

UNIVERZITA KARLOVA
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie
Studijní program: Geografie (bakalářské studium)
Studijní obor: Geografie – kartografie



Günter KYNCL

**VYUŽITÍ KARTOGRAFICKÉ REPREZENTACE SKAL ZE SMD
PRO DOPLNĚNÍ TOPOGRAFICKÝCH DAT O SKALNÍCH
ÚTVARECH V ZABAGED**

UTILISATION OF CARTOGRAPHIC ROCK REPRESENTATION IN THE CZECH
STATE MAP SERIES FOR ENHANCEMENT OF ROCK FORMATIONS TOPOGRAPHIC
DATA IN ZABAGED

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Mgr. Jakub Lysák, Ph.D.

Praha 2020

Vysoká škola: Univerzita Karlova
Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Fakulta: Přírodovědecká
Školní rok: 2019/2020

Zadání bakalářské práce

pro Güntera Kyncla
obor Geografie a kartografie

Název tématu: Využití kartografické reprezentace skal ze SMD pro doplnění topografických dat o skalních útvarech v ZABAGED

Zásady pro vypracování

Cílem práce je využít kartografy ZÚ manuálně nakreslené kartografické reprezentace skal (stylizované šrafy) pro automatizované doplnění topografické informace o skalách do dat ZABAGED. Smyslem tohoto počínání je obohatit data ZABAGED týkající se skalních útvarů o takové informace, aby byla možná následná tvorba šraf automaticky (alespoň ve většině případů). Dílčí cíle práce jsou následující:

- seznámit se s reprezentací skal v databázi ZABAGED,
- seznámit se s reprezentací skal v IS SMD, se vztahem operátory nakreslené geometrie k výsledným šrafům, a se vztahem těchto šraf k topografické informaci,
- navrhnout metodu automatizované klasifikace obvodových linií polygonů skalních útvarů na horní, dolní a "boční"hrany,
- navrhnout metodu identifikace vnitřních hřbetnic, vrcholů a údolnic,
- navržené metody prakticky otestovat nad daty ze ZABAGED a kartografickými reprezentacemi z IS SMD a zhodnotit jejich úspěšnost.

Rozsah průvodní zprávy: 60–80 stran

Seznam odborné literatury:

DEMEK, J. (1987): Obecná geomorfologie. Academia, Praha.

DOSTÁL, Z., VONDRÁK, V. (2012): Lineární algebra. Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava.

LYSÁK, J. (2015): Digital rock drawing on Czech topographic maps: the current state and historical circumstances. AUC Geographica, 50, 2, 193–199.

LYSÁK, J. (2016a): Topografické mapování skalních útvarů s využitím dat leteckého laserového skenování. Dizertační práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, PřF UK, Praha.

LYSÁK, J. (2016b): An algorithm for automated digital rock drawing in the style used in Czech topographic maps. AUC Geographica, 51, 1, 5–16.

POKOJSKI, W., POKOJSKA P. (2018): Voronoi diagrams – inventor, method, applications. Polish Cartographical Review, 50, 3, 141–150.

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Mgr. Jakub Lysák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21. 12. 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: podzim 2020

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.

.....

Vedoucí bakalářské práce

.....

Vedoucí katedry

V Praze dne

Prohlášení o autorství

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

Jsem si vědom toho, že v případě použití výsledků získaných v této práci mimo Univerzitu Karlovu je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity. Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze 14. 8. 2020

.....

Günter Kyncl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Jakubu Lysákovi, Ph.D. za cenné rady, náměty, připomínky a čas věnovaný mé práci. Dále Zeměměřickému úřadu za poskytnutí nestandardních dat. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým blízkým za podporu po celou dobu studia.

Využití kartografické reprezentace skal ze SMD pro doplnění topografických dat o skalních útvarech v ZABAGED

Abstrakt

Práce se zabývá využitím kartografické reprezentace skalních útvarů ze SMD za účelem doplnění topografických informací o skalních útvarech do dat ZABAGED. V úvodu práce je popsána metoda pro znázorňování skal navržená a využívaná Zeměměřickým úřadem na základních mapách. Dále jsou stručně popsány vybrané metody výpočetní geometrie, které jsou v práci dále využívány. Další část je věnována popisu použitých dat o skalních útvarech poskytnutých Zeměměřickým úřadem. Součástí popisu dat je i popis procesu předpřípravy dat pro zpracování v dalších částech práce. Stěžejní část práce se zabývá návrhem postupů pro automatické odvození topografických informací z kartografické reprezentace skalních útvarů. Navržené postupy se zabývají klasifikací obvodových hran polygonů reprezentujících skalní útvary, dále pak identifikací hřbetnic, údolnic a vnitřních lomových hran. Navržené postupy jsou testovány na reálných datech a následně vyhodnoceny.

Klíčová slova

skalní útvary, znázorňování skal, státní mapové dílo, ZABAGED

Utilisation of cartographic rock representation in the Czech State map series for enhancement of rock formations topographic data in ZABAGED

Abstract

This thesis deals with utilisation of cartographic rock representation in the Czech State map series for enhancement of rock formations topographic data in ZABAGED. The first part of the paper describes the method of rock drawing developed and used by the Czech Land Survey Office on their base maps. In the next part are some methods of computational geometry which are used in this paper briefly described. Next part is devoted to description of used data on rock formations provided by Czech Land Survey Office. In this part is also the process of data preprocessing for next usage in the thesis described. The main part of this paper deals with the proposal of methods for automatic obtaining the topographic information about rock formations from their cartographic representation. Proposed methods are focused on the classification of rock drawing polygon perimeter and on the identification of ridgelines, valley lines and inner edge lines. Proposed methods are tested and evaluated on provided data.

Key words

rock formations, rock drawing, state map series, ZABAGED

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Úvod do problematiky	14
2.1 Metoda znázorňování skal dle ZÚ	14
2.1.1 Základní popis metody	14
2.1.2 Zachycení vnitřního členění skalních útvarů	16
2.1.3 Vybrané problémy při aplikaci metody na určité typy skalního terénu	18
2.2 Vybrané postupy výpočetní geometrie	21
2.2.1 Práce s vektory	21
2.2.2 Voroného diagramy (Thiessenovy polygony)	22
3 Použitá data	23
3.1 Popis dat	23
3.2 Předpříprava vstupních dat	24
3.2.1 Separace jednotlivých typů linií	24
3.2.2 Kontrola vyplnění polygonů liniemi	24
3.2.3 Kontrola příslušnosti linií polygonům	25
3.2.4 Identifikace a vyřazení příčných čárek v dolních částech polygonu . . .	25
4 Praktická část	33
4.1 Identifikace hřbetnic a vnitřních lomových hran	33
4.1.1 Identifikace liniových hřbetnic a hřbetnic charakteru bodových objektů	35
4.1.2 Identifikace ostatních vnitřních lomových hran	44
4.1.3 Diskuze výsledků	46
4.2 Identifikace údolnic	52
4.2.1 Tvorba linií potenciálně reprezentujících údolnice	53
4.2.2 Identifikace údolnic	58
4.2.3 Diskuze výsledků	60
4.3 Klasifikace obvodových hran polygonů	62
4.3.1 Identifikace horních obvodových hran	63
4.3.2 Identifikace dolních obvodových hran	66
4.3.3 Identifikace obvodových za použití digitálního modelu reliéfu	67
4.3.4 Vyhodnocení a výsledky	68
4.3.5 Diskuze výsledků	72

4.4	Kontrola logické správnosti polygonů	74
4.4.1	Výpočet statistik	75
4.4.2	Vyhodnocení polygonů na základě počtu jednotlivých objektů	76
4.4.3	Vyhodnocení polygonů na základě poměru délek horních a dolních částí	77
5	Diskuze	79
6	Závěr	83
	Použité zdroje	84
	Přílohy	85

Seznam obrázků

Obr. 1	Ukázka reprezentace skalních útvarů vytvořené metodou ZÚ.	14
Obr. 2	Ilustrace tvorby reprezentace skály dle metody ZÚ.	15
Obr. 3	Dvě varianty horních symbolů.	15
Obr. 4	Symbol pro dolní linie.	16
Obr. 5	Hřbetnice zachycená metodou ZÚ.	16
Obr. 6	Údolnice zachycená metodou ZÚ.	17
Obr. 7	Skály s vrcholem zachycené metodou ZÚ.	17
Obr. 8	Skály s vnitřními lomovými hranami zachycené metodou ZÚ.	18
Obr. 9	„Věnečkový“ způsob kresby pískovcových skalních věží.	19
Obr. 10	Voroného diagramy.	22
Obr. 11	Ilustrace výpočtu k identifikaci příček.	27
Obr. 12	Ilustrace prodloužení dolních linií k identifikaci příček.	28
Obr. 13	Ilustrace postupu identifikace příček na základě prodloužení linií směrem k horním liniím daného polygonu.	30
Obr. 14	Podíl určených skutečných dolních linií ve vytvořených intervalech v závislosti na hodnotě poměru p	32
Obr. 15	Reprezentace liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu. .	33
Obr. 16	Vnitřní lomové hrany	34
Obr. 17	Ilustrace předvýběru horních linií.	37
Obr. 18	Ilustrace nesprávně vybraných horních linií včetně náznaku řešení.	38
Obr. 19	Ilustrace rozlišení hřbetnic a vnitřních lomových hran.	39
Obr. 20	Ilustrace postupu tvorby nové geometrie pro liniové hřbetnice.	40
Obr. 21	Ilustrace postupu tvorby nové geometrie u hřbetnic charakteru bodového objektu.	41
Obr. 22	Ilustrace části postupu identifikace vnitřních lomových hran.	45
Obr. 23	Ukázka správně identifikovaných a vytvořených liniových hřbetnic.	46
Obr. 24	Ukázka nesprávně identifikovaných a vytvořených liniových hřbetnic	47
Obr. 25	Ukázka identifikace a vytvoření liniových hřbetnic v objektech, kde vzdálenost horních linií kolísá kolem stanovené mezní hodnoty.	47
Obr. 26	Ukázka objektů s nestandardním rozmístěním horních linií.	48
Obr. 27	Ukázka správně identifikovaných a vytvořených hřbetnic charakteru bodového objektu.	48
Obr. 28	Ukázka nesprávně identifikovaných a vytvořených hřbetnic charakteru bodového objektu v komplikovaných objektech.	49
Obr. 29	Ukázka identifikace a vytvoření hřbetnic charakteru bodového objektu v polygonech, kde vzdálenost horních linií osciluje kolem stanovené mezní hodnoty.	49

Obr. 30	Ukázka objektů s různým rozmístěním horních linií.	50
Obr. 31	Ukázka správně identifikovaných vnitřních lomových hran.	50
Obr. 32	Ukázka správně identifikovaných vnitřních lomových hran a liniových hřeb- nic ve složitějším objektu.	51
Obr. 33	Ukázka reprezentace údolnice.	52
Obr. 34	Ilustrace ideální reprezentace údolnice a vytvořených linií potenciálně repre- zentujících údolnice.	53
Obr. 35	Ilustrace tvorby linií potenciálně reprezentujících údolnice.	54
Obr. 36	Ilustrace tvorby linií potenciálně reprezentujících údolnice s proměnlivou délkou.	57
Obr. 37	Ukázka správně identifikovaných a vytvořených údolnic.	60
Obr. 38	Ukázka objektů se segmentovanými údolnicemi.	61
Obr. 39	Ukázka objektu s nesprávně identifikovanými údolnicemi.	61
Obr. 40	Obvodové hrany.	62
Obr. 41	Ilustrace postupu identifikace horních obvodových hran na základě jedno- směrného prodloužení dolních linií.	63
Obr. 42	Ilustrace postupu identifikace horních obvodových hran na základě jedno- směrného prodloužení dolních linií.	64
Obr. 43	Ilustrace postupu identifikace dolních obvodových hran na základě jedno- směrného prodloužení dolních linií.	66
Obr. 44	Ilustrace postupu identifikace obvodových hran za použití DMR.	67

Poznámky k obrázkům

- obrázky, u kterých není uveden zdroj jsou dílem autora,
- v případě, že byly k tvorbě obrázku využita data, jež nejsou dílem autora, jsou data a jejich zdroj u obrázku citovány.

Seznam tabulek

Tab. 1	Počty jednotlivých typů objektů v použitých datech.	24
Tab. 2	Hodnoty upravených dílčích proměnných k identifikaci příček, resp. skutečných dolních linií.	32
Tab. 3	Chybová matice metod klasifikací obvodových hran na základě počtu objektů	69
Tab. 4	Chybová matice metod klasifikací obvodových hran na základě délky objektů	70
Tab. 5	Vyhodnocení shody použitých metod pro klasifikaci obvodových hran. . . .	70
Tab. 6	Pravidla pro výslednou klasifikaci obvodových hran.	71
Tab. 7	Počty a délky jednotlivých typů hran dle finální klasifikace.	71
Tab. 8	Počty a podíly nalezených typů polygonů.	78

1 Úvod

Skalní útvary jsou výraznými krajinnými prvky. Často se jedná o objekty, které svým vzhledem, tvarem a velikostí vyčnívají nad okolní krajinu a tvoří tak dominantní prvek v dané lokalitě. V minulých dobách byly skalní útvary objektem zájmu lidské společnosti z mnoha různých důvodů. Tato práce se skalami zabývá z pohledu digitální kartografie a geoinformatiky.

Znázorňování skal na mapách přinášelo od počátku určité potíže. Hlavní problém představuje jejich převládající vertikální rozměr, který činí zanesení objektu do mapy komplikovaným. Jelikož se jedná o výrazné prvky krajiny, které mohou často tvořit dobré orientační body, byla jejich správná kartografická reprezentace důležitá. Nalezení uspokojivého způsobu znázornění skal trvalo kartografům poměrně dlouho. Postupem času vznikla celá řada způsobů pro zachycení skalních útvarů na mapách (Lysák 2015, Lysák 2016a). Tato práce se zaměřuje na metodou používanou Zeměměřickým úřadem (dále ZÚ) na základních topografických mapách Česka.

Hlavním smyslem uvedeného počínání je doplnit ke skalním útvarům takové topografické informace, které umožní (alespoň ve většině případů) automatickou tvorbu stylizovaných šraf. K tomuto účelu je využita manuálně vytvořená kartografická reprezentace skal vytvořená právě pomocí metody používané ZÚ.

Dílními cíli práce je seznámení se s reprezentací skalních útvarů v databázi ZABAGED a se vztahem kartografické reprezentace (geometrie nakreslené kartografy) k topografii. Na tomto základě jsou poté navrženy metody pro automatickou klasifikaci obvodových hran polygonů reprezentujících skalní útvary. Klasifikované obvodové hrany jsou klíčové pro automatickou tvorbu stylizovaných šraf, resp. na základě těchto hran je automatická kresba tvořena. Dále jsou navrženy metody pro identifikaci vnitřních hřbetnic, vnitřních lomových hran, vrcholů a údolnic. Tyto objekty reprezentují určité vnitřní členění daného skalního útvaru, které je potřeba pomocí šraf zachytit. Navržené metody jsou otestovány nad reálnými daty a je zhodnocena jejich úspěšnost.

V rešeršní části práce je popsána metoda pro znázorňování skal používaná ZÚ na základních mapách. Další součástí rešeršní části je vysvětlení základních postupů výpočetní geometrie, které jsou v práci dále využívány.

Poté následuje popis použitých dat. V rámci metodické části jsou představeny navržené metody pro klasifikaci obvodových hran a pro identifikaci vnitřních hřbetnic, vnitřních lomových

hran, vrcholů a údolnic. Jednotlivé navržené metody jsou rovnou testovány na reálných datech, přičemž jejich výsledky a diskuze jsou pro přehlednost uvedeny vždy u dané metody. Komplexní shrnutí výsledků použitých metod spolu s jejich diskuzí je náplní posledních dvou kapitol práce.

2 Úvod do problematiky

2.1 Metoda znázorňování skal používaná Zeměměřickým úřadem na základních mapách

2.1.1 Základní popis metody

Metoda vytvořená ZÚ je využívána k reprezentaci skalních útvarů na základních mapách v měřítkách 1 : 10 000 a 1 : 25 000. Metoda spočívá v digitálním zpracování žebříčkové manýry, přičemž představuje relativně rozumný kompromis mezi množstvím vynaložené manuální práce a kvalitou vytvořené reprezentace (Lysák 2016a). Ukázka reprezentace skal s využitím této metody je na obrázku č. 1.



Obr. 1: Ukázka reprezentace skalních útvarů vytvořené metodou ZÚ.

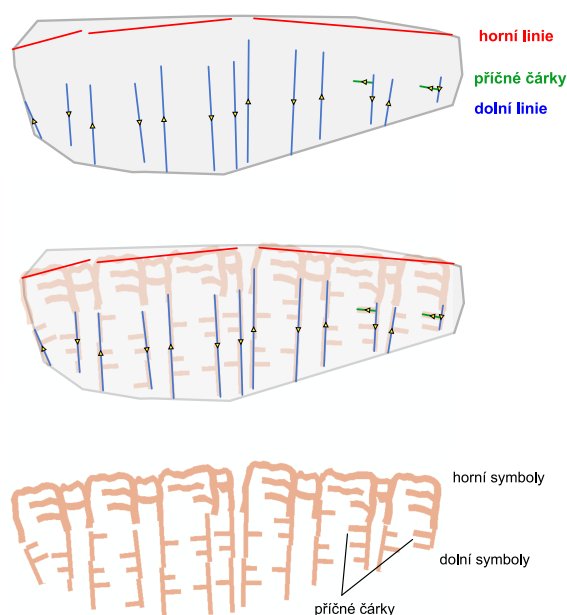
Výřez z digitální verze ZM 10.

Zdroj: ©ČÚZK, 2018.

Metoda spočívá v zásadě ve vyplnění polygonů reprezentujících skalní útvary liniemi podobnými stylizovaným šrafám. Aby nebylo nutné při tvorbě jednotlivých objektů kreslit dílčí šrafy jednotlivě, jsou vytvořeny speciální liniové symboly, jejichž vhodnou kombinací je reprezentace vytvořena efektivněji a měla by co nejlépe odpovídat charakteru daného skalního útvaru. Samotný polygon reprezentující půdorys skalního útvaru je ve výsledku použit pouze

k odmaskování vrstevnic a není v mapě přímo zobrazen (Lysák 2016a).

K vyplnění polygonu slouží dva typy liniových symbolů – tzv. **horní a dolní symboly**. Tyto symboly pak vyplňují vždy příslušnou část polygonu skalního útvaru. Ilustrace tvorby výsledné reprezentace z linií nakreslených kartografem prostřednictvím liniových symbolů je znázorněna na obrázku č. 2.



Obr. 2: Ilustrace tvorby reprezentace skály dle metody ZÚ.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

Jako první jsou vytvořeny horní symboly (připomínající části stylizovaných šraf) – viz obr. č. 3. Ty jsou tvořeny ve dvou variantách lišících se výškou. V rámci obou variant je jedna skupina tvořena více různými symboly, což zvyšuje nepravidelnost výsledné reprezentace.



Obr. 3: Dvě varianty horních symbolů.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

Horní symboly jsou využity na tzv. **horní linie**. Ty jsou tvořeny za sebou uspořádanými horními symboly. Takovou reprezentaci je možné vytvořit ve standardních kartografických softwarech. Hlavní výhoda poté tkví v tom, že není nutné kreslit a upravovat každý symbol zvlášť, ale stačí umístit horní linii, na základě čehož daný software vykreslí výslednou reprezentaci tvořenou správně umístěnými, natočenými a na sebe navazujícími symboly. Horní linie jsou umísťovány podél horních hran polygonů reprezentujících půdorys skalního útvaru (resp. kopírují lokálně nejvyšší místa v rámci daného skalního útvaru) a jsou vždy orientovány tak, že směr dolů je vpravo od dané linie. Za účelem zvýšení nepravidelnosti výsledné reprezentace je většinou umísťováno větší množství kratších na sebe nenavazujících horních linií namísto

jedné propojené horní linie (viz např. obr. č. 2) (Lysák 2015, Lysák 2016a, Lysák 2016b).

Potom, co je část polygonu vyplněna horními symboly, zbývá vyplnit jeho zbylou část. K tomuto účelu jsou využity **dolní linie**. Dolní linie kopírují v rámci daného polygonu směr spádu, přičemž jejich kresba je provedena tak, aby navazovaly na horní symboly. Dolní linie jsou použity tehdy, zůstane-li po umístění horních linií v polygonu určitá část nepokrytá. Pokud je tedy polygon takového tvaru, že je dostatečně pokryt horními symboly, tak se již dolní linie neumísťují. Na dolních liniích jsou dále umístěny krátké příčné čárky (příčky) (viz obr. č. 2). Tyto příčné čárky dopomáhají k vizuálnímu zaplnění plochy polygonu. Jsou zpravidla kresleny směrem do prostoru pod širšími horními symboly. Příčky jsou umísťovány jen na jednu stranu (konkrétně pravou) dolních linií. Aby potom stačilo definovat pouze jeden symbol pro dolní linii, je v rámci polygonu pravidelně střídána orientace dolních linií, čímž je dosaženo požadovaného – příčky směřují jen do prostoru pod širšími horními symboly (viz obr. č. 2, kde je znázorněna orientace dolních linií). Symbol pro dolní linie je zachycen na obrázku č. 4 (Lysák 2015, Lysák 2016a).

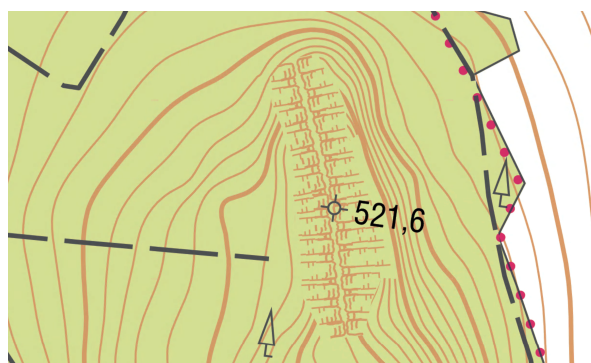


Obr. 4: Symbol pro dolní linie.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

2.1.2 Zachycení vnitřního členění skalních útvarů

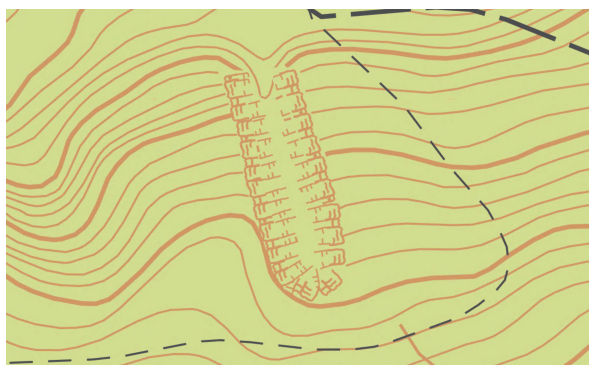
Na základě výše uvedeného popisu je zřejmé, že lze metodu použít rovněž ke znázornění vnitřního členění objektu. Pro účely této práce rozlišujeme tyto čtyři objekty charakterizující vnitřní členění objektu: hřbetnice, údolnice, vrchol a vnitřní lomová hrana.

Jako **hřbetnice** se označuje linie představující styk dvou přilehlých skalních stěn téhož hřbetu. Jedná se o spojnici relativně nejvyšších bodů daného terénního tvaru. Hřbetnice má ze všech spádní v rámci plochy daného hřbetu nejmenší sklon (Demek 1987). Znázornění hřbetnice je provedeno pomocí dvojice protisměrných horních linií. Ukázka kartografické reprezentace skály s hřbetnicí je uvedena na obrázku č. 5.



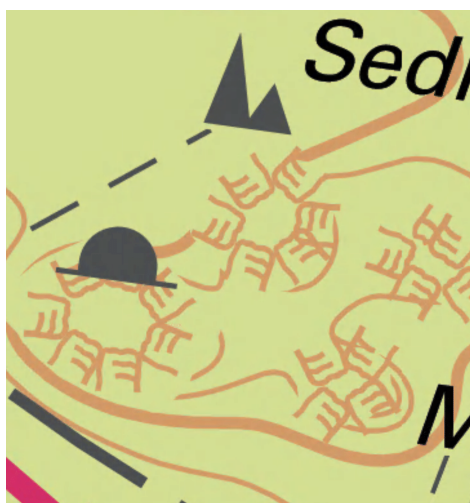
Obr. 5: Hřbetnice zachycená metodou ZÚ.
Výřez z digitální verze ZM 10.
Zdroj: ©ČÚZK, 2018.

