

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Bc. Markéta ŽURAVSKÁ

ANALÝZA SKALNÍCH ŠRAF VYTVOŘENÝCH ŽEBŘÍČKOVOU MANÝROU

**ANALYSIS OF ROCK HACHURES DRAWN USING LADDER STYLE
REPRESENTATION**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jakub Lysák, Ph.D.

Praha 2022

Prohlášení

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

V Praze dne 28. 7. 2022

.....
Markéta Žuravská

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své diplomové práce RNDr. Jakubu Lysákovi, Ph.D. za odborné vedení při psaní práce, velkou ochotu a mnoho času věnovaného konzultacím, a především revizím textu. Dále bych chtěla poděkovat svým nejbližším, kteří mi byli oporou při zpracování závěrečné práce i v průběhu celého studia.

Abstrakt

Práce se zabývá analýzou kresby skalních šraf vytvořených žebříčkovou manýrou v českém státním mapovém díle (SMD), konkrétně na posledním vydání analogové ZM 10. Proto je smyslem této práce na základě mnoha konkrétních použití metody v mapách určit četnost výskytu variant kresby žebříčkové manýry a její případné prostorové souvislosti za účelem budoucí automatizace jejich digitální tvorby využitelné například v novém SMD. Pomocí shlukové analýzy provedené na základě výpočtu příznaků představujících geometrické charakteristiky kresby skal bylo klasifikováno celkem 11 shluků, které představují odlišné styly kresby skal. Tento výsledek představuje exaktní potvrzení hypotézy tradované v odborné literatuře, že kresba skal je na mapových listech SMD nejednotná. Následně je vybrán takový styl kresby skal, který nejlépe odpovídá specifikaci žebříčkové manýry z literatury a který je nejvíce zastoupený. Pro tyto vybrané styly kresby skal jsou dále popsány a diskutovány jejich charakteristiky. Výstupem práce je nakonec určení takového stylu kresby skal, který dává smysl dále detailně analyzovat pro účely automatizace.

Klíčová slova: skalní šrafy, žebříčková manýra, znázorňování skal, výškopis

Abstract

The thesis deals with the analysis of the drawing of rock hatches created in a ladder style representation on the Czech state map series (SMD), specifically on the last edition of the analogue ZM 10. Therefore, the purpose of this thesis is to, on the basis of many specific uses of this method in maps, determine the frequency of occurrence of variants of the ladder style drawing and its possible spatial context for the purpose of future automation of their digital creation usable, for example, in the new SMD. A total of 11 clusters representing different styles of rock drawing were classified using a cluster analysis based on the calculation of features representing the geometric characteristics of the drawing of the rock. This result represents an exact confirmation of the hypothesis presented in the scientific literature that the drawing of the rocks is not uniform on the map sheets of the SMD. Subsequently, a style of rock drawing which best corresponds to the specification of the ladder style representation from the literature and which is the most represented, is selected. The characteristics of these selected rock drawing styles are further described and discussed. Ultimately, the output of this thesis is the determination of such a style of rock drawing, which makes sense to further analyse in detail for the purposes of automation.

Key words: rock hachures, ladder style representation, cliff drawing, hypsography

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	6
SEZNAM OBRÁZKŮ	7
SEZNAM TABULEK	9
1 ÚVOD	10
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1 Žebříčková manýra	12
2.1.1 Obecná pravidla pro kresbu skal pomocí žebříčkové manýry.....	13
2.1.2 Původní produkční příklady žebříčkové manýry	15
2.1.3 Popis metody žebříčkové manýry v širších souvislostech	17
2.2 Shluková analýza	22
2.3 Teorie k vybraným metodám pro výpočet příznaků	25
2.3.1 Dilatace a eroze	25
2.3.2 Medial axis.....	26
2.3.3 Orientace ke světovým stranám.....	26
3 METODIKA.....	28
3.1 Zdroje dat	28
3.2 Příprava dat	30
3.3 Příznaky pro klasifikaci kresby skal.....	36
3.4 Výběr vhodných polygonů pro analýzu kresby skal	41
3.5 Vybrané příznaky pro klasifikaci kresby skal	43
3.6 Výpočet shlukové analýzy	45
3.7 Prostorové analýzy	48
4 VÝSLEDKY.....	50
4.1 Výsledná vrstva polygonů skalních útvarů použitá pro analýzu.....	50
4.2 Výsledky shlukové analýzy	53
4.3 Prostorová analýza výsledků	65
4.4 Časová náročnost výpočtů	70
5 DISKUZE	71
6 ZÁVĚR	86
POUŽITÉ ZDROJE.....	89
PŘÍLOHY	92

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CPU	Central Processing Unit
ČGS	Česká geologická společnost
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
GLCM	Grey Level Cooccurrence Matrix
RAM	Random Access Memory
TM	topografické mapy
ZM	základní mapy
ZÚ	Zeměměřický úřad

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Ukázka kresby žebříčkové manýry	13
Obrázek 2: Vyznačení komponent kresby žebříčkové manýry.....	14
Obrázek 3: Příklad kresby skal v pískovcovém skalním městě.....	15
Obrázek 4: Ukázka tiráže TM 10.....	16
Obrázek 5: Příklady nedostatků kresby skal pomocí žebříčkové manýry.	17
Obrázek 6: Rozdílná kresba skály na spojení dvou mapových listů a porušení pravidla zužování spádnic na osvětlené straně směrem dolů.	19
Obrázek 7: Ukázka nejednotnosti kresby skal pomocí žebříčkové manýry na ZM 10.	19
Obrázek 8: Ukázka digitálního zpracování kresby skal pomocí metody Zeměměřického úřadu.....	20
Obrázek 9: Ukázka zpracování kresby skal v Atlasu krajiny Slovenskej republiky.....	21
Obrázek 10: Ukázka aplikace automatizované kresby skal pomocí žebříčkové manýry.....	22
Obrázek 11: Ukázka dendrogramu.....	25
Obrázek 12: Aplikace dilatace a eroze.	25
Obrázek 13: Ukázka vstupních dat.	29
Obrázek 14: Ukázka pomocné polygonové sítě pro zpracování vstupních dat.....	31
Obrázek 15: Ukázka polygonové vrstvy objektů.	33
Obrázek 16: Ukázka polygonové vrstvy šraf.....	33
Obrázek 17: Odstranění malých částí kresby.	34
Obrázek 18: Ukázka Voroného diagramů.....	34
Obrázek 19: Ukázka nalezení medial axis pomocí Voroného diagramů.	35
Obrázek 20: Ukázka výsledné vrstvy středových linií pro celý polygon skály.	35
Obrázek 21: Ukázka k výpočtu pokreslení šrafi na celkové ploše polygonu.	37
Obrázek 22: Úprava plochy, ke které je vztahován výpočet dilatace.	38
Obrázek 23: Ukázka aplikace eroze na různé styly kresby skal.	39
Obrázek 24: Ukázka prostorové neshody polygonů skalních útvarů a kresby skal na rastrové mapě.	42
Obrázek 25: Ukázka polygonu skalního útvaru, který je oproti kresbě šraf na rastrové mapě výrazně posunut a jeho tvar kresbě šrafy velikostně neodpovídá.	42
Obrázek 26: Ukázka dendrogramu pro testovou sadu 100 polygonů.....	46
Obrázek 27: Ukázka grafu výpočtu parametru J.	47
Obrázek 28: Ukázka reklasifikovaných geologických jednotek na území ČR.	49
Obrázek 29: Ukázka boxplotu a histogramu pro příznak dilatace.....	51
Obrázek 30: Grafy závislosti průměrné orientace na erozi.	53
Obrázek 31: Boxploty příznaků dle jednotlivých tříd klasifikovaných při hledání optimálního počtu shluků.	57

