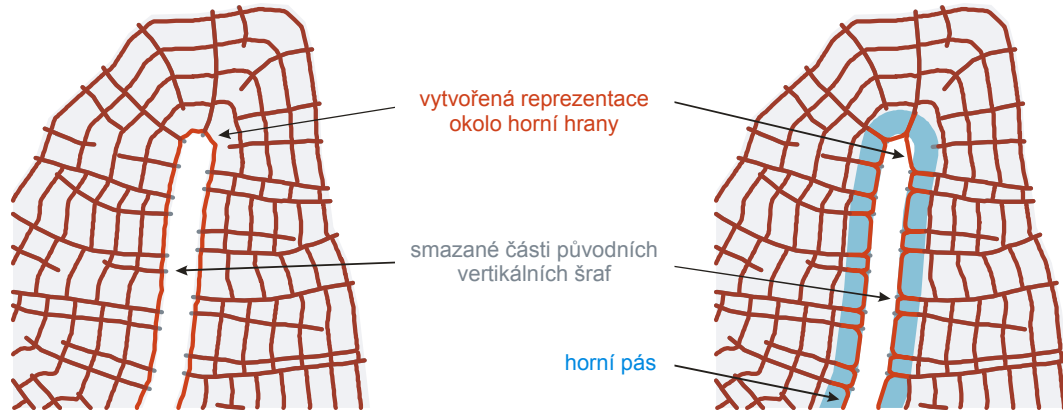
Při tvorbě horizontálních šraf se opět projeví výhoda syntetického modelu. Výsledné šrafy mají charakter úseček, pouze v místech typu „hřeben/amfiteátr“ mohou vytvořit oblouk, obvykle ale velmi dobře aproximovatelný několika málo úsečkami. Této vlastnosti bude dále využito při stínování. Navíc jsou takto vytvořené šrafy poměrně rovnoběžné. V případě reálného modelu by odvozené vrstevnice měly velmi komplikovaný tvar a rovnoběžné by nebyly.

4.8.6 Tvorba reprezentace u horní hrany

V této fázi bude dotvořena geometrie zbytku reprezentace v okolí horní hrany. V žebříčkové manýře zůstává reprezentace dole otevřená, tj. v blízkosti dolní hrany je nakreslena pouze nejspodnější horizontální šrafa a nic dalšího. Naopak oblast okolo horní hrany je zdůrazněna, obzvláště na zastíněné straně, pomocí oblouků či linií spojujících jednotlivé vertikální šrafy.

Nejjednodušším řešením je pro tento účel použít horní hranu, resp. její části ležící vždy mezi dvěma šrafami. O něco lepší možnost pak spočívá v posunutí horní hrany směrem „dovnitř“ do

polygonu (to má smysl zejména s ohledem na stínování, aby výsledná stínovaná reprezentace příliš nepřechývala ven z polygonu). Linii lze dále mírně generalizovat, a následně případně poupravit pomocí náhodného přesouvání středního bodu, se zachováním polohy jejích průsečíků s vertikálními šrafi. Části vertikálních šraf ležící mezi posunutou linií a původní horní hranou budou následně odmazány (viz obr. 152 vlevo).



Obr. 152. Dva způsoby řešení reprezentace u horní hrany. Vlevo jednodušší řešení, vpravo řešení založené na transformaci symbolů. Podrobnější vysvětlení v textu.

Sofistikovanější způsob řešení reprezentace oblasti okolo horní hrany představuje transformace nakresleného vzoru na oblast okolo horní hrany, analogická postupu z kapitoly 4.7.4. Okolo horní hrany se vytvoří pás odpovídající výšce symbolu, který má být podél horní hrany umístěn (dále jen horní pás). Nakreslený vzor má čtyři řídicí body, které se transformují na čtyři body ve zpracovávaném polygonu. Tyto body jsou počáteční a koncový bod dvojice vertikálních šraf oříznutých na oblast horního pásu (viz obr. 152 vpravo). Při implementaci lze využít skutečnosti, že vertikální šrafi jsou sousední, pokud jsou přímo spojeny úsekem horní hrany. Ze čtveřice identických bodů se následně spočítají koeficienty projektivní (kolineární) transformace mezi nakresleným vzorem a požadovaným výsledkem a nakreslený vzor se podle těchto koeficientů transformuje. Výsledná reprezentace je sama o sobě nepravidelná, jednak z důvodů nepravidelnosti rozmístění iniciálních bodů při tvorbě vertikálních šraf podél horní hrany, jednak proto, že ne každá vertikální šrafa je dostatečně dlouhá a nezasahuje tedy až na dolní okraj horního pásu. Při transformaci se vzorový symbol o to víc zkroutí. Do výsledku lze vnést ještě větší nepravidelnost aplikováním náhodného přesouvání středního bodu na transformovaný vzor. Následně se ještě smažou ty části vertikálních šraf, které zasahují do horního pásu. Výsledek popsaného procesu je zachycen na obr. 152 vpravo.

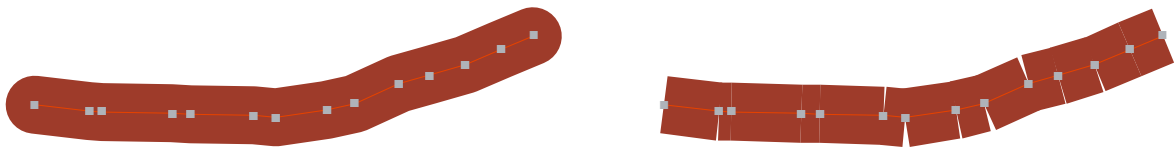
Hlavní výhodou druhého přístupu je skutečnost, že umožní uživateli lépe ovlivnit výslednou podobu reprezentace (oblejší tvary pro ohlazenější skály atd.), je ovšem výpočetně náročnější. Problém představuje také situace, kdy jsou řídicí body transformace v cílovém prostoru nevhodně rozmístěné (např. 3 z nich leží v přímce). Transformace je pak špatně podmíněná a dává chybné výsledky. Možným řešením je použití více řídicích bodů. Pak se nepočítá se soustavou 4 rovnic o 4 neznámých, ale řeší se přeúřčená soustava více rovnic o 4 neznámých například metodou nejmenších čtverců.

Zde se ukazuje výhoda přístupu, který byl použit při tvorbě vertikálních šraf. Ty se tvořily shora (ač by to šlo i opačně) a na horní hraně tedy byla nad jejich rozmístěním výrazná kontrola. Tato kontrola pak umožní vytvořit reprezentaci okolo horní hrany podstatně snáze a nedochází ke vzniku příliš dlouhých úseků, kde žádná vertikální šrafa není a kde by se transformovaný vzor příliš deformoval.

4.8.7 Stínování

Pro stínování bude použit model popsáný v kapitole 4.5.2 a zachycený na obr. 127 na str. 188. Ten sice úplně neodpovídá oficiálnímu popisu žebříčkové manýry, ale praxe používaná v československých topografických mapách dává za pravdu spíše tomuto modelu než popisu této metody (viz diskuzi v kapitole 4.1.2).

Z pohledu praktické realizace to znamená každé šrafě nebo jejímu úseku přiřadit tloušťku linie pro účely jejího nakreslení. Vlastní nakreslení může probíhat buď přímo v kartografickém nebo GIS software, kdy je linie symbolizována na základě hodnoty atributu. Alternativně lze z těchto údajů rovnou vytvořit buffer příslušné velikosti okolo linie, pak bude výsledkem polygonová vrstva, kterou lze symbolizovat přímo (stačí nastavit barvu výplně a není nutné složitě nastavovat pravidla vizualizace v závislosti na hodnotě atributu). Z pohledu vykreslování v software je tento přístup rychlejší. V praxi je tedy vhodné mezivýsledek v podobě liniové vrstvy s atributem použít k nastavení a odladění přesných parametrů stínování (viz dále) a případným posledním ručním úpravám reprezentace. Po otestování těchto parametrů lze pak produkovat rovnou polygonové vrstvy.



Obr. 153. K ilustraci problému napojování rozdělených segmentů polylinie. Vlevo varianta s půlkulatým zakončením, vpravo varianta se čtvercovým. Červeně geometrie polylinie, šedými čtverci její body. Podrobnější vysvětlení v textu.

Výsledkem celého procesu jsou úsečky, které mají jako atribut uloženu požadovanou šířku. Z pohledu symbolizace těchto linií i tvorby případné polygonové vrstvy je potřeba řešit navazování těchto úseků. Pokud je zakončení linií kulaté, resp. je použit běžný typ bufferu s půlkulatým zakončením okolo koncových bodů úsečky, segmenty polylinie na sebe sice bez problémů navazují, ale kulatý konec působí ne zcela vhodně (obr. 153 vlevo). Použijí-li se čtvercová zakončení linií, resp. typ bufferu vytvářející čtvercové zakončení okolo koncových bodů úsečky, tento problém nenastane, ale vnitřní segmenty polylinie na sebe nenavazují, resp. je mezi nimi mezera (viz obr. 153 vpravo). Vhodné řešení představuje použití první varianty s kulatým zakončením pro vnitřní segmenty polylinie a druhé varianty se zakončením čtvercovým pro segmenty koncové.

Stínování reprezentace zahrnuje vyřešení tří úkolů v následujícím pořadí:

- stínování vertikálních šraf,
- stínování reprezentace u horní hrany,
- stínování horizontálních šraf.

Stínování reprezentace u horní hrany totiž vychází ze stínování vertikálních šraf a horizontální šrafy jsou před stínováním upraveny s ohledem na provedené stínování vertikálních šraf a horní hrany. Každý z kroků je dále podrobněji popsán v textu.

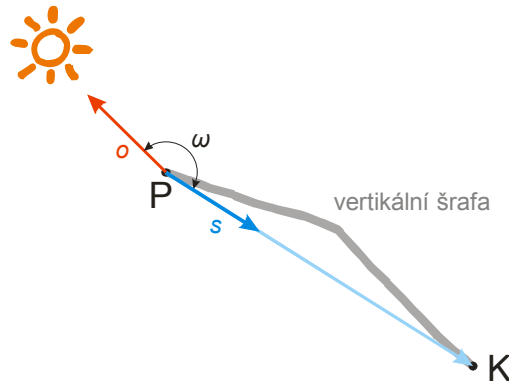
Stínování vertikálních šraf

Nejprve je spočtena orientace celé šrafy vzhledem k modelu osvětlení. Protože vertikální šrafy mají ve většině případů tvar blížící se úsečce, pro výpočet orientace lze pro jednoduchost uvažovat pouze počáteční (P) a koncový (K) bod šrafy (viz obr. 154). Počáteční bod je vždy ten z pohledu syntetického modelu výše položený, koncový ten, který leží níže. Spočte se vektor úsečky PK,

a znormuje se na jednotkový vektor $s = [s_x, s_y]$. Následně se určí úhel ω vektorů s a $o = [-1, 1]$ podle vztahu

$$\omega = \arccos(-s_x + s_y).$$

Vektor $[-1, 1]$ vychází ze směru osvětlení od severozápadu a je zvolen tak, aby šrafa směřující k severozápadu (která bude nejtenčí) svírala s tímto vektorem úhel 0° . Při implementaci lze s výhodou využít skutečnosti, že vertikální šrafy jsou generovány shora dolů, je tedy zřejmé, že počáteční bod P šrafy je ten vyšší. Úhel ω vektorů s a o je z intervalu $\langle 0^\circ, 180^\circ \rangle$.



Obr. 154. Základní idea stínování vertikálních šraf. Podrobnější vysvětlení v textu.

Praktický výpočet tloušťky konkrétní vertikální šrafy probíhá následovně. Předpokládejme, že je stanovena minimální přípustná tloušťka šrafy $minWidth$ a maximální přípustná tloušťka šrafy $maxWidth$; při testování byly tyto hodnoty 0,1 mm, resp. 0,5 mm. Nejprve se hodnota úhlu ω lineárně přepočte na hodnotu střední tloušťky této šrafy m podle vztahu

$$m = minWidth + (\omega / 180) \cdot (maxWidth - minWidth).$$

Nejtenčí šrafy tedy směřují k severozápadu (přivrácená strana ke směru osvětlení, $\omega = 0^\circ$), nejsilnější šrafy pak k jihovýchodu (odvrácená strana od směru osvětlení, $\omega = 180^\circ$).

V dalším kroku je třeba šrafu „zašpičatit“. Na osvětlené straně ($\omega < 90^\circ$) se bude zužovat směrem nahoru, na zastíněné straně pak směrem dolů. Ze střední šířky m určené v předchozím kroku se odvodí šířka na horním konci šrafy a na dolním konci šrafy podle následujících vztahů:

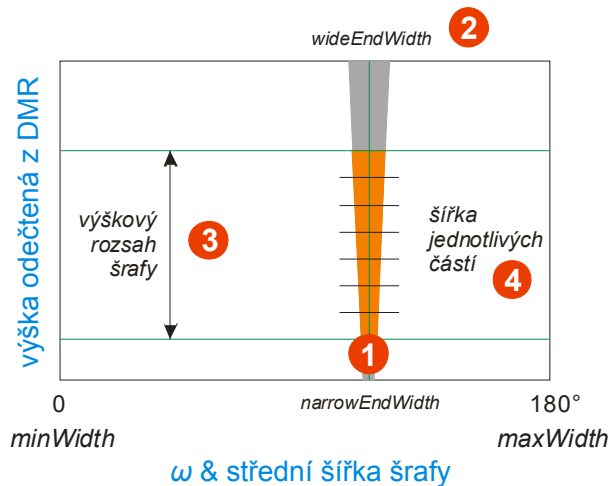
$$maxChange = pf \cdot (maxWidth - minWidth),$$

$$wideEndWidth = m + maxChange,$$

$$narrowEndWidth = m - maxChange,$$

kde $wideEndWidth$ je šířka širšího konce šrafy a $narrowEndWidth$ je šířka užšího konce šrafy. Míra zašpičatělosti šrafy vychází z hodnoty pf (faktor špičatosti). Ta určuje, jak lze využít přípustný rozdíl šířek mezi nejtenčí a nejsilnější šrafou. V ukázce byla použita experimentálně odvozená hodnota $pf = 0,25$.

Další přirozený předpoklad, který by měla reprezentace splňovat, je, aby stejně orientované šrafy ležící vedle sebe měly srovnatelnou tloušťku. Pro splnění této podmínky je třeba uvažovat i výšku počátečního a koncového bodu šrafy. Existuje-li totiž dlouhá šrafa směřující od nejvyšší horní hrany k nejnižší horní hraně, a vedle ní v blízkosti horní hrany stejně orientovaná kratší vertikální šrafa, bude tato jistě širší než stejně orientovaná šrafa ležící blíže dolní hraně (z důvodu porovnatelných tlouštěk sousedních linií). Očekávaná hodnota tloušťky začátku a konce šrafy se pak určí lineární interpolací mezi maximální ($wideEndWidth$) a minimální ($narrowEndWidth$) přípustnou tloušťkou šrafy dané orientace. Celý postup je zachycen ve schématu na obr. 155.