Údolnicí rozumíme linii kopírující místa, kde se nachází největší vhloubení údolí. Ze všech spádnic daného tvaru má nejmenší sklon (Demek 1987). Údolnice je metodou ZÚ zachycena tak, že se v daném místě potkávají uvnitř polygonu ukončené dolní linie dvou protilehlých skalních stěn. Údolnice zachycená metodou ZÚ je znázorněna na obrázku č. 6.



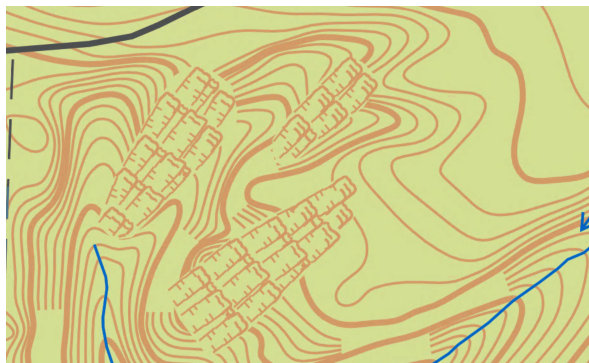
Obr. 6: Údolnice zachycená metodou ZÚ.
Výřez z digitální verze ZM 10.
Zdroj: ©ČÚZK, 2018.

Skála s **vrcholem** (případně kupa) je znázorněna do malého kruhu uspořádanými horními liniemi (resp. ideálně by horní linie byla tvořena jediným bodem). Výsledná reprezentace pak tvarem připomíná květinu, jejíž střed zůstává prázdný (Lysák 2016a). Zachycení vrcholu metodou ZÚ je znázorněno na obrázku č. 7.



Obr. 7: Skály s vrcholem zachycené metodou ZÚ.
Výřez z digitální verze ZM 10.
Zdroj: ©ČÚZK, 2018.

Vnitřní lomové hrany jsou linie, na kterých se v rámci daného objektu výrazně mění sklon. Charakteristické pro lomovou hranu, je, že se od ní skalní útvar snižuje pouze v jednom směru (oproti hřebetnici) (Lysák 2016a). Vnitřní lomové hrany jsou zachyceny jednoduše pomocí samotných horních linií ležících uvnitř daného polygonu. Pomocí vnitřních lomových je (alespoň teoreticky) zaznamenáno například stupňovité členění skalního útvaru, poté je polygon vyplněn sérií nad sebou ležících dolních a horních symbolů (viz obr. č. 8).



Obr. 8: Skály s vnitřními lomovými hranami zachycené metodou ZÚ.
Výřez z digitální verze ZM 10.
Zdroj: ©ČÚZK, 2018.

2.1.3 Vybrané problémy při aplikaci metody na určité typy skalního terénu

Zachycení určitých typů terénu je metodou ZÚ poměrně náročné a nedosahuje úplně uspokojivých výsledků. Jeden z problémů spočívá v zachycení plošně rozsáhlých skalních útvarů. Pokud má skalní útvar charakter skalního srázu a je příliš velký ve směru spádnic, nastává problém s vyplněním velké plochy. Logicky by měla být plocha vyplněna dolními liniemi, to však působí graficky nevhodně – výsledek je příliš šablonovitý. Tyto situace se řeší třemi hlavními způsoby: nepravidelným rozmístováním dolních linií, jejich umělým kroucením a vlněním anebo přidáním horních linií (resp. řad horních symbolů). Poslední varianta jde částečně proti logice samotné metody, jelikož by výsledná reprezentace evokovala výskyt vnitřních lomových hran, ačkoliv by se v objektu reálně nevyskytovaly (Lysák 2015, Lysák 2016a).

Podobně nastává problém u úzkých skalních útvarů protáhlých ve směru spádnic. Zde se jako graficky nejpoužitelnější řešení jeví již zmíněné vložení horních linií, přičemž zde je pak objekt vnímán vcelku správně jako rozčleněný řetěz skal orientovaný po spádnici (Lysák 2016a).

Dalším problémem jsou útvary, kde je horní hrana polygonu výrazně delší nežli jeho dolní hrana. Poté dochází, pokud dodržujeme orientování dolních linií směrem po spádnici, v dolních částech polygonu ke křížení dolních linií. Některé z nich musí být tedy zkráceny a nedosahují tak až k dolní hraně (příp. údolnici). Pokud je situace opačná (dolní hrana polygonu je delší než jeho horní hrana), dochází ke vzniku prázdných míst, které musí být pak zaplňovány zkrácenými dolními liniemi (Lysák 2016a).

Při znázorňování malých skal s vrcholy nebo ve tvaru kupy nastává problém s nedostatkem místa. Výsledek je většinou tvořen pouze do kruhu stočenými horními symboly připomínajícími květinu (odtud slangové označení „květinu“) (Lysák 2016a).

Největší problémy má metoda používaná ZÚ při znázorňování reliéfu pískovcových skalních měst. Hlavním důvodem je velmi členitý reliéf spolu s nedostatkem místa pro kresbu skal. V tomto reliéfu se nachází velké množství jednotlivých skalních věží relativně blízko u sebe, což vede právě k nedostatku místa pro kresbu jednotlivých symbolů. Terén je pak zpravidla zachycen jednotlivými horními symboly, jejichž orientace kopíruje směr globálního spádu.

Nejde potom o zachycení jednotlivých skalních věží, spíše o podání informace, že se zde skály vyskytují a případně o náznaku jejich rozčlenění (Lysák 2015, Lysák 2016a).

Další problém pískovcového reliéfu tkví ve znázornění mírně větších vystupujících skalních masivů, které mají strmé stěny a plochou vrcholovou část. Znázornění takových objektů je prováděno dvojím způsobem. Jedním z nich je zaznamenání takových objektů podobným způsobem jako vrcholy (resp. kupy), přičemž vnitřní plocha může být v tomto případě větší a nemusí být nutně kruhovitěho tvaru. Druhým způsobem je znázornit objekt jako tzv. „věneček“, tedy tak, že se v místě vrcholu stýkají dolní linie a horní symboly pak reprezentují onu strmou stěnu (viz obr. č. 9) (Lysák 2016a).



Obr. 9: „Věnečkový“ způsob kresby pískovcových skalních věží.
Výřez z digitální verze ZM 10.
Zdroj: ©ČÚZK, 2018.

Při tvorbě reprezentace skalních útvarů na základě popsané metody nepředpokládalo, že by se jednou ze vzniklé reprezentace odvozovaly určité topografické informace o skalních útvarech. Určité kroky provedené během tvorby reprezentace komplikují právě zpětné získání topografické informace. Obecně je odvození topografické informace komplikováno snahou tvořit reprezentaci skal s větší mírou nepravidelnosti. Dále je tedy uvedeno několik postřehů týkajících se určitých omezení a problémů, se kterými je nutné v další části práce počítat.

Horní linie jsou za účelem zvýšení nepravidelnosti segmentovány – namísto jedné dlouhé linie kopírující horní hranu polygonu je kresleno větší množství kratších nepropojených segmentů. To prospívá kartografické reprezentaci, avšak pokud chceme s horními liniemi dále pracovat je toto spíše na škodu. Například při klasifikaci obvodových hran polygonů nebo při identifikaci hřbetnic by bylo snazší pracovat s delšími propojenými liniemi a je poté nutné provádět kroky, které míru segmentace linií zmenšují.

Co se týče dolních linií – zde se objevují dva hlavní problémy. Prvním z nich je proměnlivá orientace dolních linií. Orientace se mění v rámci jednoho polygonu proto, aby stačil jen jeden symbol pro tvorbu reprezentace. Pro práci s liniemi by však bylo užitečnější mít všechny dolní linie orientovány jednotně (například ve směru spádu). Jednotná orientace by usnadnila například klasifikaci obvodových hran polygonů nebo identifikaci údolnic.

Druhým problémem je existence příčných čárek. Příčné čárky (příčky) jsou součástí geometrie dolních linií a v poskytnutých datech nejsou od skutečných dolních linií nikterak odlišeny. Příčky jsou na skutečné dolní linie většinou kolmé, čímž narušují postupy, kde se využívá dolních linií kreslených ve směru spádu (jen kreslených, orientovány jsou střídavě), napří-

klad k identifikaci údolnic či dolních obvodových hran. Právě v těchto případech by příčky způsobovaly velké množství chyb.

Dále odvozování topografické informace nepřispívá „věnečkový“ způsob kresby pískovcových skalních věží, potom také zkracování dolních linií zamezující jejich křížení v polygonech s delší horní hranou.

V některých případech je reprezentace skalních útvarů podřízena hlavně grafické podobě výsledku spíše než topografické informaci. S uvedeným je nutné počítat při další práci s daty. V dalších částech práce jsou představeny určité postupy, které se snaží některá z uvedených omezení vyřešit.

2.2 Vybrané postupy výpočetní geometrie

Cílem této krátké podkapitoly je stručně popsat vybrané metody výpočetní geometrie, které jsou dále při práci s daty používány.

2.2.1 Práce s vektory

V této podkapitole jsou stručně popsány následující úkony nad vektory: výpočet velikosti vektoru, normování vektoru, výpočet úhlu mezi vektory, tvorba normálového vektoru k vektoru.

Nechť máme vektor $\vec{u} = (u_1, u_2)$. **Velikost vektoru** je pak určena následovně:

$$||\vec{u}|| = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

Na základě vypočtené velikosti vektoru je možné převést libovolný vektor na **jednotkový vektor**. Jednotkový vektor získáme vydělením souřadnic daného vektoru jeho velikostí (Dostál, Vondrák 2012). V případě vektoru $\vec{u}$ vypadá pak jednotkový vektor následovně:

$$\vec{u}_{jedn.} = \left(\frac{u_1}{||u||}, \frac{u_2}{||u||} \right)$$

Převod vektoru na jednotkový vektor bývá označováno jako tzv. **normování vektoru** (Dostál, Vondrák 2012).

K výpočtu úhlu mezi dvěma vektory je využito skalárního součinu. Uvažujme vektory $\vec{u}, \vec{v}$, mezi kterými chceme určit úhel α . Výpočet úhlu α je pak dán vztahem:

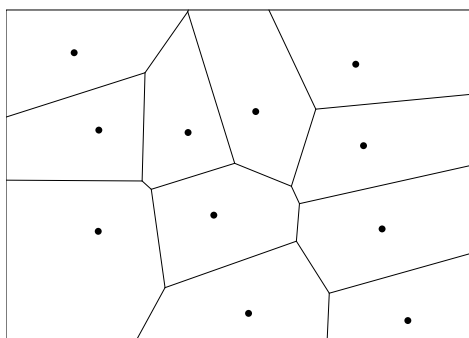
$$\alpha = \arccos \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{||\vec{u}|| \cdot ||\vec{v}||},$$

kde úhel α nabývá hodnot od 0 do π , resp. od 0 do 180 stupňů (Dostál, Vondrák 2012).

Normálovým vektorem rozumíme vektor, který je kolmý na daný vektor. Pokud máme vektor $\vec{u} = (u_1, u_2)$, tak získáme dva normálové vektory, které jsou z hlediska směru opačné. Normálové vektory získáme zjednodušeně prohozením složek původního vektoru a změnou znaménka jedné z nich (Dostál, Vondrák 2012). Pro vektor $\vec{u}$ jsou normálové vektory následující: $\vec{u}_{norm1} = (u_2, -u_1)$, $\vec{u}_{norm2} = (-u_2, u_1)$.

2.2.2 Voroného diagramy (Thiessenovy polygony)

Voroného diagramy jsou jednou z metod z oblasti výpočetní geometrie. Podstatou metody je rozdělení prostoru obsahujícího body do polygonů. Prostor je rozdělen tak, že kolem každého bodu vznikne polygon, pro který platí, že pro každé místo uvnitř polygonu je nejbližší právě bod uvnitř daného polygonu a ne žádný jiný. Kolem každého bodu tak vznikne polygon, který představuje oblast příslušící (mající nejbliž) právě k danému bodu (Pokojska, Pokojski 2018). Ukázka vytvořených Voroného diagramů nad vstupními body je uvedena na obrázku č. 10.



Obr. 10: Voroného diagramy.

3 Použitá data

Digitální verze ZM 10 s využitím popisované metody začala vznikat v roce 2001, přičemž dokončena byla do roku 2006. Zpracování bylo provedeno manuálně – jednotlivé horní a dolní linie byly kresleny kartografem na základě analogové verze ZM 10. Pro digitální zpracování skal totiž nejsou v ZABAGED obsaženy potřebné informace (Lysák 2016a).

V rámci celé práce jsou používána data obsahující geometrii horních a dolních linií, která jsou součástí interní databáze ZÚ Data10. Tato data nejsou běžně dostupná a pro účely této práce byly poskytnuty Zeměměřickým úřadem.

3.1 Popis dat

Uvedená datová sada sestává ze tří částí:

- vrstva polygonů reprezentujících půdorys skalních útvarů,
- liniová vrstva obsahuje všechny typy linií – dolní linie a dva druhy horních linií pro měřítko 1 : 10 000
- liniová vrstva obsahuje všechny typy linií – dolní linie a dva druhy horních linií pro měřítko 1 : 25 000

Data jsou poskytnuta včetně vytvořených pravidel pro jejich reprezentaci. V rámci liniové vrstvy jsou obsaženy všechny typy linií dohromady. Jsou odlišeny atributem *RuleID_ZM10*, resp. *RuleID_ZM25*. Tento atribut nabývá tří možných hodnot, přičemž každý typ linie má dvě hodnoty atributu – jednu při použití předdefinovaných pravidel pro reprezentaci (označení daného pravidla pro reprezentaci – uvedeno v závorce) a jednu čistě pro samotné linie:

- 10 (6160001) – horní linie tvořeny nižšími horními symboly
- 11 (6160002) – horní linie tvořeny vyššími horními symboly
- 12 (6160003) – dolní linie

Počty jednotlivých objektů jsou uvedeny v následující tabulce (tabulka č. 1):

Typ objektu	Počet objektů
polygony reprezentující půdorys skalního útvaru	40 183
horní linie tvořené nižšími horními symboly (10)	20 138
horní linie tvořené vyššími horními symboly (11)	191 765
dolní linie (12)	564 217

Tab. 1: Počty jednotlivých typů objektů v použitých datech.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

3.2 Předpříprava vstupních dat

Nežli budou data dále použita, je třeba provést několik úprav. Konkrétně se jedná o následující:

1. separace jednotlivých typů linií,
2. kontrola vyplnění polygonu liniemi,
3. kontrola příslušnosti linií polygonům,
4. identifikace a vyřazení příčných čárek.

3.2.1 Separace jednotlivých typů linií

Prvním krokem úpravy dat je z liniové vrstvy obsahující všechny typy linií vyčlenit zvlášť horní a dolní linie. Toto je učiněno pomocí atributu *RuleID_ZM10*, resp. *RuleID_ZM25*. Oba druhy horních linií jsou ponechány v jedné vrstvě.

3.2.2 Kontrola vyplnění polygonů liniemi

Dále je zkontrolováno, jestli je každý polygon vyplněn liniemi (horními, dolními), resp. jestli všechny náleží určitému polygonu. Některé tyto objekty (polygony bez linií, linie bez polygonu) byly objeveny při prohlížení dat, přičemž zpracování takových nekompletních objektů nemá význam. Při kontrole bylo nalezeno 331 polygonů nevyplněných liniemi. Tyto polygony byly vyřazeny a dále bude pracováno jen se zbylými 39 852 polygony.

Linií, které nenáleží k žádnému polygonu bylo nalezeno 19 338. V případě linií však nedošlo k vyřazení těchto objektů, jelikož při prohlédnutí dat bylo zjištěno, že například určité množství horních linií leží mimo polygon, avšak je zřejmé, že k danému polygonu náleží. Vyřazení určitých objektů bylo provedeno až po propojení linií a polygonů.

Nesoulad mezi polygony a liniemi je dán různými časovými obdobími při zpracování dat. Reprezentace skalních útvarů (stylizované šrafy) není tvořena na celém území Česka najednou,

ale je tvořena jen v té části, kde se v daném období zpracovává mapa. Polygony reprezentující skalní útvary jsou v rámci ZABAGED aktualizovány na celém území. Proto tedy nastávají situace, kdy není polygon vyplněn liniemi (polygon je nový a kresba uvnitř ještě nebyla vytvořena) nebo kdy je kresba mimo polygon (polygon byl smazán, příp. posunut).

3.2.3 Kontrola příslušnosti linií polygonům

Dalším krokem je zajištění příslušnosti linií polygonům. Výsledkem by měl být stav, kdy má každá linie informaci o tom, ke kterému polygonu náleží. Prakticky jde o to, aby každá linie získala jako atribut identifikátor příslušného polygonu, ke kterému náleží. Prvním krokem je použití funkce **Intersect** na linie a polygony. Tímto krokem dojde k propojení většiny objektů. Některé horní linie, kterým relativně často přecházejí přes plochu polygonu nebo dokonce leží mimo něj, však takto s příslušnými polygony propojeny nebyly.

Kolem zbylých linií je vytvořen pravostranný buffer (u horních linií směřuje směrem dovnitř polygonu). Dále je použita funkce **Intersect** na vytvořené buffery a polygony. Segmenty bufferů, které měly průnik s polygony, nyní nesou informaci o tom, ke kterému polygonu patří. Nyní jsou zpětně propojeny buffery pomocí funkce **Join** (segmenty mající průnik s polygony jsou zpětně propojeny se zbytkem bufferu nemajícím průnik s polygonem). Následně je použita opět funkce **Intersect** na propojené buffery a zbylé linie nemající informaci o příslušnosti k polygonům. Tímto dojde k propojení i zbylých linií. Informace o příslušnosti k polygonu je na závěr předána dle polohy původním liniím (myšleno těm nerozsegmentovaným použitím funkce **Intersect**). Linie, které se uvedeným postupem nepovedlo propojit s příslušným polygonem – celkem 6 572 linií (z toho 5 050 horních linií, 1 363 horních linií s vyššími horními symboly a 159 horních linií s nižšími horními symboly), jsou vyřazeny a není s nimi dále pracováno.

3.2.4 Identifikace a vyřazení příčných čárek v dolních částech polygonu

Příčné čárky, které jsou součástí dolních linií, představují problém pro většinu algoritmů, konkrétně pro dále uvedené algoritmy, jejichž cílem je identifikace obvodových hran polygonů a údolnic. Cílem této kapitoly je tedy tyto příčné čárky (příčky) identifikovat, aby je bylo možné v dalších krocích vynechat a zvýšit tak spolehlivost identifikace dolních hran skalního útvaru a údolnic.

K identifikaci příček byly použity tři základní přístupy:

1. identifikace příček na základě poměru délky linie a vzdálenosti krajních bodů od horní linie
2. identifikace příček na základě existence průniku prodloužených dolních linií s obvodem polygonu
3. identifikace příček na základě existence průniku v jednom směru prodloužených linií s horními liniemi

Tyto přístupy jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách.

Identifikace příček na základě poměru délky linie a vzdálenosti krajních bodů od horní linie

Základem prvního přístupu je zjišťování vzdáleností krajních bodů dolních linií k nejbližším bodům na horních liniích v rámci daného polygonu. Předpokládá se, že v případě příček budou tyto vzdálenosti vzhledem k délce dané dolní linie jiné nežli u opravdových dolních linií.

Prvním krokem byla úprava dat – bylo nutno zajistit, aby veškeré dolní linie byly z hlediska geometrie tvořeny jednou částí (*singlepart* geometrie). Dále bylo kontrolováno, jestli je daná dolní linie tvořena pouze dvěma krajními body (počátečním a koncovým), pokud tomu tak nebylo a danou linii tvořilo více bodů, tak bylo pracováno pouze s jejími krajními body (počátečním a koncovým). Dále bylo provedeno zahuštění horních linií, tak aby byla každá horní linie tvořena více než jen dvěma krajními body. Po této úpravě mohl již následovat samotný proces vedoucí k identifikaci příček.

Toho, aby byly veškeré dolní linie tvořeny jednou částí, bylo docíleno použitím funkce **Dissolve** s parametrem **singlepart**. Zahuštění horních linií bylo provedeno s využitím funkce **Densify**, a to tak, že nové body byly přidány vždy po vzdálenosti nejvýše 0,5 m.

Nejprve byl pro koncové body dolní linie určen nejbližší bod ze zahuštěné horní linie v rámci daného polygonu, tedy nejbližší bod horní linie (s odchylkou rovnou polovině vzdálenosti zahuštění). Oba krajní body dolní linie měly tedy svůj odpovídající nejbližší bod na horní linii. Následně byly vypočteny vzdálenosti od krajních bodů dolní linie k oněm nalezeným nejbližším bodům na horních liniích. Potom byla určena délka dané dolní linie. Na základě zjištěných hodnot byl proveden pro danou dolní linii výpočet podílu délky dané dolní linie a rozdílu vzdáleností krajních bodů dolní linie k nejbližším bodům horní linie p , což lze vyjádřit následovně:

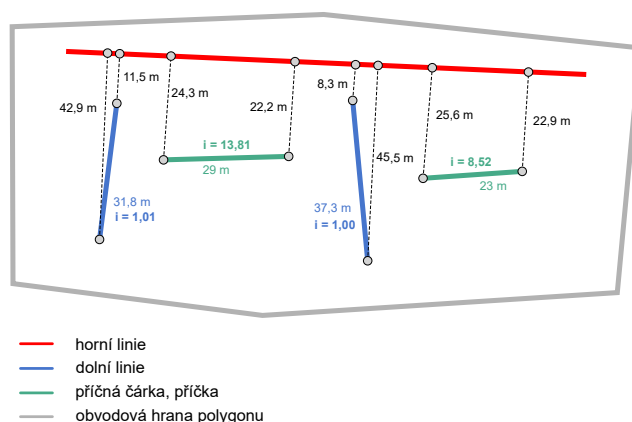
$$p = \frac{l}{|d_1 - d_2|},$$

kde d_1 a d_2 jsou vzdálenosti krajních bodů dolní linie k nejbližším bodům na horních liniích a l je délka dané dolní linie. Ilustrační výpočet na modelovém polygonu je uveden na obrázku č. 11.

Horní i dolní linie byly převedeny na body pomocí funkce **Feature Vertices To Point**, přičemž parametr **point_location** byl nastaven na **BOTH_ENDS**, tedy aby byly použity pouze krajní body dolních linií. Poté byla použita funkce **Near**, která pro každý krajní bod tvořící dolní linii našla jemu odpovídající nejbližší bod na zahuštěné horní linii (s odchylkou rovnou polovině vzdálenosti zahuštění).

Ze souřadnic krajních bodů dolní linie a souřadnic nalezených nejbližších bodů na horních liniích bylo možné vypočítat vzdálenosti k nejbližším bodům a délku dané dolní linie a poté již i výše zmíněný podíl sloužící k identifikaci příček. Veškeré tyto vypočtené hodnoty byly

na závěr zapsány jako atributy k dané dolní linii.



Obr. 11: Ilustrace výpočtu k identifikaci příček.

Popsaný postup byl aplikován postupně po jednotlivých polygonech na všechny dolní linie.

Na základě hodnot vypočteného poměru p je možné s určitou pravděpodobností rozhodnout, jestli je daná linie příčkou či nikoliv. Hodnoty poměru p blízké 1 budou pravděpodobněji opravdové dolní linie. Vyšší hodnoty poměru budou typické spíše právě pro příčky. V případě příček budou vzdálenosti obou jejích krajních bodů k jejich nejbližším bodům (s odchylkou odpovídající polovině vzdálenosti zahuštění) na horní linii podobné, tudíž jejich rozdíl bude v porovnání s délkou dané linie malý a celý podíl bude tedy větší nežli u dolních linií. U skutečných dolních linií budou naopak vzdálenosti krajních bodů od jejich nejbližších bodů na horní linii rozdílnější, tudíž jejich rozdíl bude větší nežli u příček a ideálně přibližně srovnatelný s délkou dané linie, což povede k tomu, že uvedený poměr bude nabývat hodnot blízkých 1 (viz obr. č. 11).

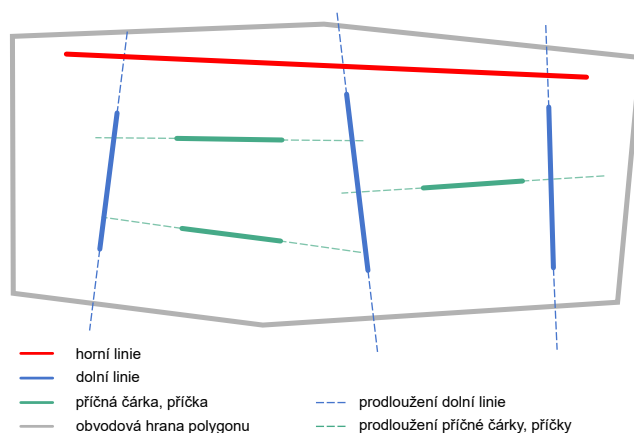
Identifikace příček na základě existence průniku prodloužených dolních linií s obvodem polygonu

Druhý postup vychází z myšlenky, že pokud prodloužíme všechny dolní linie na obou stranách o určitou vzdálenost, tak opravdové dolní linie by se měly alespoň jednou protnout s obvodovou linií polygonu, kdežto příčky nikoliv – viz obrázek č. 12

V první fázi byl pro každou dolní linii na základě souřadnic jejích krajních bodů vypočítán její směrový vektor. Tento směrový vektor byl v dalším kroku převeden na vektor jednotkový, jehož n -násobek byl následně přičten k souřadnicím koncového bodu dané linie a odečten od počátečního bodu linie. Tímto postupem byly prodlouženy všechny dolní linie.