Obrázek 32: Boxploty příznaků dle jednotlivých tříd klasifikovaných Multivariate Clustering.	60
Obrázek 33: Ukázky reprezentativních polygonů náležejících jednotlivým shlukům.	62
Obrázek 34: Ukázka problému s vektorizací skalních útvarů v pískovcových oblastech.	64
Obrázek 35: Analýza prostorového zastoupení shluků v jednotlivých mapových listech TM 10 dle náhodného přiřazení.	66
Obrázek 36: Analýza prostorového zastoupení shluků v jednotlivých geologických jednotkách dle náhodného přiřazení.	69
Obrázek 37: Ukázka polygonu s kresbou šraf a polygonů obsahujících vrstevnice.	74
Obrázek 38: Příklad polygonů s malou rozlohou.	75
Obrázek 39: Ukázky polygonů z nejčastěji zastoupeného shluku 11.	79
Obrázek 40: Ukázky polygonů z nejčastěji zastoupeného shluku 2.	80
Obrázek 41: Ukázky polygonů z nejčastěji zastoupeného shluku 7.	80

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Seznam získaných znakových klíčů, ve kterých se používá žebříčková manýra.	16
Tabulka 2: Výhody a nevýhody kresby skal pomocí žebříčkové metody.	18
Tabulka 3: Objekty na rastrové mapě zasahující do plochy skalních útvarů a k nim odpovídající barvy.	36
Tabulka 4: Výpočet příznaků na základě analýzy 8okolí pixelu.	40
Tabulka 5: Korelační tabulka.	43
Tabulka 6: Provedené normalizace u jednotlivých příznaků.	45
Tabulka 7: Korelace orientace s ostatními příznaky.	45
Tabulka 8: Počty odstraněných polygonů ze vstupní vrstvy v jednotlivých krocích zpracování dat.	51
Tabulka 9: Intervaly hodnot jednotlivých příznaků ponechaných pro výpočet shlukové analýzy.	52
Tabulka 10: Průměrná hodnota eroze a počet polygonů v jednotlivých intervalech orientace.	53
Tabulka 11: Počty polygonů v jednotlivých shlucích.	54
Tabulka 12: Výpočet těžiště tříd z klasifikace při hledání optimálního počtu shluků.	55
Tabulka 13: Výpočet rozptylu tříd z klasifikace při hledání optimálního počtu shluků.	55
Tabulka 14: Výpočet těžiště tříd z klasifikace pomocí funkce Multivariate Clustering.	58
Tabulka 15: Výpočet rozptylu tříd z klasifikace pomocí funkce Multivariate Clustering.	58
Tabulka 16: Počet polygonů ve shlucích 2 a 7 dle průměrné orientace.	63
Tabulka 17: Průměrný počet polygonů v mapovém listu dle podílu nejčastěji zastoupeného shluku.	65
Tabulka 18: Statistické zhodnocení podílu převažujícího typu shluku v mapových listech TM 10.	67
Tabulka 19: Nejčastěji zastoupené typy shluků dle typů hornin.	68
Tabulka 20: Počty polygonů jednotlivých shluků v daných typech hornin.	69
Tabulka 21: Porovnání hodnot příznaků u polygonů obsahujících vrstevnice s polygonem obsahujícím šrafy.	74
Tabulka 22: Kontingenční tabulka pro porovnání klasifikace pomocí algoritmu a vlastní klasifikace na základě intuitivního vnímání podobnosti.	78

1 ÚVOD

Skály představují v krajině významný prvek, který často plní orientační funkci. Z tohoto důvodu je znázornění skal důležité také na mapách. V kartografii je však zakreslování skal do map obtížné, a to z důvodu jejich převládajícího vertikálního rozměru. K tomu je ještě nutné poznamenat, že skalní terén je často velmi členitý, což výsledné znázornění na mapách ještě více ztěžuje (Čapek 1973, s. 1).

Z historického pohledu na kartografii je patrné, že kartografové vymysleli mnoho způsobů reprezentace skalního terénu na mapách. Jedním z nich je znázornění skal pomocí šraf. Jedná se o skalní (též fyziografické) šrafy, které se používají pro znázornění objektů mikroreliefu (Lysák 2016). V kartografických učebnicích jsou uvedeny nejčastěji dvě metody založené na znázornění skal pomocí šraf, a to švýcarská metoda a žebříčková manýra. Švýcarská metoda byla vyvinuta primárně pro znázornění velehorského terénu a spočívá v kombinaci skalních šraf s vrstevnicemi a stínováním (Čapek 1992, s. 165). Tato metoda je typická pro švýcarské, resp. západoevropské mapy.

Naopak žebříčková manýra, které se věnuje tato práce, je oproti švýcarské metodě z hlediska konstrukce jednodušší, ale trpí určitými nevýhodami (Lysák 2016). Co se týká tvorby tohoto způsobu znázornění skal, ač je deklarováno, že jde o standard, v oficiálních zdrojích, jako jsou například instrukce pro tvorbu základních (ZM) a topografických map (TM), jsou o něm k dispozici pouze kusé a obecné informace, jak kresbu tvořit. To představuje i v dnešní době určitou nevýhodu, protože bez detailních pravidel je obtížné postup algoritmizovat a automatizovat, a dělá se dosud ručně.

Cílem práce je tedy analyzovat kresbu skalních šraf vytvořených žebříčkovou manýrou v českém státním mapovém díle. Jednou z nevýhod, která je zmiňována v souvislosti s touto metodou, je nejednotnost jejího používání, což se jeví jako logický důsledek absence exaktních pravidel. Ta je ovšem v pracích, které se této problematice věnují (Čapek 1973, Lysák 2016)

ilustrována pouze na několika ukázkách. Logickým krokem pro analýzu je tedy tuto hypotézu potvrdit nebo zamítnout. Proto je hlavním cílem práce určit na základě mnoha konkrétních použití metody v mapách četnost výskytu variant kresby žebříčkové manýry. Pokud se nejednotnost kresby potvrdí, bude vybrán takový styl kresby, který:

1. nejlépe odpovídá specifikaci žebříčkové manýry z literatury,
2. je nejvíce zastoupený.

Pro tyto vybrané styly kresby budou následně popsány jejich charakteristiky a případné prostorové souvislosti. Výstupem práce je nakonec určení takového stylu kresby, který dává smysl dále detailně analyzovat pro účely automatizace.

V rámci analýzy prostorových souvislostí stylů kresby jsou testovány dvě hypotézy. Jedná se o hypotézu o jednotnosti mapových listů TM 10 z hlediska použitých stylů kresby, kdy lze v rámci jednoho listu TM 10 (s ohledem na jednoho nebo několik málo autorů) očekávat konzistenci stylu kresby. Duhou hypotézou je ověření předpokladu, zda kresba skal nějak souvisí s typem horniny.

Práce je členěna do tří větších celků – teoretické, metodické a aplikační části. V rámci teoretické části jsou shrnuty dostupné zdroje popisující metodu žebříčkové manýry, dále je obecně popsána metoda shlukové analýzy a vybrané metody pro výpočet příznaků. Stěžejní částí práce je metodická část, která detailně popisuje postup analýzy kresby skalních šraf i následnou prostorovou analýzu výsledků. Všechny výsledky jsou uvedeny, popsány a diskutovány v poslední aplikační části.

2 TEORETICKÁ ČÁST

Protože si tato práce klade za cíl analyzovat kresbu skalních šraf vytvořených žebříčkovou manýrou v českém státním mapovém díle a potvrdit či zamítnout hypotézu o nejednotnosti její kresby, je v teoretické části nejprve uvedena rešerše všech dostupných zdrojů informací o této metodě a jejích produkčních příkladech.

Druhá část této kapitoly se následně zabývá analýzou podobnosti, resp. texturálními příznaky a metodami pro matematický popis struktur v obraze, které je možné použít pro analýzu kresby skal na mapách.