Obr. 155. Schéma pro výpočet stínování vertikální šrafy.

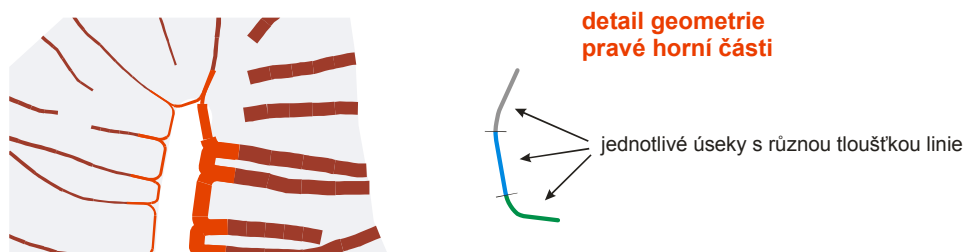
Zpracovávaná šrafa je označena oranžově. Nejprve se určí úhel ω a střední šířka šrafy m (1). Následně se s pomocí pf spočítá šířka širšího konce šrafy a užšího konce šrafy za předpokladu, že výšková poloha šrafy je přes celý rozsah výšek polygonu (2); odpovídá šedé šrafě. Dále se určí skutečná šířka širšího a užšího konce šrafy podle jejího skutečného výškového rozsahu (3). Nakonec se určí šířka jednotlivých částí (4). Podrobnější vysvětlení v textu.

Výhodou uvedeného přístupu je, že zachovává konzistenci tlouštěk vedle sebe ležících stejně orientovaných vertikálních šraf. Má ale jednu nevýhodu: u příliš krátkých šraf je rozdíl mezi začátkem a koncem šrafy příliš malý a šrafa nemá příliš klínovitý tvar.

Nyní je tedy známa požadovaná tloušťka šrafy na horním a dolním konci. Vlastní stínování je provedeno rozdělením polylinie tak, aby se skládala minimálně z pěti částí. To vychází z článku Hurní & Dahinden & Hutzler (2001) diskutovaného v kapitole 4.5.2. Každá část navíc musí být kratší než předem daná mez. Při testech byla použita hodnota 1 mm. Mezi hodnotami požadované maximální (*wideEndWidth*) a minimální (*narrowEndWidth*) tloušťky se opět lineárně interpoluje a tak se přiřadí tloušťka každému segmentu.

Stínování reprezentace u horní hrany

Pro stínování reprezentace u horní hrany lze využít skutečnosti, že každá linie horní reprezentace spojuje dvě vertikální šrafy a tloušťka těchto šraf byla určena v předchozím kroku. Každá linie reprezentace se rozdělí na tři stejné úseky: dva krajní budou mít tloušťku té vertikální šrafy, s níž sousedí, a prostřední bude mít průměr z těchto hodnot (viz obr. 156). S ohledem na délku těchto linií popsaný postup k vytvoření optického přechodu mezi sousedními vertikálními šrafami zcela postačuje.



Obr. 156. Stínování reprezentace u horní hrany.

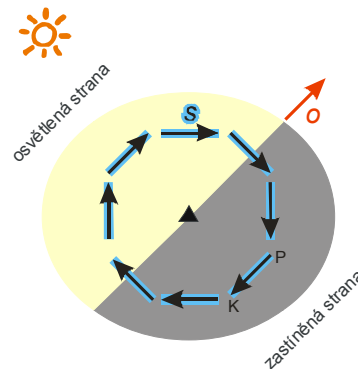
Červeně vyznačena stínovaná reprezentace u horní hrany, hnědě stínované vertikální šrafy. Podrobnější vysvětlení v textu.

Stínování horizontálních šraf

Krokem, který předchází samotnému stínování horizontálních šraf, je jejich oříznutí podle vystínovaných vertikálních šraf, resp. stínované reprezentace okolo horní hrany. Tím se zajistí, aby se horizontální šrafy těchto linií nedotýkaly. Požadovaná velikost mezery při testování je 0,1 mm.

Po této úpravě je vhodné ještě vymazat zbytky horizontálních šraf, které jsou kratší než předem zadaná mez. V rámci testování byly odstraněny šrafy kratší než 0,2 mm.

Základní myšlenka principu stínování horizontálních šraf je velmi podobná té použité u šraf vertikálních. Nejprve se určí orientace šrafy, resp. jejích úseků, vzhledem k modelu osvětlení. Protože horizontální šrafa může být poměrně dlouhá a zakřivená (zvláště v úsecích, kde skála vytváří hřeben, v ukázce například oblast dílčích polygonů č. 22 a 79 na obr. 149 na str. 216), je vhodné zakřivené šrafy rozdělit na segmenty, které budou stínovány zvlášť. Vhodný způsob, jak takové rozdělení zařídit, je generalizace šrafy např. pomocí Douglas-Peuckerova algoritmu (Douglas & Peucker, 1973). Vrcholy generalizované linie lze pak využít k rozdělení šrafy na úseky, které se stínují každý zvlášť. Pokud je příslušná šrafa rovná, k dělení na úseky nedochází.



Obr. 157. Základní idea stínování horizontálních šraf.
Podrobnější vysvětlení v textu.

Podobně jako u vertikální šrafy, pro výpočet orientace stačí uvažovat počáteční (P) a koncový (K) bod úseku (analogicky jako na obr. 154 na straně 222). Spočte se vektor úsečky PK a znormuje se na jednotkový vektor $s = [s_x, s_y]$. Následně se určí úhel ω vektorů s a $o = [1, 1]$ podle vztahu

$$\omega = \arccos(s_x + s_y).$$

Vektor $[1, 1]$ vychází ze směru osvětlení od severozápadu a je zvolen tak, aby šrafa umístěná na stěně orientované k severozápadu (která bude nejtenčí) svírala s tímto vektorem úhel 0° , viz obr. 157. Za povšimnutí stojí, že vektor o , na základě kterého se úhel počítá, je jiný než u vertikálních šraf, protože horizontální šrafy jsou z pohledu logiky stínování o 90° otočené.

Při implementaci lze využít syntetický model. Vypočítá se jeho orientace vzhledem ke světovým stranám (*aspect*) a výsledný rastr se překlasifikuje na zastíněnou (orientace $45^\circ - 225^\circ$) a osvětlenou stranu (orientace $0^\circ - 45^\circ$ a $225^\circ - 360^\circ$). Z obr. 157 je patrné, že úsek šrafy na zastíněné straně musí svírat s vektorem $[1, 1]$ úhel z intervalu $(90^\circ, 180^\circ)$ a na osvětlené straně úhel z intervalu $(0^\circ, 90^\circ)$. Při výpočtu směrového úseku vektoru je tedy jedno, který bod horizontální šrafy je počáteční a který koncový. V případě, že při výpočtu vyjde úhel neodpovídající charakteru osvětlení, bude za výsledný úhel považován doplněk této hodnoty do 180° .

Úhel ω mezi vektory s a o je z intervalu $(0^\circ, 180^\circ)$. Podobně jako u vertikálních šraf, hodnota úhlu se lineárně přečte na hodnotu střední tloušťky m příslušné horizontální šrafy podle vzorce

$$m = \minWidth + (\omega / 180) \cdot (\maxWidth - \minWidth),$$

kde *minWidth* je minimální přípustná tloušťka horizontální šrafy a *maxWidth* je maximální přípustná tloušťka horizontální šrafy. Při testování byly použity hodnoty minimální přípustné šířky 0,07 mm a maximální přípustné šířky 0,4 mm.

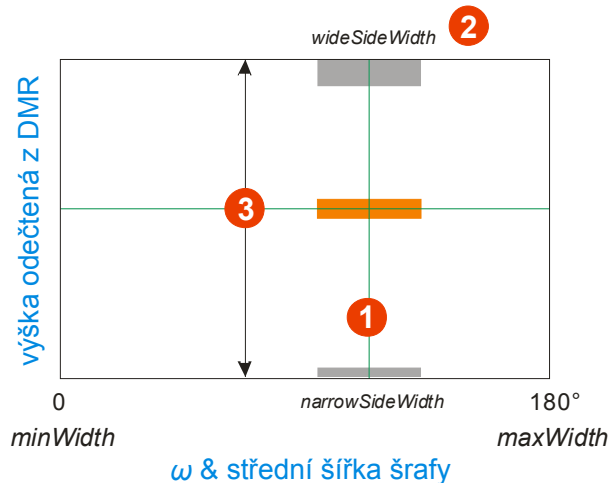
Spočítaná střední tloušťka šrafy m bude dále modifikována na základě její výšky v syntetickém modelu, aby bylo možno splnit zásadu, že na zastíněné straně se horizontální šrafy směrem dolů

kreslí stále tenčí a osvětlené straně se naopak kreslí stále tenčí směrem nahoru. Míru toho, jak moc se horizontální šrafy budou ztenčovat, resp. rozšiřovat, lze určit pomocí parametru u . Ten udává, jakou část rozdílu mezi maximální a minimální přípustnou šířkou šrafy lze použít ke změně tloušťky v závislosti na výšce. Při testování byla zvolena hodnota 0,1. Výška horizontálních šraf se stejnou hodnotou ω se pak pohybuje mezi $narrowSideWidth$ a $wideSideWidth$, které se určí podle následujících vztahů:

$$maxChange = 0,5 u (maxWidth - minWidth),$$

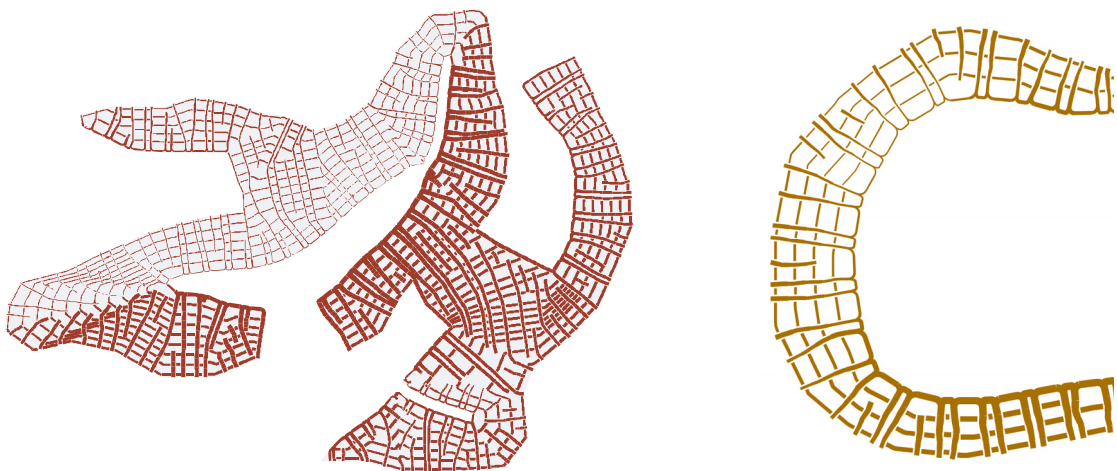
$$wideSideWidth = m + maxChange,$$

$$narrowSideWidth = m - maxChange.$$



Obr. 158. Schéma pro výpočet stínování horizontální šrafy. Zpracovávaná šrafa je označena oranžově. Nejprve se určí úhel ω a střední šířka šrafy m (1). Následně se na základě parametru u spočítají šířky šrafy pro nejvyšší a nejnižší možnou polohu šrafy (2); odpovídá šedým šrafám. Nakonec se vypočte šířka zpracovávané šrafy lineární interpolací mezi těmito hodnotami v závislosti na výškové poloze šrafy (3). Podrobnější vysvětlení v textu.

Výpočet je tedy analogický výpočtu šířky vertikálních šraf. Na základě těchto hodnot se pak určí tloušťky konkrétní horizontální šrafy o dané výšce opět lineární interpolací mezi hodnotami $narrowSideWidth$ a $wideSideWidth$, s tím, že je třeba zohlednit, zda jde o zastíněnou nebo osvětlenou stranu. Celý postup je zachycen ve schématu na obr. 158. Výsledná reprezentace zahrnující stínované horizontální šrafy je zachycena na obr. 159.



Obr. 159. Výsledná reprezentace napodobující žebříčkovou manýru. Vlevo ukázkový příklad: zahrnuje stínované vertikální šrafy, stínovanou reprezentaci okolo horní hrany a oříznuté stínované vertikální šrafy. Na podkladu světle šedě původní polygon. Vpravo zvětšený detail výsledné reprezentace vzniklé při testování nad reálnými daty.

Tím je výsledná reprezentace hotová. Na závěr je podobně jako v kapitole 4.7 vhodné vytvořit polygonovou vrstvu pro odmaskování vrstevnic, která vznikne sjednocením půdorysného polygonu skalního útvaru s bufferem okolo jednotlivých stínovaných šraf.

4.8.8 Implementace a testování

Navržený postup byl experimentálně implementován jako skript v jazyce Python, s využitím modulu `arcpy` podobně jako u testování algoritmu z kapitoly 4.7. Hlavním cílem testování bylo identifikovat případné nedostatky návrhu, které se projeví nad reálnými daty. Pro tvorbu reprezentace u horní hrany byla použita sofistikovanější varianta s využitím transformace připraveného symbolu.

Z časových důvodů neproběhlo testování nad celou testovací sadou, která byla použita v kapitole 4.7.7, ale nad její podmnožinou. Z této sady bylo náhodně vybráno 100 polygonů, nad kterými byl spuštěn výpočet. Ten v 95 případech úspěšně došel do konce, ve 2 případech nedošel do konce v rámci určeného časového limitu (max. jedna hodina na polygon), a ve zbylých 3 případech skončil s chybou. Příčiny těchto chyb jsou v použité implementaci, která je poměrně neefektivní z důvodů její orientace na testování různých možností a variant výpočtu spíše než pro produkční nasazení. V těch případech, kdy výpočet úspěšně došel do konce, byla podobně jako v kapitole 4.7.7 prohlédnuta a hodnocena výsledná reprezentace. Přípustné hodnoty hodnocení byly „vyhovující“ v situaci, kdy reprezentace nepotřebuje vůbec žádné úpravy nebo by se úpravy týkaly jen její nepatrné části (případ 76 polygonů), „s problémy“, pokud byly ve výsledné reprezentaci pouze drobné chyby (14 polygonů) a „nevyhovující“ v případě, že výsledek vykazoval závažnější problémy (5 polygonů).

Osazení výsledku jako „s problémy“ bylo v naprosté většině případů způsobeno nevhodnou reprezentací okolo horní hrany. Ta byla zejména u tvarově složitých horních hran zdeformovaná, chyběly jí některé části nebo byly nesprávně vystínované. Řešením je buď použití jednodušší varianty bez transformace symbolů, případně generalizace horních hran polygonu ještě před spuštěním generování šraf. Příliš členitý obvod polygonu totiž způsobí vytvoření málo generalizovaného syntetického modelu a výpočet směru spádu pak nedává relevantní výsledky. Určité potíže byly také s reprezentací neurčitých hran v situaci, kdy se tato hrana výrazněji lišila od kolmice na horní, resp. dolní hranu. To ale indikuje nejednoznačnost klasifikace hran na obvodu či vymezení půdorysu skalního útvaru spíše než problém metody jako takové.