Na závěr byly vybrány ty linie, které nemají průnik s obvodovou linií polygonu a ty byly označeny jako příčky.

V tomto případě nebylo nutné zpracovávat dolní linie postupně po jednotlivých polygonech,



Obr. 12: Ilustrace prodloužení dolních linií k identifikaci příček.

ale bylo je možné procházet přímo. Byla postupně čtena geometrie dolních linií a na základě souřadnic krajních bodů byl vypočten směrový vektor. V průběhu bylo jen kontrolováno, z kolika bodů se daná linie skládá, přičemž i u linií tvořených více body byly použity jen dva krajní. Geometrie linie byla následně upravena přičtením/odečtením trojnásobku jednotkového vektoru ke krajním bodům, tzn., že linie byly prodlouženy o 3 metry na každé straně. Tyto upravené souřadnice byly zapsány jakožto nové souřadnice dané linie. Délku prodloužení bylo nutno zvolit tak malou, abychom co nejvíce zamezili situacím, kdy příčka po prodloužení protne boční hranu polygonu a bude tak určena jako skutečná dolní linie. Zároveň ale nemohlo být prodloužení moc malé, aby vůbec došlo k nějakým průnikům s obvodem polygonu u skutečných dolních linií. Vzdálenost prodloužení (3 m) byla tak určena přibližně na základě šířky horních symbolů umístěných v rámci reprezentace na horních liniích. Šířka horních symbolů je cca 9 m v případě širšího symbolu a cca 5 m u symbolu užšího. Výsledná hodnota byla tedy zvolena mírně větší než je polovina šířky užšího symbolu – tedy 3 m, což je poměrně opatrně zvolená hodnota, která by neměla způsobit velké množství nesprávně určených skutečných dolních linií.

Tento postup byl aplikován na všechny dolní linie. Výběr příček (linií nemajících průnik s obvodem polygonu) byl proveden taktéž nad všemi objekty najednou. Prodloužené linie získaly nový atribut nabývající hodnot 0 (není příčka) a 1 (je příčka) a byly zpětně propojeny s původními liniemi prostřednictvím funkce `Join`.

Identifikace příček na základě existence průniku v jednom směru prodloužených linií s horními liniemi

Třetí způsob identifikace příček vychází z myšlenky, že prodloužíme každou dolní linii od jejího krajního bodu, který je bližší horními liniemi v rámci daného polygonu o vzdálenost mírně větší, nežli je přepočtená výška horního symbolu na horní linii. Ty z prodloužených linií, které se protnou s horními liniemi v daném polygonu, velmi pravděpodobně nebudou příčkami.

Jelikož dolní linie nejsou jednotně orientovány (jejich orientace se v rámci polygonu střídá

kvůli účelům kartografické reprezentace), bylo jako první provedeno sjednocení orientace těchto linií. U každé dolní linie byly zjištěny vzdálenosti jejích krajních bodů k jejich nejbližším bodům na horní linii daného polygonu (opět s odchylkou odpovídající polovině vzdálenosti zahuštění). Pokud byla vzdálenost od počátečního bodu dané dolní linie větší než vzdálenost od koncového bodu (tedy linie směřovala směrem k horním liniím), tak byla linie otočena. Orientace zbylých linií byla ponechána. Výsledkem této úpravy došlo k tomu, že většina dolních linií bude mít stejnou orientaci – budou směřovat od horních linií dolů, což by mohlo být užitečné i v následujících algoritmech zabývajících se například klasifikací obvodových hran polygonů.

Na začátku byly horní linie opět zahuštěny, aby byl nalezený „nejbližší“ bod blíže skutečnému nejbližšímu bodu. Byla využita funkce `Densify`, přičemž tentokrát se vzdáleností zahuštění 1 m, jelikož zde nebylo třeba takové přesnosti, jako u výpočtu poměru u první metody identifikace příček.

Dolní linie byly procházeny postupně po jednotlivých polygonech. Zjišťování vzdáleností krajních bodů dolní linie od jejich nejbližších bodů na horních liniích bylo realizováno pomocí metody `queryPointAndDistance(in_point)`, která je volána na linii a jejím parametrem je bod, k němuž chceme najít nejbližší místo na dané linii. Metoda byla volána nad pomocí funkce `Dissolve` spojenými horními liniemi v rámci daného polygonu. Jedním z výstupů, který tato metoda vrací je právě vzdálenost těchto dvou bodů (vstupního a jemu odpovídajícímu nejbližšímu bodu na horních liniích). Tato metoda byla použita pro oba krajní body dané dolní linie, čímž jsme získali potřebné vzdálenosti. Na základě porovnání dvou získaných vzdáleností byla linii přidána informace, jestli je orientována správně, tedy směrem dolů od horních linií daného polygonu (počáteční bod byl blíže horním liniím nežli bod koncový) nebo nikoliv. Správně orientovaným liniím byla přiřazena hodnota nového atributu 0 (není třeba změnit orientaci) a zbylým hodnota 1 (je třeba změnit orientaci). Na závěr byly vybrány linie mající hodnotu tohoto atributu 1 a pomocí funkce `Flip Line` byly přeorientovány.

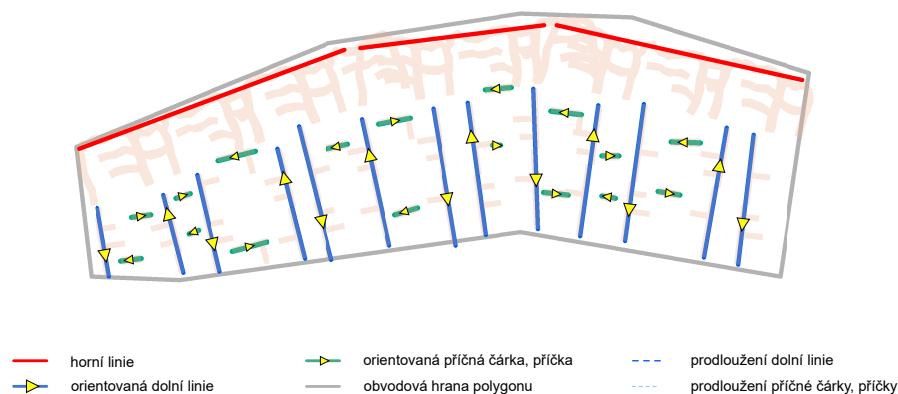
Poslední úpravou dat bylo prodloužení horních linií. Každá horní linie byla v obou směrech prodloužena o 3 m, což by mělo minimalizovat počet situací, kdy by se prodloužená dolní linie trefila do mezery mezi horní linie a byla tak metodou určena jako příčka. Prodloužení bylo provedeno pomocí směrových vektorů – obdobně jako u dolních linií v podkapitole 3.2.4. Délka prodloužení nebyla v tomto případě úplně klíčová a byla tak zvolena na základě cca 10 testovacích polygonů.

Pro prodloužení směrem k horním liniím byl nejprve ze souřadnic krajních bodů dané dolní linie určen její směrový vektor a ten byl převeden na vektor jednotkový. Následně byla daná dolní linie prodloužena z jejího počátečního bodu (po přeorientování by to měl být ten bod bližší horním liniím) směrem k horním liniím o 15 m. Tato hodnota vychází z přepočtené výšky horního symbolu, která je rovna přibližně 10 m, zvětšené o polovinu – to proto, aby byla zvýšena pravděpodobnost případného protnutí.

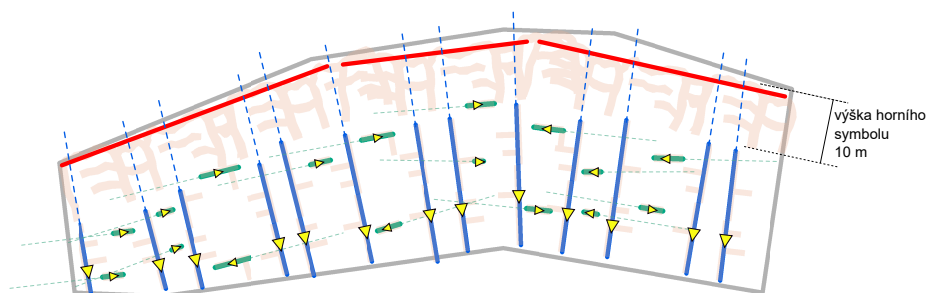
V tomto kroku již nebylo nutné procházet linie postupně po jednotlivých polygonech, ale mohly být procházeny přímo. Pro každou dolní linii byl vypočten ze souřadnic krajních bodů směrový vektor, přičemž bylo hlídáno (pomocí metody `pointCount` nad vstupní linií), zdali není daná linie tvořena více než jen dvěma krajními body, v tomto případě byl pak vektor

určen z krajních bodů. Popsaný postup je ilustrován na obrázku č. 13.

PŮVODNÍ STAV



STAV PO ÚPRAVĚ ORIENTACE A JEDNOSMĚRNÉM PRODLOUŽENÍ DOLNÍCH LINIÍ A PŘÍČEK



Obr. 13: Ilustrace postupu identifikace příček na základě prodloužení linií směrem k horním liniím daného polygonu (vysvětlení v textu).
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

Uvedený postup byl proveden dvakrát – jednou s použitím prodloužených horních linií a jednou bez jejich prodloužení. Toto bylo provedeno kvůli situacím, kdy je horní linie tvořena více než jen dvěma krajními body a výrazně se odchyluje od přímkovitého tvaru. V takovém případě může prodloužení na základě krajních bodů vést ke zhoršení situace – prodloužená linie se může dostat vně polygonu a nemusí být poté protnuta prodlouženými dolními liniemi.

Následně byly vybrány ty dolní linie, u kterých nastal průnik s horními liniemi alespoň v jednom případě (tj. s neprodloženými nebo prodloženými horními liniemi). Tyto vybrané linie velmi pravděpodobně nebudou příčkami a byly tak označeny jako skutečné dolní linie.

Vyhodnocení

Na základě výše popsaných postupů bylo nyní možné vybrat takové dolní linie, o nichž lze s určitou pravděpodobností prohlásit, že se jedná o skutečné dolní linie a nikoliv o příčky. Takto vybrané linie budou následně použity v algoritmech zabývajících se klasifikací obvodových hran polygonů a identifikací údolnic.

K rozhodování bylo navíc využito informace o délce jednotlivých linií. Na základě druhého postupu (viz podkapitola 3.2.4) byla nalezena pravděpodobně nejdelší, v datech se vyskytující příčka, s délkou 8,5 m. Předpokládá se tedy, že je málo pravděpodobné, že by existovalo velké množství delších příček. Linie s délkou větší než uvedených 8,5 m byly tedy pouze na základě délky označeny jako skutečné dolní linie.

U každé linie byly v tuto chvíli tedy známy čtyři informace:

- a) hodnota poměru délky linie vzhledem ke vzdálenostem krajních bodů k nejbližším bodům horní linie,
- b) existence/neexistence průniku linie po prodloužení s obvodem polygonu,
- c) existence/neexistence průniku linie po prodloužení směrem k horním liniím polygonu s horními liniemi daného polygonu,
- d) zdali je délka větší než 8,5 m či nikoliv.

Cílem bylo nalézt mezní hodnoty poměru délky linie vzhledem ke vzdálenostem krajních bodů k nejbližším bodům horní linie pro skutečné dolní linie, resp. příčky, které rozdělí dolní linie do tří skupin: skutečné dolní linie, linie, kde není určení jisté, a příčky.

Nejprve byla provedena agregace informací u každé linie tak, že jednotlivé tři dílčí proměnné (výše označeny jako b), c), d)) byly upraveny tak, aby vždy hodnota 1 znamenala skutečnou dolní linii identifikovanou danou metodou a hodnota 0 znamenala příčku určenou danou metodou. V ideálním případě by agregovaná proměnná vznikla prostým součtem těchto tří dílčích proměnných. Hodnota 3 by pak znamenala jistou skutečnou dolní linii, naopak hodnota 0 jistou příčku. Popsané postupy nebyly však úplně srovnatelné z hlediska spolehlivosti, tak byl součet mírně poupraven, a to tak, že skutečné dolní linie určené na základě existence průniku linie po prodloužení s obvodem polygonu vstupovaly do součtu s poloviční váhou oproti dvěma zbylým proměnným. Problémem této metody jsou totiž situace, kdy je příčka blízko okraje polygonu a po prodloužení tak protne jeho obvod (typicky boční hranu). V takové situaci je linie metodou chybně vyhodnocena jako skutečná dolní linie. Hodnoty upravených dílčích proměnných jsou uvedeny v následující tabulce (tab č. 2).

Výsledná proměnná nabývá tedy hodnot 0 – 5, kde hodnota 5 znamená jistou skutečnou dolní linii a hodnota 0 naopak jistou příčku. Jako skutečné dolní linie byly na základě této vzniklé proměnné označeny linie mající hodnotu alespoň 2. Zbylé linie, tedy takové linie, které byly všemi metodami určeny jako příčky nebo linie, které mají po prodloužení průnik pouze s obvodem polygonu, byly označeny jako příčky.

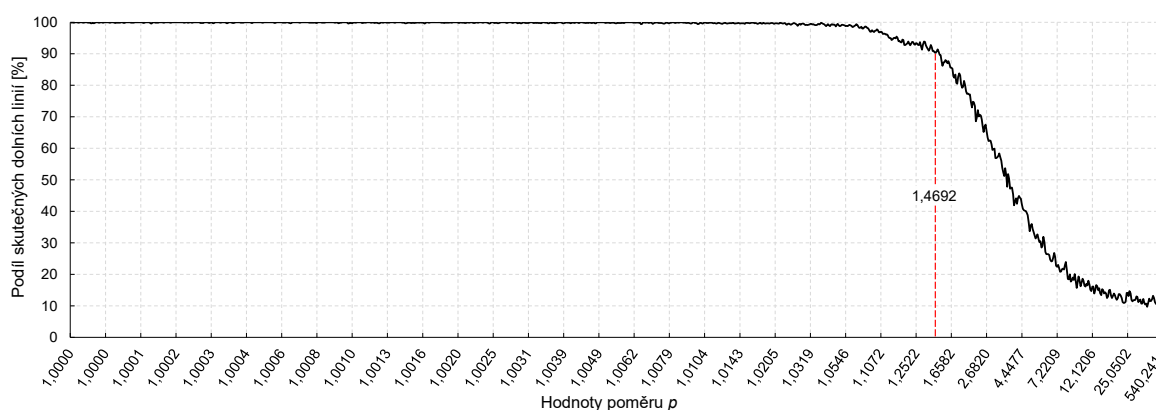
Kritérium metody	Hodnota dílčí proměnné pro skutečnou dolní linii	Hodnota dílčí proměnné pro příčku
existence/neexistence průniku linie po prodloužení s obvodem polygonu	1	0
existence/neexistence průniku linie po prodloužení směrem k horním liniím polygonu s horními liniemi daného polygonu	2	0
délka větší než 8,5 m	2	0

Tab. 2: Hodnoty upravených dílčích proměnných k identifikaci příček, resp. skutečných dolních linií.
Zdroj: vlastní zpracování.

V tuto chvíli byla každá linie charakterizována touto agregovanou proměnnou jako skutečná dolní linie nebo jako příčka. Linie byly následně seřazeny dle hodnoty poměru p z části 3.2.4 od nejmenší hodnoty k největší. Poté bylo v tomto pořadí provedeno seskupení linií vždy po 500 hodnotách (vzniklo tak 1119 intervalů), přičemž pro každou vzniklou skupinu byl vypočten podíl příček a skutečných dolních linií. Mezní hodnota poměru p byla poté určena v místě, kde podíl skutečných dolních linií v daném intervalu poprvé klesl pod 90 %. Tento podíl byl jako mezní zvolen na základě grafu na obr. č. 14. Přibližně do této hodnoty je totiž pokles podílu skutečných dolních linií v intervalech pozvolný, avšak dále je již pokles výrazně rychlejší.

Tímto postupem byla tedy získána nejvyšší hodnota poměru p 1,4692, která vymezila pravděpodobně skutečné dolní linie. Z těchto linií, které měly hodnotu poměru p menší než 1,4692 byly následně vybrány jen ty, které byly na základě vytvořené agregované proměnné určeny jako skutečné dolní linie. Takto bylo vybráno 441 151 skutečných dolních linií (79 % všech dolních linií), se kterými je možné dále pracovat. O zbytku linií nelze jednoznačně prohlásit, že se jedná o příčky, jedná se spíše o kombinaci obojího (skutečných dolních linií a příček).

Graf podílu určených skutečných dolních linií ve vytvořených intervalech v závislosti na poměru p spolu s vyznačenou mezní hodnotou je znázorněn na obr. č. 14.



Obr. 14: Podíl určených skutečných dolních linií ve vytvořených intervalech v závislosti na hodnotě poměru p .

4 Praktická část

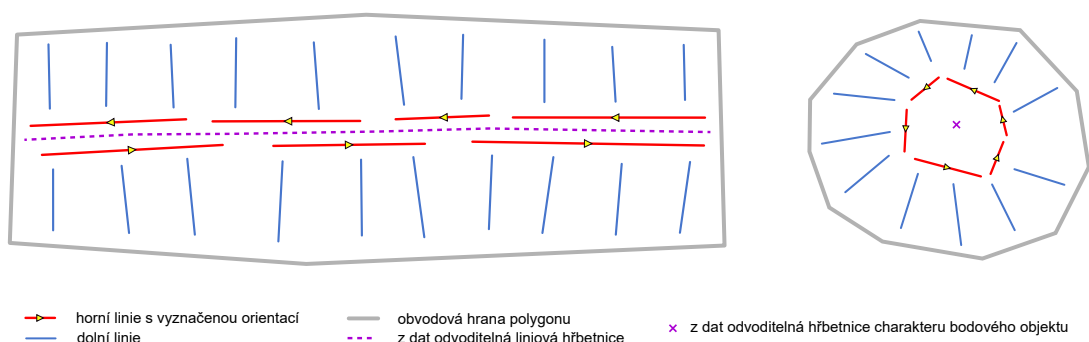
4.1 Identifikace hřbetnic a vnitřních lomových hran

V této kapitole je popsána identifikace hřbetnic a vnitřních lomových hran. Na rozdíl od údolnic lze uvedené objekty určitým způsobem přímo odvodit z dat, konkrétně z horních linií, které jsou v případě těchto objektů specificky uspořádány.

Při identifikaci jsou rozlišovány následující tři typy objektů:

1. liniové hřbetnice,
2. vrcholové body skalního útvaru (hřbetnice charakteru bodového objektu),
3. ostatní vnitřní lomové hrany.

Jako **liniovou hřbetnici** zde označujeme hřbetnici reprezentovanou dvojicí protisměrných vzájemně relativně blízkých horních linií. Z dat odvoditelná hřbetnice se potom nachází uvnitř prostoru mezi dvojicí těchto protisměrných horních linií (viz obr. č. 15 vlevo). Tato z dat odvoditelná hřbetnice však v datech přímo reprezentována není a cílem je vytvořit její geometrii na základě horních linií.

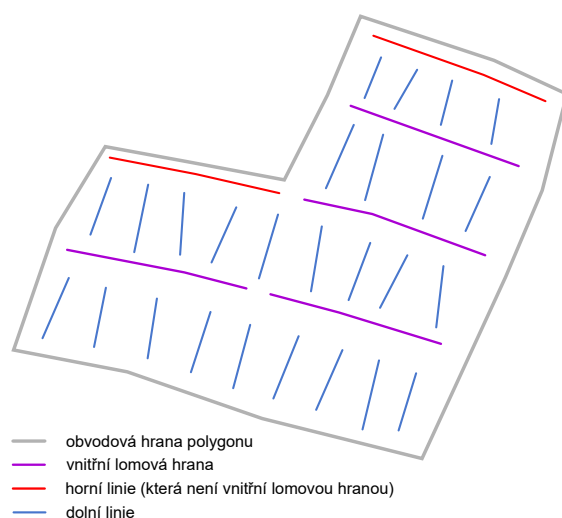


Obr. 15: Reprezentace liniové hřbetnice (vlevo) a hřbetnice charakteru bodového objektu (vpravo).

Hřbetnicemi charakteru bodového objektu rozumíme malé objekty reprezentované krátkými do kruhu uspořádanými horními liniemi (viz obr. č. 15 vpravo). Zde jsou podobně jako

v předchozím případě blízké protisměrné horní linie, ale netvoří objekt liniového charakteru. Velikost vnitřního prostoru vymezeného horními liniemi je poté kritériem, podle kterého se rozhoduje, jestli je daný objekt označen právě za hřbetnici charakteru bodového objektu, nebo patří do kategorie ostatních vnitřních lomových hran. U objektů, kde bude velikost vnitřního prostoru dostatečně malá, vytvoříme bod, který bude reprezentovat vrchol skalního útvaru (viz obr. č. 15 vpravo).

Ostatní vnitřní lomové hrany jsou ostatní horní linie, které ovšem neleží u horního okraje daného polygonu reprezentujícího skalní útvar. Jsou to tedy linie reprezentující případné vnitřní členění daného objektu (např. stupňovité členění skalního útvaru) – viz obr. č. 16.



Obr. 16: Vnitřní lomové hrany.

Postupy pro identifikaci jednotlivých typů objektů jsou podrobně popsány v následujících podkapitolách.

4.1.1 Identifikace liniových hřbetnic a hřbetnic charakteru bodových objektů

V rámci této podkapitoly je vysvětlen postup pro nalezení horních linií reprezentujících liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu. Následně je vysvětlen postup pro vytvoření nové geometrické reprezentace těchto objektů. Ten sestává ze dvou hlavních částí:

1. předvýběr horních linií, které by potenciálně mohly reprezentovat uvedené objekty,
2. rozlišení liniových hřbetnic a hřbetnic charakteru bodového objektu a odvození jejich nové geometrické reprezentace.

Předvýběr potenciálních horních linií tvořících hřbetnice

V rámci této části bude popsán postup pro výběr horních linií, které by mohly potenciálně reprezentovat liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu. Základem postupu je skutečnost, že horní linie jsou jednotně orientované (směr dolů je vždy napravo od horní linie). V případě liniových hřbetnic budou horní linie dvou přilehlých skalních stěn vůči sobě orientovány protisměrně a každá horní linie bude mít na své levé straně horní linii sousedního svahu (viz obr. č. 15 vlevo). V případě hřbetnic charakteru bodového objektu bude na levé straně horních linií vnitřní prostor jimi vytvořený (viz obr. č. 15 vpravo). Postup je poté založen na výběru linií ležících uvnitř průniku levostranných bufferů vytvořených nad horními liniemi.

Jako první je provedena úprava horních linií, která sestává ze dvou kroků. Prvním krokem je prodloužení všech horních linií a druhým krokem je pospojování co největšího množství prodloužených horních linií. Cílem je z velkého počtu krátkých nepropojených segmentů vytvořit menší množství delších vzájemně propojených linií.

K prodloužení linií je pro každou linii určen jednotkový směrový vektor na základě souřadnic jejích krajních bodů a jeho dvojnásobek je následně přičten (resp. odečten) k souřadnicím krajních bodů dané linie (obdobně jako u dolních linií v podkapitole 3.2.4). Každá horní linie byla takto prodloužena v obou směrech o 2 metry. Pospojování horních linií bylo provedeno pomocí funkce **Snap**, přičemž linie byly napojovány pouze pomocí svých koncových bodů. Funkce **Snap** byla použita dvakrát za sebou, pokaždé s tolerancí 3 m. Použití funkce dvakrát za sebou by mělo ideálně minimalizovat množství nežádoucích spojení (například spojení přes hřbetnici). Vzdálenost prodloužení a tolerance u funkce **Snap** byly určeny na základě vybraných testovacích objektů.