Nakonec jsou v poslední podkapitole teoretické části uvedeny metody shlukové analýzy, pomocí nichž je v rámci praktické části této práce hledána podobnost mezi jednotlivými příklady kresby žebříčkové manýry.

2.1 Žebříčková manýra

K metodě žebříčkové manýry je poměrně nedostatek zdrojů. Autorce známé zdroje se dají rozdělit do tří skupin. První skupinou jsou české odborné práce na toto téma. Poměrně podrobný popis žebříčkové manýry uvádí Kavan (1955). Dále se žebříčkové manýře věnuje především rigorózní práce R. Čapka (1973), učebnice Geografická kartografie (Čapek a kol. 1992) a dizertační práce J. Lysáka (2016).

Druhou skupinou je sovětská literatura. Ta je zařazena s ohledem na původ vzniku metody žebříčkové manýry a ve snaze dostat se v rešerši k původní odborné literatuře týkající se této metody. Jde o články Fedosejeva (1961), Galkina a Losojakova (1969), Koldajeva (1958), Sidělnikova (1959) a Švědkikova (1967), které ve své práci zmiňuje také Čapek (1973). Do této skupiny patří též ruská učebnice PGUAS (2015), ve které se také jedna kapitola věnuje znázorňování skal.

Poslední významnou skupinou zdrojů jsou mapové klíče a k nim instrukce pro mapování. Analyzovány byly znakové klíče vojenských i civilních map.

Z těchto výše uvedených zdrojů vychází i následující podkapitoly o metodě žebříčkové manýry, ve kterých jsou nejprve popsána obecná pravidla pro kresbu skal pomocí žebříčkové manýry, následně jsou uvedeny produkční příklady použití této metody, a nakonec také výhody a nevýhody použití žebříčkové manýry.

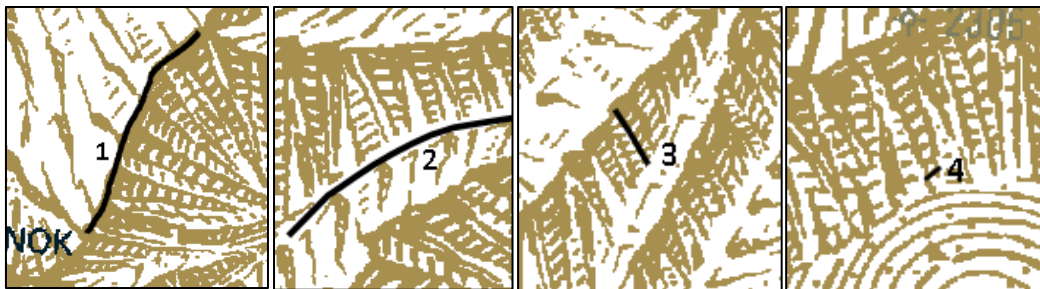
2.1.1 Obecná pravidla pro kresbu skal pomocí žebříčkové manýry

Obecná pravidla pro kresbu žebříčkové manýry na československých topografických mapách uvádí Kavan (1955). Jde o nejstarší český zdroj týkající se žebříčkové manýry, který se podařilo dohledat. Postup kresby je následující. Nejdříve je nakreslen dvojitou čarou hlavní hřbet a tvarovými čarami je naznačeno jeho stoupání či klesání, sedla a vrcholy. Dále se kreslí postranní hřbety, které již nejsou prokresleny tvarovými čarami, ale pouze spádovou čarou. Po vykreslení této konstrukce se přikročí ke stínování pod dojmem severozápadního osvětlení, pod kterým jsou stínovány spádové čáry, které se ještě u horní hranice hřbetu zesílí a směrem do údolí se postupně zeslabují. Plošky mezi spádovými čarami se poté horizontálně šrafuje na zastíněných stranách. Od tohoto způsobu šrafování je odvozen název metody, protože jednotlivé horizontální šrafy připomínají „žebříček“ (Čapek 1973, s. 51). Ukázka žebříčkové manýry je zobrazena na obr. 1.



Obrázek 1: Ukázka kresby žebříčkové manýry
Výřez z mapového listu ZM 10 z oblasti Vysokých Tater.
Zdroj: SAŽP (2022).

Na obrázku 2 jsou v detailních výřezech z obrázku 1 vyznačeny jednotlivé komponenty kresby skal pomocí žebříčkové manýry. Hřbetní čára (1), jak již bylo uvedeno výše, představuje horní část kresby skály a kreslí se dvojitou čarou. Oproti tomu údolní čára (2) se do výsledné kresby nekreslí, ale kresba skal u ní v mnoha případech končí. Číslem 3 je označena spádnice, která se konstruuje od hřbetní linie, tzn. od vrcholu skály, ve směru spádu a končí na údolnici nebo na okraji skalního terénu. Spádnice jsou pak spojeny horizontálními šrafami. Horizontální šrafy spolu se spádnicemi tvořícími boky kresby připomínají již zmíněný tvar žebříčku. Na obrázku 2 je pro ilustraci jedna z horizontálních šraf vyznačena pod číslem 4.



Obrázek 2: Vyznačení komponent kresby žebříčkové manýry.
 1 – hřbetnice, 2 – údolnice, 3 – spádnice, 4 – horizontální šrafa.
 Výřezy z mapového listu ZM 10 z oblasti Vysokých Tater; zvětšeno.
 Zdroj: SAŽP (2022).

Celá kresba je stínována pod severozápadním osvětlením (viz obrázek 1 a 2). Spádové čáry se stínují tak, že na osvětlené straně jsou kresleny tenčí čarou než spádnice na zastíněné straně. Přičemž spádnice jsou zpravidla u horní části kresby kresleny tlustší čarou a směrem do údolí se čára zeslabuje. Z obrázku 2 je také patrné, že horizontálními šrafami jsou stínovány především plošky mezi spádnicemi na zastíněných svazích. U horní hranice kresby se horizontální šrafy kreslí tlustší čarou a hustěji, ovšem směrem do údolí se tloušťka čáry zmenšuje a rozestupy mezi šrafami se zvětšují. Osvětlené svahy se šrafují jen minimálně (Lysák 2016).

Specifika kresby dle typu skalního terénu

Výše popsaný postup kresby skal pomocí žebříčkové manýry je použitelný především pro velehorský terén (Lysák 2016). Ovšem analogicky je postupováno i v případě ostatních typů skalního terénu. V případě skalního srázu bez hlavního hřbetu se kreslí spádové čáry od vrcholu skalního srázu.

Specifická je kresba pro pískovcový reliéf, pro který je založena na pytlovitém symbolu. Skalní stěny jsou pak zakresleny umístěním těchto symbolů vedle sebe (Lysák 2016). Příklad je zobrazen na obrázku 3.



Obrázek 3: Příklad kresby skal v pískovcovém skalním městě.

ZM 10, zvětšeno.

Zdroj: ČÚZK (2007).

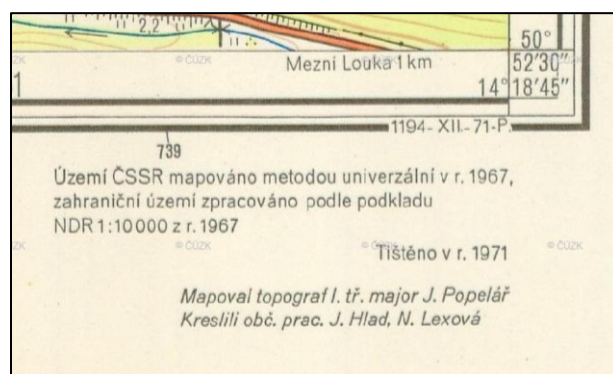
2.1.2 Původní produkční příklady žebříčkové manýry

Podoba žebříčkové manýry na dnešních digitálních mapách vychází ze zpracování předchozích map analogových, které jsou v této kapitole zmíněny ve snaze dostat se k původním zdrojům o této metodě.