Závažnější problémy (hodnocení „nevyhovující“) se týkaly zejména situace, kdy šrafy vycházející z horní hrany nerozdělily polygon vhodným způsobem na dílčí polygony. Ve většině případů je tato potíž způsobena absencí vnitřní hrany skalního útvaru, která následně vede k tvarově komplikovaným dílčím polygonům, k nimž není možné vytvořit korektní horizontální šrafy. Ty byly v jedné části takového polygonu příliš nahuštěné a v jiné části jich naopak bylo málo.

Na základě provedení experimentu lze navrženou metodu obecně hodnotit jako funkční, s tím, že problémy byly způsobeny jednak implementací nevhodnou pro produkční nasazení, jednak nesplněním předpokladů kladených na vstupní data. Analýza výsledků (byť na omezené testovací množině) neodhalila situace, se kterými by se navržený algoritmus nebyl schopen vypořádat. Nevýhodou implementované podoby řešení je také časová náročnost výpočtu. Pro menší polygony trval výpočet jednotky minut. Nejnáročnější částí z tohoto pohledu je s ohledem na množství prováděných geometrických operací zejména generování šraf, speciálně těch nevyhazujících z horní hrany. Některé operace v této části jako například aktualizace oblastí ke

zpracování by bylo pravděpodobně výrazně efektivnější provádět v rastrovém, nikoliv vektorovém modelu, protože v tomto případě dostačuje přibližné řešení s přípustnou chybou o velikosti pixelu rastru.

4.8.9 Závěry k metodě

Navržená metoda řeší značnou část problémů předchozího algoritmu z kapitoly 4.7 a odstraňuje většinu jeho omezení. Z tohoto pohledu jsou nejdůležitější zejména následující vlastnosti navržené metody:

- přirozeně řeší komplexní polygony. Počet horních hran v polygonu postup řešení nijak neovlivní. Výsledek ale není úplně bez komplikací v situaci, kdy je polygon tvarově velmi složitý. Algoritmus sice řešení najde, ale nemusí být ideální ve vztahu neurčitých hran a vertikálních šraf, které s nimi nejsou nutně rovnoběžné, ač by z logiky věci být měly. Tato potíž je patrná i z ukázky na obr. 159. Možné řešení by mohlo přinést upravené určování výšek obvodových a vnitřních hran pro tvorbu syntetického modelu s využitím reálného DMR, viz dále.
- přirozeným způsobem řeší potřebné zkracování a prodlužování dolních linií (v terminologii automatizace metody používané ZÚ pro základní mapy z kapitoly 4.7), resp. vertikálních šraf (v terminologii této kapitoly) v situaci, kdy se výrazněji liší délka horní a dolní hrany, které vertikální šrafy spojují. Navíc jsou tyto šrafy polylinie, nikoliv úsečky, což pomáhá lépe a rovnoměrněji vyplnit plochu skalního útvaru. Speciálním případem této situace je skutečnost, že se algoritmus velmi dobře vypořádá se širokými hřebeny bez hřbetnice, tj. nevadí mu ostré zákruty horní hrany. Výsledek není sice ve všech případech ideální, to ovšem není ani při ruční tvorbě.
- přirozeným způsobem řeší lokální zhušťování, resp. ředění dolních linií / vertikálních šraf, navíc způsobem, který garantuje, že se nikdy neprotnou, ba dokonce se sobě ani nepřiblíží na více než předem definovanou mez.
- umožňuje snazší interaktivní zásah, aniž by se tím zkomplikovaly další fáze výpočtu. To se týká zejména případné editace vertikálních šraf. U metody z kapitoly 4.7 přidání dolní linie znamenalo následný problém s umístěním příčných čárek.

Testování metody nad reálnými daty nicméně odhalilo určité problémy, se kterými by bylo žádoucí se před jejím praktickým nasazením vypořádat.

Pravděpodobně největší stávající slabinou navržené metody je neschopnost vypořádat se automaticky s příliš nahuštěnými horizontálními šrafi v situaci, kdy dílčí polygon při tvorbě horizontálních šraf byl příliš rozsáhlý a/nebo tvarově složitý. V rámci testů to ale nebyl častý případ; v testovací sadě tato situace nastala pouze čtyřikrát. Možné řešení spočívá rozdělení dílčího polygonu pro účely generování horizontálních šraf na dílčí části s využitím vertikálních šraf nevycházejících z horní hrany. Pro zpracování těchto částí lze pak použít stejný postup jako je stávající navržený pro dílčí polygony.

Z výsledné reprezentace je v některých místech patrná určitá nelogičnost v umístěování vertikálních šraf, které by kartograf-člověk umístil velmi pravděpodobně jinak. Tato nelogičnost se typicky projevuje jejich „potrháním“ ve smyslu, že plocha je vyplněna větším počtem krátkých vertikálních šraf, ač by bylo možné ji vyplnit menším počtem delších vertikálních šraf. Uvedený postup z kapitoly 4.8.4 se sice snaží tvořit vertikální šrafy co nejdelší, ovšem v praxi je třeba volit kompromis mezi požadovanou minimální délkou šrafy a tím, aby zbývající plocha byla vůbec nějak vyšrafována. V algoritmu je nastavena minimální přípustná délka vertikální šrafy pro

došrafovaní plochy globálně; možné vylepšení by mohlo spočívat v nastavení této hodnoty pro zvlášť každý polygon, resp. oblast určenou k došrafovaní.

Související potíž vychází z postupného generování šraf vycházejících z horní linie striktně za sebou od jejího počátku. V případě, že skála tvoří amfiteátr, nezkracují se v některých případech šrafy úplně ideálně. Za zvážení by stála varianta buď generovat šrafy ne sekvenčně, ale nejprve na začátku, na konci a uprostřed horních hran, následně ve čtvrtině a třech čtvrtinách jejich délky atd. Jiné řešení, vhodné jak pro vertikální šrafy vycházející z horní hrany, tak pro ty dogenerované dodatečně, by spočívalo v možnosti nemít pouze striktně zakázanou oblast, kam šrafu nelze umístit. Existovaly by dvě oblasti: podmíněná a zcela zakázaná. Pokud by se šrafa dostala zčásti do podmíněné oblasti, mohla by tam jednu (alternativně několik) iterací při jejím generování zůstat. Tím by zůstalo zachováno neprotínání, resp. nepřibližování se vertikálních šraf na stanovenou mez a zároveň by se tím částečně eliminovalo jejich nežádoucí zkracování.

Určitý problém představuje také odladění parametrů stínování, resp. výsledné tloušťky šraf v závislosti na měřítku mapy, rozestupu vertikálních a horizontálních šraf, a také na směru osvětlení a výšce. Proti tomu protichůdně působí požadavek na zašpičatění šrafy. To v současném řešení není nijak výrazné zejména z toho důvodu, aby vedle sebe ležící podobně orientované vertikální šrafy měly srovnatelnou tloušťku a nevznikla mezi dvěma úseky úzkých ve stejné orientovaném svahu náhle šrafa výrazně silnější. Možné řešení představuje použití jiné než lineární přepočítávací funkce při stínování. Se stínováním souvisí i možnost zašpičatění horizontálních šraf podle osvětlovacího modelu z obr. 127 na straně 188. Ta se sice u žebříčkové manýry nepoužívá, ale mohla by vést ke zvýšení plastického účinku reprezentace. Mezivýsledky získané při výpočtu stínování horizontálních šraf jsou dostatečné pro zahrnutí tohoto postupu, např. způsobem analogickým ke zvýšení zašpičatění vertikálních šraf.

Použití prvku náhody pro generování šraf je sice z pohledu grafické podoby výsledku žádoucí, znamená ale nedeterminističnost algoritmu ve smyslu, že výsledky procesu nad stejnými vstupními daty jsou pokaždé mírně odlišné. To nakonec odpovídá i praxi, kdy kartograf tvořící žebříčkovou manýru nevytvoří při dalším pokusu naprosto identickou kresbu. Z hlediska praktického používání je ale tato vlastnost spíš nevýhodou. Tuto potíž by šlo řešit předgenerovanou sekvencí náhodných čísel, která by byla pokaždé stejná. S ní by pak výsledky algoritmu nad stejnými vstupními daty byly vždy identické.

Největší výzvou, která se z pohledu této metody nabízí k otestování, je možnost využít reálný DMR místo syntetického, resp. reálný DMR při tvorbě syntetického zohlednit. Zejména u komplexních polygonů by toto zohlednění mohlo vést k lepším výsledkům, zvláště z hlediska souběhu neurčitých hran a vertikálních šraf a déle těch neurčitých hran, které svírají s horní nebo dolní hranou úhel příliš odlišný od pravého. Bylo by možné využít jak reálný DMR odvozený z vrstevnic ZABAGED, tak DMR 4G nebo DMR 5G. Netriviální je ovšem generalizace reálného DMR, na níž stojí úspěšnost celé metody. Nabízí se pro určení výšek hran použít průměrnou výšku hrany vypočtenou z modelu, případně využít pouze výšky počátečních a koncových bodů hrany. To by navíc umožnilo zjednodušit jinak poměrně složitý a ne vždy zcela spolehlivý výpočet výšek hran pro tvorbu syntetického modelu. Logickou kontrolu konzistence obvodových linií je možné zachovat, umožní totiž odhalit logické chyby v klasifikaci obvodových linií.

Použití samotného nengeneralizovaného DMR pro výpočet směru spádu by nedalo vyhovující výsledek, protože ve složitém skalním reliéfu by šrafy příliš chaoticky měnily směr. Kdyby se model vhodným způsobem generalizoval, výsledek by pravděpodobně odrazil lépe realitu

nezachycenou vektorovými vstupními daty. Pak by výsledná reprezentace dokázala zachytit i specifika konkrétní lokality. Taková generalizace je ale pravděpodobně dost obtížná.

Celkově lze tedy navržený algoritmus hodnotit jako použitelnější než ten, který byl navržen v kapitole 4.7. Na základě provedených testů se jeví jako dostatečně obecný a robustní, navíc celkově lépe odpovídající původní podobě žebříčkové manýry, kterou se snažila metoda používaná ZÚ pro základní mapy napodobit. Po vyřešení výše uvedených problémů, zejména hustoty horizontálních šraf, a po úpravě implementace do efektivnější podoby, by mohl být reálně použitelný i v praxi.

4.9 Automatizace konturové metody

Třetí z navržených algoritmů se týká automatizace konturové metody, popsané v kapitole 4.1.3, s doplňkovými poznámkami k digitálnímu zpracování v kapitole 4.3.7. Tato metoda je vhodná pro typ terénu s převažujícími kolmými a převislými skalními stěnami. Vstupem algoritmu jsou data podle reprezentace navržené v kapitole 3.4, ideálně ve variantě se zachycením stěn pomocí lomových hran. Stávající data ZABAGED jsou pro zpracování tímto způsobem nevhodná, protože výsledná reprezentace dává smysl pouze v případě skutečně podrobného zachycení rozčlenění skalního terénu. Teoreticky je samozřejmě možné data ZABAGED s přidáním informací o klasifikaci obvodových linií (stejně jako u předchozích metod) jako vstup použít, ale výsledek nebude ideální.

Výstupem metody jsou linie, s tím, že každý segment nese informace o své tloušťce. Pro vizualizaci výsledné reprezentace je tedy třeba zvolit barvu a proměnlivou šířku linie v závislosti na hodnotě atributu. Na základě této hodnoty může být výstupem též polygonová vrstva, stejně jako u automatizace žebříčkové manýry v kapitole 4.8. Z pohledu klasifikace metod používaných pro kresbu skal v digitální kartografii výsledek odpovídá reprezentaci popsané v kapitole 4.3.7 linie či polygony zachycující terénní hrany.

Zpracování se provádí opět polygon po polygonu. Na rozdíl od předchozích dvou metod je tvorba výsledné reprezentace značně jednodušší a zahrnuje pouze dva kroky, s tím, že druhý krok je volitelný a nemusí být proveden vůbec:

1. výpočet šířky kontur,
2. zpracování zbylé plochy polygonu.

Každá z těchto částí je popsána dále jako samostatná kapitola.

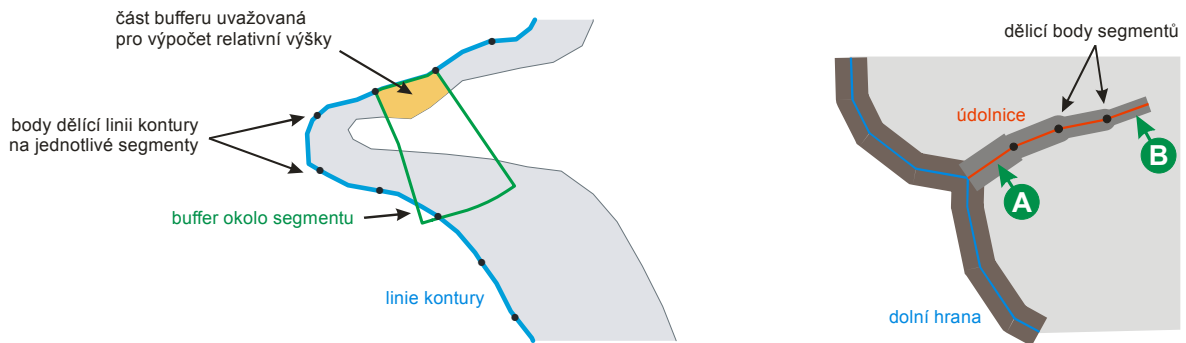
4.9.1 Výpočet šířky kontur

Nejprve je třeba vybrat linie, které budou znázorněny konturami. Těmi jsou lomové hrany a dolní hrany (dále jen „linie kontur“) a navíc i údolnice, typicky navazující na dolní hrany. Při podrobném zachycení pískovcového reliéfu může lomová hrana s dolní hranou splývat. Z tohoto důvodu je potřeba linie kontur zkonsolidovat v tom smyslu, že v případě identického průběhu některých jejich částí se použije pro konturu pouze jedna z nich. Prakticky lze tento postup realizovat například pomocí funkce *Dissolve*.

Dalším krokem je rozdělení linií kontur na dílčí části, u kterých se bude počítat relativní výška. Možné praktické provedení spočívá ve vygenerování bodů na liniích kontur v pravidelném rozestupu (viz obr. 160 vlevo). Není vhodné ani příliš řídké, ani příliš jemné rozdělení linie; v závislosti na podkladových datech lze doporučit délku segmentů mezi 2 a 5 mm (v měřítku mapy). Příliš jemné vzorkování vede k zbytečné oscilaci hodnot relativních výšek, příliš řídké dělení pak lokální změnu převýšení vůbec nezachytí. Z důvodů vizuální kvality výsledku je vhodné

okolo konců linií kontur zvolit dělení o něco jemnější. Konec kontury, kde stěna obvykle vyznívá, tak bude vykreslen plynuleji. Na základě vytvořených bodů se linie kontur rozdělí na jednotlivé segmenty.