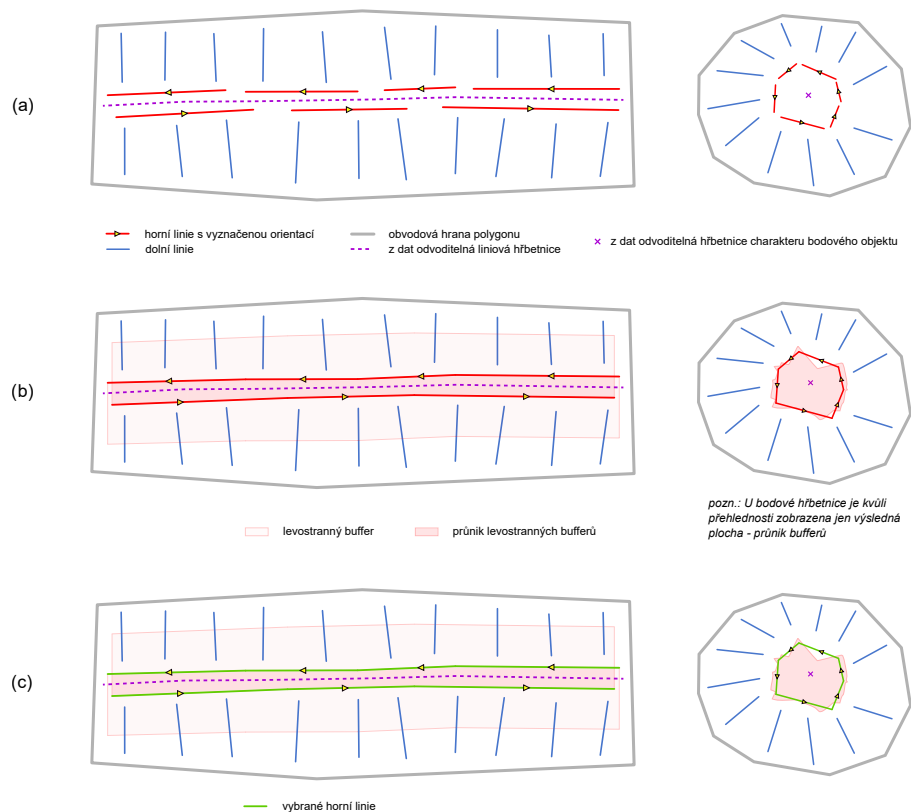
Kolem takto upravených horních linií byl následně vytvořen levostranný *flat* buffer o zvolené šířce (viz obrázek č. 17 b). Jelikož jsou horní linie jednotně orientovány, bude pro tento buffer platit:

- u liniových hřbetnic bude směřovat do prostoru mezi horními liniemi sousedních skalních stěn,
- u hřbetnic charakteru bodového objektu bude směřovat do vnitřního prostoru vymezeného horními liniemi.

Šířka tohoto bufferu byla zvolena na základě vybraných objektů na 16 m. Takto relativně vysoká hodnota byla zvolena proto, aby bylo s jistotou vybráno co největší množství horních linií reprezentujících liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu. Je zřejmé, že takto vysoká hodnota povede k výběru i dalších linií, které by ideálně vybrány být neměly. Avšak cílem tohoto předvýběru je získat raději větší množství horních linií, včetně určitého množství těch nesprávných, nežli menší množství horních linií, kde by však nemusely být zahrnuty všechny horní linie, které bychom vybrat chtěli.

Následně je použita funkce **Intersect** na vytvořené buffery. Takto získáme průnik bufferů, který bude v případě objektů s hřbetnicí odpovídat přibližně vnitřní ploše mezi horními liniemi (viz obr. č. 17 b). U ostatních objektů nevznikne průnikem bufferů plocha žádná nebo bude malá a půjde převážně o průniky vzniklé na krajích bufferů. Jelikož se hřbetnice nachází uvnitř plochy polygonů reprezentujících daný skalní útvar, byla použita ještě jednou funkce **Intersect** na plochu vzniklou průnikem bufferů a plochu polygonů. Tímto jsme získali již jen plochy průniku bufferů uvnitř polygonů. Na závěr byla na tyto plochy použita funkce **Dissolve** dle identifikátoru polygonu.

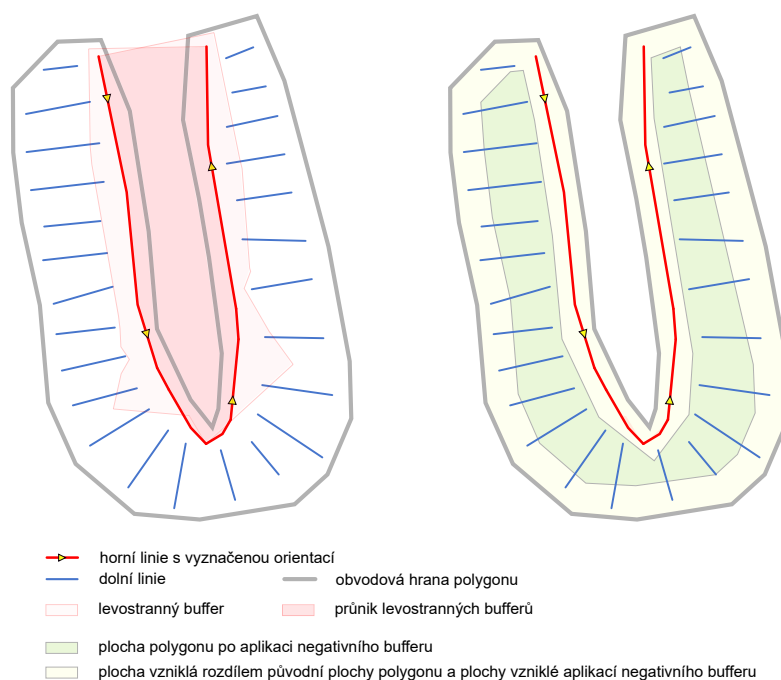
Nakonec byl proveden výběr upravených horních linií (prodloužených a pospojovaných), které mají průnik s plochou, která byla vytvořena v předchozích krocích (viz obr. č. 17 c). Tímto postupem by měly být vybrány ty horní linie, které reprezentují liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu. Ilustrace popsaného postupu je uvedena na obrázku č. 17



Obr. 17: Ilustrace předvýběru horních linií (vysvětlení v textu).

Jak již bylo uvedeno – spolu s těmito horními liniemi byly taktéž vybrány i nežádoucí objekty, tedy horní linie, které nereprezentují liniové hřbetnice ani hřbetnice charakteru bodového objektu. Příkladem těchto nesprávně vybraných objektů jsou horní linie umístěné po okrajích polygonů reprezentujících skalní útvary. Hlavní příčinou výběru těchto linií je relativně velká šířka levostranného bufferu. V případě zahnutých objektů nebo velmi blízkých objektů mohou tak být právě tyto horní linie při okraji polygonu vybrány. (viz horní linie na obr. č. 18 vlevo).

Odstranění těchto nesprávně vybraných horních linií bylo provedeno pomocí negativního bufferu, který byl vytvořen nad polygony skalních útvarů. Pokud střed dané horní linie ležel v ploše vymezené negativním bufferem (plocha vzniklá jako rozdíl původní plochy polygonu a plochy negativního bufferu), tak byla linie z výběru odstraněna. Případně by bylo možné použít pro eliminaci linií robustnější statistiku (například, že 90 % délky linie musí ležet mimo plochu vymezenou negativním bufferem). Použití takovéto statistiky by v některých případech vedlo k lepšímu výsledku, avšak takových případů bylo nalezeno jen minimum.



Obr. 18: Ilustrace nesprávně vybraných horních linií (vlevo) včetně náznaku řešení (vpravo).
Vysvětlení v textu.

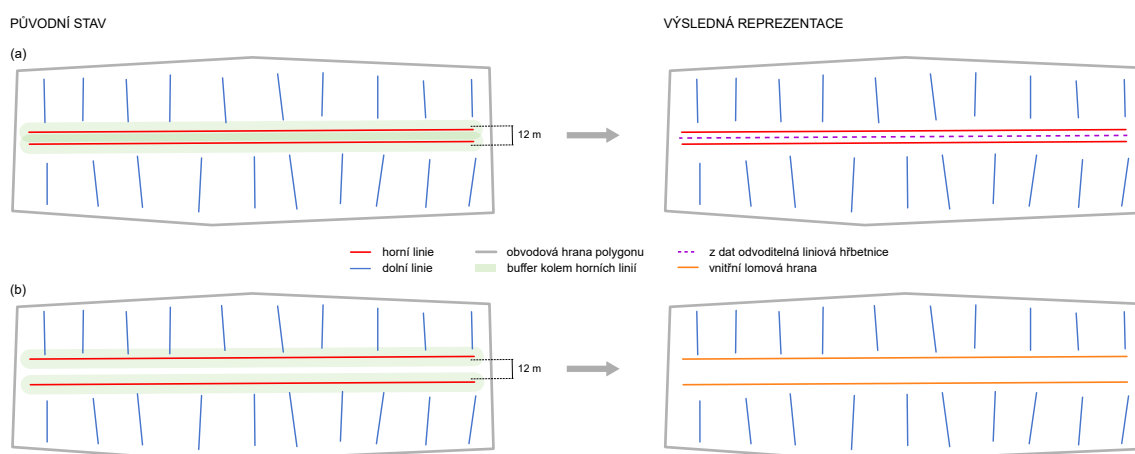
Ilustrace postupu je na obrázku č. 18 vpravo – horní linie leží v ploše vzniklé rozdílem původní plochy polygonu a plochy vzniklé aplikací negativního bufferu, tudíž je z výběru vyřazena. Šířka negativního bufferu byla zvolena 5 m na základě vybraných testovacích objektů. Tato hodnota musela být zvolena tak velká, aby vzniklá plocha v dostatečné míře pokryla okrajové horní linie, avšak aby nezasahovala příliš do vnitřního prostoru polygonu. Například u hřbetnic charakteru bodového objektu, které se většinou nachází v malých polygonech, by mohla velká šířka negativního bufferu vést k nechtěnému odstranění těchto horních linií z výběru.

I po aplikaci uvedeného postupu mohou být vybrány některé upravené horní linie, které nereprezentují hřbetnice. Ty jsou ve výběru ponechány, jelikož jejich eliminace není již jednoduše obecně proveditelná. Jedná se většinou o linie v komplikovaných polygonech.

Odvození nové geometrie liniových hřbetnic a hřbetnic charakteru bodového objektu

Cílem této části je na základě v předchozím kroku vybraných upravených horních linií odvodit novou geometrickou reprezentaci pro liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu.

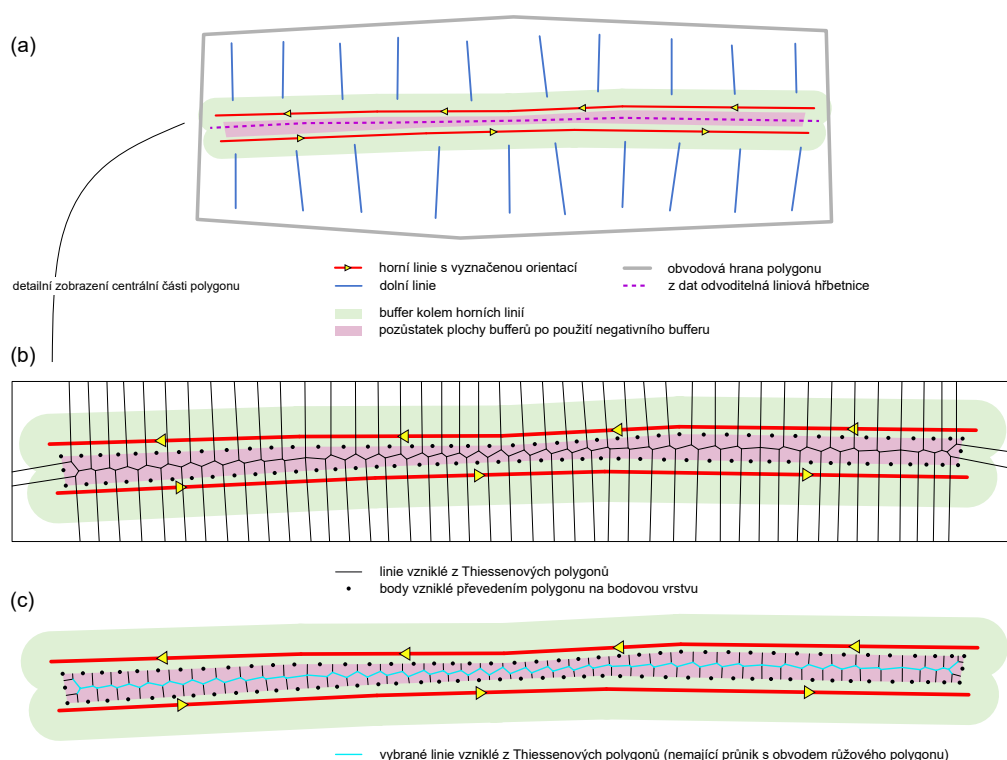
Jako první je nutné zvolit mezní hodnotu vzdálenosti horních linií. Touto mezní hodnotou rozumíme vzdálenost dvojice protisměrných horních linií reprezentujících liniovou hřbetnici, resp. průměr vnitřní plochy v případě hřbetnice charakteru bodového objektu. Pokud bude vzdálenost menší než stanovená mezní hodnota, budou tyto upravené horní linie považovány za reprezentaci hřbetnice (viz obr. č. 19 a). Pokud bude vzdálenost větší než stanovená mez, tak budou upravené horní linie označeny jako vnitřní lomové hrany (viz obr. č. 19 b). Tato mezní hodnota byla na základě měření na konkrétních objektech stanovena na 12 m. Tuto hodnotu bylo nutné zvolit dostatečně velkou, aby bylo vybráno dostatečné množství objektů. Pokud by však byla hodnota zvolena příliš velká, mohly by docházet k výběru nesprávných horních linií (např. nedostatečně rovnoběžné horní linie, dvojice blízkých horních linií ležících ve skalním útvaru „nad sebou“, které nejsou protisměrné.).



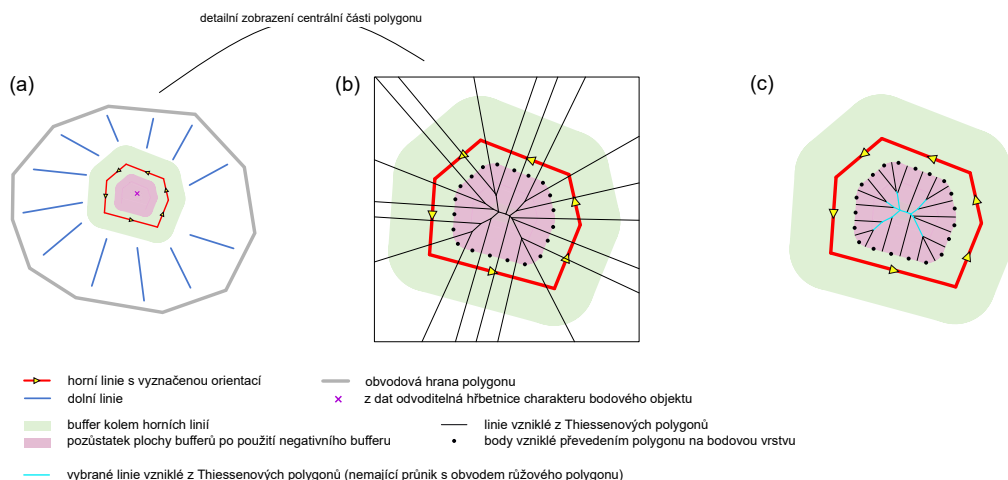
Obr. 19: Ilustrace rozlišení hřbetnic (a) a vnitřních lomových hran (b).

Následně byl okolo výběru horních linií vytvořen oboustranný buffer, jehož šířka odpovídá polovině stanovené mezní hodnoty (tedy 6 m). Pokud bude tedy dvojice horních protisměrných linií vzdálená od sebe méně než stanovená mez (12 m), je zřejmé, že se tyto buffery překryjí (viz obr. č. 20 a). Stejně tak dojde k překryvu bufferů v případě horních linií reprezentujících hřbetnici charakteru bodového objektu (viz obr. č. 21 a). Na takto vytvořené buffery byla použita funkce **Dissolve** (s parametrem **singlepart**), čímž došlo ke spojení bufferů. Na tuto plochu vzniklou spojením bufferů byla dále použita funkce **Eliminate Polygon Part**, pomocí které byly z ploch odstraněny drobné díry (do velikosti 25 m² – určeno dle konkrétních objektů). Drobné díry by totiž mohly (hlavně u hřbetnic charakteru bodového objektu) negativně ovlivnit další postup.

Nad plochami vzniklými použitím funkce **Dissolve** na vytvořené buffery byl nyní spuštěn negativní buffer. Šířka negativního bufferu byla zvolena 7 m, tedy o 1 m větší než je polovina mezní vzdálenosti (12 m). V situacích, kdy byly dvojice protisměrných horních linií u sebe blíže než předepsaná mez, zbyla po použití negativního bufferu určitá plocha (viz obr. č. 20 a). Stejně tak zůstala určitá plocha, pokud byly horní linie blízko u sebe a reprezentovaly hřbetnici charakteru bodového objektu (viz obr. č. 21 a). V ostatních případech plocha původního bufferu po použití negativního bufferu zanikla nebo zůstala jen velmi malá.



Obr. 20: Ilustrace postupu tvorby nové geometrie pro liniové hřbetnice.
Vysvětlení v textu.



Obr. 21: Ilustrace postupu tvorby nové geometrie u hřbetnic charakteru bodového objektu. Vysvětlení v textu.

Takto vzniklé plochy lze rozdělit do 3 skupin:

1. plošky protáhlého tvaru reprezentující liniovou hřbetnici,
2. plošky kruhového tvaru reprezentující hřbetnici charakteru bodového objektu,
3. velmi malé plošky různého tvaru, které nerepresentují ani liniovou hřbetnici, ani hřbetnici charakteru bodového objektu

U prvních dvou skupin byla následně vytvořena nová geometrická reprezentace uvedených objektů. Do 3. skupiny budou zařazeny plochy menší než 25 m². Tyto plochy budou z dalších postupů vyřazeny, jelikož půjde ve většině případů o plošky, které vznikly náhodně v různých specifických případech a nerepresentují ani jeden z uvedených objektů.

Z plošek patřících do prvních dvou skupin je nyní třeba vytvořit novou geometrickou reprezentaci pro liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu. V případě liniových hřbetnic je nutné z polygonu získat linii, která bude procházet přibližně jeho středem a bude přibližně rovnoběžná s horními liniemi, které danou hřbetnici reprezentují. U hřbetnice charakteru bodového objektu je třeba z polygonu získat bod, který bude odpovídat těžišti dané plochy.

V první fázi jsou veškeré plošky patřící do první a druhé skupiny převedeny dále popsaným způsobem na linie.

Pokud je vzdálenost nejvzdálenějších bodů vzniklé linie delší než stanovená mez, je označena za liniovou hřbetnici. Pokud je kratší nežli předepsaná mez, je linie převedena na bod a objekt je tak označen jako hřbetnice charakteru bodového objektu.

Vytvoření liniové geometrie ze vzniklých plošek Vzniklé plošky jsou v prvním kroku mírně generalizovány pomocí funkce **Simplify Polygon**, konkrétně byla použita metoda **point remove** s tolerancí 2 m. Tolerance byla zvolena spíše menší, aby nedocházelo případně k velkým změnám tvaru jednotlivých plošek. Hlavním cílem tohoto kroku je zjednodušit nejkomplikovanější části polygonů, kde se nacházelo velké množství vrcholů, které by mohly negativně ovlivnit další postup.

Dále je obvod plošek pravidelně zahuštěn body se vzdáleností zahuštění 1 m. Toto je provedeno pomocí funkce **Densify**. V tuto chvíli by měla být většina plošek tvořena přibližně rovnoměrně rozmístěnými vrcholy. Vzdálenost pro zahuštění byla určena na základě testovacích objektů.

Následně byly polygony převedeny na body za použití funkce **Feature Vertices To Point**. Nad takto vzniklými body byly vytvořeny Thiessenovy polygony pomocí funkce **Create Thiessen Polygons**. Vytvořené Thiessenovy polygony byly na závěr oříznuty pomocí zgeneralizovaných plošek za použití funkce **Clip** (viz obrázky č. 20 a 21 – b, c).

Vytvořené Thiessenovy polygony byly dále převedeny na linie pomocí funkce **Polygon To Line**. Z těchto linií byly poté vybrány ty, které neměly průnik s obvodem dané plošky (viz obr. č. 20 c). Takto byly v případě liniových hřbetnic vybrány linie přibližně odpovídající očekávané reprezentaci hřbetnice. U hřbetnic charakteru bodového objektu byly takto vybrané linie relativně krátké (viz obr. č. 21 c).

Rozlišení typů hřbetnic Na základě výše popsaného postupu vznikly u obou typů hřbetnic určité liniové objekty. Lze předpokládat, že v případě hřbetnic charakteru bodového objektu bude vzniklá linie kratší nežli u liniových hřbetnic. Avšak, jak je zřejmé z obrázku č. 21 c, nebude přímo délka linie nejlepším kritériem pro rozlišení typů hřbetnic. Namísto prosté délky vzniklé linie byla pro každý liniový objekt vypočtena vzdálenost dvou jejích nejvzdálenějších bodů (vrcholů).

Každá linie byla pomocí funkce **Feature Vertices To Points** převedena na body. Tyto body byly následně procházeny a na základě jejich souřadnic byly spočítány vzdálenosti mezi všemi dvojicemi bodů. Z těchto vzdáleností byla následně vybrána ta největší, která byla zapsána k příslušné linie jako její nový atribut.

Na základě takto určené vzdálenosti nejvzdálenějších bodů každé linie bylo následně provedeno rozdělení objektů na liniové hřbetnice a hřbetnice bodového charakteru. Jako mezní hodnota byla na základě měření na konkrétních objektech určena délka 15 m. Objekty, kde byla vzdálenost dvou nejvzdálenějších bodů dané linie kratší než stanovená mez byly označeny jako hřbetnice charakteru bodového objektu. Zbylé objekty byly označeny jako liniové hřbetnice.

U hřbetnic charakteru bodového objektu byla následně vytvořená linie nahrazena bodem, který odpovídá středu dané linie. U liniových hřbetnic byla ponechána již vytvořená liniová reprezentace.

Výsledky

Na základě popsaného postupu bylo určeno celkem 1 767 objektů – liniových hřbetnic a hřbetnic charakteru bodového objektu. Jako hřbetnice charakteru bodového objektu bylo vyhodnoceno 373 objektů v 281 polygonech. Jako liniové hřbetnice bylo označeno celkem 1 394 objektů v 921 polygonech.

4.1.2 Identifikace ostatních vnitřních lomových hran

V rámci předešlé části byla popsána popsána identifikace horních linií reprezentujících hřbetnice. V rámci této podkapitoly bude popsán postup pro identifikaci ostatních vnitřních lomových hran. Jak již bylo uvedeno v úvodu celé kapitoly – vnitřní lomové hrany jsou horní linie neležící u okraje polygonů reprezentujících skalní útvar, které zároveň nejsou reprezentací hřbetnic.

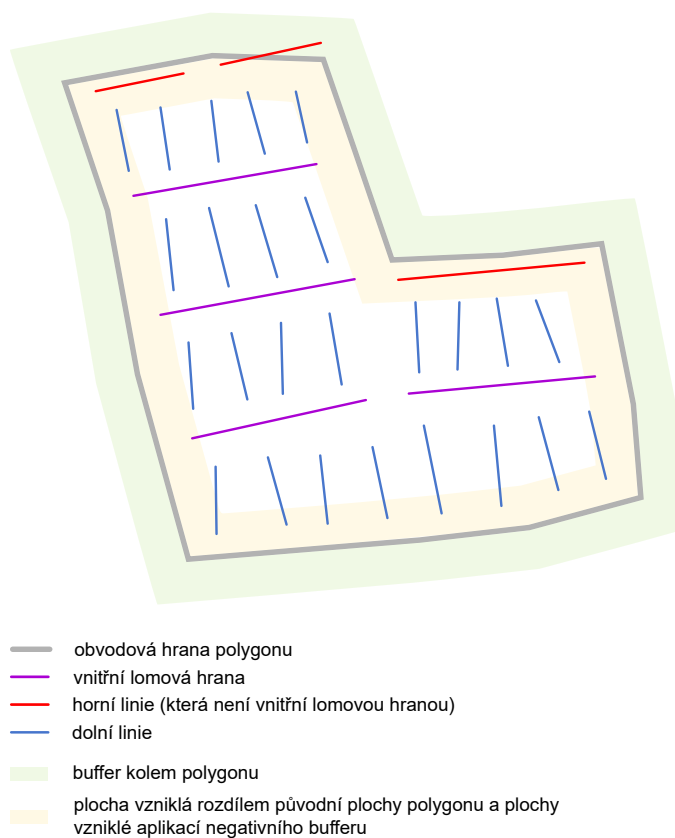
Postup pro identifikaci je založen na postupné eliminaci horních linií ležících u okrajů polygonů a horních linií reprezentujících hřbetnice. Zbylé horní linie jsou pak označeny jako vnitřní lomové hrany.