Metoda žebříčkové manýry byla vyvinuta v bývalém Sovětském svazu a do českého státního mapového díla se dostala v druhé polovině 50. let 20. století v rámci snahy vytvořit jednotné topografické mapy ve všech státech bývalého východního bloku. Čapek (1973) rozlišuje ještě další metody, které vznikly v bývalém Sovětském svazu rozpracováním žebříčkové manýry. Ty jsou uvedeny v již více citovaných článcích Fedosejeva (1961), Galkina a Losojakova (1969), Koldajeva (1958), Sidělnikova (1959) a Švédčikova (1967) a popisují různá rozpracování metody žebříčkové manýry, nikoliv detailní popis parametrů pro tvorbu skal pomocí této metody.

Žádný z výše uvedených zdrojů tedy nekonkretizuje technické parametry kresby. Ty lze částečně nalézt v ruské učebnici PGUAS (2015). U stínování horizontálními šrafami je uvedena jejich tloušťka a rozestup v horní části kresby u hřbetnice, a to tloušťka čáry 0,3–0,4 mm a interval rozestupu mezi nimi 0,2–0,3 mm. Odpovídající tloušťka a rozestupy při dolní části kresby již uvedeny nejsou, pouze je zde poznamenáno, že se tloušťka horizontálních čar směrem ke spádnicí zmenšuje a rozestupy mezi nimi zvětšují, což je obecné pravidlo při kresbě skal pomocí této metody, které již bylo uvedeno v kapitole 2.1.1.

V českém státním mapovém díle byla žebříčková manýra použita nejprve pro tvorbu vojenských map v rámci topografického mapování celého území státu. Mapování probíhalo od 50. do 70. let 20. století a vznikla řada státních vojenských map, tzv. topografických map (dále jen TM) v měřítku 1 : 10 000 (Lysák 2015). Právě v tomto státním vojenském mapovém díle byla použita metoda žebříčkové manýry s cílem sjednotit topografické mapy států východního bloku, jak již bylo uvedeno výše. Předmětem zkoumání v rámci této práce proto byly znakové klíče těchto vojenských analogových map (viz tabulku 1). Výsledkem je, že se na těchto mapách uvedená metoda ke znázorňování skal sice využívá, ale popsána je zde jen velmi obecně, spíše co se týká jejího využití, a to především v klíči k TM z roku 1959. Na obrázku 4 je pro ukázkou zobrazena tiráž TM 10, kde jsou jmenovitě napsaní autoři TM 10.



Obrázek 4: Ukázka tiráže TM 10.
Zdroj: ČÚZK (2022a).

Následně v 60. letech 20. století přestaly být uvedené topografické mapy aktualizovány a staly se tak podkladem pro civilní mapy, tzv. základní mapy (dále jen ZM) v měřítku 1 : 10 000 (viz tabulku 1). V těchto základních mapách bylo kartografické zobrazení skal z předchozích topografických map zachováno (Lysák 2015). Stejně jako v případě analyzovaných znakových klíčů topografických map, i zde se ve znakových klíčích základních map nenachází detailnější popis žebříčkové manýry, byť se v uvedených mapách využívá.

Typ mapového díla	Rok vydání
TM	1954
TM	1956
TM	1959
TM	1965
TM	1972
ZM	1984
ZM	1985
ZM	1986
ZM	1989
ZM	1993
ZM	1996

Tabulka 1: Seznam získaných znakových klíčů, ve kterých se používá žebříčková manýra.
Zdroj: vlastní tvorba.

2.1.3 Popis metody žebříčkové manýry v širších souvislostech

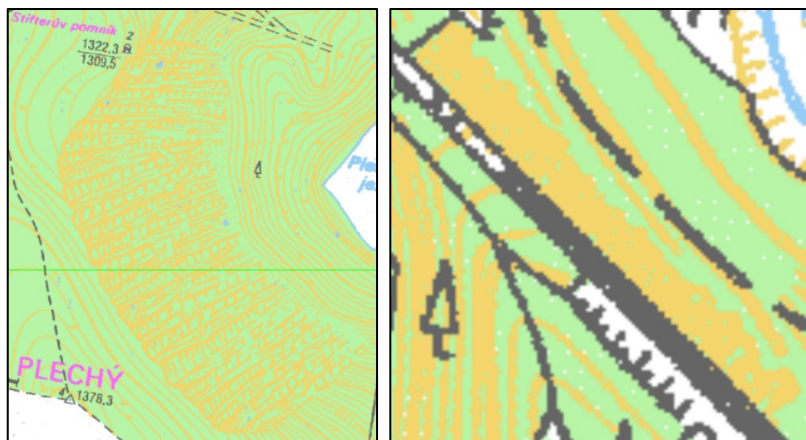
Tato kapitola se věnuje metodě žebříčkové manýry z hlediska jejích výhod a nevýhod při použití v mapách pro kresbu skal. Diskutována je také nejednotnost kresby skal pomocí této metody. Zmíněné nevýhody žebříčkové manýry a nejednotnost kresby následně zapříčiňují problémy s její digitální tvorbou, jenž je v této kapitole také stručně zmíněna, přičemž vychází především z dizertační práce J. Lysáka (2016), která se digitální tvorbou skalních šraf zabývá detailněji.

Výhody a nevýhody metody žebříčkové manýry

Kavan (1955) považuje tuto metodu za jednoduchou, méně pracnou než předchozí způsob zobrazení skal, kterým byl tzv. rakouský způsob používaný v československé kartografii po první světové válce, a pro uživatele mapy čitelnou a názornou. S výhodou v jednoduchosti a menší pracnosti při tvorbě souhlasí také Čapek (1973), který ale na druhou stranu upozorňuje na mnoho nedostatků této metody. Výrazným nedostatkem metody je použití libovolně rozmístěvaných spádnicích spojených horizontálními šrafami, které asociují neexistující hřebítky a hrany v terénu (viz obrázek 5 vlevo). Z tohoto důvodu není metoda žebříčkové manýry dle Čapka (1973) názorná.

Již Čapek (1973) také poukazuje na skutečnost, že znázornění skal na velmi podrobných mapách (zejména na Základní mapě 1 : 10 000) neodpovídá podrobnosti zakreslení ostatních objektů v mapě.

Výraznou nevýhodu této metody je i absence vrstevnic v kresbě skal, což při kombinaci s případným nejasným průběhem hřbetnic, nedokonalým rozčleněním skalního terénu a bez zakreslení správně zvolených doplňkových kót činí potíže uživateli mapy udělat si představu o schůdnosti a vertikálním rozměru skalního terénu (Čapek 1975, Lysák 2016). Příklad je zobrazen na obrázku 5 vlevo.



Obrázek 5: Příklad nedostatků kresby skal pomocí žebříčkové manýry.

Vysvětleno v textu. ZM 10, zvětšeno.

Zdroj: ČÚZK (2007).

Lysák (2016) vidí také hlavní výhodu této metody v její jednoduché konstrukci a poukazuje na relativní přehlednost kresby skal, ovšem v případě vystižení hrubého rozčlenění skalního terénu, jako předchozí autoři dodává, že při použití pro lokální orientaci v terénu je tato metoda nevyhovující z důvodu její přílišné schematičnosti. V neposlední řadě však také poukazuje na nedostatečnost dostupných návodů na tvorbu kresby skal pomocí této metody, protože je jedná o stručné popisy bez přesného návodu. Protože návody neobsahují konkrétní pravidla pro kresbu skal, výsledek záležel vždy na schopnostech a zkušenostech kartografa.

Jedním z technologických problémů při reprodukci kresby skal pomocí této metody je slévání kresby, které pak brání uživateli mapy lokální orientaci v terénu (příklad je uveden na obrázku 5 vpravo).