Pro každý segment se následně spočte hodnota převýšení, odpovídající relativní výšce kontury. To lze realizovat vytvořením jednostranného bufferu o dostatečné velikosti, která by měla být větší, než je šířka skalního útvaru. Při tvorbě bufferu lze využít skutečnosti, že lomové hrany jsou orientované. Protože kontura bude ve výsledné reprezentaci na pozici paty, počítá se převýšení od linie směrem nahoru. Prakticky to znamená výpočet průniku jednostranného bufferu s polygonem skalního útvaru, a vybere se ta část průniku, kde leží segment, z něž byl buffer vytvořen (viz obr. 160 vlevo). To z větší části eliminuje případné problémy s tvarově komplikovanými polygony. V takto vytvořené oblasti se následně spočte rozdíl maximální a minimální výšky v DMR a uloží se jako atribut k příslušnému segmentu linie kontury.



Obr. 160. K výpočtu šířky linií kontur a údolnic. Podrobnější vysvětlení v textu.

Následně se podle výšek provede klasifikace segmentů do jednotlivých kategorií na základě relativní výšky. Lze použít například hodnoty uvedené v tab. 14 na straně 144. V závislosti na charakteru terénu může být kategorií samozřejmě i více než uvedené tři; podobně i šířku jednotlivých kontur může lze zvolit jinak než je tomu v odkazované tabulce. Měly by být ovšem respektovány zásady týkající se šířky kontur ve vztahu k vrstevnicím a doplňkovým tvarovým čarám používaným v konturové metodě, popsané v kapitole 4.1.3.

V závislosti na vlastnostech DMR a tvarové komplikovanosti polygonu může být vhodné provést generalizaci výsledné klasifikace ve smyslu eliminace malého počtu segmentů určité kategorie mezi segmenty odlišné kategorie. Je ovšem vždy na uvážení, zda jde spíše o problém s tvarem oblasti pro určení relativní výšky či relativní oscilaci výšky stěny okolo hraniční hodnoty, kde je generalizace žádoucí, nebo o skutečně výraznou změnu výšky stěny, kterou naopak není vhodné generalizovat. Na základě klasifikace podle kategorie relativních výšek se pak každému segmentu přiřadí šířka výsledné kontury.

S využitím klasifikovaných linií kontur lze dále zpracovat údolnice dotýkající se dolních či lomových hran, které odpovídají puklinám ve skalní stěně. Šířka kontury údolnice u paty stěny bude odpovídat šířce kontury stěny v příslušném místě (obr. 160 vlevo, segment označený A). Směrem do stěny se pak linie bude zužovat až na šířku nejtenčí kontury (obr. 160 vlevo, segment označený B). Postup lze prakticky provést rozdělením údolnice na dílčí segmenty. Těm se nastaví tloušťka pomocí lineární interpolace mezi zmíněnými hodnotami. Jde o podobný proces jako v případě stínování vertikálních šraf u automatizace žebříčkové manýry, popsány v kapitole 4.8.7. Toto „vznětí pukliny do ztracena“ dává smysl i z toho důvodu, že takto úzké objekty nejsou v DMR zachyceny natolik spolehlivě, aby z nich bylo možno určovat hloubky na různých místech pukliny.

Zpracováním údolnic může tvorba konturové reprezentace skončit. Výslednou reprezentací budou linie kontur spolu s údolnicemi, vyjádřené proměnlivou šířkou na základě jejich atributu. Takto vytvořené linie lze převést na polygonovou reprezentaci analogicky k postupu v kapitole 4.8.7. Plocha skalního útvaru se použije pouze jako pomocná vrstva pro odmaskování vrstevnic.

4.9.2 Zpracování zbylé plochy polygonu

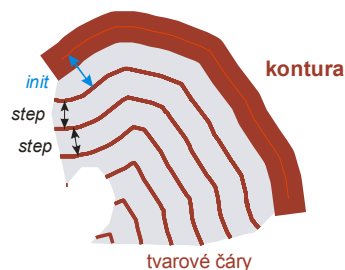
V této fázi zpracování je zbytek plochy skalního útvaru vyplněn doplňkovými tvarovými čarami. Rozestup těchto čar může být buď konstantní, nebo se může s rostoucí vzdáleností od kontury zvětšovat. Podobně šířka těchto čar může být buď konstantní, nebo se vzrůstající vzdáleností od kontury klesat. Obojí asociuje postupný přechod skály nahoře na plošně do neskálního terénu. Poznámky k doporučené šířce tvarových čar ve vztahu k šířce kontur a vrstevnic byly uvedeny v kapitole 4.1.3. Co se týká rozestupu, měla by být splněna podmínka, že odstup první tvarové čáry od kontury by měl být roven minimálně polovině šířky nejširší kontury použité v daném polygonu zvětšené o minimální akceptovatelný rozestup dvou linií. V případě nesplnění této podmínky dojde ke slítí kontury a tvarové čáry jí nejbližší.

K řešení tohoto úkolu byly navrženy dvě odlišné metody: první vychází pouze z tvaru kontury a vyvábí linie s ní rovnoběžné (dále označována jako „metoda rovnoběžek“), druhý postup zohledňuje i tvar protilehlé části obvodu skalního útvaru (v dalším textu jako „metoda přechodových linií“). První postup je jednodušší a použitelnější v širším spektru situací. Druhý postup dává vizuálně lepší výsledky v případě výskytu většího množství údolnic; je ovšem výpočetně náročnější.

První navržená metoda rovnoběžek spočívá v opakování následujících kroků:

1. určení vzdálenosti rovnoběžky d . V první iteraci se hodnota d nastaví na požadovaný iniciální odstup tvarové čáry od kontury; označme ho *init*. Je-li požadován konstantní rozestup tvarových čar ve vzdálenosti *step*, v další iteraci se použije hodnota d z předchozí iterace zvětšená o *step*. Požaduje-li se zvětšování rozestupu, k hodnotě d z předchozí iterace se přičte hodnota *step* vynásobená konstantou větší než 1.
2. tvorba nového pásu. Okolo kontury se vytvoří jednostranný buffer o šířce d .
3. odmazání pásu z plochy skalního útvaru. Od plochy polygonu skalního útvaru se odečte plocha pásu. Pokud je výsledkem prázdná plocha, výpočet končí. Pokud je plocha neprázdná, pokračuje se další iterací algoritmu od kroku 1.

Princip a možný výsledek celého postupu je zachycen na obr. 161.

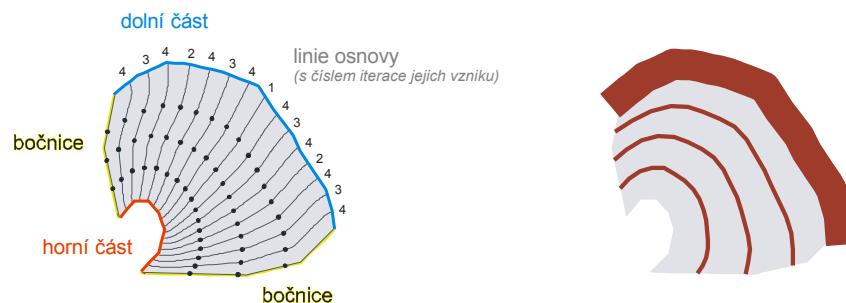


Obr. 161. Vysvětlení generování pomocných čar metodou rovnoběžek. Podrobnější vysvětlení v textu.

Druhá metoda přechodových linií spočívá v tvorbě čar, které tvoří plynulý přechod mezi konturou a okrajem plošiny, resp. horní hranou skalního útvaru. Čím bude tvarová čára blíže kontuře, tím jí bude tvarově podobnější; a naopak, čím blíže bude hornímu okraji, tím bude podobnější jemu. Předpokládejme, že polygon ke zpracování se skládá z dolní části (odpovídající kontuře), horní

části (odpovídající horní hraně nebo obecně okraji skalního útvaru) a případných bočnic, které mohou být zcela nebo zčásti tvořeny údolnicemi, případně na jedné nebo druhé straně mohou chybět, viz obr. 162 vlevo.

Podstatou metody je generování osnovy pomocí opakovaného hledání medial axis mezi bočnicemi zpracovávaného polygonu. Medial axis si lze v tomto případě zjednodušeně představit jako průměr dvou polylinií. Princip tvorby medial axis byl vysvětlen při generování osy dolní části polygonu při automatizaci metody používané ZÚ pro základní mapy v kapitole 4.7.3. Postup probíhá iterativně: v první iteraci se vygeneruje osa osnovy ležící uprostřed mezi bočnicemi, v další iteraci pak dvě nové mezilehlé osy, v následujícím kroku další čtyři mezi stávajícími atd., viz obr. 162 vlevo. Generování linií osnovy se zastaví v okamžiku, kdy jich je dostatečný počet pro zachycení tvaru horní a dolní části. Nutný počet iterací může vycházet například z průměru délky horní a dolní části. Je-li osnova vytvořená, vlastní generování tvarových čar pak spočívá ve vzorkování linií osnovy a spojení takto vzniklých bodů. Vzorkování může být buď pravidelné, nebo proměnlivé v závislosti na tom, jaký je požadován rozstup tvarových čar. Výsledek celého procesu je zachycen na obr. 162 vpravo.



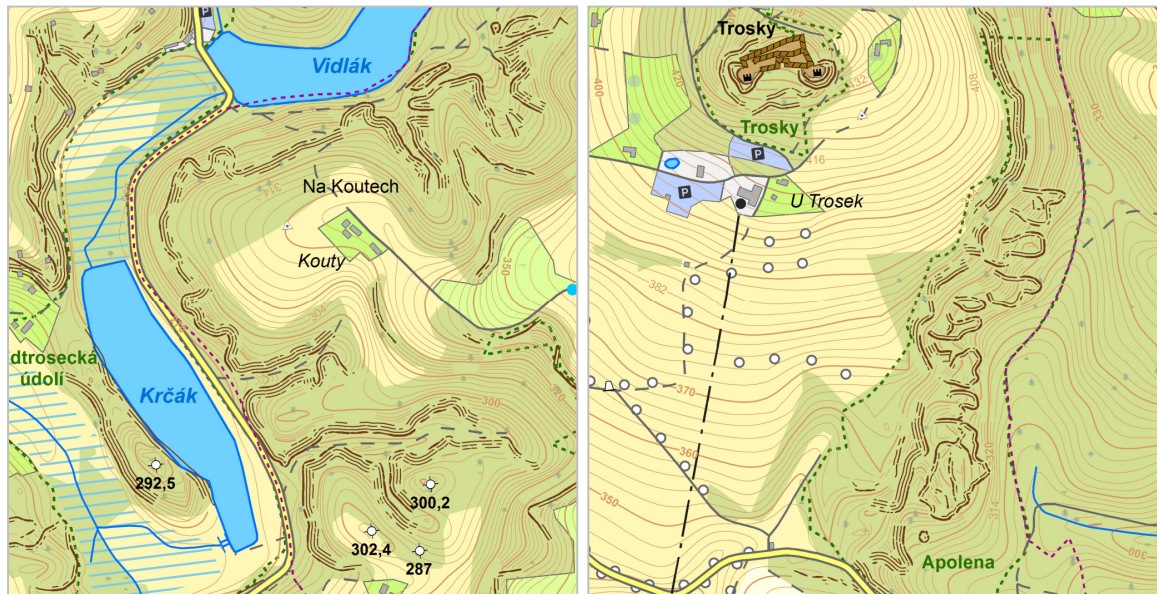
Obr. 162. Vysvětlení generování pomocných čar metodou přechodových linií. Podrobnější vysvětlení v textu.

Navržený postup by bylo možné aplikovat přímočařejším způsobem pomocí opakované tvorby medial axis rovnou mezi horní a dolní částí polygonu, resp. osou vygenerovanou v předchozím kroku, čímž by vznikly přímo tvarové čáry. S ohledem na použitý princip dělení by ovšem byl jejich výsledný počet nutně roven mocnině dvou a navíc by byly stejně vzdálené. Výše uvedený návrh tato omezení překonává, protože umožňuje vygenerovat libovolný počet tvarových čar a v libovolném rozestupu. Určitou nevýhodou je, že předpokládá rozdělení polygonu pomocí údolnic na menší části, které se zpracovávají postupně zvlášť. Není-li tento předpoklad splněn, výsledný tvar osnovy nevede k vizuálně akceptovatelnému výsledku tvarových čar. V takové situaci je lepší použít pro tvorbu tvarových čar spíše první navrženou metodu rovnoběžek.

4.9.3 Testování a závěry k metodě

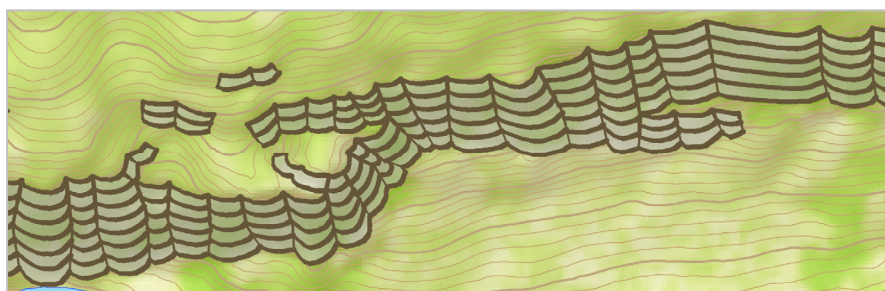
Navržená metoda byla otestována prakticky na dvou kartografických projektech. Prvním z nich byl mapový list ZM 10 03-34-09 z oblasti Českého ráje, vytvořený studentem M. Formanem v roce 2015 v rámci předmětu Tvorba map vyučovaném na PřF UK v Praze. Půdorys skal byl vymezen z dat DMR 5G na základě rastru sklonu a objektů typu *Skalní útvary* ze ZABAGED. Použitý postup zahrnoval jak tvorbu kontur, tak vytvoření tvarových čar metodou rovnoběžek. Tvarové čáry měly konstantní rozstup, ty od kontury vzdálenější byly znázorněny přerušovanou linií. Ukázky výsledné reprezentace i v kontextu s okolními mapovými prvky jsou na obr. 163. Z výsledků je patrné, že v místě, kde datový podklad dokázal zachytit rozčlenění reliéfu, je výsledek akceptovatelný až velmi dobrý. Nevyhovující je v oblastech s „rovnými“ stěnami, které mají v datech ZABAGED charakter protáhlého obdélníku s hranatými konci. Výsledná

reprezentace pak skalní stěny příliš neasociuje a připomíná spíše stuhu. Vliv na to má zejména absence rozčlenění stěny, její naddimenzovaná šířka a ne zcela vhodné zakončení tvarových čar v důsledku tvaru konců polygonů.