Prvním krokem bylo nalezení horních linií, které neleží u okraje polygonů reprezentujících skalní útvary. K tomu byl využit negativní buffer, který byl vytvořen nad polygony reprezentujícími skalní útvary. Šířka negativního bufferu byla zvolena na 6 m, na základě konkrétních testovacích objektů. Jako rozdíl původní plochy polygonu a plochy vzniklé aplikací negativního bufferu vznikl 6 m široký pás na vnitřním okraji polygonu (viz obr. 22). Dále byl vytvořen buffer kolem polygonů reprezentujících plochu skalního útvaru o šířce 6 m, čímž vznikl pás také po vnějším obvodu polygonů (viz obr. č. 22). Oba vytvořené pásy byly následně spojeny (pomocí funkcí *Merge* a *Dissolve*). Potom byly vybrány horní linie, jejichž střed neleží uvnitř plochy vzniklé spojením uvedených pásů. Takto byly tedy vybrány horní linie, které neleží u okraje polygonů reprezentujících skalní útvary.

Ve většině případů by stačil k výběru linií pás na vnitřní straně polygonů, avšak bylo nalezeno nezanedbatelné množství objektů, kde jsou horní linie z velké části vně polygonu. V těchto případech je právě postup využívající i vnější buffer spolehlivější. Spolehlivost by bylo možné dále zvýšit například výběrem takových linií, jejichž převážná část (např. 90 % délky) neleží ve sjednocení vnitřního a vnějšího bufferu.

Druhým krokem je vyhledání horních linií reprezentujících hřbetnice. K tomuto byla použita ploška, která byla vytvořena v podkapitole 4.1.1 – plocha vzniklá použitím negativního bufferu na spojené buffery kolem horních linií (růžová ploška na obrázcích 20 a 21). Jedná se o plochy, na jejichž základě byla v podkapitole 4.1.1 odvozena nová geometrická reprezentace hřbetnic. Kolem těchto plošek je vytvořen buffer o šířce 1,5 m.

Velikost mezery mezi touto ploškou a příslušnými horními liniemi reprezentujícími hřbetnici by měla být ve většině případů 1 m. To proto, že ploška vznikla aplikací negativního bufferu na plochu vzniklou z bufferů kolem vybraných horních linií, přičemž šířka negativního bufferu byla právě o 1 m větší nežli šířka bufferů tvořených v prvním kroku. Zvolená šířka by tak měla být dostačující pro nalezení horních linií reprezentujících hřbetnice. Z výběru horních linií byly poté odstraněny ty horní linie, které měly průnik s tímto bufferem.



Obr. 22: Ilustrace části postupu identifikace vnitřních lomových hran.
Vysvětlení v textu.

Výsledky

Uvedeným postupem byly tedy z horních linií odstraněny ty, které leží u obvodu polygonu a ty, které reprezentují hřebetnice. Zbývající vybrané horní linie by měly potom představovat vnitřní lomové hrany. Celkem bylo nalezeno 22 422 objektů – linií představujících vnitřní lomové hrany v 4 941 polygonech.

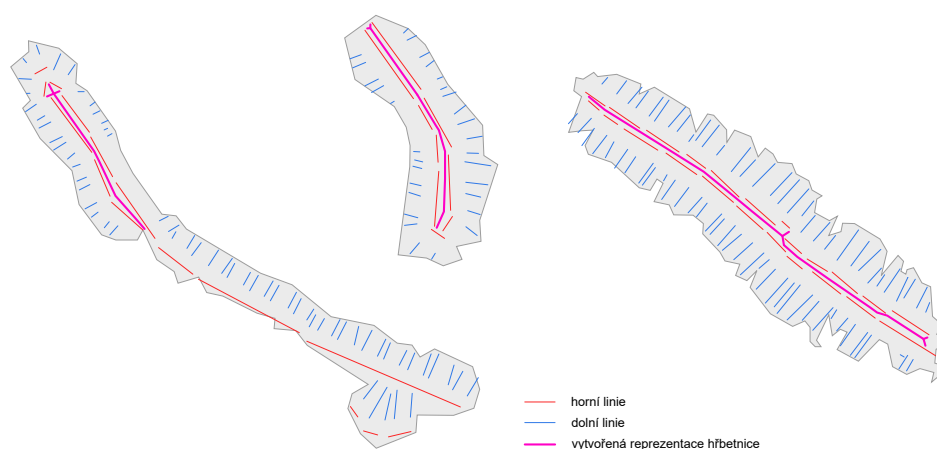
4.1.3 Diskuze výsledků

Cílem této části práce bylo identifikovat liniové hřbetnice a hřbetnice charakteru bodového objektu a vnitřní lomové hrany, přičemž u liniových hřbetnic a hřbetnic bodového charakteru odvodit jejich novou geometrickou reprezentaci.

Na základě představených postupů se podařilo uvedené cíle v zásadě naplnit, avšak jsou zde určité nedostatky, kterými popsané postupy trpí. Tyto nedostatky se ve většině případů projevují u komplikovaných objektů nebo u objektů, kde je umístění horních a dolních linií nestandardní. U jednoduchých objektů a u objektů, kde umístění horních a dolních linií odpovídá popsaným předpokladům, postupy většinou fungují správně nebo jen s mírnými nedostatky.

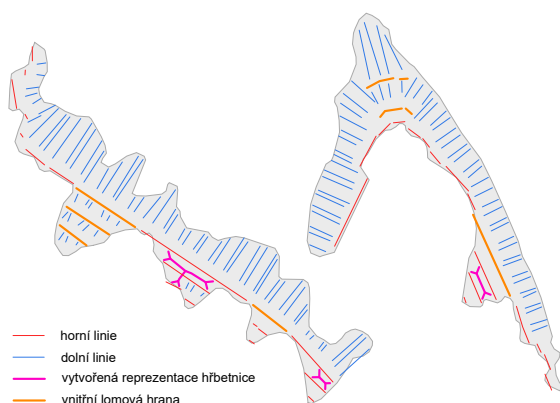
Liniové hřbetnice

V případě liniových hřbetnic se postup jeví úspěšně. Na obrázku č. 23 jsou uvedeny ukázky správně identifikovaných objektů. U podobných objektů vede postup většinou ke správným výsledkům a získaná reprezentace hřbetnice odpovídá předpokladům.



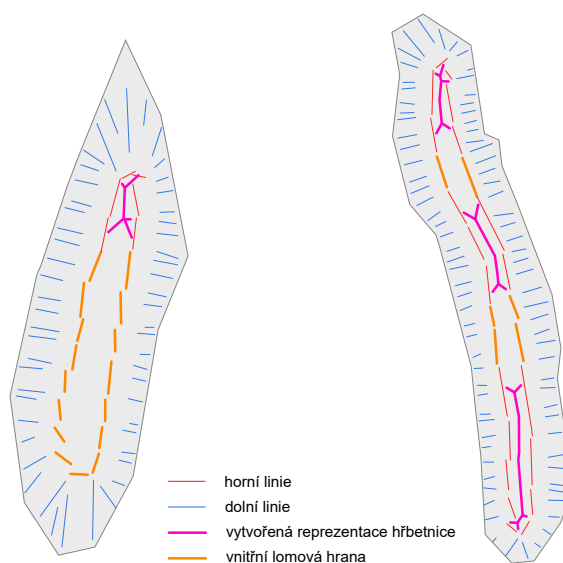
Obr. 23: Ukázka správně identifikovaných a vytvořených liniových hřbetnic.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

V některých případech jsou liniové hřbetnice vytvořeny mezi blízkými „nad sebou“ umístěnými horními liniemi, které nejsou protisměrné. Ty by měly být správně označeny jako vnitřní lomové hrany (viz obr. č. 24). Tyto chyby jsou dány volbou mezní vzdálenosti mezi horními liniemi (a od ní odvozené šířky bufferu), na základě které se rozhoduje, jestli se jedná o hřbetnici či nikoliv. Řešení těchto situací je relativně problematické, jelikož téměř každá volba mezní hodnoty by mohla v některých situacích vést k podobným chybám, resp. k tomu, že se neidentifikují hřbetnice.



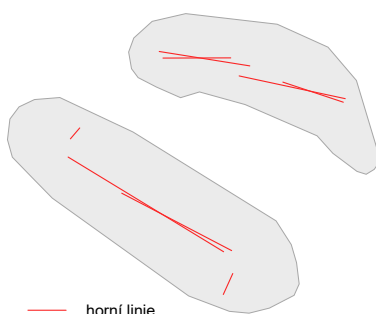
Obr. 24: Ukázka nesprávně identifikovaných a vytvořených liniových hřbetnic.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

S volbou mezní hodnoty pro vzdálenost horních linií souvisí i další nedostatek. Pokud se vzdálenost horních linií v rámci jednoho objektu mění tak, že osciluje právě kolem mezní hodnoty, dochází k tomu, že mezi částí horních linií je vytvořena liniová hřbetnice a některé horní linie (ty více vzdálené) jsou označeny jako vnitřní lomové hrany. Ukázka této situace je uvedena na obrázku č. 25.



Obr. 25: Ukázka identifikace a vytvoření liniových hřbetnic v objektech, kde vzdálenost horních linií kolísá kolem stanovené mezní hodnoty.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

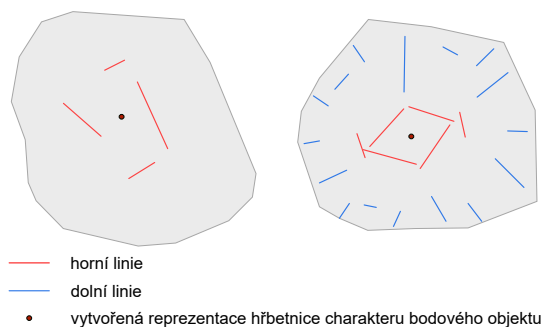
Problematické jsou taktéž objekty, ve kterých jsou horní linie umístěny nestandardně (například se různě kříží), viz například obr. č. 26. Identifikace hřbetnic se u většiny takových objektů nezdařila.



Obr. 26: Ukázka objektů s nestandardním rozmístěním horních linií.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

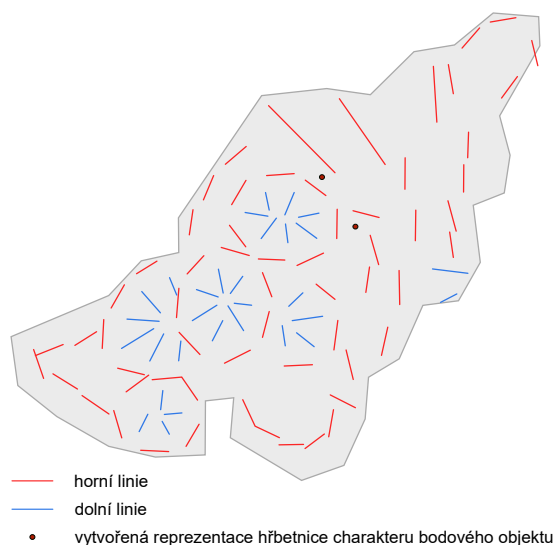
Hřbetnice charakteru bodového objektu

U hřbetnic charakteru bodového objektu je situace obdobná – u standardně nakreslených objektů je postup poměrně spolehlivý (viz obr. č. 27). K problémům dochází opět u komplikovaných objektů, kde jsou horní linie často rozmístěny velmi zvláštně. V těchto objektech tak vzniká poměrně velké množství hřbetnic charakteru bodového objektu, které ne vždy odpovídají očekávaným výsledkům (viz například obr. č. 28).

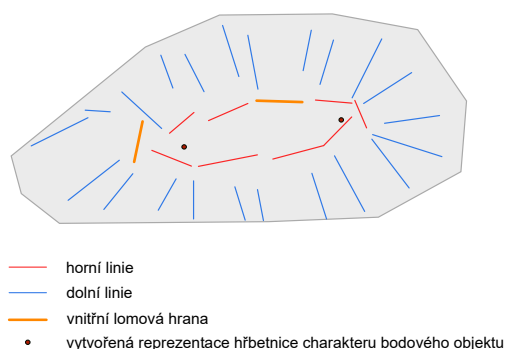


Obr. 27: Ukázka správně identifikovaných a vytvořených hřbetnic charakteru bodového objektu.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

Problematické jsou opět polygony, kde kolísá vzdálenost horních kolem stanovené mezní hodnoty. U některých objektů tak vzniknou například dva body reprezentující hřbetnici charakteru bodového objektu, ačkoliv by bylo logičtější, aby vznikla liniová hřbetnice. Navíc v těchto polygonech, kdy je vzdálenost horních linií na krajích menší než mezní hodnota a v prostředku větší než mezní hodnota, dochází poté k nesprávnému určení vnitřních lomových hran. Ukázka takové situace je zachycena na obrázku č. 29. Kolísání vzdálenosti mezi horními liniemi kolem mezní hodnoty způsobuje tedy v některých případech relativně nelogické umístění hřbetnice charakteru bodového objektu.



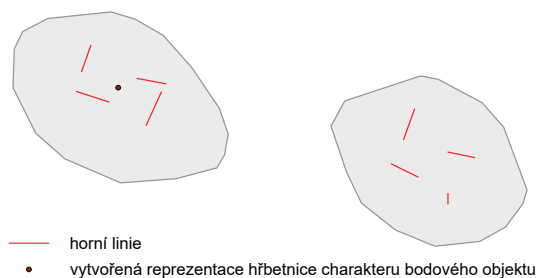
Obr. 28: Ukázka nesprávně identifikovaných a vytvořených hřbetnic charakteru bodového objektu v komplikovaných objektech.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.



Obr. 29: Ukázka identifikace a vytvoření hřbetnic charakteru bodového objektu v polygonech, kde vzdálenost horních linií osciluje kolem stanovené mezní hodnoty.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

Obdobně, jako je tomu u liniových hřbetnic, dochází zde ke vzniku hřbetnic charakteru bodového objektu v místech mezi blízkými „nad sebou“ umístěnými horními liniemi, které nejsou protisměrné. Toto je způsobeno stejnou příčinou, jelikož postup pro vytvoření obou typů hřbetnic je z velké části totožný.

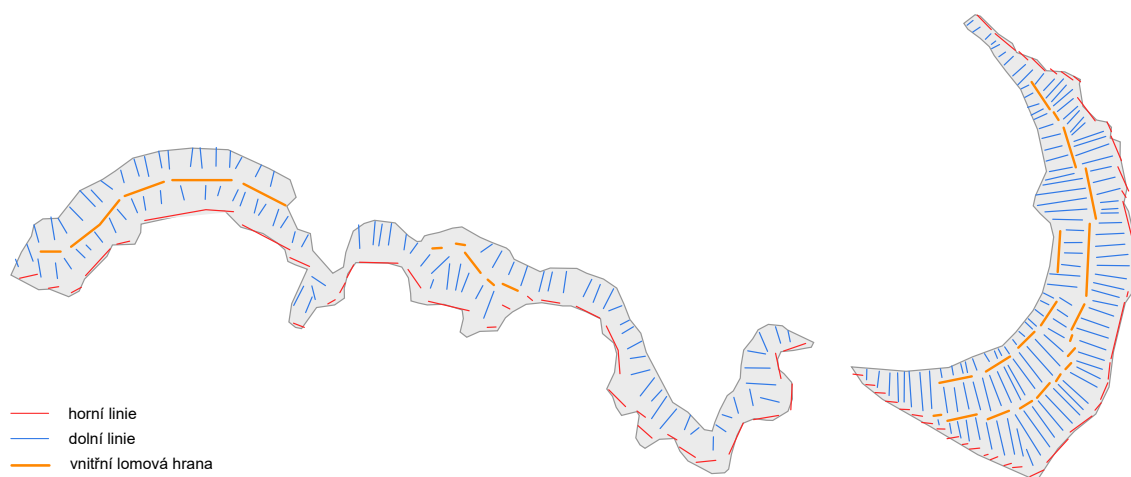
Stejně jako u liniových hřbetnic se postup neumí vypořádat s polygony, kde jsou horní linie rozmístěny nestandardně, v kombinaci s tím, že jsou příliš krátké a použití funkce **Snap** nepomohlo (viz například obrázek č. 30).



Obr. 30: Ukázka objektů s různým rozmístěním horních linií.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

Vnitřní lomové hrany

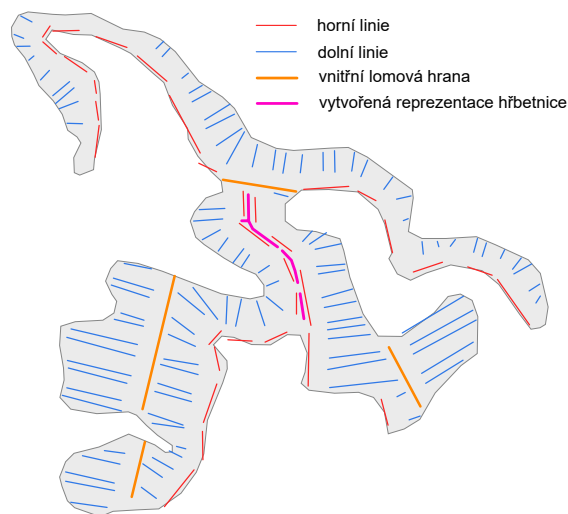
Identifikace vnitřních lomových hran byla oproti hřbetnicím relativně snazší, tudíž se zde nevyskytuje velké množství vážných nedostatků. Ukázka objektů se správnou identifikací vnitřních lomových hran je na obrázku č. 31.



Obr. 31: Ukázka správně identifikovaných vnitřních lomových hran.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

Jedním z problémů je identifikace lomových hran, které se vyskytují blízko okraje malých polygonů. Taktéž je problematické, pokud se vnitřní lomová hrana nachází v úzkém výběžku daného polygonu (viz například horní linie na obrázku č. 24). V těchto situacích bývají vnitřní lomové hrany neidentifikovány.

Jak již bylo uvedeno výše, problematické je určení vnitřních lomových hran v objektech, kde se vyskytuje liniová hřbetnice nebo hřbetnice charakteru bodového objektu. V těchto případech většinou kolísá vzdálenost horních linií kolem stanovené mezní hodnoty a určení některých vnitřních lomových je sice teoreticky správné, ale poněkud nelogické. Pokud ke kolísání vzdálenosti mezi horními liniemi kolem mezní hodnoty nedochází, jsou se uvedené postupy schopny vypořádat i s relativně komplikovanými polygony (viz např. obrázek č. 32).



Obr. 32: Ukázka správně identifikovaných vnitřních lomových hran a liniových hřbetnic ve složitějším objektu.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

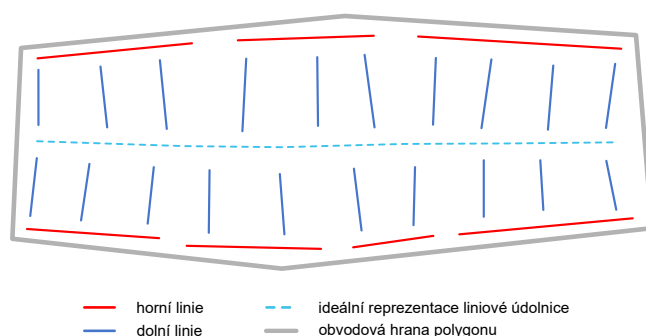
Shrnutí

Ačkoliv uvedené postupy poměrně úspěšně naplňují stanovené cíle, mají svá omezení. Ta byla na konkrétních příkladech popsána a částečně vysvětlena. Hlavním problémem jsou komplikované polygony, kde je rozmístění linií často dosti nesystematické až chaotické a dochází zde k největšímu množství chyb. Zbylé chyby jsou poté většinou dány volbami mezních hodnot – parametrů uvedených metod. Tyto zbylé chyby jsou obecně jen obtížně řešitelné, jelikož téměř jakákoliv volba mezní hodnoty by mohla vést k obdobným chybám jen na jiných místech.

4.2 Identifikace údolnic

Tato kapitola si klade za cíl popsat způsob identifikace údolnic. Údolnice jsou poměrně specifickým objektem, oproti ostatním objektům (hřbetnice, obvodové hrany polygonů) nejsou totiž v datech přímo reprezentovány, resp. je není možné z dat jen určitým postupem vybrat. To znamená, že je nejprve třeba vytvořit takové objekty, ze kterých budou následně údolnice vybrány. Na základě vybraných objektů bude potom vytvořena nová geometrická reprezentace údolnic. Ukázka reprezentace údolnic je znázorněna na obrázku č. 33.

Kapitola je rozdělena na dvě hlavní části – v první části je popsán proces tvorby linií potenciálně reprezentujících údolnice, v druhé postup pro identifikaci „skutečných“ údolnic (ve smyslu z dat vyplývajících údolnic) a pro vytvoření jejich nové geometrické reprezentace.

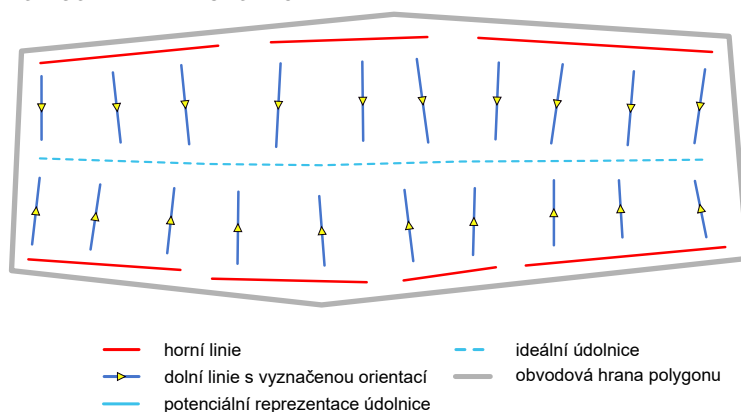


Obr. 33: Ukázka reprezentace údolnice.

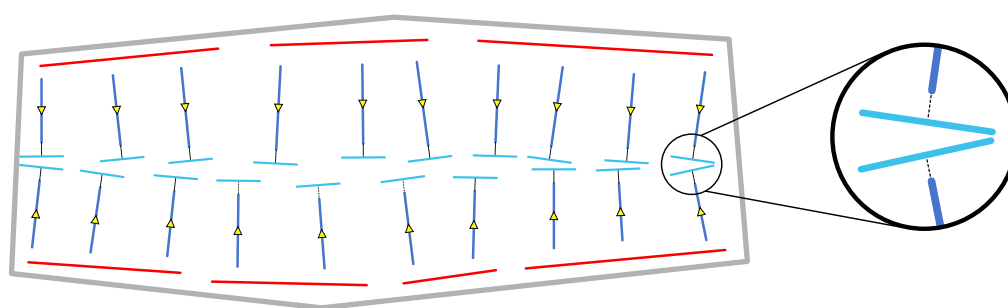
4.2.1 Tvorba linií potenciálně reprezentujících údolnice

Linie potenciálně reprezentující údolnice jsou tvořeny na základě orientovaných dolních linií (směřují od horních linií směrem dolů – viz kapitola 3.2.4). Na konci každé dolní linie je vytvořena kratší linie, která je na danou dolní linii kolmá, přičemž linie není tvořena přímo na konci dané dolní linie, ale je od něj mírně posunuta. Ukázka takto vytvořených linií je uvedena na obrázku č. 34.

POLYGON S IDEÁLNÍ ÚDOLNICÍ



POLYGON S VYTVOŘENÝMI LINIEMI POTENCIÁLNĚ REPREZENTUJÍCÍMI ÚDOLNICE



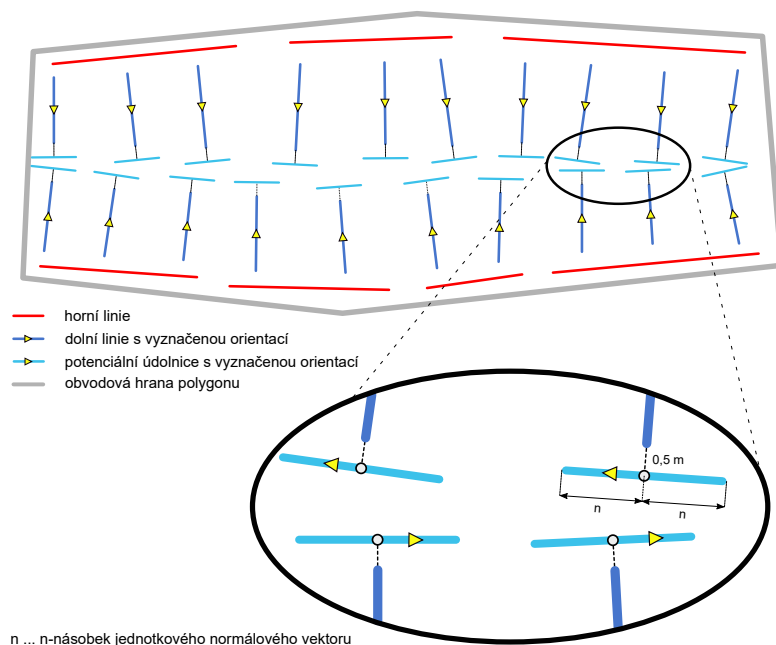
Obr. 34: Ilustrace ideální reprezentace údolnice a vytvořených linií potenciálně reprezentujících údolnice.