V tabulce 2 jsou shrnuty zjištěné výhody a nevýhody kresby skal pomocí žebříčkové manýry zjištěné v literatuře. Z této tabulky je patrné, že nevýhod bylo nalezeno mnohem více. Přesto se tato metoda dodnes používá ve státním mapovém díle.

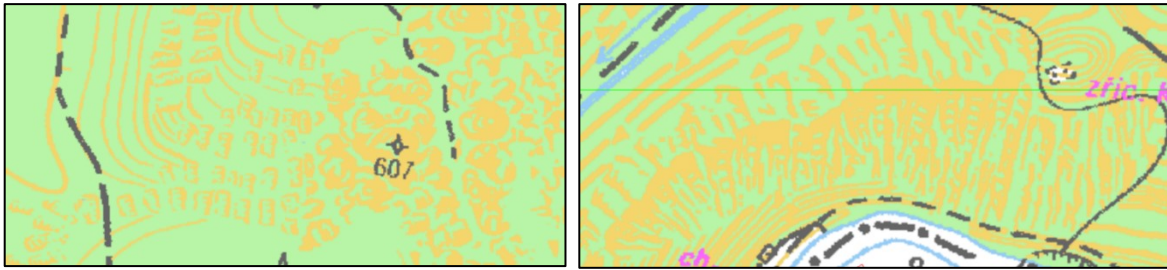
Výhody	Nevýhody
jednoduchost	slévání kresby skal
čitelnost a názornost	libovolně rozmístované spádnice
menší pracnost při tvorbě kresby	neexistující hřbítky a hrany v terénu
	absence vrstevnic
	často bez zakreslení doplňkových kót
	nejasný průběh hřbetnic
	nedokonalé rozčlenění skalního terénu
	absence exaktních pravidel kresby

Tabulka 2: Výhody a nevýhody kresby skal pomocí žebříčkové metody.

Zdroj: vlastní tvorba na základě informací v Kavan (1955), Čapek (1973) a Lysák (2016).

Nejednotnost metody žebříčkové manýry

Většina nevýhod uvedených v předchozí kapitole je převážně důsledkem absence exaktních pravidel pro tvorbu kresby skal pomocí této metody. Již Čapek (1973) poukazuje na to, že metoda při porovnání listů mapy státního mapového díla v měřítku 1 : 10 000 vykazuje značnou nejednotnost provedení kresby (příklad na obrázku 6 vlevo). Lysák (2016) k tomuto uvádí, že při praktické realizaci na mapách jsou některá pravidla obecného postupu kresby dokonce ignorována. Jako příklad dokládá zužování spádnicových čar na osvětlené straně skalního útvaru směrem dolů (ukázka viz obrázek 6 vpravo).



Obrázek 6: Rozdíl v kresbě skály na spojení dvou mapových listů a porušení pravidla zužování spádnic na osvětlené straně směrem dolů.

Vlevo: příklad rozdíl v kresbě skalního terénu na spojení dvou mapových listů.

Vpravo: spádnicemi na osvětlené straně skály se směrem dolů nezúžují, zúžení je naopak patrné na zastíněné straně.

ZM 10, zvětšeno.

Zdroj: ČÚZK (2007).

Pro ilustraci nejednotnosti kresby ve státním mapovém díle je na obrázku 7 uvedeno šest příkladů různých variant žebříčkové manýry (a na předchozích obrázcích 5 a 6 je možné vidět další varianty kresby). K tomu je nutné poznamenat, že se nejedná o konečný výčet. Ovšem z pohledu státního mapového díla, které se jinak vyznačuje jednotnou a striktně standardizovanou kresbou objektů na všech listech, je tato nejednotnost výraznou nevýhodou (Lysák 2016).

Z tohoto důvodu představuje tato problematika hlavní otázku řešenou v této práci. Předchozí autoři totiž usuzovali na nejednotnost kresby pouze po prohlédnutí několika ukázek, ovšem v této práci je cílem popsat její nejednotnost analýzou všech objektů skal.



Obrázek 7: Ukázka nejednotnosti kresby skal pomocí žebříčkové manýry na ZM 10.

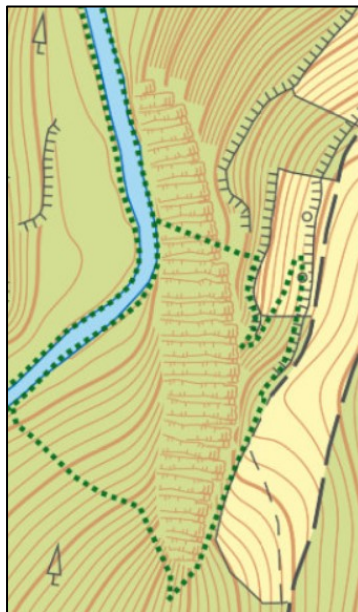
Pro srovnání jsou výřezy z mapových listů uvedeny ve stejném měřítku.

Zdroj: ČÚZK (2007).

Problém s digitální tvorbou metody žebříčkové manýry

V kapitole 2.1.2 je uvedeno, že kresba skal pomocí žebříčkové manýry byla převzata z vojenského státního mapového díla do civilních map. V základních mapách však zůstala tato metoda i přes její výše uvedené nedostatky hlavním kartografickým vyjadřovacím prostředkem pro znázornění skal nejen v jejich analogové podobě (viz kapitolu 2.1.2), ale je zachována určitým způsobem i v jejich dnešní digitální verzi.

Na současných základních mapách je kresba skal provedena pomocí metody používané Zeměměřickým úřadem (dále jen ZÚ; ukázka viz obrázky 8), kterou lze považovat za poměrně úspěšné digitální zpracování žebříčkové manýry. V praxi se jedná o vyplnění polygonu skal stylizovanými šrafami připomínajícími žebříčkovou manýru. Ty se skládají z horních (umístují se k hřbetní čáře) a dolních liniových symbolů (navazují na horní liniové symboly a představují směr spádu). Kartograf pak pouze nakreslí linii, podél níž software automaticky umístí dané symboly ve správné rotaci. Podrobněji ke zpracování kresby skal pomocí metody používané Zeměměřickým úřadem viz Lysák (2016, str. 163–172).



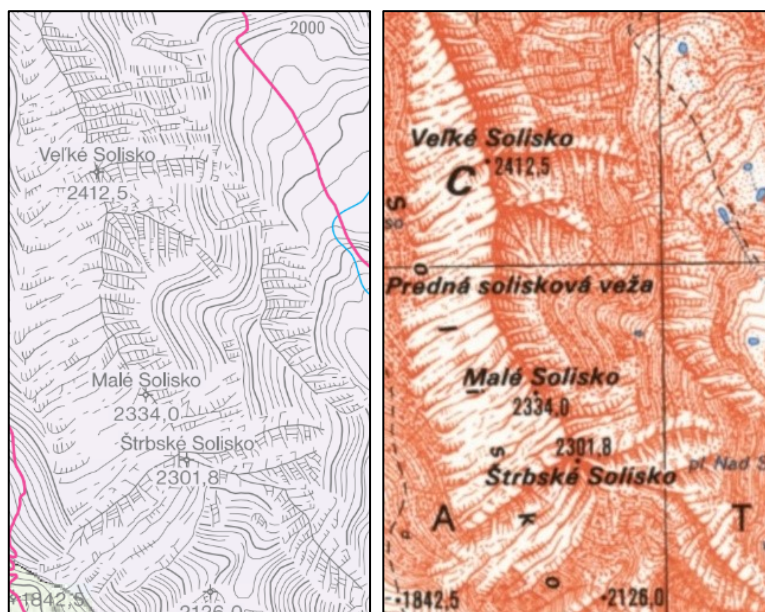
Obrázek 8: Ukázka digitálního zpracování kresby skal pomocí metody Zeměměřického úřadu.

ZM 10, zvětšeno.

Zdroj: ČÚZK (2022b).