Obr. 163. Ukázka konturové metody zpracované automatizovaně.
Podrobnější komentář v textu.
Mapa: © Martin Forman, 2015.

Druhý způsob tvorby tvarových čar byl otestován na mapě okolí Dolského mlýna, vytvořené M. Tomkovou v roce 2013 v rámci předmětu Tematická kartografie vyučovaném na PřF UK v Praze autorem této práce a s využitím výstupů autorových skriptů. V uvedené mapě nejsou skály sice znázorněny přímo konturovou metodou; tuto informaci by ovšem bylo možné snadno do reprezentace doplnit změnou tloušťky tvarové čáry kopírující patu skály. Význam mapy z pohledu výše popsaného postupu spočívá v praktickém otestování metody přechodových linií, která byla použita identickým způsobem jako v návrhu popsaném v kapitole 4.9.2. Tvarové čáry v mapě navíc mění tloušťku podle severozápadního osvětlení, viz obr. 164. Tento projekt ukázal poměrně značnou časovou náročnost tvorby podkladových dat, zejména s ohledem na nutnost rozdělovat polygony údolnicemi, které byly navíc ve většině případů fiktivní. Časově extrémně náročné bylo i samotné automatické generování osnovy.



Obr. 164. Ukázka výsledku generování tvarových čar metodou přechodových linií.
Podrobnější komentář v textu.
Mapa: © Michaela Tomková, 2013.

I přes poměrně omezené otestování navrženého postupu automatizace tvorby konturové metody je zřejmé, že její generování na základě obsahu digitální topografické databáze a při dostupnosti DMR je podstatně snazší úkol než tvorba šraf u předchozích metod, popsaných v kapitolách 4.7 a 4.8. To platí zejména v situaci, kdy se budou řešit pouze kontury a nikoliv tvarové čáry.

Tvarových čar vytvořených metodou rovnoběžek by mělo být relativně málo, jinak výsledek nepůsobí příliš asociativně. Nemožnost rozsáhlejšího otestování navržené metody v současné době naráží na nedostatečnou míru detailu v datech použitelných pro tvorbu vstupních topografických dat. Uvedený popis automatizace metody lze tak chápat spíše jako prvotní analýzu problematiky než důkladně připravené a otestované řešení.

4.10 Diskuze a závěry ke skalám a kartografii

Skalní šrafy na topografických mapách představují z hlediska současné digitální kartografie v závislosti na úhlu pohledu překonaný anachronismus, kuriozitu, zajímavý výzkumný problém či natolik tradiční kartografický vyjadřovací prostředek, že si ho radikální kartograf-umělec nenechá technicistními geoinformatiky v žádném případě sebrat. V minulosti měly skalní šrafy; v dnešní době se používají spíše z důvodů tradice než nutnosti, což je i důvod, proč v praxi existuje řada způsobů, jak reprezentaci připomínající šrafy ve stávajícím software vytvořit (viz kapitulu 4.3). Znázornění skal šrafami přináší řadu výhod, zejména názornost a asociativnost, klíčovou nevýhodou je ovšem extrémní pracnost jejich tvorby. Současné technologie již nyní umožňují skalní šrafy nahradit explicitní a exaktní informací, vyjádřenou obsahem topografické databáze, ovšem zdaleka ne tak přehledně a názorně. Na skalní šrafy tak lze i očima geoinformatika nahlížet jako na specifický způsob vizualizace obsahu této databáze, který přináší přidanou hodnotou čtenáři mapy.

Z tohoto důvodu dává smysl se pokusit tvorbu šraf automatizovat. Bez ní ovšem velmi pravděpodobně v blízké budoucnosti skalní šrafy zůstanou vyhrazeny jen velmi speciálním lokálním kartografickým dílům. Již nyní se řada státních mapových děl bez skalních šraf obejde (namátkou Španělsko, Norsko, či USA). Jako oblast zájmu a předmět diskuze znázorňování skal zůstává například ve Švýcarsku, Francii či v Česku.

Obecně lze ze stávajících metod používaných v digitální kartografii doporučit při praktické tvorbě map metodu používanou ZÚ na základních mapách (viz kapitulu 4.3.6), která představuje relativně dobrý kompromis mezi vizuální kvalitou výsledku a časovou náročností zpracování. Výhodou je také skutečnost, že tato metoda je stavěná na data, ze kterých bude kartograf v podmínkách Česka velmi pravděpodobně vycházet. Pro specifické účely – zejména pro pískovcová skalní města a velké měřítko – je vhodné použít konturovou metodu. Ta je z hlediska kartografického zpracování méně náročná, ovšem o to pracnější je pořízení vhodných vstupních dat, které je v současné době možné v zásadě jen lokálním domapováním s využitím terénního průzkumu. V případě map velkého měřítka se nabízí mapu doplnit poznámkami ve stylu novozélandské topografické databáze NZTopo 50 (viz kapitulu 3.2.1, poslední odstavec sekce týkající se Nového Zélandu). Je-li k dispozici velmi podrobný DMR s minimem chyb, je z hlediska času zpracování výhodnější použít stínování, případně stínování v kombinaci s dalšími produkty odvozenými z DMR (viz kapitulu 4.3.2). To může dát výsledky z hlediska informace o průchodnosti a rozčlenění více či méně se blíží konturové metodě, ovšem s nesrovnatelně menším množstvím práce a bez nutnosti návštěvy terénu. Pro automatizovanou tvorbu si lze představit využití algoritmu pro tvorbu žebříčkové manýry (viz kapitulu 4.8); ovšem na stávající data ZABAGED bez doplnění informací o obvodových a vnitřních liniích jde o postup spíše poloautomatický.

Diskuze možností využití a rozvoje metod pro znázorňování skal ve státním mapovém díle v širším kontextu je součástí závěru v kapitole 5. Obecně lze uvést, že žebříčkovou manýru (resp. šrafy) a konturovou metodu lze kombinovat, resp. používat v jednom mapovém díle zároveň obojí. To je případ původní saského státního mapového díla TK 10 i jeho současného nástupce DTK 10.

Podmínky pro použití kontur jsou podrobně popsány v kapitole 4.1.3. Není-li pro daný skalní útvar tato podmínka splněna, použijí se pro jeho reprezentaci skalní šrafy. Při použití stejné barvy a vhodné tloušťky čar tato kombinace nemusí způsobovat problémy se zdánlivou nejednotností reprezentace. Žádoucí je pro objekty ležící poblíž sebe a mající podobných charakter používat stejné výrazové prostředky. U konturové metody lze navíc využít také tvarových čar. Výhodou z hlediska automatizovaného zpracování je skutečnost, že kritéria pro použití kontury lze pro každý polygon poměrně snadno automatizovaně spočítat.

Obecně lze shrnout, že znázornění skal i v případě použití sofistikovanějších automatizovaných metod bude ve srovnání s analogovou kartografií schematičtější a méně reflektující specifika konkrétního skalního útvaru i schopnosti tvůrce mapy. V případě druhé z uvedených vlastností to lze ovšem považovat spíše za výhodu.

Inovativnost výsledků a autorův přínos pro obor

Inovativnost této části práce spočívá především v návrhu, implementaci a více či méně důkladném otestování tří různých algoritmů pro znázornění skal, které jsou původním dílem autora a využívají výsledky z předchozí sekce 3. Návrh těchto algoritmů stojí na podrobné analýze existujících metod, jejichž detailní analytický rozbor dosud v předkládané podrobnosti nikdy nebyl (alespoň podle nejlepšího vědomí autora) publikován, resp. byl publikován až autorem. To se týká žebříčkové manýry (kapitola 4.1.2) a metody používané ZÚ na základních mapách (kapitola 4.3.6). Vytvoření tohoto popisu vychází z prohlédnutí velkého množství map. Na něm je postavena také kapitola 4.3, přinášející rozsáhlý a ucelený přehled metod pro znázorňování skal v digitální kartografii používaných v současné době.

5 Závěr

Předkládaná práce je výsledkem téměř jedenáctiletého zájmu autora o skály z pohledu geoinformatika a kartografa. Snaží se postihnout stávající stav problematiky, zachytit hlavní myšlenky provedených experimentů a shrnout vše podstatné, co bylo v oblasti topografického mapování skalních útvarů do začátku roku 2016 vytvořeno. Zpracování tohoto tématu ukázalo potřebu poměrně širokého teoretického rozhledu, zahrnujícího poznatky z různých disciplín geoinformatiky, kartografie i informatiky, spolu s nutností zvládnout řadu praktických technických problémů z oblasti informačních technologií. To je také důvod, proč bylo řešení některých dílčích problémů zadáno jako samostatné studentské práce nebo studie, jejichž výsledky byly v práci využity, protože v časových možnostech autora samotného by nebylo možné vše v této šíři zvládnout. I tak u některých provedených experimentů zůstává dost prostoru pro další testování a vývoj. Cílem autora bylo pojmut problematiku v celé její šíři a to i za cenu, že nebude možné ve všech aspektech dosáhnout vyčerpávající hloubky. Ale právě v komplexnosti pohledu spočívá podle autorova názoru hlavní přínos celé práce.

Dílčí závěry jednotlivých sekcí se věnovaly vždy jen příslušné části problematiky. Tento obecný závěr se pokouší shrnout a propojit jednotlivé části dohromady, a to formou možné vize budoucího zpracování skal ve státním mapovém díle, navíc v kontextu koncepce budoucího rozvoje zeměměřičství v ČR (Brázdil a kol., 2015). Právě ZÚ je podle názoru autora totiž pravděpodobně jedinou institucí, která je schopna na zpracování skal něco změnit v širším měřítku. S ohledem na omezený význam objektů řešených v této práci je totiž přímý ekonomický přínos takového počínání přinejmenším diskutabilní, než aby byl zajímavý pro komerční sféru. Z dílny ZÚ nakonec pochází i podstatná část v praxi používaných prostorových dat z území Česka, uplatňovaných v širokém spektru aplikací.

V případě LLS lze po vyřešení důležitějších aspektů DMR 5G, které zahrnují zejména přeskenování oblastí, kde byla data pořízena ve vegetačním období, skenování intravilánů měst, rovinných oblastí podél velkých řek s ohledem na modelování povodní, míst větších terénních změn okolo liniových staveb atd., vzít v úvahu také možnost přeskenování, resp. doskenování oblastí s členitým pískovcovým reliéfem z nižší výšky a tedy s vyšší hustotou bodového mračna. Z hlediska zpracování těchto dat bude důležité využít již investovaného času do manuální klasifikace bodového mračna (což umožňuje postup navržený v kapitole 2.5.3), případně ověřit sofistikovanější možnosti automatizovaného zpracování dat z těchto oblastí, nastíněné v podkapitolách části 2.5. V oblastech bez významnějších změn lze s výhodou využít také skutečnosti, že nové měření lze s minulým zkombinovat do ještě hustějšího bodového mračna. Samo opakované skenování tak v průběhu času povede mimo jiné k lepším možnostem v interpretaci prvků mikroreliefu.

Tato skutečnost se spíše až ve vzdálenější budoucnosti projeví ve zpřesnění těchto objektů v ZABAGED. S výhodou k tomu bude využít stávající obsah databáze, který značně usnadňuje „kancelářskou“ interpretaci prvků mikroreliefu z dat LLS. Obecně je třeba skalní útvary řešit v kontextu s dalšími objekty mikroreliefu, zejména s kamennými akumulacemi (objekty typu *Skupina balvanů* a *Sesuv půdy, sut'*) a s výškopisem (vrstevnice a kótované body). Doporučit lze postupný přechod na model navržený v kapitole 3.4. Možný scénář je popsán dále. Na pískovcích by pak mohly být stávající příliš generalizované polygony nahrazeny přesnějším půdorysem, doplněným lomovými hranami a reprezentací rozčlenění skalních plošin pomocí údolnic. Celkově lze v této oblasti u ZABAGED očekávat postupný posun od „kartografického“ pojetí prvků mikroreliefu, vycházejícího ve svém základu stále z mapovacích směrnic z 50. let 20. století,

směrem k modernější „geoinformatictější“ podobě topografické databáze, lépe reflektující současné možnosti a technologie sběru dat. S tím souvisí i otázky doplnění geografického názvosloví těchto objektů do databáze Geonames, resp. jejího plánovaného nástupce Geografická jména ČR, diskutované v kapitole 3.5.2.

Z pohledu kartografie je důležitá skutečnost, že zpřesňování vymezení skal a tvorba klasifikovaných obvodových a vnitřních hran nejsou s ohledem na míru podrobnosti stávajících dat LLS zatím na pořadu dne. Lze tedy předpokládat, že v ZM 10, ZM 25 a ZM 50 zůstanou v dohledné době skály ve stávající podobě, maximálně s malými úpravami kartografické reprezentace z důvodů drobných změn ve vymezení polygonů. V úvahu připadají též lokální úpravy u těch míst, kde je reprezentace graficky méně zdařilá a kde by na podkladě stínovaného modelu reliéfu z dat DMR 5G bylo možno s popsáním vyjadřovacími prostředky nakreslit reprezentaci lepší. To již bylo uděláno v případě některých lokalit v Adršpašsko-teplických skalách.

V blízké budoucnosti bude ale třeba skály řešit na novém plánovaném souboru státního mapového díla – Základní topografické mapě ČR v měřítku 1 : 5 000 (dále jen ZTM 5), která by podle citované koncepce (Brázdil a kol., 2015) měla začít vznikat od roku 2019. To by mohla být i příležitost pro praktické využití výsledků zejména kartografické části této práce. Možná řešení pro znázornění objektů typu *Skalní útvary* na této mapě, vycházející z předpokladu, že její tvorba bude probíhat na základě ZABAGED a bude možné do ní investovat pouze minimální množství interaktivní práce, se jeví následovně:

- použít pouze jednoduchou reprezentaci v podobě polygonů s výplní, jako je nyní ve vektorové verzi Státní mapy v měřítku 1 : 5 000. Nevýhodou tohoto přístupu je rezignace na vizuální stránku mapy, výhodou naopak jeho jednoduchost a udržitelnost z hlediska aktualizace,
- využití geometrie stávající reprezentace skal pro ZM 10 uložené v databázi Data 10, kterou by bylo možné po úpravách symbolizace linií použít i v měřítku 1 : 5 000. Zvětšení symbolů tvořících reprezentaci na dvojnásobek by pravděpodobně bylo vizuálně akceptovatelné. Potíže by ovšem nastaly při aktualizaci: u změněných polygonů by musela být reprezentace buď znovu nakreslena nebo by se muselo čekat na to, až se zpracuje z příslušného území ZM 10, aby se linie reprezentace objevily v Data 10. Zde se projevuje nevýhoda skutečnosti, že stávající reprezentaci skal používanou na mapách ZÚ nelze přímo odvodit z dat ZABAGED automaticky.
- možná úprava dat ZABAGED směrem k modelu navrženému v kapitole 3.4. Šlo by o to, že ke stávajícím datům v ZABAGED by se jednorázově poloautomaticky přidaly doplňkové informace potřebné pro tvorbu reprezentace skal, a při případné aktualizaci by byly zaktualizovány přímo v ZABAGED i tyto informace. Ty už by samy o sobě byly dostatečné pro tvorbu kartografické reprezentace, interaktivně zcela bez problémů, automatizovaně například způsobem popsaným v kapitole 4.8.