K vytvoření linií potenciálně reprezentujících údolnice jsou využity skutečné dolní linie (tzn. bez příčných čárek) vytvořené dle postupů v kapitole 3.2.4. Zároveň jsou použité dolní linie již ve většině případů jednotně orientovány (vždy směrem od horních linií daného polygonu směrem dolů) – více viz podkapitola 3.2.4.

Vstupní dolní linie jsou postupně procházeny a pro každou je na základě souřadnic jejích krajních bodů určen směrový vektor. Ze směrového vektoru je dále pro každou linii odvozen normálový vektor. Oba vektory jsou následně převedeny na jednotkové.

Polovina jednotkového směrového vektoru je následně přičtena k souřadnicím koncového bodu dané dolní linie, čímž získáme souřadnice bodu, který bude od konce dané dolní linie vzdálen 0,5 m (viz obr. č. 35). Takto vzniklý posunutý bod je následně středem linie potenciálně repre-

zentující údolnici, jejíž krajní body získáme přičtením a odečtením n -násobku jednotkového normálového vektoru k tomuto bodu. Takto vznikne linie kolmá na danou dolní linii, která představuje potenciální reprezentaci údolnice. Popsaný postup je ilustrován na obrázku č. 35.



Obr. 35: Ilustrace tvorby linií potenciálně reprezentujících údolnice.

Vzdálenost 0,5 m pro posun byla určena na základě konkrétních objektů. Bylo nutné ji zvolit dostatečně malou, aby nedocházelo k situacím, kdy by vytvořená linie nebyla nejbližší dolní linii, na základě které vznikla. K těmto situacím by při větší vzdálenosti docházelo, což by negativně ovlivnilo postup pro identifikaci linií reprezentujících údolnice. Samotný posun byl použit, aby nevznikly mezi dvojicemi protilehlých linií reprezentujících údolnice příliš velké mezery a aby velikost této mezery byla podobná jako u horních linií reprezentujících hřbetnice.

Jelikož jsou dolní linie v rámci polygonů reprezentujících skalní útvary rozmístěny relativně nepravidelně, jsou linie potenciálně tvořící údolnice vytvářeny s proměnlivou délkou. Cílem je, aby na sebe linie co nejvíce navazovaly a nevznikaly mezi sousedními liniemi příliš velké mezery. Protože je tvorba linií potenciálně tvořících údolnice s proměnlivou délkou poměrně výpočetně náročná, je jako první proveden předvýběr polygonů reprezentujících skalní útvary, ve kterých se pravděpodobně vyskytuje údolnice. U vybraných polygonů jsou následně vytvořeny linie potenciálně reprezentující údolnice s proměnlivou délkou.

Postup tedy sestává ze 2 hlavních částí:

1. předvýběr polygonů reprezentujících skalní útvary potenciálně obsahující údolnice,
2. vytvoření linií potenciálně reprezentujících údolnice s proměnlivou délkou nad vybranými polygony.

Předvýběr polygonů potenciálně obsahujících údolnice

Předvýběr polygonů je proveden ve třech hlavních krocích. Jako první jsou vytvořeny linie potenciálně reprezentující údolnice o konstantní délce 20 m. Následně byly z těchto linií vybrány ty, které by mohly potenciálně reprezentovat údolnice. Na závěr byly vybrány polygony, ve kterých leží v předešlém kroku vybrané linie.

Vytvoření linií potenciálně reprezentujících údolnice s konstantní délkou 20 m je provedeno dle postupu uvedeného v předešlé části. Tyto linie jsou vytvořeny pro všechny skutečné dolní linie. Délka vytvořených linií byla v této fázi zvolena poměrně velká, aby bylo zajištěno, že mezi vytvořenými liniemi nebudou vznikat mezery a dojde tak k výběru co největšího množství linií potenciálně reprezentujících údolnice.

Výběr linií potenciálně reprezentujících údolnice je proveden obdobně jako výběr potenciálních horních linií tvořících hřbetnice (viz kapitolu 4.1.1). Zde bude postup popsán již jen stručně, jeho detailní popis včetně ilustrací je v uvedené kapitole.

Vytvořené linie potenciálně reprezentující údolnice jsou jednotně orientovány, a to tak, že směr nahoru je vždy napravo od dané linie. V případě údolnice budou vytvořené linie na koncích dolních linií dvou protilehlých skalních stěn protisměrné. Každá vytvořená linie potenciálně reprezentující údolnici bude pak na své levé straně mít linie potenciálně reprezentující údolnice patřící k dolním liniím sousedního svahu (viz obr. č. 35).

Kolem vytvořených linií potenciálně reprezentujících údolnice je potom vytvořen levostranný *flat* buffer o šířce 16 m. Šířka bufferu byla zvolena raději větší, aby bylo s jistotou vybráno co nejvíce linií potenciálně reprezentujících údolnice, přičemž chyby, které takto vysoká hodnota přinese by měly být odstraněny dalšími postupy. Vytvořené buffery směřují do prostoru mezi liniemi potenciálně reprezentujícími údolnice dvou protilehlých svahů.

Na vytvořené buffery je následně použita funkce **Intersect**, čímž získáme průniky bufferů. Funkce **Intersect** je následně použita ještě na plochy vzniklé průnikem bufferů a plochu polygonů reprezentujících skalní útvar, čímž vznikly plochy jen uvnitř polygonů. Na tyto plochy byla na závěr použita funkce **Dissolve** dle identifikátoru polygonu.

Nyní byl proveden výběr linií potenciálně reprezentujících údolnice, které mají průnik s plochou vytvořenou v předešlých krocích. Z takto vybraných linií byly následně odstraněny ty, které leží u krajů polygonů, což bylo provedeno pomocí negativního bufferu vytvořeného nad polygony (pokud střed linie ležel v ploše vymezené negativním bufferem, tak byla linie z výběru odstraněna).

Nakonec byly vybrány polygony reprezentující skalní útvary, které obsahovaly v předchozím kroku vybrané linie. Tímto způsobem bylo vybráno 1 872 polygonů potenciálně obsahujících údolnice.

Tvorba linií potenciálně reprezentujících údolnice s proměnlivou délkou

V předešlé podkapitole byl popsán postup pro výběr polygonů, ve kterých by se potenciálně mohla vyskytovat údolnice. Cílem této podkapitoly je popsat postup pro tvorbu linií potenciálně tvořících údolnice s proměnlivou délkou.

Proměnlivá délka linií potenciálně reprezentujících údolnice je klíčová pro následné odvození nové geometrické reprezentace údolnic. Pokud by délka linií byla zvolena konstantně, tak by při menší délce docházelo ke vzniku přílišných mezer mezi jednotlivými liniemi. Naopak při větší délce by potom docházelo k častým překryvům a křížení linií.

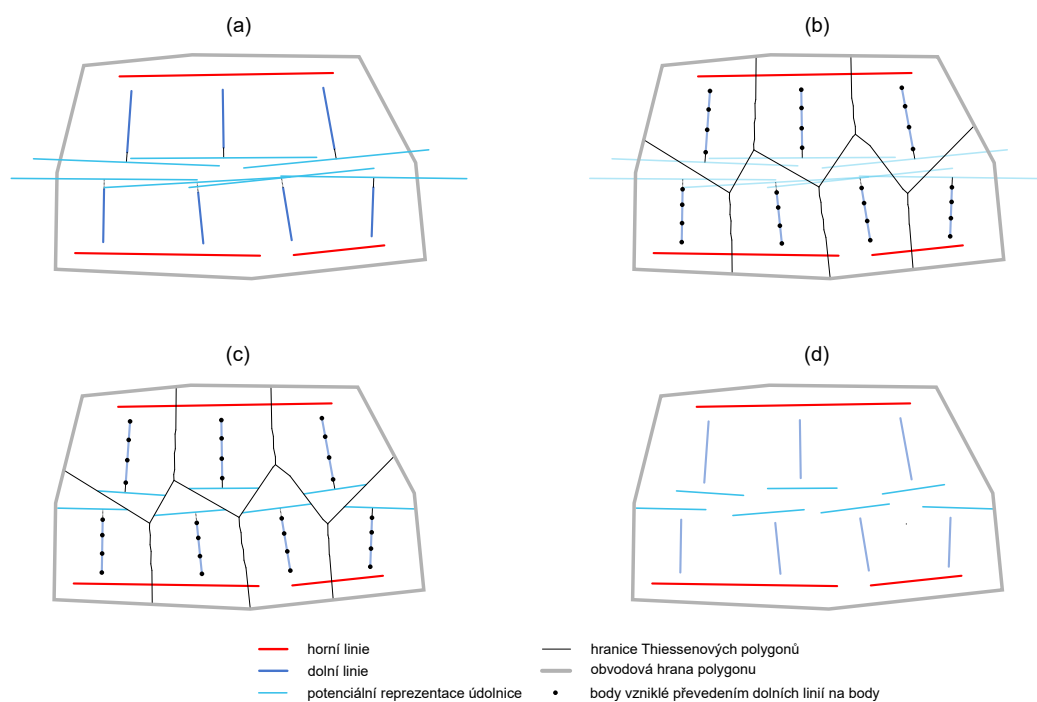
Jako první je provedena příprava dat. K polygonům vybraným v předchozí kapitole je třeba vybrat odpovídající dolní linie. Jsou vybrány takové dolní linie, které celé leží uvnitř vybraných polygonů. Z tohoto výběru jsou navíc odstraněny ty dolní linie, které leží u kraje polygonů. K tomuto účelu je nad polygony vytvořen negativní buffer o šířce 5 m. Pokud střed dané dolní linie leží v ploše vymezené tímto negativním bufferem (rozdíl plochy polygonu a negativního bufferu), je linie z výběru odstraněna.

Nad vybranými liniemi jsou následně vytvořeny linie potenciálně reprezentující údolnice s konstantní délkou 20 m. V tuto chvíli jsou linie vytvořeny relativně dlouhé a v dalších krocích jsou následně zkracovány dle uspořádání dolních linií v daném polygonu.

Dalším krokem je zahuštění dolních linií pomocí funkce **Densify**, přičemž vzdálenost zahuštění byla zvolena 2 m, na základě testovacích objektů. Dále byly zahuštěné dolní linie pomocí funkce **Feature Vertices To Point** převedeny na body. Nad vytvořenými body byly následně vytvořeny Thiessenovy polygony prostřednictvím funkce **Create Thiessen Polygon**. Na vytvořené Thiessenovy polygony byla použita funkce **Dissolve** dle identifikátoru dolních linií. Vytvořené Thiessenovy byly na závěr oříznuty plochou polygonů reprezentujících skalní útvary.

Uvedeným postupem vznikly oblasti patřící (mající nejbliž) vždy k příslušné dolní linii v rámci každého vybraného polygonu potenciálně obsahujícího údolnici. Pomocí těchto ploch (oříznutých buněk Thiessenových polygonů) byly oříznuty vytvořené linie potenciálně reprezentující údolnice. Oříznutí linií potenciálně reprezentujících údolnice bylo zajištěno postupným procházením vybraných polygonů. V rámci každého polygonu byly procházeny jednotlivé linie potenciálně reprezentující údolnice a každá byla pomocí funkce **Clip** oříznuta plochou (oříznutou buňkou Thiessenova polygonu) patřící (mající nejbliž) k příslušné dolní linii. Uvedený postup je ilustrován na obr. č. 36.

Uvedené je určitou analogií k horním liniím a hřbetnicím. Hřbetnice vycházely přímo z horních, avšak v případě údolnic je třeba linie potenciálně reprezentující údolnice nejprve vytvořit.



Obr. 36: Ilustrace tvorby linií potenciálně reprezentujících údolnice s proměnlivou délkou.

4.2.2 Identifikace údolnic

V rámci této podkapitoly je popsán postup pro vyhledání údolnic a následně pro vytvoření jejich nové geometrické reprezentace. Uvedené je obdobně jako u hřbetnic provedeno ve dvou hlavních krocích:

1. předvýběr linií potenciálně reprezentujících údolnice,
2. odvození nové geometrické reprezentace údolnic.

Předvýběr linií potenciálně reprezentujících údolnice

Linie potenciálně reprezentující údolnice byly vytvořeny pouze v polygonech, které byly vybrány jakožto potenciálně obsahující údolnice. Výběr polygonů byl však relativně opatrný. Byl proveden tak, aby bylo spíše vybráno více polygonů, včetně některých těch, které reálně údolnici neobsahují. Z tohoto důvodu byly linie potenciálně tvořící údolnice vytvářeny v některých případech i v místech, kde se údolnice nevyskytuje.

Kvůli výše uvedenému je proveden ještě výběr z vytvořených linií potenciálně reprezentujících údolnice. Tento výběr je proveden totožně jako výběr linií v podkapitole 4.2.1, kde výběr linií slouží ke zmíněnému výběru polygonů. Jedná se o stejný postup, který je použit pro předvýběr potenciálních horních linií tvořících hřbetnice v podkapitole 4.1.1. Zmíněný postup zde již tedy nebude znovu popisován.

Postup je se stejnými parametry, jako v uvedených podkapitolách, aplikován na v předešlé části vytvořené linie potenciálně reprezentující údolnice s proměnlivou délkou.

Odvození nové geometrické reprezentace údolnic

Z provedeného výběru linií potenciálně reprezentujících údolnice je následně odvozena nová geometrická reprezentace údolnic.

Pro odvození nové geometrické reprezentace údolnic je využit stejný postup jako pro odvození geometrické reprezentace hřbetnic z vybraných horních linií. Zde budou proto zmíněny jen odlišnosti (resp. hodnoty parametrů). Pro detailní popis postupu včetně ilustrací viz podkapitolu 4.1.1.

Mezní hodnota vzdálenosti dvojice protisměrných linií potenciálně tvořících údolnici byla v případě údolnic zvolena 14 m. Pokud jsou tedy protisměrné linie vzdáleny méně než tato mez, tak je z nich vytvořena údolnice. Tato vzdálenost byla určena na základě měření na konkrétních objektech. Hodnota musí být dostatečně velká, aby bylo vybráno dostatečné množství objektů, avšak pokud by byla příliš velká, mohlo by docházet k výběrům nesprávných objektů.

Kolem vybraných linií je vytvořen buffer o šířce odpovídající polovině mezní hodnoty (7 m). V případě, že jsou linie potenciálně reprezentující údolnice vzdáleny méně než mezní vzdálenost, tak se vytvořené buffery překryjí. Nad spojenými buffery (pomocí funkce `Dissolve`)

je následně vytvořen negativní buffer o šířce 8 m (tedy o 1 m širší než je stanovená mezní hodnota). Tímto krokem by měly vzniknout určité plochy v místech, kde jsou protisměrné linie vzdáleny méně než stanovená mez – tedy ideálně v místech, kde se vyskytuje údolnice. V ostatních případech by měla plocha po použití negativního bufferu zaniknout.

Vzniklé plošky lze následně rozdělit do 2 skupin:

1. velmi malé plošky různého tvaru nerepresentující údolnice,
2. větší plošky protáhlého tvaru reprezentující údolnice.

Do první skupiny jsou stejně jako v případě hřbetnic zařazeny plošky menší než 25 m². Na základě plošek patřících do druhé skupiny je následně odvozena nová geometrická reprezentace údolnic.

Odvození geometrické reprezentace údolnic je provedeno opět stejným způsobem jako u hřbetnic. Plochy jsou zjednodušeny, převedeny na body a nad těmito body jsou vytvořeny Thiessenovy polygony, které jsou oříznuty dle příslušné plošky. Thiessenovy polygony jsou převedeny na linie a z nich jsou vybrány ty, které se nedotýkají okraje plošky.

V případě údolnic nejsou rozlišovány objekty typu „bodová údolnice“, jelikož by takové objekty byly spíše chybou dat nebo by se jednalo o velmi nestandardní objekty. Nejkratší nalezená údolnice identifikovaná uvedeným postupem má délku 5,1 m. Mezi krátkými údolnicemi byly nalezeny některé objekty mající charakter „bodových údolnic“, avšak je těchto objektů relativně málo a spíše se jedná krátké úseky údolnic nebo chybné či specifické objekty.

Výsledky Na základě popsaných postupů bylo vytvořeno 187 údolnic ve 141 polygonech.

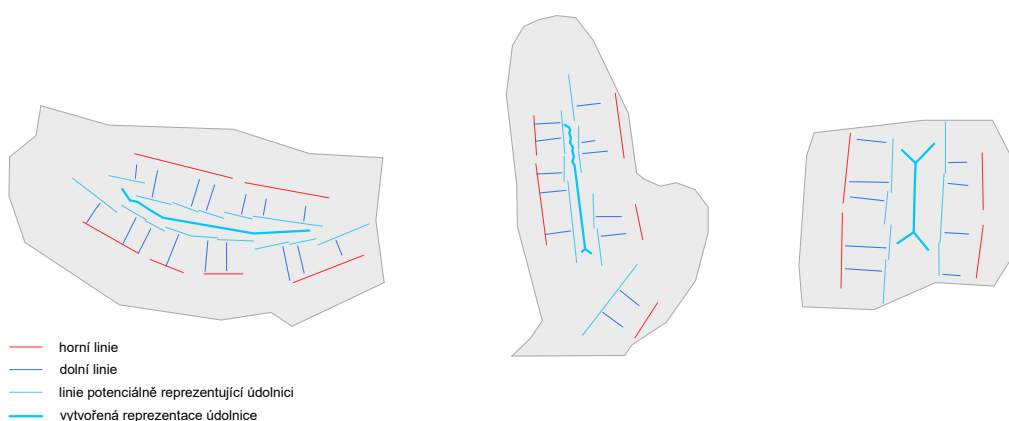
4.2.3 Diskuze výsledků

Cílem této kapitoly bylo identifikovat údolnice a na základě nalezených objektů odvodit jejich novou geometrickou reprezentaci.

Popsané postupy jsou podobné (v některých případech stejné) postupům použitým při identifikaci hřbetnic a odvozování jejich geometrické reprezentace. Hlavní odlišností oproti hřbetnicím byla skutečnost, že pro identifikaci údolnic a pro odvození jejich geometrické reprezentace bylo třeba první vytvořit linie potenciálně reprezentující údolnice. Součástí postupů byla tedy i samotná tvorba linií potenciálně reprezentujících údolnice, na základě kterých byly údolnice identifikovány a následně mohla být pak odvozena jejich nová geometrická reprezentace.

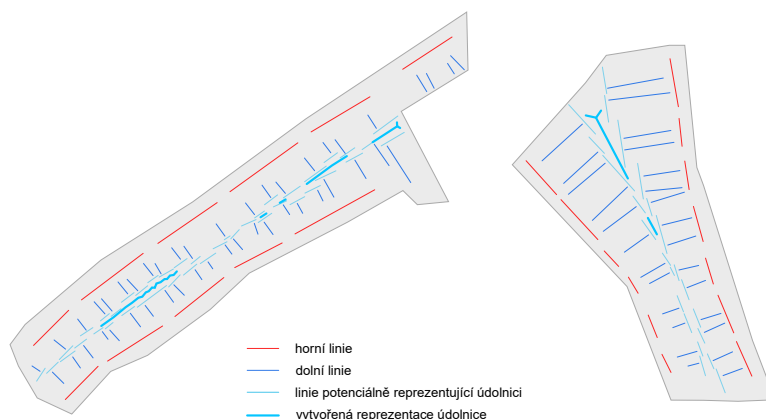
Na základě představených postupů se podařilo hlavní cíl kapitoly v zásadě naplnit. Obdobně jako u hřbetnic se zde vyskytují určité nedostatky. Tyto nedostatky se většinou projevují v komplikovaných objektech nebo v objektech s nestandardním rozmístěním dolních linií.

U objektů se standardním rozmístěním dolních linií, kde se dolní linie od sebe výrazně neodlišují svým sklonem funguje postup poměrně spolehlivě. Ukázka správně identifikovaných objektů je na obrázku č. 37.



Obr. 37: Ukázka správně identifikovaných a vytvořených údolnic.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

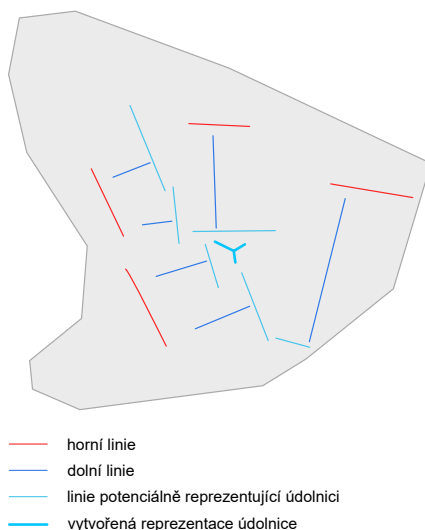
Jedním z hlavních nedostatků je větší míra segmentace vzniklých údolnic. U objektů, kde jsou dolní linie rozmístěny nepravidelně, případně v místech, kde nejsou přibližně rovnoběžné, vzniká v některých případech místo jedné dlouhé údolnice více kratších nepropojených segmentů (viz obr. č. 38).



Obr. 38: Ukázka objektů se segmentovanými údolnicemi.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

K větší míře segmentace v některých případech přispívá taktéž skutečnost, že se při identifikaci údolnic pracovalo pouze se skutečnými dolními liniemi (tedy bez příčných čárek). Postup pro eliminaci příčných čárek však v některých případech označil jako příčnou čárku i skutečnou dolní linii, která příčkou není. Toto pak může vést k tomu, že v určitých polygonech chybí některé dolní linie, což přispívá k segmentaci údolnic.

V některých případech dochází taktéž ke vzniku relativně krátkých údolnic v místech, kde jsou dolní linie uspořádány mírně nestandardně. V těchto situacích je poté poměrně obtížné rozhodnout, jestli se skutečně jedná o reprezentaci údolnice či nikoliv (viz např. obr. č. 39).



Obr. 39: Ukázka objektu s nesprávně identifikovanými údolnicemi.
Zdrojová data: ©ČÚZK, 2019.

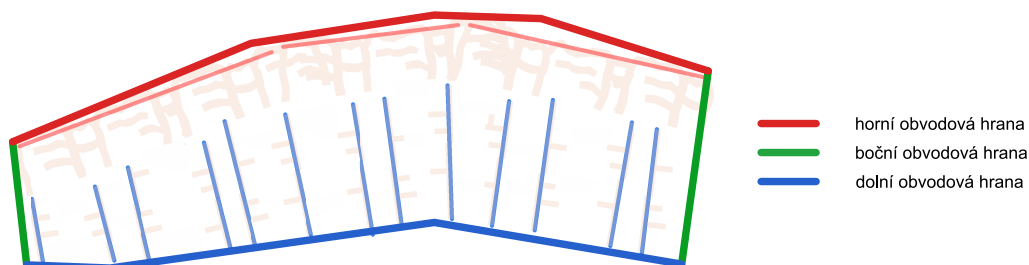
4.3 Klasifikace obvodových hran polygonů

V této kapitole bude popsán postup pro klasifikaci obvodových hran polygonů reprezentujících skalní útvary. V rámci klasifikace budou rozlišovány 3 druhy obvodových hran:

1. horní hrany,
2. dolní hrany,
3. boční (neurčené) hrany.

Horní hranou se rozumí hrana, od které směřuje skalní útvar dolů, resp. kopíruje nejvyšší místa dané skály. Z pohledu kartografické reprezentace se jedná o hranu, podél které je kreslena horní linie (resp. řada horních symbolů). **Dolní hrana** je potom taková hrana, na níž skalní útvar končí, tj. kopíruje lokálně nejnižší místa skály. V rámci reprezentace je to hrana, u níž končí (resp. začínají kvůli střídání orientace) dolní linie. **Boční hrany** doplňují horní a dolní hrany, přičemž jsou přibližně kolmé na vrstevnice. Uvedené typy obvodových hran jsou vyznačeny na obrázku č. 40.

Ke klasifikaci obvodových hran byl kromě dále popsaných postupů využit také postup využívající digitálního modelu reliéfu. Autorem tohoto postupu je vedoucí této práce, přičemž jeho popis je uveden v článku Lysáka (2016b) a v dizertační práci téhož autora (Lysák 2016a). Výsledná klasifikace je kombinací všech dále uvedených postupů.



Obr. 40: Obvodové hrany.