Přestože tato metoda formálně lépe splňuje požadavek na jednotnost v celém státním mapovém díle, má ještě také několik nevýhod. Především je to její schematičnost a to, že nepůsobí ani trochu plasticky (čehož byla snaha při ruční kresbě žebříčkové manýry dosáhnout stínováním). Na první pohled je ovšem dobře patrný charakter skalního terénu jako celku. Lokální orientace je však na druhou stranu i v případě této metody stále problematická. Celkově je ale metoda používaná ZÚ z pohledu digitální kartografie považována spíše za zdařilou (Lysák 2016).

Jiné digitální zpracování žebříčkové manýry, než to od ZÚ je spíše výjimečné. Jedním z příkladů je kresba skal použitá v Atlasu krajiny Slovenskej republiky (Miklós 2002, str. 138). Ukázka je zobrazena na obrázku 9 vlevo. Zde je patrný (na rozdíl od české metody používané ZÚ) i zdařilý pokus o stínování kresby skal. Kresba skal díky tomu působí plasticky, a ještě více se podobá žebříčkové manýře. Ovšem nejedná se o automatizovanou kresbu skal, ale pouze o obkreslení původní kresby. Právě podle výše uvedeného stínování kresby skal je poznat, že byla kresba do Atlasu krajiny Slovenskej republiky obkreslena z rastrové TM 25 (viz srovnání na obrázku 9 vpravo). Nicméně cenná vlastnost tohoto přístupu spočívá v tom, že ukazuje, jak vytvořit digitální kresbu skal z linií. Nevýhodou na druhou stranu je fakt, že nepracuje s jejich tloušťkou.



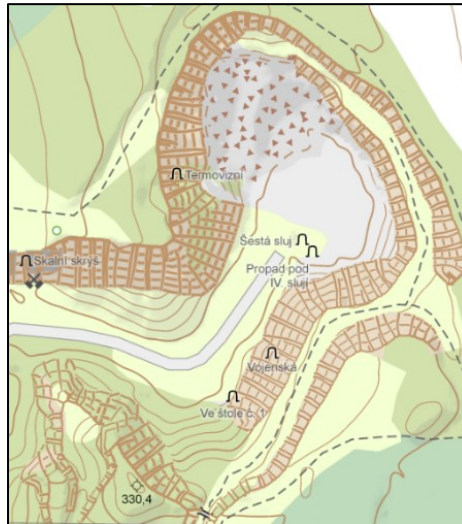
Obrázek 9: Ukázka zpracování kresby skal v Atlasu krajiny Slovenskej republiky.

Vlevo: zpracování kresby skal v Atlasu krajiny Slovenskej republiky.

Vpravo: srovnání s původní předlohou – rastrová TM 25.

Zdroj: Atlas krajiny Slovenskej republiky (Miklós 2002, str. 138), ZBGIS (2022).

Digitálním zpracováním kresby skal (nejen) pomocí metody žebříčkové manýry se zabývá dizertační práce J. Lysáka (2016). Autor zde navrhuje vlastní způsob tvorby žebříčkové manýry, který je navržen primárně pro automatizovanou tvorbu na rozdíl od výše zmíněné metody ZÚ, která je spíše automatizací postupu kresby skal pomocí žebříčkové manýry odpovídající její manuální tvorbě. Detailní popis navržené automatizace viz Lysák (2016, str. 204–229). Kresba skal pomocí této metody byla prakticky aplikována při tvorbě mapy v rámci bakalářské práce M. Šaškové (2020). Výřez z této mapy je pro ukázkou zobrazen na obrázku 10. Jde o výstup popsaného algoritmu s následnými manuálními úpravami.



Obrázek 10: Ukázka aplikace automatizované kresby skal pomocí žebříčkové manýry.
Zdroj: Šašková (2020).

Metoda zohledňuje stínování pomocí různé tloušťky linií (viz obrázek 10). Dle autora řeší metoda přirozeným způsobem zkracování a prodlužování vertikálních šraf (spádnic) a jejich lokální zhušťování (vertikální šrafy se díky tomu nikdy neprotnou). Nevýhodou je v určitých místech patrná nelogičnost při umístění vertikálních šraf a problém s nahuštěním horizontálních šraf u tvarově složitých polygonů skal (Lysák 2016). Přesto se však jedná o velmi zdařilou automatizaci žebříčkové manýry.

2.2 Shluková analýza

Shluková analýza je nástrojem datové analýzy a zabývá se metodami (algoritmy), kterými je možné seskupovat data s podobnými vlastnostmi do shluků, přičemž shlukem se rozumí taková množina objektů, které jsou si (uvnitř shluku) navzájem podobné a od objektů patřících do různých skupin rozdílné (Kučera 2022). Pomocí těchto metod je tedy možné zjistit strukturu datového souboru a jeho objekty klasifikovat (Hebák 2007), přičemž je hledána taková kategorizační struktura, která je ve shodě s poměry v datech, tzn. jsou hledány přirozené shluky (Hendl 2009). Proto má shluková analýza uplatnění především v takové datové sadě, ve které mají objekty reálně tendenci se do těchto přirozených shluků seskupovat (Hebák 2007).

Cílem shlukové analýzy je „dosáhnout takového stavu, kdy objekty uvnitř shluku jsou si podobné co nejvíce a objekty z různých shluků co nejméně“ (Hebák 2007, s. 120–121). O úspěšnosti provedené analýzy přitom rozhoduje výběr množiny proměnných, na jejichž základě jsou objekty klasifikovány. Pro použití shlukové analýzy je též důležité vybrat vhodné míry podobnosti a vzdálenosti, které určují přiřazení objektů do shluků. Následně je možné

posoudit kvalitu shlukování a na závěr charakterizovat vzniklé shluky, tj. najít jejich vhodnou interpretaci (Hebák 2007).

Základní druhy algoritmů

Metody/algoritmy shlukové analýzy se dělí na hierarchické a nehierarchické. Hierarchické algoritmy tvoří nové shluky z již dříve nalezených shluků, a to buď aglomerativním, nebo divizním způsobem. Při použití aglomerativního způsobu představuje na začátku každý objekt jeden shluk. V dalším kroku se dva nejpodobnější objekty sloučí do jednoho shluku. Dále se postupuje rekurzivně ve slučování tak dlouho, dokud nevznikne jeden shluk. Opačný přístup je divizní přístup, kdy se začíná od jednoho shluku ze všech objektů. Tento shluk se v dalších krocích dělí dle daného kritéria rozkladu na dva shluky. Divizní algoritmus končí ve chvíli, kdy je každý objekt v samostatném shluku. Tento druhý způsob je však velmi výpočetně náročný, a proto se používá pouze na malé datové sady (Kučera 2022, Hebák 2007, Richards 2006). Postup hierarchického shlukování je možné vyjádřit graficky v podobě stromového diagramu, tj. dendrogramu (Hebák 2007).

Ovšem nevýhodou hierarchického shlukování je fakt, že již jednou vytvořené shluky nelze v dalším kroku rozdělit (při použití aglomerativní metody) či naopak již rozdělené shluky nelze v dalším kroku opět sloučit (při použití divizní metody) a tím vylepšit vlastnosti shlukování. V podstatě se tedy metody hierarchického shlukování v každém dalším kroku snaží dosáhnout jen lokálně nejlepšího řešení a neberou ohled na další postup shlukování (Kučera 2022).

Naopak nehierarchické metody rozkládají množinu objektů do podmnožin dle předem zvoleného kritéria tak, že první rozklad na podmnožiny se již dále nedělí. Před provedením samotné analýzy je proto nutné stanovit optimální počet shluků. Rozklad se následně upravuje tak, aby byla vzájemná vzdálenost a odlišnost shluků optimalizována a aby v nich byly objekty rovnoměrně rozložené (Kučera 2022).

Dále se text zaměřuje pouze na hierarchickou metodu shlukové analýzy.