Jednorázové přidání informace by využilo pro klasifikaci obvodových linií polygonu metodu popsanou v kapitole 3.4.4, jejíž úspěšnost by navíc mohla být zvýšena využitím linií uložených v Data 10 (viz obr. 100 na str. 164), ze kterých lze také odhadnout charakter segmentů na obvodu polygonu skalního útvaru. Kartografická reprezentace skal z Data 10 by se krom toho dala použít i pro vytvoření vnitřních hran skalního útvaru (zcela jistě hřbetnic a lomových hran, s určitými omezeními i údolnic). S ohledem na úspěšnost metody popsané v kapitole 3.4.4 se tento postup jeví jako poměrně automatizovatelný, byť ne zcela (zejména u tvarově složitějších polygonů). Při

manuálním vytváření klasifikovaných obvodů polygonů ke kontrole úspěšnosti metody navržené v kapitole 3.4.4, kdy se musel manuálně klasifikovat celý obvod polygonu a dokreslovat vnitřní hrany, byla rychlost zpracování přibližně 1700 polygonů za 30 hodin (což je přibližně 1 polygon za minutu). Lze předpokládat, že pouhá kontrola výsledku procesu, jehož úspěšnost je přes 86 %, by byla ještě o něco rychlejší. Při změnách v ZABAGED by uvedené informace byly rovnou součástí editace konkrétního objektu ZABAGED. Investovaný čas by přinesl následující výhody:

- možnost automatizace tvorby chystané ZTM 5,
- po ověření úspěšnosti automatizace tvorby ZTM 5 se nabízí možnost využití téhož postupu pro ZM 10 a ZM 25, bez nutnosti kreslit pro každé měřítko kartografickou reprezentaci zvlášť,
- lepší kontrolu nad výslednou podobou reprezentace, která by nebyla jen tvůrčím dílem kartografa pro konkrétní měřítko, ale byla by konzistentní napříč měřítky.

Uvedený návrh sice znamená při aktualizaci mírně větší množství práce pro topografa, ale je nutné si uvědomit, že v současné době jsou na tutéž práci potřeba v zásadě dva kartografové (jeden musí nakreslit reprezentaci v ZM 10, druhý v ZM 25). Navíc metoda přirozeně vede topografa k vymezení a tvorbě logicky konzistentního polygonu (viz závěrečnou část kapitoly 3.4.2), což znamená ve výsledku kvalitnější data.

Ve střednědobém horizontu si pak lze představit následnou podrobnější kontrolu namigrovaných vnitřních hran skalních útvarů například nad stínovaným modelem reliéfu. To by vedlo jejich k lepší objektivizaci a exaktnosti (dodržování délkových kritérií, zpřesnění v místech, kde je to z DMR 5G možné atd.), čímž by se výsledek stal konzistentnější a začal by pak de facto odpovídat návrhu z kapitoly 3.4. Výhodou je, že toto lze udělat postupně časem; data by ovšem byla i bez této kontroly využitelná pro automatické kartografické zpracování již od začátku. Linie z Data 10 odpovídající rámcově vnitřním hranám z Data 10 jsou sice nyní daty kartografickými, ale v základu jde o data topografická, protože se jedná o informace odvozené ze šraf původní analogové mapy, podobně jako na obr. 76 na straně 140. Šlo by o zopakování historie ZABAGED, kdy její primární obsah vyšel rovněž z kartografického díla a byl následně doplňován a zpřesňován. Na rozdíl od situace při prvotní tvorbě obsahu ZABAGED není ale třeba nic vektorizovat, protože linie ve vektorové podobě již pořídili kartografové a jsou uloženy v databázi Data 10.

Uvedená podmínka doplnění datového modelu ZABAGED je nutná proto, aby skály mohly být na ZTM 5 vyjádřeny šrafi automatizovaně, nikoliv ale podmínka postačující. Je totiž třeba také funkční algoritmus pro generování šraf, který by mohl vycházet z postupu navrženého v kapitole 4.8. Pro jeho praktické nasazení by bylo velmi žádoucí vhodným způsobem vnést do automatizovaného procesu možnost určitého interaktivního zásahu. Obecně je totiž ve složitějších případech nutné (byť malé množství) interaktivní práci připustit, protože nalezení obecného řešení fungujícího ve všech možných případech se jeví jako nereálné. Jde o to postihnout dostatečně širokou třídu vstupů, nad kterými proces bude funkční a zbylé (zejména tvarově velmi komplikované polygony) doladit interaktivně. To neznamená nakreslit celou reprezentaci ručně, ale v určitých fázích algoritmu manuálním zásahem „pomoci“ nebo výsledek příslušné dílčí fáze zkorigovat. Výhodou je fakt, že skály se příliš nemění, a tak i jednou vygenerovaná a případně opravená reprezentace mohla být poměrně „trvanlivá“.

Uložení této informace o vnitřním členění skalního útvaru a charakteru jeho obvodových linií do ZABAGED představuje nejpřirozenější způsob, jak se s tvorbou šraf v celém státním mapovém díle vypořádat. Uložení přímo v rámci konkrétní kartografické linky je principiálně také možné, ale má zjevné nevýhody z pohledu aktualizace dat. Na dodání těchto dat do ZABAGED lze prohlížet

jako na určité obohacení datového modelu (*data enrichment*) pro kartografické účely, které bude pro automatizovanou tvorbu ZTM 5 jistě potřeba i v případě některých dalších typů objektů. Krom popsaných výhod by navržené úpravy přinesly možnost zpřístupnění těchto informací stávajícími procesy i externím uživatelům, kteří nemají možnost se k obsahu kartografických reprezentací uložených v Data 10 běžně dostat. Nabízí se tedy možnost vyřešit „problém“ z doby vzniku ZABAGED, kdy se informace o charakteru obvodu a vnitřním členění skal z analogové mapy do ZABAGED nedostaly a kartografové byli a jsou nuceni si je vést stranou.

Z pohledu vzdálenější budoucnosti po dostupnosti a přepracování reprezentace skal zejména v oblasti pískovcových skalních měst si pak lze – zejména pro ZTM 5 a ZM 10 a její případné nástupce – představit použití konturové metody. Ostatní skalní útvary, které nebudou mít charakter stěn, by mohly být reprezentovány šrafami ve stylu žebříčkové manýry. Možný přístup ke kombinaci těchto metod, resp. jejich současném použití, je popsán v kapitole 4.10. U ZM 25 je použití kontur ke zvážení, u ZM 50 a menších měřítek lze doporučit setrvání u žebříčkové manýry. Pro mapy měřítek 1 : 25 000 a menších přinesou podrobnější data nové problémy s jejich generalizací. To se ostatně netýká jen skalních útvarů, ale všech typů objektů, které budou zpřesněny; v dohledné době například budov.

I z výše uvedených úvah je patrná vzájemná provázanost a závislost jednotlivých – i když zdánlivě samostatných – částí zpracování, která se na řadě míst v práci potvrdila a která z celého procesu mapování skal dělá poměrně složitý úkol. Možnosti kartografie vychází z obsahu topografické databáze, ten je zase do značné míry limitován parametry a kvalitou zpracování dat LLS. Výše uvedené závěry se týkají českého státního mapového díla, na které byla tato práce do značné míry zaměřena. Neznamená to ovšem, že by nebyly aplikovatelné jak na lokální mapování u nás či v zahraničí, tak v širším měřítku v mezinárodním kontextu.

Práce rovněž otevírá otázky pro další výzkum na poli topografického mapování skal, a to jak v oblasti DPZ, tak v oblasti geoinformatiky i kartografie. Mezi ně lze zařadit zejména otázky automatizované klasifikace dat v členitém zalesněném terénu z hustého bodového mračna, s případným využitím doplňkových informací o odrazu, extrakci jednotlivých objektů mikroreliefu, například s důrazem na tvary pískovcových skalních měst, úlohy vedoucí k vylepšení postupů pro automatizaci tvorby terénních čar (linií terénní kostry), které mají význam při tvorbě obsahu topografické databáze reprezentující vnitřní členění skalních útvarů či úlohy týkající se generalizace, resp. tvorby víceměřítkové reprezentace objektů souvisejících se skalními útvary. V těchto případech jde o obecné problémy se širším přesahem, které jsou předmětem výzkumu i v jiných souvislostech než se skalami.

Z pohledu kartografie pak zůstává otevřenou otázkou automatizace tvorby skalních šraf v sofistikovanější podobě než nabízí žebříčková manýra, možnosti využití stínování a dalších informací odvozených z rastrového DMR v kartografii či hledání zcela nových kartografických vyjadřovacích prostředků pro skály, využívající stále podrobnějších DMR. V tomto případě jde o poměrně specializované problémy na hranicích geoinformatiky, kartografie a počítačové grafiky, zejména nefotorealistického zobrazování. Za perspektivní lze z tohoto pohledu považovat aplikace nových algoritmů z posledního jmenovaného oboru do oblasti kartografie.

Reprezentace informací o složitém skalním terénu představuje problém, který nemá jednoduché a zároveň kvalitní řešení. Kvalita je v tomto případě vázána na velké množství manuální práce. V praxi jde proto o hledání kompromisu. Automatizované procesy šetřící čas topografa a kartografa tak představují smysluplný krok směrem k úspoře času a zlepšení kvality topografických databází a mapových děl. K obojímu by měla přispět i tato práce.

Použité zdroje

- ACD 12, 1989. *Zeichenvorschrift, Instruktion und Redaktionsanweisung für die Bearbeitung der Topographischen Karte 1:10 000 ACD 12*. Berlin : Ministerium des Innern, Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen. 5. Ausg.
- ADAMOVIČ, J.; MIKULÁŠ R.; CÍLEK, V. 2010. Atlas pískovcových skalních měst České a Slovenské republiky. Praha : Academia. 459 s. ISBN 978-80-200-1773-4.
- AdV 2008. *ATKIS-Objektartenkatalog für das Digitale Basis-Landschaftsmodell, Version 6.0*. [cit. 2016-02-22]. 357 s. Dostupné z URL: <http://www.adv-online.de/icc/extdeu/broker.jsp?uMen=4ad505ea-127b-b941-2df2-65a572e13d63>.
- AI, T.; LIU, Y. 2004. Analysis and simplification of point cluster based on Delaunay triangulation model. In: *Advances in Spatial Analysis and Decision Making, Li, Zhou & Kainz (eds)*, Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90-5809-652-1.
- AXMANOVÁ, J.; LYSÁK, J. 2014. *Zpřesnění skalních útvarů s využitím stereofotogrammetrie a dat LLS (jako součást vyhodnocení vybraných čar a bodů terénní kostry)*. Interní dokument Zeměměřického úřadu, listopad 2014.
- BALATKA, B.; RUBÍN, J. 1986. *Atlas skalních, zemních a půdních tvarů*. Praha : Academia, 1986, 385 s.
- BESL, P. J.; MCKAY, N. D. 1992: A method for registration of 3D shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 2, p. 239–256.
- BLÁHA, J. D. 2015. Když se stane kartografie koníčkem – k životnímu jubileu doc. RNDr. Richarda Čapka, CSc. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 61/103, č. 8, s. 188.
- BOGUSZAK, F.; ŠLITR, J. 1962. *Topografie*. 1. vyd. Praha : Stát. nakl. techn. lit., 1962. 289 s.
- BRANDSTÄTTER, L. 1983. *Gebirgskartographie*. Wien : Franz Deuticke. 319 s.
- BRÁZDIL, K., 2009: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 55/97, č. 7, s. 145–151.
- BRÁZDIL, K. a kol. 2015. Koncepce rozvoje zeměměřictví na léta 2015 až 2020. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 61/103, č. 7, s. 137–146.
- BUCKLEY, A.; FRYE, C., BUTTENFIELD, B. 2005. An Information Model for Maps: Towards Cartographic Production from GIS Databases. In: *22nd ICA Conference Proceedings*, A Coruña, Spain. 12 p.
- CODGIK 2016. *Baza danych obiektów topograficznych BDOT 10k*. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z URL: <http://www.codgik.gov.pl/index.php/zasob/baza-danych-obiektow-topograficznych.html>.
- CSAPLOVICS, E. 2007. Digital terrain models of the sandstone landscapes in the Sächsische Schweiz (Saxon Switzerland) National Park and their value for conservation and ecological monitoring (Germany). In: *Sandstone Landscapes*. Härtel et al. 1st ed. Academia : Praha. p. 61–65.
- CSAPLOVICS, E.; NAUMANN, K.; WAGENKNECHT, S. 2003. Beiträge zur Extraktion von Felskanten aus Airborne Laser Scanner Daten am Beispiel der Elbsandsteininformationen im Nationalpark Sächsische Schweiz. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 2003, vol. 2, p. 105–114.
- ČAPEK, R. 1973. *Znázorňování skal* [rukopis]. Praha, 1973. 184 s. + 5 příl. Rigorózní práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře kartografie a fyzické geografie.
- ČAPEK, R. 1976. Metody kresby skal na rakouských mapách. *AUC Geographica*, roč. 11, č. 11, s. 37–44.
- ČAPEK, R. 1985. Československé topografické mapy. *AUC Geographica*, roč. 20, č. 2, s. 33–47.
- ČAPEK, R. a kol. 1992. Geografická kartografie. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1992. 373 s. ISBN 80-04-25153-6.
- ČÚGK 1971. *Základní mapa ČSSR 1:10000. Seznam mapových značek. Příloha 1 ke Směrnici pro tvorbu základní mapy ČSSR 1:10000*. Praha : Český úřad geodetický a kartografický.
- ČÚŽK 2006. *Katalog mapových značek Základní mapy ČR 1 : 10 000 vyhotovené digitální metodou na podkladě ZABAGED*. 35 s.