4.3.1 Identifikace horních obvodových hran

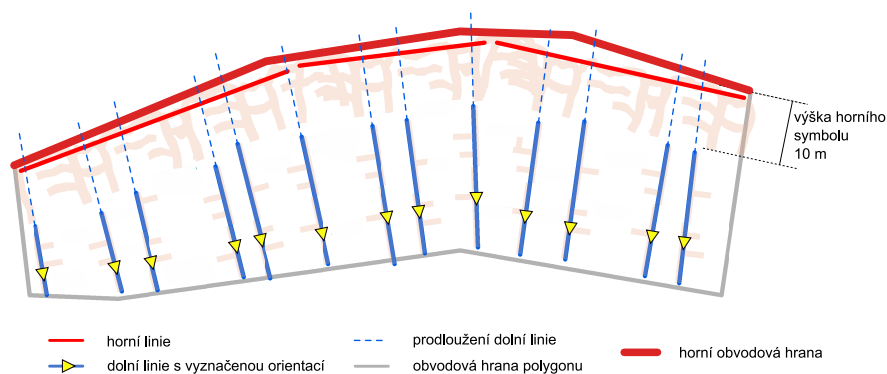
Cílem této podkapitoly je popsat způsoby pro identifikaci horních obvodových hran. K identifikaci byly použity dva různé postupy:

1. postup využívající průniku horních hran s prodlouženými dolními liniemi,
2. postup využívající levostranný buffer vytvořený nad horními liniemi.

Výsledek je poté kombinací uvedených postupů.

Identifikace horních obvodových hran s využitím průniku s prodlouženými dolními liniemi

Základem prvního postupu je předpoklad, že pokud jsou dolní linie jednotně orientovány (směrem dolů od horních linií) a prodlouží se směrem k horním liniím, tak by měly protnout horní hranu daného polygonu (viz obr. č. 41).



Obr. 41: Ilustrace postupu identifikace horních obvodových hran na základě jednosměrného prodloužení dolních linií.

Prvním krokem je prodloužení dolních linií směrem k horním liniím. K tomuto jsou využity skutečné dolní linie (tzn. bez příčných čárek) orientované směrem dolů od horních linií. Postupy pro přeorientování dolních linií a odstranění příčných čárek byly popsány v podkapitole 3.2.4.

Prodloužení skutečných orientovaných dolních linií je provedeno stejným způsobem jako v podkapitole 3.2.4 v rámci postupu pro identifikaci příček. Pro každou dolní linii je určen její směrový vektor, ten je převeden na jednotkový a jeho násobek je odečten (resp. je přičten násobek opačného vektoru) od počátečního bodu dané dolní linie. Dolní linie jsou prodlouženy o 15 m, přičemž tato vzdálenost odpovídá přibližně 1,5 násobku přepočtené velikosti horních symbolů (viz obr. č. 41).

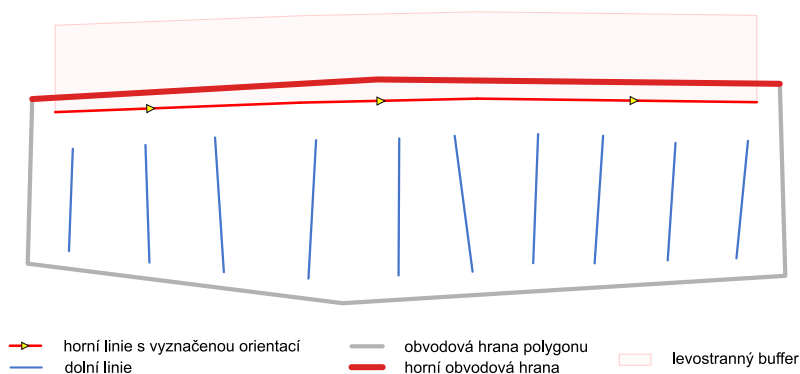
Jelikož se samotné dolní linie relativně často protínají s dolními a bočními obvodovými hranami, způsobila by nyní identifikace horních hran jen na základě existence průniku s prodlouženými dolními liniemi poměrně velké množství chyb. K eliminaci těchto chyb byly provedeny dva kroky. S bočními hranami mívají průnik dolní linie u krajů polygonů. Dále bylo tedy pracováno pouze s dolními liniemi, jejichž střed neleží v ploše vymezené negativním bufferem o šířce 3 m sestrojeným nad daným polygonem. Aby nedocházelo k průnikům dolních linií s dolními hranami byly z dolních linií ponechány jen úseky, které vznikly jejich prodloužením (modré čárkované linie na obr. č. 41).

Následně byly postupně procházeny jednotlivé polygony. V rámci každého polygonu byly procházeny jednotlivé obvodové hrany a pro každou bylo pomocí metody `crosses()` zjištěno, jestli se protíná s prodlouženými částmi dolních linií. Tato metoda je volána nad každou obvodovou hranou, přičemž jejím parametrem je druhá geometrie, se kterou je zjišťována existence protnutí – v tomto případě úseky dolních linií (sloučené pomocí funkce `Dissolve` podle identifikátoru polygonu).

Pokud se daná obvodová hrana polygonu protíná s úseky prodloužených dolních linií, tak je uvedeným postupem vyhodnocena jako horní obvodová hrana.

Identifikace horních obvodových hran s využitím průniku s levostranným bufferem okolo horních linií

Hlavní myšlenkou druhého postupu je skutečnost, že pokud se nad horními liniemi sestrojí dostatečně široký levostranný buffer, tak by měl (díky jednotné orientaci horních linií) protnout právě horní obvodovou hranu (viz obr. č. 42).



Obr. 42: Ilustrace postupu identifikace horních obvodových hran na základě levostranného bufferu nad horními liniemi.

Jako první je nad horními liniemi sestrojen levostranný *flat* buffer. Šířka bufferu je zvolena na 10 m. Tato šířka byla zvolena na základě konkrétních objektů, přičemž může být poměrně velká, jelikož budou polygony procházeny jednotlivě, čímž budou eliminovány chyby vzniklé případným přesahem bufferů do okolních polygonů. Zároveň nesmí být šířka moc velká, aby nedocházelo například u objektů s hřbetnicemi k protnutí bufferu s dolními obvodovými hranami.

Jelikož se některé horní linie nacházejí zčásti nebo úplně mimo polygony reprezentující skalní útvary, byl nad horními liniemi navíc ještě vytvořen úzký pravostranný *flat* buffer, který by měl právě tyto situace postihnout. Šířka tohoto užšího bufferu byla na základě konkrétních objektů zvolena na 3 m. Oba typy bufferů byly následně spojeny pomocí funkce **Merge**. Následně na ně byla použita funkce **Dissolve** dle identifikátoru polygonu, aby bylo možné potom v rámci každého polygonu pracovat s buffery jako jedním objektem.

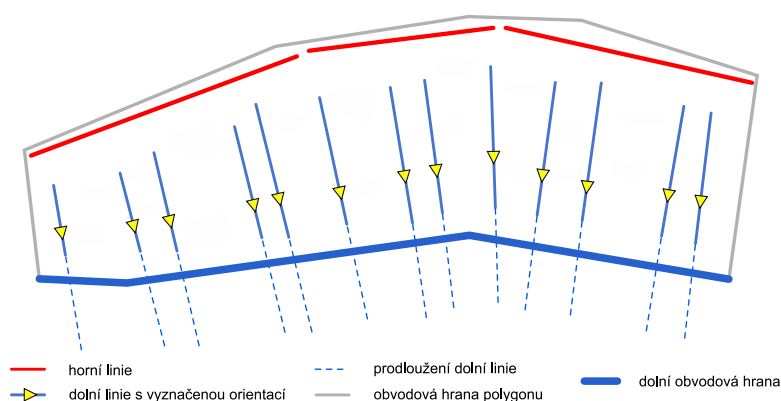
Dále byly postupně procházeny jednotlivé polygony. V rámci daného polygonu byly procházeny jednotlivé obvodové hrany a pomocí metody **crosses()** bylo zjišťováno, jestli se daná hrana protíná s buffery či nikoliv.

Pokud se daná obvodová hrana protíná s vytvořenými buffery nad horními liniemi, tak je popsáním postupem označena jako horní obvodová hrana.

4.3.2 Identifikace dolních obvodových hran

K identifikaci dolních obvodových hran byl využit postup založený na existenci průniku dolních hran s prodlouženými dolními liniemi.

Postup vychází ze stejné myšlenky jako postup pro identifikaci horních obvodových hran, který spočíval v prodloužení dolních linií směrem k horním liniím. V tomto případě budou však dolní linie prodlužovány na opačnou stranu – směrem od horních linií daného polygonu. Předpoklad je tedy takový, že pokud se prodlouží orientované skutečné dolní linie směrem od horních linií, tak by měly v ideálním případě protnout právě dolní obvodovou hranu (viz obr. č. 43).



Obr. 43: Ilustrace postupu identifikace dolních obvodových hran na základě jednosměrného prodloužení dolních linií.

Jako první jsou prodlouženy orientované skutečné dolní linie o 15 m směrem od horních linií. Vzdálenost prodloužení byla zvolena na základě testovacích objektů, přičemž může být opět poměrně velká, jelikož jsou polygony procházeny zvlášť, čímž jsou eliminovány chyby vzniklé přesahy dolních linií do sousedních polygonů.

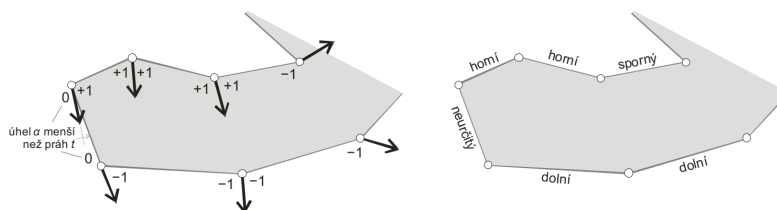
Dále jsou postupně procházeny jednotlivé polygony, ve kterých jsou následně procházeny jednotlivé obvodové hrany. Pomocí již zmíněné metody `crosses()` je potom zjišťována existence průniku dané obvodové hrany s prodlouženými dolními liniemi.

Pokud je daná obvodová hrana protnuta prodlouženými dolními liniemi, tak je označena za dolní obvodovou hranu.

4.3.3 Identifikace obvodových hran za použití digitálního modelu reliéfu

Tento postup je založen na využití digitálního modelu terénu. Pro každou obvodovou hranu jsou pro její dva krajní body z digitálního modelu terénu určeny vektory největšího spádu. Na základě toho, kam směřují jednotlivé vektory je následně daná hrana klasifikována. Rozlišovány jsou celkem tři případy: vektor směřuje do stejné poloroviny jako je vnitřek daného polygonu (bod označen +1), vektor směřuje mimo polygon (bod označen -1), vektor přibližně kopíruje průběh dané hrany (bod označen 0).

Jako horní hrany jsou potom označeny ty, jejichž vrcholy jsou označeny oba hodnotou +1 nebo je jeden z nich označen hodnotou +1 a druhý 0. Dolní hrany jsou takové, které mají vrcholy označené oba hodnotou -1 nebo jeden hodnotou -1 a druhý 0. Jako boční hrany jsou určeny ty, kde mají oba vrcholy hodnotu 0. V ostatních případech (jeden vrchol označen +1 a druhý -1) je hrana klasifikována jako sporná – viz obr. č. 44 (Lysák 2016a, Lysák 2016b).



Obr. 44: Ilustrace postupu identifikace obvodových hran za použití DMR.

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

Zdroj: převzato z Lysák 2016a

Uvedený postup má dva hlavní parametry ovlivňující výpočet. Jedním je vstupní digitální model reliéfu a druhým velikost okolí, ze kterého jsou spočítány spádové vektory. Digitální model terénu byl vytvořen z vrstevnic z dat ZABAGED. Kvůli velkému objemu dat musel být DMR zpracován po částech – konkrétně po dlaždicích o velikosti 8x8 km. Jelikož bylo nutno vytvořit DMR pro téměř celé Česko (kromě dlaždic, které neobsahovaly skalní útvary), byl DMR vytvořen s rozlišením 5m. Parametr okolí byl zvolen na 5 m.

Místo tvorby DMR na základě vrstevnic ZABAGED mohl být využit DMR 4G nebo DMR 5G. K využití vrstevnic ZABAGED vedly mimo jiné následující důvody. Pro určování směru spádu je vhodnější využít generalizovaný model, což oproti DMR 4G nebo DMR 5G rastrový model odvozený z vrstevnic ZABAGED je. Při tvorbě šraf byly využity analogové mapy, na kterých byly skalní útvary v souladu právě s vrstevnicemi ZABAGED. Dalším důvodem byl lepší výsledek modelu z vrstevnic ZABAGED na 9 mapových listech základní mapy při testování v práci Lysáka (2016a). Dále bylo také rozhodnuto na základě technických aspektů – nebylo nutné stahovat data DMR 4G nebo DMR 5G pro velkou část Česka, jelikož vrstevnice ZABAGED jsou pro účely výuky na PřF UK studentům k dispozici pro celé území Česka.

Uvedeným postupem klasifikované hrany prošly následně generalizací, která je sofistikovanější obdobou vylepšení klasifikace popsané v části 4.3.4. Neurčité a sporné segmenty, které jsou z obou stran obklopeny jedním typem hran a jsou vůči těmto hranám relativně kratší, jsou reklasifikovány. Pokud je hrana obklopena dvěma horními hranami, je překlasifikována na

horní hranu a analogicky pro dolní hrany (podrobný popis viz Lysák, 2016a str. 111).

4.3.4 Vyhodnocení a výsledky

První fáze vyhodnocení

Na základě uvedených postupů má každá obvodová hrana informaci o tom, jak byla daným postupem vyhodnocena. Konkrétně je u každé hrany uvedeno, jestli:

- je označena jako horní hrana dle postupu založeného na prodlužování dolních linií směrem k horním liniím, či nikoliv,
- je označena jako horní hrana dle postupu založeného na existenci průniku s levostranným bufferem nad horními liniemi, či nikoliv,
- je označena jako dolní hrana, či nikoliv.

Na základě těchto informací byla provedena **první fáze vyhodnocení**:

- hrana označená alespoň jedním postupem jako horní byla vyhodnocena jako horní hrana,
- hrana, označená jako dolní hrana byla vyhodnocena jako dolní hrana
- hrana, která nebyla určena označena žádným postupem jako horní nebo dolní hrana byla vyhodnocena jako boční.

Jako horní hrany byly vyhodnoceny tedy i takové hrany, které mohly být označeny jako horní a dolní hrany zároveň. K takovému vyhodnocení vede skutečnost, že identifikace horních hran byla založena na dvou použitých postupech a měla by tak být spolehlivější nežli identifikace dolních hran.

Úprava klasifikace Nad takto klasifikovanými obvodovými hranami byla následně provedena jednoduchá úprava, jejíž cílem je reklasifikovat část bočních hran. Pokud je boční hrana z obou stran obklopena jedním typem obvodových hran (dolní nebo horní), tak byla klasifikována jako stejný typ hrany, jako jsou hrany jí z obou stran obklopující. Pokud je tedy například neurčená hrana mezi dvěma horními hranami, tak je označena jako horní.

Tato úprava byla provedena pomocí funkce `Spatial Join`. U bočních hran bylo zjišťováno s kolika dolními a horními hranami sousedí. Pokud měla daná boční hrana průnik s dvěma dolními hranami, tak byla reklasifikována na dolní hranu. Analogicky pak u horních hran.

Uvedeným postupem byl tedy získána první klasifikace obvodových hran.

Druhá fáze vyhodnocení

V předešlé části bylo popsáno vyhodnocení klasifikace na základě v této práci navržených postupů. Následně byly obvodové hrany klasifikovány postupem založeným na digitálním modelu terénu (autorem J. Lysák).

Tento postup klasifikuje obvodové hrany do čtyř kategorií:

- horní hrany,
- dolní hrany,
- boční (neurčené) hrany,
- problematické (konfliktní hrany)

Aby mohly být obě klasifikace porovnány a mohla jejich kombinací vzniknout finální klasifikace, byly zde poslední dva typy hran (boční a problematické) sloučeny do jedné kategorie – boční hrany. Tato sloučená kategorie hran pak přibližně odpovídá kategorii bočních hran u první klasifikace.

Následně byly vytvořeny chybové matice výsledků obou klasifikací. Byly vyhotoveny dvě chybové matice – jedna na základě počtu hran a druhá na základě délek klasifikovaných hran. Matice jsou uvedeny jako tabulky č. 3 a 4.

	klasifikace pomocí DMR			
	horní hrana	dolní hrana	boční hrana	součet řádků
horní hrana	286 368 35,5 %	65 658 8,1 %	53 583 6,6 %	405 609 50,2 %
dolní hrana	15 885 2,0 %	216 102 26,8 %	25 646 3,2 %	257 633 31,9 %
boční hrana	24 669 3,1 %	65 559 8,1 %	54 060 6,7 %	144 288 17,9 %
<i>součet sloupců</i>	326 922 40,5 %	347 319 43,0 %	133 289 16,5 %	807 530 100 %

Tab. 3: Chybová matice metod klasifikací obvodových hran **na základě počtu objektů**. V řádku výsledky postupů vytvořených v rámci této práce, ve sloupci výsledky klasifikace za použití DMR (autor J. Lysák).

Zdroj: vlastní zpracování

	klasifikace pomocí DMR			
	horní hrana	dolní hrana	boční hrana	součet řádků
horní hrana	3 559,8 35,2 %	697,9 6,9 %	666,6 6,6 %	4 924,2 50,2 %
dolní hrana	211,0 2,1 %	3 253,0 32,2 %	399,1 3,9 %	3 863,2 38,2 %
boční hrana	197,8 2,0 %	566,6 5,6 %	565,6 5,6 %	1 330 13,1 %
<i>součet sloupců</i>	3 968,6 39,2 %	4 517,5 44,7 %	1 631,3 16,1 %	10 117,4 100 %

Tab. 4: Chybová matice metod klasifikací obvodových hran *na základě délky hran – délka uváděna v km. V řádku výsledky postupů vytvořených v rámci této práce, ve sloupci výsledky klasifikace za použití DMR (autor J. Lysák).*

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě vyhotovených matic byly rozlišeny tři typy situací:

- shoda obou metod (zvýrazněné hodnoty na diagonále obou matic),
- méně závažná chyba – jedna metoda vyhodnotila hranu jako horní nebo dolní a druhá metoda jako boční,
- závažná chyba – hrana jednou metodou vyhodnocena jako horní a druhou metodou jako dolní.

Počty a relativní zastoupení uvedených typů situací jsou uvedeny v tabulce č. 5.

	na základě počtu hran		na základě délky hran	
	počet hran	relativní zastoupení [%]	délka hran [km]	relativní zastoupení [%]
shoda metod	556 530	68,9	73 784,4	72,9
méně závažné chyby	169 457	21,0	1 830,1	18,1
závažné chyby	81 543	10,1	908,1	9,0

Tab. 5: Vyhodnocení shody použitých metod pro klasifikaci obvodových hran.

Zdroj: vlastní zpracování.

Použité metody se shodují přibližně v 70 % případů (shoda je lepší, pokud je měřena na základě délky hran) a k závažným chybám dochází maximálně v 10 % případů. Výsledná klasifikace obvodových hran vznikla kombinací obou metod dle následujících pravidel:

1. V případě shody obou metod je hrana označena jako daný typ hrany.
2. V případě méně závažných chyb (záměna horní hrany za boční nebo dolní hrany za boční) byla linie označena vždy jako horní nebo dolní.
3. V případě závažných chyb (záměna horní a dolní hrany) byla hrana označena jako sporná.

	klasifikace pomocí DMR		
	horní hrana	dolní hrana	boční hrana
horní hrana	horní hrana	sporná hrana	horní hrana
dolní hrana	sporná hrana	dolní hrana	dolní hrana
boční hrana	horní hrana	dolní hrana	boční hrana

Tab. 6: Pravidla pro výslednou klasifikaci obvodových hran. V řádku výsledky postupů vytvořených v rámci této práce, ve sloupci výsledky klasifikace za použití DMR (autor J. Lysák).

Zdroj: vlastní zpracování

Vytvořená pravidla pro klasifikaci hran v konkrétních typech případů jsou uvedena v tabulce č. 6

Na základě uvedených pravidel byla tedy provedena finální klasifikace obvodových hran polygonů. Počty a délky jednotlivých typů hran včetně relativního zastoupení jsou uvedeny v následující tabulce (tabulka č. 7).

	počet hran	relativní zastoupení [%]	délka hran [km]	relativní zastoupení [%]
horní hrana	364 620	45,2	4 424,2	43,7
dolní hrana	307 307	38,1	4 218,7	41,7
boční hrana	54 060	6,7	565,6	5,6
sporná hrana	81 543	10,1	908,9	8,9
celkem	807 530	100	10 117,4	100

Tab. 7: Počty a délky jednotlivých typů hran dle finální klasifikace.

Zdroj: vlastní zpracování.

4.3.5 Diskuze výsledků

Cílem této části byla klasifikace obvodových hran. K uvedenému cíli byly použity dva základní přístupy – přístup využívající geometrii dolních a horních linií (postupy vytvořené v rámci této práce) a přístup využívající digitální model reliéfu (autorem J. Lysák). Výsledná klasifikace vznikla kombinací uvedených přístupů.

Uvedené cíle byly v zásadě naplněny. Oba přístupy se v rámci klasifikace shodují v cca 70 % případů a zásadně se odlišují v cca 10 % případů. Na základě těchto hodnot se klasifikace jeví poměrně úspěšně. I přes uvedené naráží oba přístupy na určité limity.

Přístupy využívající geometrie dolních a horních linií jsou ovlivněny charakterem rozmístění dolních a horních linií v rámci polygonu. Jedním z hlavních problémů jsou relativně často chybějící dolní linie. V některých polygonech chybí dolní linie úplně, přičemž v těchto případech pak využitý postup není schopen identifikovat dolní hranu, ačkoliv se v daném polygonu reálně vyskytuje. Dále nastávají situace kdy jsou dolní linie rozmístěny nepravidelně v rámci polygonu a v určitých částech se nevyskytují. V těchto situacích je pak dolní hrana v daném polygonu tvořena větším množstvím kratších nepropojených úseků. Tento problém je pak částečně vyřešen uvedeným způsobem úpravy klasifikace (viz 4.3.4) a také využitím směru spádu, které tímto problémem netrpí.

Identifikace horních obvodových hran je při použití postupů založených na geometrii dolních a horních linií mírně úspěšnější než v případě dolních hran. To je dáno hlavně tím, že lze k jejich identifikaci využít obou typů linií – jak horních tak dolních. Z toho vyplývá, že případné nedostatky dané absencí či nerovnoměrným rozmístěním dolních linií jsou určitým způsobem kompenzovány využitím horních linií.

Určitý problém nastává u bočních hran. Ty nejsou v rámci těchto postupů přímo identifikovány a jedná se o hrany, které nebyly určeny ani jako horní ani jako dolní hrany. V ideálním případě, kdy by byly postupy pro identifikaci horních a dolních hran 100% spolehlivé, by mezi zbylými hranami nebyly žádné horní ani dolní hrany. Jelikož tomu tak ale není, jsou mezi neurčenými hranami jak neurčené horní hrany, tak neurčené dolní hrany. Obdobně je při identifikaci horních a dolních hran chybně označeno určité množství hran, které nejsou ani horními ani dolními hranami. Typicky se jedná o hrany na boku polygonů, které většinou spojují horní a dolní hrany.

Postup založený na DMR je ovlivněn hlavně nesouladem DMR interpolovaného z vrstevnic a vymezením ploch skalních útvarů. Uvnitř skalních útvarů totiž vrstevnice nejsou. To nepředstavuje závažný problém u malých polygonů, ale u plošně rozsáhlých polygonů to vede k nesprávné interpolaci, z čehož plyne chybná klasifikace hran v takových případech. Otázkou je dále volba rozlišení použitého DMR. Použité rozlišení 5 m se jeví jako relativně vhodné pro daný účel. S větším rozlišením by mohlo dojít k tomu, že by se obecný trend (průběh horní hrany) ztratí v detailu.

U hran klasifikovaných jako sporné nebyla na základě přibližně 100 náhodně vybraných polygonů nalezena určitá převládající příčina. V některých případech dochází k tomu, že jsou dolní linie velmi dlouhé a protínají i horní hranu polygonu. Tyto hrany jsou postupy založe-

nými na geometrii dolních a horních linií vyhodnoceny nesprávně jako dolní hrany, přičemž postupem založeným na DMR pak správně jako hrany horní. V těchto situacích dochází tedy ke sporu a hrana je vyhodnocena jako problematická. Těchto případů bylo však relativně málo, ve většině nalezených případů byla chyba v klasifikaci u postupu využívajícího DMR. Toto je dáno pravděpodobně výše zmíněným problémem v nesouladu DMR interpolovaného z vrstevnic a vymezením ploch skalních útvarů. Případně to může být částečně ovlivněno zvoleným rozlišením DMR, resp. velikostí okolí.