Míry vzdálenosti a podobnosti

Míry vzdálenosti a podobnosti jsou mnohdy také nazývány jako shlukovací algoritmus a představují pravidla/kritéria shlukování. Představují první krok shlukové analýzy, při kterém je podle nich vypočtena matice měr vzdálenosti / měr podobnosti všech dvojic objektů (Hebák 2007). Těchto metod existuje mnoho, proto zde budou popsány jen vybrané z nich. Dle výběru těchto měr se pak liší i výsledky zvolené metody shlukování.

Jednou z nejpoužívanějších měr (ne)podobnosti objektů je euklidovská vzdálenost (Hendl 2009). Tato metoda je však citlivá na rozdílný rozsah hodnot vstupních dat. Navíc silně korelované proměnné mají velký vliv na výsledek shlukování (Hebák 2007).

Další metodou je například metoda nejbližšího souseda. Při použití této metody se vytvoří shluk z objektů/shluků, které mají od sebe nejmenší vzdálenost v porovnání s ostatními objekty/shluky. Vzdálenost mezi shluky se zde počítá tak, že se vezme nejmenší vzdálenost ze vzdáleností každých dvou objektů ze dvou shluků. Na opačném principu funguje metoda nejbližšího souseda, kdy se sloučí takové objekty/shluky, které jsou od sebe nejvíce vzdálené, resp. za vzdálenost dvou shluků se považuje největší možná vzdálenost ze všech vzdáleností každých dvou objektů ze dvou shluků (Kučera 2022, Hebák 2007).

Centroidní metoda využívá výpočet euklidovské vzdálenosti, ovšem mezi těžišti shluků. Dochází při ní ke sloučení těch shluků, které mají nejmenší vzdálenost mezi svými těžišti (Kučera 2022, Hebák 2007).

Výpočet parametru shlukování J

Po rozdělení objektů do shluků na základě vybraného algoritmu je možné popsat kvalitu provedené klasifikace dat. K tomu slouží mimo jiné výpočet parametru shlukování J:

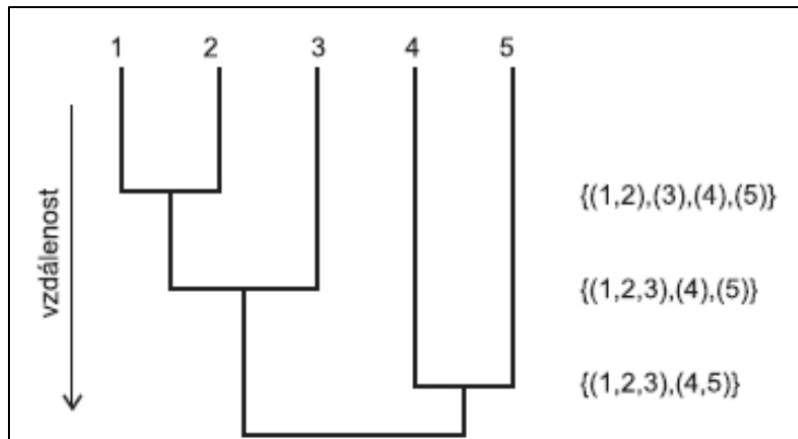
$$J = \sum_{k=1}^n \sum_{z \in r_k} \|z - \bar{z}_k\|,$$

kde n je počet shluků, r je shluk, z je prvek shluku a \bar{z}_k je těžiště shluku (Kolář 2008).

Jedná se o výpočet sumy odchylek od těžiště uvnitř všech shluků přes všechny skupiny pro dané rozdělení, tj. v případě hierarchického shlukování počty shluků v jednotlivých krocích. Minimum parametru J nastává ve fázi, kdy představuje každý objekt samostatný shluk. Postupně, jak se snižuje počet shluků (resp. přibývá objektů seskupených do shluků), parametr J roste. Cílem je pak nalézt takové místo, kde (při seřazení od počtu shluků od 1 do počtu prvků) J poklesne výrazněji, protože pro takovou hodnotu počtu shluků má smysl udělat shlukování spíše než pro jinou (tzn. kvalita shlukování měřená J bude výrazně lepší než v případě sousední nižší hodnoty).

Dendrogram

Shlukování pomocí hierarchické metody lze vizualizovat do grafu binárního stromu, který se nazývá dendrogram. Ukázka jednoduchého dendrogramu hierarchickou aglomerativní metodou je zobrazena na obrázku 11. Zde představují vodorovné linie stromu jednotlivé stupně rozkladů shluků a svislé linie udávají vzdálenost mezi shluky (Kučera 2022).



Obrázek 11: Ukázka dendrogramu.

Zdroj: Kučera (2022).

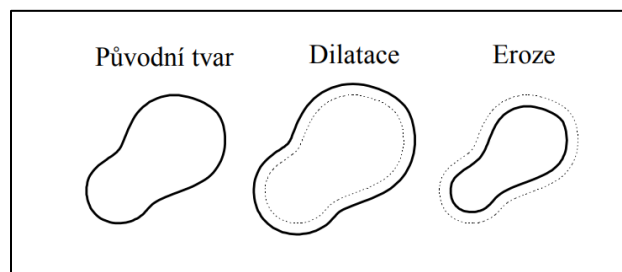
2.3 Teorie k vybraným metodám pro výpočet příznaků

V této kapitoly jsou představeny vybrané metody pro výpočet příznaků. Jimi jsou dilatace, eroze, *medial axis* a výpočet orientace ke světovým stranám. K těmto vybraným metodám jsou zde uvedeny pouze obecné principy (dilatace, eroze), postup jejich konstrukce (*medial axis*) a způsob jejich výpočtu (orientace ke světovým stranám). Jejich konkrétní aplikace v rámci této práce je následně popsána v metodické části v kapitolách 3.2 a 3.3.

2.3.1 Dilatace a eroze

Dilatace a eroze jsou základními operacemi matematické morfologie (Sojka 2011). Protože teorie matematické morfologie je velmi obsáhlá, budou tyto dvě operace popsány jen velmi obecně na příkladu binárního obrazu.

Dle Šrámka (2011, s. 81) „eroze obrazové elementy zmenšuje, naopak dilatace je podobným způsobem zvětšuje“ (viz obrázek 12). Proto se tyto dvě operace nazývají také jako duální, přičemž ale nejsou (až na výjimky) inverzní.



Obrázek 12: Aplikace dilatace a eroze.

Zdroj: Sojka (2011).

Pomocí operace dilatace dochází ke zvětšení množin směrem od jejich hraničních bodů, viz obrázek 12 uprostřed, kde je patrné zvětšení objektu oproti původnímu tvaru (tečkovaná linie). Naopak při operaci eroze dochází k zmenšování množin od jejich hraničních bodů a od toho se odvíjející mizení původních detailů. Při opakované aplikaci eroze mohou malé množiny zcela zaniknout, či dokonce mohou zaniknout všechny množiny. Příklad eroze je zobrazen na obrázku 12 vpravo, kde je vidět zmenšení tvaru objektu oproti původní rozloze (Šrámek 2011).

V případě použití dilatace a eroze na binární obraz funguje operace tím způsobem, že dilatací/erozí binárního obrazu při použití masky je výsledkem opět binární obraz. Hodnoty binárního obrazu jsou 0 a 1. V bodě ve výsledném obraze tak nastává hodnota 1 v případě, pokud je hodnota 1 alespoň na třech místech původního obrazu v místech, kde je hodnota 1 také v použité masce. Pokud není, je ve výsledném obraze zapsána hodnota 0 (Sojka 2011).

2.3.2 Medial axis

Medial axis neboli středová osa/linie je používána jako nástroj při analýze obrazu. Středová osa je v podstatě taková množina bodů, které jsou stejně vzdálené alespoň od dvou bodů na dvou různých hranicích polygonu (Karimipour 2013). Druhá možná definice říká, že středová osa je množina středů všech kružnic vepsaných danému útvaru (Bayer 2008). Jedná se také o jednu z metod pro hledání tzv. topologické kostry.