- ČÚZK 2011. *Srovnávací seznam mapových značek Základních map ČR 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000 a 1 : 200 000.*
- ČÚZK 2015a. *Katalog objektů ZABAGED, verze 2.5 ve znění dodatku č. 1 a č. 2.* [cit. 2016-02-22]. 158 s. Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/KATALOG_OBJEKTU_ZABAGED_2016.pdf
- ČÚZK 2015b. *Jazyková pravidla pro standardizaci jmen nesídelních geografických objektů z území České republiky.* Praha 2015. 18 s.
- ČÚZK 2016. *Geonames – úvod.* [cit. 2016-04-04]. Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/Default.aspx?mode=TextMeta&text=geonames_uvod&side=geonames&menu=26
- DAHINDEN, T. 2000. *Weiterentwicklung des Programmsystems zur digitalen Felsdarstellung.* Vertiefungsblock Kartographie. Zürich : Institut für Kartographie, ETH, 23. 3. 2000. [cit. 2008-08-08]. 30 s. Dostupné z URL: <http://www.ika.ethz.ch/teaching/VTB-Dahinden.pdf>
- DAHINDEN, T. 2002. Existing rock representation in topographic maps and their suitability for digital generation. In: *Proceedings of ICA Mountain Cartography Workshop*, Mt. Hood, Oregon, USA.
- DAHINDEN, T.; HURNI, L. 2007. Development and Quality Assessment of Analytical Rock Drawings. In: *ICA Conference Proceedings*. Moscow : ICA, 2007.
- DAHINDEN, T. 2008. *Methoden und Beurteilungskriterien für die analytische Felsdarstellung in topografischen Karten* [manuscript]. PhD thesis, Institut für Kartographie, ETH Zürich.
- DE BERG, M.; CHEONG, O.; VAN KREVELD, M.; OVERMARS, M. 2008. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Berlin : Springer-Verlag. ISBN 978-3-540-77974-2.
- DGIWG 2013. *DGIWG Feature and Attribute Data Registry.* [cit. 2016-02-22]. Dostupné z URL: <https://www.dgiwg.org/FAD/fdd/registers.jsp?register=DFDD>.
- DOLANSKÝ, T. 2004. *Lidary a letecké laserové skenování.* Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně. ISBN 80-7044-575-0.
- DOLANSKÝ, T. 2008. Porovnání přesnosti DMT z laserového skenování s pozemními měřeními. In: *Sborník GIS Ostrava 2008*. 6 s.
- DONEUS, M.; BRIESE, C. 2006. Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archeological reconnaissance. In: *Proceedings of the 2nd international workshop, Rome, Italy*. Oxford : Archaeopress, p. 99–105.
- DOUGLAS, D. H.; PEUCKER, T. K. 1973. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature. *Canadian Cartographer*, vol. 10, no. 2.
- DVOŘÁK, J.; WÁGNEROVÁ Z. 1994. Toponyma Kotelních jam v Krkonoších. *Opera Corcontica*, roč. 31, s. 155–161.
- EBERT, D. S.; MUSGRAVE, F. K.; PEACHEY, D.; PERLIN, K.; WORLEY, S. 2003. *Texturing and Modeling: A Procedural Approach*. Morgan Kaufman Publishers. ISBN 978-1558608481.
- FENCLOVÁ, K. 2015. *Analýza datových zdrojů vhodných pro tvorbu mapy velkého měřítka menší obce* [rukopis]. Praha, 2015. 84 s. + 1 příl. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- FIALA, R. 2011: *Robustní postupy hodnocení kvality digitálních modelů reliéfu* [rukopis]. Plzeň, 2011. 143 s. Dizertační práce na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.
- GAŠIOR, M. 2006. *Laserové skenování pro tvorbu 3D modelu vybrané části NP České Švýcarsko* [rukopis]. Ústí nad Labem, 2006. 77 s. Diplomová práce na Fakultě životního prostředí Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.
- GEISTHÖVEL, R.; HURNI, L. 2015. Automatic Rock Depiction via Relief Shading. In: *Proceedings of the 27th International Cartographic Conference*. Rio de Janeiro, Brazil. 8 p.
- GILGEN, J. 2006. Revision of Rock, Scree and Glacier in a Databased Cartographic System. In: *5th ICA Mountain Cartography Workshop: Mountain Mapping and Visualization*. Bohinj. p. 83–88.
- GILGEN, J. 2008. Aerial Photos + Photogrammetric Plot = swisstopo's Rock Representation: Caricatured Mountains? In: *6th ICA Mountain Cartography Workshop, Mountain Mapping and Visualization*. Lenk.
- GILGEN, J.; JENNY, B. 2010. Digital rock and scree drawing in vector and raster mode. *Geographia Technica*, Special Issue 2010, vol. 5, 24–31.

- GLOOR, T. 2013. Integrating LiDAR data into the workflow of cartographic representation. In: *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*. Dresden, Germany. 5 p.
- GONDOL, L.; LE BRIS, A.; LECORDIX, F. 2008a. Cartography of high mountain areas, testing of a new digital cliff drawing method. In *6th ICA Mountain Cartography Workshop, Mountain Mapping and Visualization*. Lenk. p. 71–80.
- GONDOL, L.; LE BRIS, A.; LECORDIX, F. 2008b. A New Approach for Mountain Areas Cartography. In: *Headway in Spatial Data Handling: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography 2008*. Ruas and C. Gold. Berlin : Springer. p. 315–33.
- GRÜNWARD, M.; KRIZ, K. 2015. Rock Depiction – A Semi-automated Approach. In: *Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie*, Band 21.
- HÄRTEL, H. et al. 2007. *Sandstone Landscapes*. Praha: Academia, 2007. 493 s. ISBN 978-80-200-1577-8.
- HENGL, T. 2006. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, vol. 32, no. 9, p. 1283–1298.
- HOJOVEC, V. 1987. *Kartografie : vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty*. 1. vyd. Praha : Geodetický a kartografický podnik. 660 s.
- HOLMAN, L. 2013. *Zpřesnění DMR v pískovcovém skalním terénu s využitím přesné registrace dat leteckého laserového skenování* [rukopis]. Praha, 2013. 83 s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- HURNI, L. 1995. *Modellhafte Arbeitsabläufe zur digitalen Erstellung von topographischen und geologischen Karten und dreidimensionalen Visualisierungen* [manuscript]. PhD thesis, Institut für Kartographie, ETH Zürich.
- HURNI, L.; DAHINDEN, T.; HUTZLER, E. 2001. Digital Cliff Drawing for Topographic Maps: Traditional Representation by Means of New Technologies. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 38, no. 1–2, p. 55–65.
- HURNI, L. et al. 2015. Re-mapping the Cliffs of Mount Everest: Deriving a Synoptic Map from Large-scale Mountain Map Data. In: *Proceedings of the 27th International Cartographic Conference*. Rio de Janeiro, Brazil. 13 p.
- IGN 2014. *BD TOPO, version 2.1, Descriptif de contenu*. [cit. 2016-02-22]. 166 s. Dostupné z URL: http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTOPO_2-1.pdf.
- IGP 2008. *Cartografia e ortofotocartografia à escala 1:10 000, Normas técnicas de produção e reprodução*. [cit. 2016-02-22]. 156 s. Dostupné z URL: http://www.dgterritorio.pt/ficheiros/dgt/espectecn_10k_final_pdf.
- IMHOF, E. 2007. *Cartographic Relief Presentation*. 1st ed. Redlands : ESRI Press, 2007. 388 s. ISBN 978-1-58948-026-1.
- ISOM 2000. *Mapy pro orientační běh : Mezinárodní norma*. Praha : Český svaz orientačního běhu. [cit. 2008-08-08]. 37 s. Dostupné z URL: http://www.orientacnisporty.cz/upload/dokumenty/csos/isom2000cz_20141204123206.pdf
- JAROŠ, J. 2011. *Detekce linií terénní kostry z dat leteckého laserového skenování* [rukopis]. Praha, 2011. 86 s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- JAROŠ, J.; LYSÁK, J. 2012. Detekce vybraných terénních čar z dat leteckého laserového skenování. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 58/100, č. 11, s. 249–255.
- JEBAVÁ, L.; LYSÁK, J.; KUPKOVÁ, L. 2015. Mapování agrárních forem reliéfu v Krkonoších na základě dat leteckého laserového skenování. *Opera Corcontica*, roč. 52, s. 61–72.
- JENNY, B.; GILGEN, J.; GEISTHÖVEL, R.; MARSTON, B. E.; HURNI, L. 2014. Design Principles for Swiss-style Rock Drawing. *The Cartographic Journal*, vol. 51, no. 4, p. 360–371.
- KASHANI, A. G.; OLSEN, M. J.; PARRISH, C. E.; WILSON, N. 2015. A Review of LIDAR Radiometric Processing: From Ad Hoc Intensity Correction to Rigorous Radiometric Calibration. *Sensors*, 2015, vol. 15, p. 28099–28128.
- KAVAN, G. 1955. *Kresba skal, ssutí a ledovců*. Vojenský topografický obzor, roč. 2, č. 3, s. 203–206.

- KIŠŠOVÁ, A. 2014. *Znázorňování skal na mapě velkého měřítka s využitím ruční kresby i digitální kartografie*. [rukopis]. Praha, 2014. 39 s. + 3 příl. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- KOŤÁTKO, Z.; VESELÝ, J. 2009. *Typické i nestandardní názvy skal a horolezeckých cest v Českém ráji*. [cit. 2016-06-01]. Dostupné z URL: <http://www.jinoviny.cz/view.php?navezclanku=typicke-i-nestandardni-nazvy-skal-a-horolezeckych-cest-v-ceskem-raji&cislocclanku=2009030001>
- KRAUS, K.; PFEIFER, N. 1998. Determination of terrain models in wooded areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 53, p. 193–203.
- KUNA, P. 2015. *Skalní věže Adršpachu, známe jejich výšku?* [cit. 2015-11-03]. Dostupné z URL: <http://www.broumovsko.cz/cs/skalni-veze-adrspachu-zname-jejich-vysku>.
- LEIMEROVÁ, K. 2011. *Detekce vybraných tříd prvků ZABAGED z DMR leteckého laserového skenování* [rukopis]. Olomouc, 2011. 46 s. Magisterská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci na katedře geoinformatiky.
- LINZ 2016. *New Zealand Topographic Data Dictionary, version 5.1* [cit. 2016-02-22]. Dostupné z URL: <http://apps.linz.govt.nz/topo-data-dictionary/>.
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. 2015. *Geographical Information Systems and Science*. 4th edition. John Wiley. 496 p. ISBN 978-0-470-72144-5.
- LUKAVSKÝ, S. 1999. *Adršpašské skály : horolezecký průvodce* [Díl 1]. Náchod : Juko. 231 s. ISBN 80-86213-09-9.
- LYSÁK, J. 2008. *Znázorňování skal v digitální kartografii a GIS* [rukopis]. Praha, 2008. 96 s. + 1 příl. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- LYSÁK, J.; BLÁHA, J. D. 2008. Znázorňování skal v digitální kartografii. In: *Geodny Liberec 2008*, s. 176–182.
- LYSÁK, J. 2010a. Skalní útvary v kartografii a GIS. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 56/98, č. 3, str. 52–58.
- LYSÁK, J. 2010b. *SDW Tools*. Sada nástrojů pro zpracování dat leteckého laserového skenování se zachováním full-waveform informace. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/veda-a-vyzkum/vyzkumne-tymy/letecke-laserove-skenovani>
- LYSÁK, J. 2011. *Filtrace dat leteckého laserového skenování v pískovcových skalních městech* [rukopis]. Seminární práce na předmět Teorie měřicích systémů (154TMS) na Fakultě stavební ČVUT v Praze. 27 s.
- LYSÁK, J.; TRAUIG, M. 2013. Digital Rock Drawing on Czech Topographic Maps: Present and Future Development. In: *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*. Dresden, Germany. 12 p.
- LYSÁK, J. 2015a. Sesuvy, suť a další kamení v topografických mapách a databázích. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 61/103, č. 11, s. 245–258.
- LYSÁK, J. 2015b. Digital rock drawing on Czech topographic maps: the current state and historical circumstances. *AUC Geographica*, vol. 50, no. 2, p. 193–199.
- LYSÁK, J. 2016. An algorithm for automated digital rock drawing in the style used in Czech topographic maps. *AUC Geographica*, vol. 51, no. 1, p. 5–16.
- MANDLBURGER, G.; BRIESE, C.; PFEIFER, N. 2007. Progress in LiDAR sensor technology – chance and challenge for DTM generation and data administration. In: *Proceedings of the 51st Photogrammetric Week*, 3–7 September 2007, Stuttgart, Germany. Fritsch D. (ed.). Karlsruhe : Wichmann, p. 159–169.
- MAULE, L. 2002. Mapové znaky. *Kartografické listy*, 2002, č. 10, s. 36–43.
- MEIJERS, M. 2011. *Variable-scale Geo-information*. Published Ph.D. thesis, Delft University of Technology. Ridderkerk, 2011. 244 p.
- MIKŠOVSKÝ, M. 2015. *Mapování 1939–1945*. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z URL: http://gis.zcu.cz/Stare_mapy/Kap10_mapovani_1939_1945.html
- MML 2015. *Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet*. [cit. 2016-02-22]. 115 s. Dostupné z URL: <http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/maastotietokohteet.pdf>.

- MNO 1976. *Mapové značky a směrnice pro zpracování topografických map měřítek 1:25000, 1:50000, 1:100000 a 1:200000* (TOPO-4-3). Ministerstvo národní obrany, 1976. 210 s.
- MÜCKE, W. 2008. *Analysis of full-waveform airborne laser scanning data for the improvement of DTM generation* [manuscript]. Diploma thesis, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology.
- NAGI, R. 2012. *An alternative to overlaying layer tints on hillshades*. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z URL: <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2012/03/08/an-alternative-to-overlaying-layer-tints-on-hillshades/>
- NECKÁŘ, P. 2015. *Zhodnocení pilotního projektu Zpřesnění skalních útvarů s využitím stereofotogrammetrie a dat LLS*. Interní dokument Zeměměřického úřadu z 25. 11. 2015.
- NGI 2011. *Top10Vector v1.1 (2011), Spécification de produit*. [cit. 2016-02-22]. 84 s. Dostupné z URL: http://www.ngi.be/Common/StandardDigitProd-Specs2013/Top10Vector_Product Specification_v1.1_FR.pdf.
- NPČŠ 2015. *Národní park lze díky Street View prohlížet i virtuálně*. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z URL: <http://www.npcs.cz/narodni-park-lze-diky-street-view-prohlizet-i-virtualne>
- NRC 2014. *CanVec+ Feature Catalogue, Edition 1.0.2*. [cit. 2016-02-22]. 144 s. Dostupné z URL: http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/canvec+/doc/CanVec+_catalogue_entites.pdf.
- OS 2001. *OS MasterMap real-world object catalogue, version 1.0*. [cit. 2016-02-22]. 566 s. Dostupné z URL: <https://www.ordnancesurvey.co.uk/docs/legends/os-mastermap-real-world-object-catalogue.pdf>.
- OSM 2015. *Map Features*. [cit. 2016-22-02]. Dostupné z URL: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_Features
- PACK, R. T.; BLONQUIST, K.; CARTER, B. 2012. Lidar Bare-Earth Modeling Of Overhanging Cliffs – Extending 2.5-D Lidar Classifiers To Handle 3d Surface Classification Problems. In: *Proceedings of ASPRS Annual Conference 2012*, Sacramento, California. 10 p.
- PATTERSON, T. 2014. *Terrain Texture Shader: Software for Enhancing Shaded Relief on Maps*. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z URL: http://www.shadedrelief.com/texture_shading/.
- PAVELKA, K.; FALTÝNOVÁ, M.; ŠVEC, Z.; DUŠÁNEK, P. 2014. *Mobilní laserové skenování*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2014. 130 s. ISBN 978-80-01-05261-7.
- PICEK, J. 2014. *Vizualizace digitálních modelů reliéfu vytvořených z dat leteckého laserového skenování* [rukopis]. Praha, 2014. 79 s. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- PILOUS, V. 2009. Vodopády Krkonoš. *Krkonoše Jizerské hory*, roč. 2009, č. 1, s. 22-25.
- POLÁKOVÁ, T. (in press). *Využití doplňkových informací o pulsu pro klasifikaci dat LLS v členitém terénu* [rukopis]. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- POLÁŠEK, P. 2015. *Automatizovaná tvorba a kartografická generalizace kótovaných bodů z digitálních modelů reliéfu* [rukopis]. Praha, 2015. 76 s. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- REGNAULD, N.; MACKANESS, W. A.; HART, G. 2002. Automated relief representation for visualisation of archaeological monuments and other anthropogenic forms. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 26, no. 2, p. 219–239.
- ROHELOVÁ, K. 2014. *Šrafy v digitální kartografii*. [rukopis]. Praha, 2014. 66 s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- RUBÍN, J.; BALATKA, B. a kol. 1986. *Atlas skalních, zemních a půdních tvarů*. Praha : Academia. 385 s.
- RUIZ, A.; KORNUS, W.; TALAYA, J.; COLOMER, J. L. 2004. Terrain modeling in an extremely steep mountain: A combination of airborne and terrestrial lidar. In: *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*, Istanbul, Turkey, vol. 35, part B3, p. 281–284.
- SHAN, J.; TOTH, C. K. (eds.) 2009. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press, 2009. ISBN 978-1-4200-5142-1.