Na základě prohlédnutých objektů se výsledná klasifikace jeví poměrně úspěšně. Oba přístupy narazí v některých případech na své limity, ale jejich kombinací získáváme poměrně úspěšný výsledek.

4.4 Kontrola logické správnosti polygonů

Cílem této závěrečné kapitoly praktické části práce je provést logickou kontrolu polygonů jako celků. V rámci této kontroly je každý polygon kontrolován, zdali je logicky správný, tj. jeho klasifikované dílčí části tvoří konzistentní celek, resp. že daný polygon obsahuje takové části, které by měl mít.

Protože každý skalní útvar, který není úplně horizontální, má horní a dolní část, i každý polygon by měl teoreticky mít určitou **horní a dolní část**. Horní a dolní části polygonů mohou být reprezentovány různými objekty, jejichž identifikace tvořila hlavní náplň praktické části práce.

Horní část polygonu může být tvořena objekty:

- horní obvodová hrana polygonu,
- liniová hřbetnice
- hřbetnice charakteru bodového objektu.

Dolní část polygonu může být tvořena objekty:

- dolní obvodová hrana polygonu,
- údolnice.

Kromě výše uvedených objektů reprezentujících jednoznačně horní nebo dolní část polygonu jsou zde ještě další objekty, u nichž není příslušnost k uvedeným dvěma částem polygonů úplně jednoznačná. Jedná se o objekty:

- vnitřní lomová hrana,
- boční (neurčená) obvodová hrana polygonu,
- sporná obvodová hrana polygonu.

Vnitřní lomové hrany lze chápat jako objekty náležící k oběma částem – jak k horní, tak k dolní části polygonu. Na jedné straně na nich totiž šrafy končí, ale na druhé začínají. Zbylé dva typy obvodových hran jsou na základě jejich charakteru chápány jako zvláštní objekty nepatřící ani k horní ani k dolní části.

4.4.1 Výpočet statistik

Aby bylo možné provést kontrolu polygonů, bylo nutné vypočítat pro každý polygon několik statistik. Pro každý polygon bylo nutné vypočítat počty a délky jednotlivých objektů uvedených výše. Konkrétně byly vypočítány délky a počty těchto objektů:

1. horní obvodová hrana polygonu,
2. liniová hřbetnice,
3. hřbetnice charakteru bodového objektu,
4. dolní obvodová hrana polygonu,
5. údolnice,
6. vnitřní lomová hrana,
7. boční (neurčená) obvodová hrana polygonu,
8. sporná obvodová hrana polygonu.

Počet je ve všech případech chápán jako počet polylinií (ne jednotlivých úseček). Délka je v případě hřbetnic charakteru bodového objektu pro účely výpočtu určena fixně na 1 m.

Postup pro výpočet počtu a délek je poměrně jednoduchý. V první fázi jsou všechny objekty propojeny v delší segmenty (pomocí funkce **Dissolve** dle identifikátoru polygonu a následně pomocí funkce **Multipart to Singlepart**). Následně je vrstva polygonů pomocí funkce **Spatial Join** propojena postupně s jednotlivými typy objektů, čímž je určen vždy počet příslušných objektů v rámci daného polygonu.

Dále je ke všem typům objektů vypočítána jejich délka (pomocí **Add Geometry Attributes**). Na objekty s atributem obsahujícím údaj o délce je použita funkce **Dissolve** pomocí identifikátoru polygonu, přičemž je pro každý typ objektu sečtena délka v rámci daného polygonu (pomocí parametru **statistic field**). Tyto vrstvy s údajem o délce daného typu objektu v jednotlivých polygonech jsou následně pomocí funkce **Join** připojeny k vrstvě polygonů, které už mají informaci o počtech jednotlivých objektů.

Na závěr byla pro každý polygon vypočtena celková délka horní a dolní části. **Délka horní části** byla pro každý polygon určena jako součet:

- délky horních obvodových hran,
- dvojnásobku délky liniových hřbetnic (jedná se o oboustrannou horní hranu),
- „délky“ hřbetnic charakteru bodového objektu (délka v metrech odpovídá počtu hřbetnic charakteru bodového objektu),
- délky vnitřních lomových hran.

Délka dolní části byla pro každý polygon určena jako součet:

- délky dolních obvodových hran,
- dvojnásobku délky údolnic (dolní hrana na obě strany),
- délky vnitřních lomových hran.

Na základě výše popsaných statistik je následně provedena právě závěrečná kontrola polygonů.

4.4.2 Vyhodnocení polygonů na základě počtu jednotlivých objektů

Aby byl daný polygon vyhodnocen jako logicky správný, musí mít horní i dolní část – tzn. musí obsahovat vždy minimálně jeden objekt reprezentující horní část a minimálně jeden objekt tvořící dolní část (viz výše). Pokud má daný polygon potřebné části a navíc obsahuje spornou hranu, tak je vyhodnocen jako logicky správný, avšak je speciálně označen, jelikož existence sporné hrany může indikovat určitý problém a jedním z cílů práce je i zjistit počet těchto problémů.

Z celkového počtu 39 852 polygonů bylo 35 739 vyhodnoceno jako logicky správných (tj. majících horní a dolní část). Logicky správných polygonů je tedy necelých 90 %.

Po vyhodnocení logické správnosti polygonů byly hledány tzv. **jednoduché polygony**. Jednoduchými polygony se pro účely této práce rozumí polygony mající právě jednu horní a jednu dolní obvodovou hranu a maximálně dvě boční hrany. U těchto polygonů lze na základě existujících výsledků (viz Lysák 2016a, Lysák 2016b) očekávat velmi vysokou míru úspěšnosti při automatizované tvorbě šraf. Těchto jednoduchých polygonů bylo nalezeno celkem 22 484 (56 % polygonů).

Dále byly hledány **komplikované polygony**, kde lze naopak předpokládat spíše nižší úspěšnost automatické tvorby šraf. Komplikovanými polygony se pro účely této práce rozumí polygony, které mají:

- alespoň dvě horní hrany,
- alespoň dvě dolní hrany,
- libovolný počet bočních hran,
- alespoň dva vnitřní objekty (hřbetnice, údolnice, lomové hrany),
 - z toho minimálně jedna údolnice nebo hřbetnice (vnitřních lomových hran může být v polygonu velké množství, což ale nemusí nutně znamenat, že je daný polygon komplikovaný).

Kritéria pro komplikované polygony byly určeny na základě konkrétních nalezených objektů. Je zřejmé, že změnou kritérií se může poměrně výrazně měnit počet nalezených polygonů. Avšak smyslem uvedeného postupu je spíše identifikovat polygony, které mohou být nestandardní. U těchto polygonů by mohlo stát za zvážení, zda by nebylo vhodné je rozdělit na několik částí, které by byly jednodušší.

Takto nadefinovaných komplikovaných polygonů bylo nalezeno 219 (0,5 % polygonů).

Po určení jednoduchých a komplikovaných polygonů zbylo 17 149 (43 %) polygonů nepatřících ani do jedné kategorie. Tyto polygony relativně často sestávají ze dvou částí – jedna část se chová jako jednoduchý polygon (jedna dolní a jedna horní hrana) a v další části se nachází vnitřní objekty. Dále je zde relativně dost polygonů, kde výrazně převládá jeden typ obvodových hran a druhý se tam téměř nevyskytuje. Určitými postupy (např. shluková analýza) by bylo možné v rámci této kategorie vyčlenit různé kategorie polygonů a lze předpokládat, že pro určité kategorie by bylo možné generovat šrafy automaticky. Tato shluková analýza by pak ukázala i na četnost výskytu jednotlivých případů a mohla tím tak i stanovit priority z hlediska automatizace tvorby šraf.

4.4.3 Vyhodnocení polygonů na základě poměru délek horních a dolních částí

Dalším způsobem, jak přistoupit ke kategorizaci polygonů, je s využitím poměru délek horní a dolní části daného polygonu. Lze předpokládat, že jednoduché polygony budou mít obě části přibližně stejné dlouhé. Také lze očekávat, že velmi komplikované polygony se v tomto případě projeví výrazným rozdílem délek obou částí.

Tímto způsobem byly hledány potenciálně problémové polygony jak z hlediska provedené klasifikace, tak z hlediska tvorby šraf. Ty byly definovány tak, že délka jedné části představuje více než dvojnásobek části druhé. Těchto polygonů bylo nalezeno celkem 8 434. Z nich bylo 1 273 těch, které byly v předchozím kroku klasifikovány jako jednoduché a 35 z nich

bylo označeno jako komplikované. Zbytek z těchto polygonů nepatří ani do jedné kategorie a představuje již výše zmíněnou skupinu polygonů, kde výrazně převládá jeden typ hran.

Polygony s tímto nesouladem mezi délkou horní a dolní části jsou často polygony, kde se nachází údolnice. Konkrétně jde o případy, kde je vytvořená údolnice relativně krátká a nesouvislá. Kvůli tomuto je pak horní část výrazně delší, čímž vzniká nesoulad. Dále to jsou polygony kruhovitěho tvaru, jejichž okraj je tvořen dolní hranou a vnitřek lomovými hranami. Jelikož jsou vnitřní lomové hrany započítávány jako horní i dolní část, je v takových případech dolní část výrazně delší. Dále souvisí nesoulad často s výskytem sporných hran. Pokud je sporná hrana relativně dlouhá a tvoří velkou část horní nebo dolní hrany, tak opět vzniká nesoulad v délce horní a dolní části. Nesoulad v délce horní a dolní části nemusí vždy znamenat chybu v klasifikaci hran nebo v identifikaci vnitřních objektů, avšak relativně spolehlivě může indikovat určité nedostatky v rámci zpracování daného polygonu.

Shrnutí počtu a podílu jednotlivých nalezených typů polygonů je uvedeno v tabulce č. 8.

	počet	relativní zastoupení [%]
logicky správné polygony	35 739	89,7
polygony s alespoň 1 spornou hranou	15 868	39,8
jednoduché polygony	22 484	56,4
komplikované polygony	219	0,5
ostatní polygony	17 149	43,0
potenciálně problémové polygony (určeny dle poměru délek horní a dolní části)	8 434	21,2
celkem polygonů	39 852	

Tab. 8: Počty a podíly nalezených typů polygonů.
Zdroj: vlastní zpracování

5 Diskuze

Předkládaná práce si klade za cíl odvodit z kartografické reprezentace skalních útvarů určité topografické informace, které by následně mohly umožnit (alespoň ve většině případů) automatickou tvorbu stylizovaných šraf. Na základě dat o reprezentaci skalních útvarů bylo v rámci práce navrženo několik postupů k automatickému získání potřebných topografických informací.

Přístup pro získávání topografické informace z kartografické reprezentace je sám o sobě poměrně netradičním přístupem, který částečně odlišuje práci od jiných děl zabývajících se podobnou tematikou na území Česka (např. Lysák 2016a, Lysák 2016b).

Získávání topografické informace na základě kartografické reprezentace s sebou přináší určitá úskalí, se kterými je nutné počítat. Hlavním úskalím je skutečnost, že kartografická reprezentace skalních útvarů je tvořena s cílem vytvořit co nejlepší grafický výstup a ne data, ze kterých bude možné odvodit přesné topografické informace. Topografická přesnost reprezentace skal je vždy podřízena grafické kvalitě výstupu, což je tedy skutečnost, se kterou bylo potřeba se v rámci této práce vypořádat. I přesto stojí tato práce na předpokladu, že kartografy zachycená informace v podobě stylizovaných šraf není jen fantazií tvůrce, ale určitým způsobem koresponduje s topografickou informací.

Úspěšnost automatické kresby stylizovaných šraf souvisí se složitostí polygonů reprezentujících skalní útvary. Na základě známých výsledků (Lysák 2016a, Lysák 2016b) lze očekávat, že největší úspěšnosti bude dosaženo v tzv. jednoduchých polygonech (tj. polygonech majících jednu horní hranu, jednu dolní hranu a nejvýše dvě boční hrany). Z tohoto důvodu lze podíl těchto jednoduchých polygonů chápat jako určité měřítko úspěšnosti celého počínání. Čím více by bylo jednoduchých polygonů, tím větší část tvorby kartografické reprezentace skalních útvarů by mohla být automatizována. Na základě použitých metod bylo jednoduchých polygonů nalezeno 22 484 z celkového počtu 39 852 polygonů, tj. 56 %. Toto číslo se na první pohled může jevit relativně nízké, avšak jedná se o nejjednodušší možné případy.

Dále lze předpokládat, že mezi polygony, které nejsou ani jednoduché ani komplikované (ty tvoří 43 % všech polygonů), bude určité množství těch, kde půjde kresba šraf provést automaticky. Ke kategorizaci nezařazených polygonů by bylo dále vhodné využít shlukovou analýzu. Tak by bylo možné na základě počtu a délek daných objektů v jednotlivých polygonech nalézt určité vzájemně si podobné skupiny. Z těchto skupin by poté podle četnosti jejich výskytu bylo možné vybrat kategorie, kde by bylo účelné provést podrobnou analýzu pro automatizovanou tvorbu šraf.

Oproti tomu velmi komplikovaných polygonů, bylo nalezeno poměrně málo – jen 219 (0,5 % všech polygonů). U těchto polygonů nebude pravděpodobně automatická tvorba stylizovaných šraf možná a bude nutné šrafy kreslit manuálně. Počet těchto komplikovaných polygonů představuje zároveň minimální množství polygonů, kde bude vyžadován při tvorbě stylizovaných šraf manuální zásah. Lze samozřejmě očekávat, že polygonů vyžadujících při tvorbě reprezentace manuální zásah bude ve výsledku více, jelikož se přesně neví jaké polygony jsou mezi zbývajícími (ani jednoduchými ani komplikovanými). I zde by mohla pomoci aplikace shlukové analýzy a vymezení určitých skupin polygonů.

Otázkou může být zvolená definice komplikovaného polygonu, která není proti jednoduchému polygonu tak jednoznačná. Jednoduché polygony budou ve většině případů v zásadě stejné, kdežto komplikované polygony mohou mít řadu podob a mohou být komplikované z různých příčin. Použitá definice byla zvolena na základě prozkoumání určitého množství objektů.

Jako mírná komplikace pro budoucí automatizaci se jeví výskyt sporných hran, tedy hran, u kterých se použité metody neshodly, jestli je hrana dolní nebo horní. Polygonů obsahujících minimálně jednu spornou hranu bylo nalezeno 15 868, tedy necelých 40 % polygonů. Sporné hrany nelze úplně eliminovat. Jejich výskyt je dán určitými limity metod pro klasifikaci obvodových hran. V případě metod využívajících digitální model reliéfu by bylo možné vyzkoušet použít více různých DMR (například DMR 4G a DMR 5G) a pro každý použitý DMR vyzkoušet různé hodnoty parametru okolí. Výsledná klasifikace by pak byla kombinací všech použitých variant. Stejně tak by v případě klasifikace obvodových hran na základě geometrie horních a dolních linií mohly být využity i data pro měřítko 1 : 25 000. Výsledek klasifikace by byl pak taktéž kombinací výsledků s oběma typy vstupních dat. Existence sporných hran by teoreticky mohla být dána chybou ve vstupních datech, například tím, že by šrafy byly nakresleny opačně – tedy, že by horní symboly byly nakresleny podél dolní hrany a dolní linie by směřovaly nahoru. Tyto chyby by bylo možné zjistit na základě DMR, avšak mezi prohlédnutými polygony se spornou hranou nebyl žádný takový případ objeven.

Výsledky klasifikace lze na základě porovnání dvou použitých postupů hodnotit poměrně úspěšně. Shoda metod se pohybuje okolo 70 %. Porovnáváme-li tuto hodnotu s úspěšností klasifikace v práci Lysáka (2016a), kde byla automatická klasifikace porovnávána s manuálně provedenou klasifikací na 4 modelových územích, je hodnota nižší. V uvedené práci se úspěšnost klasifikace pohybuje v rozmezí 80–87 %, přičemž k automatické klasifikaci byl postup založený na DMR. Hlavním důvodem pro rozdíl v úspěšnosti je pravděpodobně velikost území, které bylo zpracováváno. V rámci této práce jsou zpracovávána data za celé Česko, přičemž v uvedené práci Lysáka (2016a) je zpracováváno jen 9 listů ZM 10.

Obecným problémem postupů k identifikaci objektů vnitřního členění skalního útvaru (hřbetnice, údolnice, vnitřní lomové hrany) je volba konkrétních mezních hodnot pro identifikaci daných objektů. Například při identifikaci hřbetnic bylo nutné zvolit mezní hodnotu pro vzdálenost protisměrných horních linií, aby byly ještě určeny jako reprezentace hřbetnice. Dalším příkladem je volba hodnoty pro rozlišení liniových hřbetnic a hřbetnic charakteru bodového objektu. Volba těchto hodnot byla vždy provedena na základě nalezených konkrétních objektů, což se jeví jako nejlepší možnost v daných situacích. Otázkou může být určitá reprezentativnost objektů na základě kterých byly mezní hodnoty stanoveny. Avšak reprezentativnost těchto objektů je poměrně problematická, a to hlavně ze dvou důvodů. Prvním

důvodem je velké množství vstupních dat. Druhým důvodem je skutečnost, že parametry je nutné stanovit před samotnou identifikací objektů, pro které jsou stanovovány a jejich správnost je možné posoudit vždy až zpětně, což je z důvodu velkého objemu zpracovávaných dat poměrně problematické. K lepším výsledkům by pravděpodobně vedla vždy analýza velkého množství (alespoň tisíce) konkrétních objektů. Takovou analýzu by však bylo nutné provádět manuálně, aby byla posouzena správnost výsledků, což by bylo extrémně časově náročné a zároveň by se tím popíral smysl automatizace.

V případě identifikace údolnic se otázka volby mezních hodnot projevovala ještě výrazněji. K identifikaci údolnic bylo jako první třeba vytvořit geometrii linií, které by mohly následně údolnice potenciálně reprezentovat. Při volbě těchto bylo nutné zvolit jejich délku a posun od dolních linií. Volba délky byla vyřešena tak, že byla délky vytvořených linií proměnlivá dle uspořádání dolních linií v polygonu. Toto řešení bylo v daném případě pravděpodobně nejlepším možným, jelikož konstantní délka by vždy v některých polygonech nebyla správná.

Pro liniové hřbetnice a údolnice byla vytvořena nová geometrická reprezentace. Tato reprezentace není úplně dokonalá. Jedním z problémů je, že některé vytvořené linie jsou výrazněji segmentovány, ačkoliv by měly tvořit spojenou linii. Tato chyba je způsobena jednak samotnými metodami – volba parametrů, identifikace příslušných objektů, tak občasným nestandardním rozmístěním horních a dolních linií v rámci polygonů. Dalším problémem je to, že vzniklé linie nejsou hladké, ale „kostrbaté“ a některé jsou na koncích rozvětvené do krátkých segmentů. Tyto rozvětvené konce by bylo možné odstranit na základě nalezení dvou nejvzdálenějších bodů dané linie, přičemž hřbetnice nebo údolnice by pak vedla po nejkratší cestě mezi nimi. „Kostrbatost“ by bylo možné částečně eliminovat následným použitím vhodného algoritmu pro generalizaci linií (například Douglas-Peucker). Avšak v tuto chvíli nebyly uvedené problémy překážkou na naplnění cílů předkládané práce, a tak nebyly řešeny.

Příčinou uvedených problémů může být ne příliš striktní dodržování zásad při tvorbě kartografické reprezentace skal. Toho, aby byl výstup graficky zdařilý a byly zachovány základní charakteristiky skalního útvaru lze dosáhnout více různými způsoby. Tato různost vede právě ke zmiňovaným komplikacím. Pro zvýšení úspěšnosti odvozování topografické informace by bylo vhodné, kdyby byla kresba stylizovaných šraf prováděna dle striktnějších pravidel.

Určitou překážku při zpracovávání dat představuje jejich samotná velikost. Jelikož bylo pracováno s daty za celé Česko, tak se jedná o relativně velký objem dat, které bylo nutné zpracovat. Velký objem dat vedl k tomu, že celý proces byl poměrně výpočetně náročný, z čehož vyplývá i jeho časová náročnost.

Otázkou by mohlo být, jaká je úspěšnost celého počínání vzhledem k realitě. Aby byla taková úspěšnost určena bylo by nutné provést manuální kontrolu všech objektů, což však z důvodu velkého množství není reálné. Lze alespoň říci, že práce potvrdila, že kartografická reprezentace skalních útvarů nese topografickou informaci, kterou lze využít. Uvedená skutečnost byla ověřena například použitím DMR k výpočtu spádu krajních bodů obvodových linií.

Problematické je v případě této práce i porovnání výsledků s výsledky jiných autorů. Jelikož je práce svým zaměřením poměrně specifická, tak neexistuje rozsáhlejší literatura, se kterou by bylo možné výsledky porovnat. Podle dostupných informací totiž s kartografickými reprezentacemi skal v tomto rozsahu a za podobným účelem dosud nikdo nepracoval. Tato

skutečnost se pak odráží v relativně malém množství použité literatury.

Celkové výsledky práce lze hodnotit poměrně úspěšně. Na základě použitých postupů bylo ověřeno, že kartografická reprezentace skalních útvarů skutečně nese určitou topografickou informaci, kterou lze dále využít. Podíl nalezených jednoduchých polygonů zároveň ukazuje, že automatizace má v této oblasti určitý smysl a je přínosné se jejími možnostmi zabývat.

6 Závěr

Hlavním cílem práce bylo navrhnout postupy pro automatické získávání topografické informace z kartografické reprezentace skal. K naplnění cílů bylo nutné se podrobně seznámit s metodou znázorňování skal využívanou Zeměměřickým úřadem a následně porozumět datům obsahujícím geometrii pro tvorbu kartografické reprezentace skal. Stěžejní část práce je věnována návrhu postupů pro klasifikaci obvodových hran polygonů, dále pak pro identifikaci hřbetnic, údolnic a vnitřních lomových hran. Uvedené postupy byly vždy aplikovány na data o skalních útvarech na území Česka, na nichž byly taktéž testovány. Jednotlivé postupy jsou v dílčích kapitolách přímo diskutovány. Poslední část praktické části se zabývá kontrolou logické správnosti polygonů jako celků, přičemž na základě této kontroly jsou vyvozeny určité závěry, které jsou následně diskutovány.

Práce přináší poměrně netradiční pohled na problematiku znázorňování skal na mapách v době digitální kartografie. Na základě práce se ukazuje, že vytvořená reprezentace skalních útvarů nese určité topografické informace, které lze využít k získávání topografických informací. Zároveň lze na základě výsledků říci, že snaha o automatizaci má v této oblasti smysl. Práce svým zaměřením zapadá do kontextu současného výzkumu na poli digitální kartografie, který je zaměřen na zkoumání možností automatizace tradičních postupů, které nejsou jednoduše algoritmizovatelné.

Použité zdroje

Literatura

DEMEK, J. (1987): Obecná geomorfologie. Academia, Praha.

DOSTÁL, Z., VONDRÁK, V. (2012): Lineární algebra. Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava.

LYSÁK, J. (2015): Digital rock drawing on Czech topographic maps: the current state and historical circumstances. AUC Geographica, 50, 2, 193–199.

LYSÁK, J. (2016a): Topografické mapování skalních útvarů s využitím dat leteckého laserového skenování. Dizertační práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, PřF UK, Praha.

LYSÁK, J. (2016b): An algorithm for automated digital rock drawing in the style used in Czech topographic maps. AUC Geographica, 51, 1, 5–16.

POKOJSKI, W., POKOJSKA P. (2018): Voronoi diagrams – inventor, method, applications. Polish Cartographical Review, 50, 3, 141–150.

Zdroje dat

ČÚZK (2018): Základní mapa ČR 1:10 000 [online]. Dostupné z URL: <https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=486> (cit. 4. 8. 2020).

ČÚZK (2019): Data10. Mapový podklad ©Český úřad zeměměřický a katastrální. www.cuzk.cz.

Přílohy

Obsah CD

Veškeré přílohy práce jsou umístěny na přiloženém CD, které obsahuje tři složky:

- /skripty – složka obsahující použité skripty v jazyce Python 2.7
 - součástí složky je soubor `skripty_popis.pdf`, který obsahuje stručný popis přiložených skriptů
- /data – složka obsahující vybraná odvozená data, včetně ukázky vstupních dat v rozsahu dvou polygonů
 - součástí složky je soubor `data_popis.pdf`, který obsahuje stručný popis přiložených datových souborů
- /text – složka obsahující text práce v elektronické verzi ve formátu *.pdf*