- SCHRADER F. 1911. Essai sur la représentation topographique du rocher. *La commission de topographie du Club Alpin Français*, Paris. 35 p.
- SITHOLE, G.; VOSELMANN, G. 2005. Filtering of airborne laser scanner data based on segmented point clouds. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 36 (Part 3/W19), p. 66–71.
- SKALICKÁ, I. 2013. Nové zpracování výškopisu základních map České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 59/101, č. 8, s. 186–191.
- SWISSTOPO 2015. *Objektkatalog swissTLM3D 1.3*. [cit. 2016-02-22]. 51 S. Dostupné z URL: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/swissTLM3D.parsysrelated1.47641.downloadList.94330.DownloadFile.tmp/201503swisstlm3d13dbarrierefrei.pdf>.
- ŠÁKROVÁ, M. 2014. *Sesuvy, sutě a další méně obvyklé terénní prvky v topografických databázích a digitální kartografii*. [rukopis]. Praha, 2014. 66 s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- ŠÍMA, J. 2002. Analýza kompatibility a zobrazení změn objektů ZABAGED na katastrálních mapách v digitální formě. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 48/90, č. 8, s. 161–164.
- ŠÍMA, J.; EGRMAJEROVÁ, L. 2004. Ověření přesnosti digitálního modelu reliéfu Základní báze geografických dat. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 50/92, č. 11, s. 213–231.
- ŠÍMA, J. 2008. Stručná zpráva o zeměměřičtví a katastru nemovitostí v České republice na prahu 21. století. *Zeměměřič*, roč. 15, č. 3+4, s. 7–11.
- ŠÍMA, J. 2016 Základní báze geografických dat (ZABAGED[®]) – dílo jedné generace českých zeměměřičů. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 62/104, č. 4, s. 73–84.
- ŠLITR, J. 1955. Využití sovětských zkušeností z mapy 1 : 10000 v našem mapování. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 1/43, č. 4, s. 61–80.
- ŠMÍD, K. 1979. *Pískovcové skály v Čechách*. Východní Čechy. Praha : Olympia, 1979. 420 s.
- ŠVEHLOVÁ, I. 2014. Geografická jména České republiky v databázi Geonames. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 60/102, č. 1, s. 13–18.
- TIPPNER, A.; KAFKA, O.; LYSÁK, J. 2014. ArcGIS v procesu tvorby výškopisu Státní mapy 1 : 5000. *ArcRevue*, roč. 23, č. 1, s. 22–23.
- TOMKOVÁ, M. 2015. *Pískovcová skalní města v GIS* [rukopis]. Praha, 2015. 95 s. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- TOMKOVÁ, M. (in press). *Klasifikace dat leteckého laserového skenování v pískovcových skalních městech* [rukopis]. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- TROMMLER, M.; CSAPLOVICS, E. 2007: *Geoinformationsnetzwerke für die grenzüberschreitende Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz*. Projektbericht. Dresden : Technische Universität Dresden.
- ÚGKK SR 2013. *Katalóg tried objektov ZB GIS, verzia 2013.4*. [cit. 2016-02-22]. 229 s. Dostupné z URL: http://www.skgeodesy.sk/files/slovensky/ugkk/geodezia-kartografia/zb-gis/kto_zbgis_2013_4.pdf.
- UHLÍŘ, J. 1995. Tvorba katalogu objektů ZABAGED/1. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 41/83, č. 9, s. 187–190.
- ULLRICH, K. 1956. Die Bearbeitung einer touristischen Spezialkarte des Schrammsteingebirges. *Vermessungstechnik*, 4, S. 221–228.
- ULLRICH, K. 1969. Die kartographische Darstellung der Felsen des Elbsandsteingebirges. *Vermessungstechnik*, 17, 10, S. 388–395
- ULLRICH, K. 1975. Vorschlag zur kartographischen Darstellung der Felsen des Elbsandsteingebirges. *Wissenschaftliche Abhandlungen der Geographischen Gesellschaft der DDR*, Band 11, Leipzig, S. 113–126.
- URL 1. *Semantická harmonizace ATKIS a ZABAGED – dvojjazyčné katalogy objektů*. [cit. 2015-02-02]. Dostupné z URL: <http://geodat.ioer.info/index.php?id=57&L=1>.

- URL 2. *Výstupy projektu Ochrana krajinného rázu jako podstatného rysu české kulturní krajiny (OKRČR)*. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z URL: <http://www.lowaspol.cz/?a=9>.
- ÚSGK (Ústřední správa geodézie a kartografie) 1959. *Smluvené značky topografických map v měřítkách 1:10000 a 1:5000*. 2., pozměněné vyd. Praha : SNTL. 115 s.
- VANIŠ, P. 2011. *Výzkum získávání a vedení objektů mikroreliefu a kosterních čar terénu v rámci ZABAGED*. Výzkumná zpráva, VÚGTK, 32 s.
- VEVERKA, J. 2006. *Turistická mapa pohoří Fagaraš* [rukopis]. Praha, 2006. 69 s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie.
- VGHMŮŘ 2007. *Katalog topografických objektů, verze 12.2007*. Dobruška, 2007. [cit. 2008-08-08]. Dostupné z URL: <http://izgard.cenia.cz/ceniaizgard/kto/dmu25v2/KTODMU25.html>
- VÍTEK, J. 2004. *Tajemný svět skal : Skalní zajímavosti České republiky*. 1. vyd. Ústí nad Orlicí : Oftis, 2004. 192 s. ISBN 80-86845-03-6.
- VOLKMEROVÁ, O.; KŘÍŽEK, M. 1999. Digitální zpracování tiskových podkladů Základní mapy ČR 1:10 000 na základě ZABAGED. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 45/87, č. 7–8, s. 152–158.
- VOSSelman, G.; MAAS, H. G. (eds.) 2010. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Dunbeath : Whittles Publishing. 336 p. ISBN 978-1904445-87-6.
- WATAGAWA, M.; URAMOTO, Y.; SHIMADA, H. 2007. Automated Symbol-Placement Methodology for Digital Mapping. In: *Proceedings of the International Symposium on GPS/GNSS 2007*. Dostupné z URL: http://www.gisdevelopment.net/technology/gis/ma08_257pf.htm.
- WISE, S. 2014. *GIS Fundamentals*. Second Edition. CRC Press, 2013. 338 p. ISBN 978-1439886953.
- YANG, N.; GUO, Q.; SHEN, D. 2009. Automatic Modeling of Cliff Symbol in 3D Topographic Map. In: *Proceedings SPIE 7492, International Symposium on Spatial Analysis, Spatial-Temporal Data Modeling, and Data Mining*. 7 p.
- YANG, N.; WAN, L.; ZHENG, G.; YANG, J. 2015. Using Hachures to Construct a 3D Doline Model Automatically. *Cartographica*, vol. 50, no. 2, p. 86–93.
- YOELI, P. 1985. Topographical Relief Depiction by Hachures with Computer and Plotter. *The Cartographic Journal*, vol. 22, no. 2, 111–124.
- ZAKŠEK, K.; OŠTIR, K.; KOKALJ, Ž. 2011. Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. *Remote Sensing* 3, p. 398–415.
- ZÚ & VGHMŮŘ 2012. *Technická zpráva k ortofotografickému zobrazení území ČR. Ortofoto České republiky*. [cit. 1. 3. 2016]. Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TZ_Ortofoto_CR.pdf
- ZÚ & VGHMŮŘ 2015a. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G)*. [cit. 1. 3. 2016]. Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G.pdf
- ZÚ & VGHMŮŘ 2015b. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G)*. [cit. 1. 3. 2016]. Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf
- ŽÁK, K. 1992. *Srbsko – lezecký průvodce*. Praha : Alpy & hory, 1992. 78 s. Dostupné z URL: http://www.hoberoun.cz/lib/exe/fetch.php?media=undefined:srbsko_zak92.pdf [cit. 2016-04-11].

O autorovi

RNDr. **Jakub Lysák** (*1981) je absolventem oboru informatika se zaměřením na softwarové systémy na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze (2005), kde rovněž absolvoval rigorózní zkoušku (2007). Těžištěm autorova zájmu jsou geoinformatika a kartografie, kterým se od roku 2005 věnuje na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. V roce 2008 zde ukončil navazující magisterské studium oboru Kartografie a geoinformatika a ve stejném roce zahájil doktorské studium oboru Kartografie, geoinformatika a dálkový průzkum Země, v rámci něž vznikla i tato práce.



Autorovy pracovní zkušenosti zahrnují kromě akademické sféry také oblast komerční praxe, kde 6 let pracoval jako programátor, analytik a vedoucí programátorského týmu zaměřeného na vývoj webových aplikací. Od roku 2011 působí jako asistent na PřF UK v Praze a externě spolupracuje se Zeměměřickým úřadem v oblasti tvorby výškopisu z dat leteckého laserového skenování. Autorův odborný zájem na poli geoinformatiky a kartografie se soustřeďuje zejména na data leteckého laserového skenování, jejich zpracování a aplikace, dále na automatizaci v kartografii se zaměřením na výškopis a státní mapové dílo. Práce se pokouší spojit všechny tyto aspekty dohromady: z informatického vzdělání a praxe vyplývající znalosti a zkušenosti jak s teoretickým návrhem algoritmů, tak s praktickým programováním v různých programovacích jazycích a algoritmizací problémů z různých oborů lidské činnosti, spojené s geoinformatikou a kartografií a rámcovými znalostmi dat a postupů používaných při tvorbě státního mapového díla.

Přehled publikací autora

Přehled zachycuje publikace vydané do konce května 2016. Články jsou v rámci jednotlivých kategorií seřazeny chronologicky (novější napřed) a ty, které jsou citovány v práci, jsou označeny hvězdičkou (*).

článek v impaktovaném časopise (J_{imp})

POLONSKÝ, F.; NOVOTNÝ, J.; LYSÁK, J. 2010. Cognitive Mapping of Major World Regions among Czech Geography Students. *Journal of Maps*, vol. 6, no. 1, p. 311–318.

článek v recenzovaném časopise (J_{SC} , J_{neimp})

*LYSÁK, J. 2016. An algorithm for automated digital rock drawing in the style used in Czech topographic maps. *AUC Geographica*, vol. 51, no. 1, p. 5–16.

*LYSÁK, J. 2015. Digital rock drawing on Czech topographic maps: the current state and historical circumstances. *AUC Geographica*, vol. 50, no. 2, p. 193–199.

článek v českém recenzovaném časopise (J_{rec})

LYSÁK, J.; POTŮČKOVÁ, M. 2016. Nadmořské výšky vrcholů v Česku s využitím nových technologií. *Geografické rozhledy*, roč. 25, č. 4, s. 15–16.

*LYSÁK, J. 2015. Sesuvy, suť a další kamení v topografických mapách a databázích. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 61/103, č. 11, s. 245–258.

*JEBAVÁ, L.; LYSÁK, J.; KUPKOVÁ, L. 2015. Mapování agrárních forem reliéfu v Krkonoších na základě dat leteckého laserového skenování. *Opera Corcontica*, roč. 52, s. 61–72.

- HÁTLE, J.; JAROŠ, J.; LYSÁK, J. 2015. Vybrané aspekty znázorňování hranic na mapách. *Geografické rozhledy*, roč. 24, č. 3, str. 14–15.
- LYSÁK, J. 2014. Nejnižší položený stát světa: Maledivy, Tuvalu, nebo Marshallovy ostrovy? *Geografické rozhledy*, roč. 23, č. 2, s. 24–25.
- LYSÁK, J. 2013. *Ostrovy v Česku*. *Geografické rozhledy*, roč. 22, č. 4, s. 6–7.
- *JAROŠ, J.; LYSÁK, J. 2012. Detekce vybraných terénních čar z dat leteckého laserového skenování. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 58/100, č. 11, s. 249–255.
- *LYSÁK, J. 2010. Skalní útvary v kartografii a GIS. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 56/98, č. 3, s. 52–58.

článek ve sborníku konference

- *LYSÁK, J.; TRAURIG, M. 2013. Digital Rock Drawing on Czech Topographic Maps: Present and Future Development. In: *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*. Dresden, Germany. 12 p.
- POTŮČKOVÁ, M.; GRILL, S.; LYSÁK, J. 2010. Evakuační GIS pro projekt TANGO. In: *Sborník – Symposium GIS Ostrava 2010*, s. 1–7.
- *LYSÁK, J.; BLÁHA, J. D. 2008. Znázorňování skal v digitální kartografii. In: *Geodny Liberec 2008*, s. 176–182.

software

- KAFKA, O.; TIPPNER, A.; LYSÁK, J. 2011–2016. *SIMS 5K* – software na tvorbu výškopisu pro SM 5 z dat LLS.
- *LYSÁK, J. 2010. *SDW Tools*. Sada nástrojů pro zpracování dat leteckého laserového skenování se zachováním full-waveform informace.

ostatní

- *TIPPNER, A.; KAFKA, O.; LYSÁK, J. 2014. ArcGIS v procesu tvorby výškopisu Státní mapy 1 : 5000. *ArcRevue*, roč. 23, č. 1, s. 22–23.