Existuje několik druhů metod pro konstrukci středové osy: exaktní metody, metody založené na Voroného diagramu a vzdálenostní metody (Bayer 2016). Zde bude popsána pouze metoda konstrukce na základě Voroného diagramu, protože na tomto principu je také využita v rámci této práce.

Jedním ze způsobů pro nalezení středové osy je její aproximace pomocí Voroného diagramu, kdy středová osa v podstatě tvoří jeho část. Algoritmus je založen na převedení linie hranice polygonu na body, které náležejí této hranici. Následně se pro tyto body vypočte Voroného diagram, který je převeden na linie. Vytvořené linie Voroného diagramu, jejichž koncové body nepatří hranici polygonu jsou aproximací jeho tvaru, tzn. středovou osou (Karimipour 2013).

Algoritmů pro konstrukci středových linií s využitím Voroného diagramu je však mnohem více, další metody viz Karimipour (2013, s. 143–148).

2.3.3 Orientace ke světovým stranám

Orientaci ke světovým stranám je možné spočítat pomocí funkce *Aspect* implementované například v software ArcGIS. Tato funkce identifikuje směr orientace svahu ke světovým stranám tak, že vypočítá orientaci pro každou buňku rastru. Hodnoty orientace se pak udávají

ve stupních od 0° do 360° , přičemž platí, že obě tyto hodnoty shodně udávají směr k severu. Stupně pro ostatní světové strany jsou počítány klasicky dle směru hodinových ručiček. Rovným plochám se přiřazuje hodnota - 1. (Esri 2022a).

Pro výpočet orientace jsou zde implementovány dvě metody – rovinná (*Planar*) a geodetická (*Geodesic*). V případě rovinné metody jsou hodnoty orientace počítány pomocí promítnutí na rovinnou plochu v kartézském souřadnicovém systému. Jedná se o tradiční metodu výpočtu *Aspectu*, při níž se výpočet provádí pomocí vyhledávacího okna o rozměru 3×3 buňky rastru, tzn. pro každou buňku rastru se výpočet provádí z jejího okolí. Výpočet se provádí na základě algoritmu, který počítá rychlost změny směru orientace (Esri 2022a). Rychlost změny orientace ve směru x pro určitou buňku rastru e se vypočte dle vzorce:

$$(d_z/d_x) = ((c + 2f + i) \cdot 4/wght_1 - (a + 2d + g) \cdot 4/wght_2) / 8,$$

kde $a-i$ jsou označení buněk v osmi-okolí buňky e , $wght_1$ a $wght_2$ jsou horizontálně vážené počty platných buněk (Esri 2022b).

Naopak při aplikaci geodetické metody je výpočet prováděn ve 3D souřadnicovém systému s počátkem ve středu Země, přičemž jako tvar Země je uvažován elipsoid. Výpočet orientace pak využívá zeměpisné souřadnice, které jsou převedeny na geodetické. Geodetický výpočet *Aspectu* v podstatě počítá směr orientace svahu vzhledem k severu v rovině, která je rovnoběžná s povrchem elipsoidu. Orientace je vypočtena opět na základě okolí 3×3 buňky rastru, přičemž toto okolí je však převedeno nejprve do roviny, pro kterou je vypočtena nová hodnota výšky. Rozdíl mezi skutečnou a převedenou hodnotou výšky je minimalizován pomocí metody Least Squares Method (Esri 2022a).

Protože je v obou případech počítáno s pomocí osmi-okolí, jsou krajní buňky rastru následně označeny jako *NoData* (Esri 2022b).

3 METODIKA

V této kapitole jsou představena data použitá pro analýzu kresby skal pomocí žebříčkové manýry, a především postup zpracování těchto dat od přípravy dat pro analýzu, přes výpočet příznaků až po jejich rozdělení, resp. statistické zhodnocení pomocí metod shlukové analýzy.

Kresba skal je analyzována zejména s využitím texturálních příznaků a metod pro matematický popis textur v obraze. Nad obrazem skalních šraf jsou provedeny statistické analýzy, jejichž výsledkem je pro každý na mapě nakreslený objekt množina příznaků v podobě číselných hodnot. Na základě příznaků se poté hledá podobnost s využitím metod shlukové analýzy.

3.1 Zdroje dat

Základní mapa v měřítku 1 : 10 000

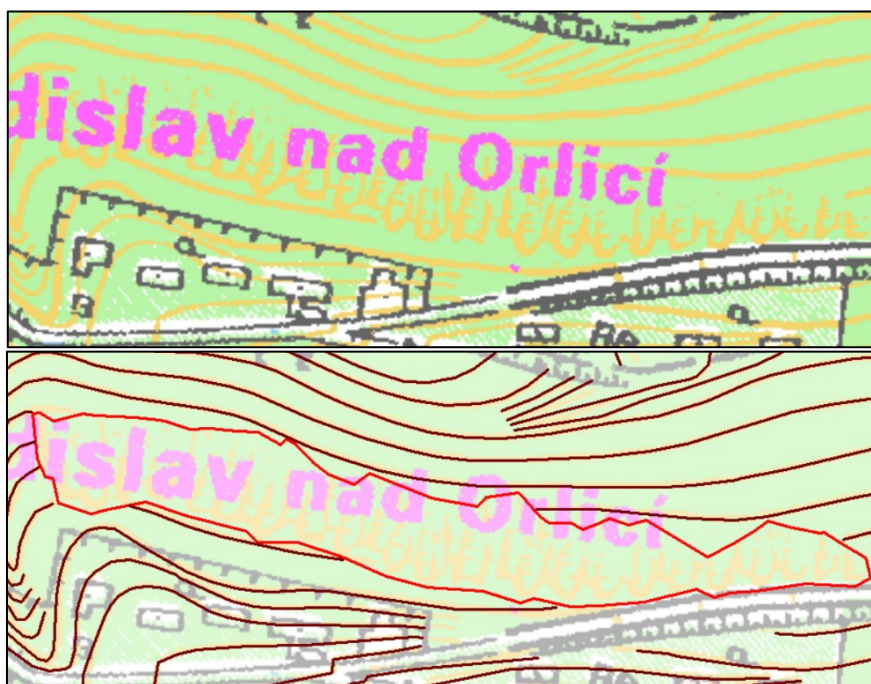
Základním zdrojem dat využitých pro analýzu kresby skal v rámci této práce je rastrová podoba posledního vydání analogové ZM ČR v měřítku 1 : 10 000 (ČÚZK 2007). Data byla získána v roce 2007 pomocí veřejné WMS služby v podobě dlaždic 1×1 km. Ukázka je zobrazena na obrázku 13 nahoře. Jde v zásadě o digitální archiválii, protože v současné době tato data podle znalostí autorky nejsou již nikde dostupná, protože byla nahrazena novějšími vydáními rastrové ZM 10.

Tato rastrová data jsou použita pro získání původní kresby skal pomocí žebříčkové manýry, tzn. ručně vytvořené kresby skal. Jejich limitem je rozlišení, protože velikost pixelu v rastru je 1 m, což odpovídá rozlišení 254 DPI. Ve čtyřech malých částech republiky data zcela chybí, ovšem i přes to je pokrytí území ČR daty 99 %.

Data v podobě dlaždic 1×1 km byla pro snazší zpracování nejprve převedena pomocí funkce *Mosaic Dataset* na jeden rastr pokrývající výše uvedenou plchu území ČR. Dále je tato vstupní datová sada v textu nazývána jako **rastrová mapa**.

Vrstva polygonů skal a vrstevnic z databáze ZABAGED

Druhou důležitou datovou sadou je historická vrstva polygonů skal (objekt typu *Skalní útvary*) ze ZABAGED z roku 2008 (ČÚZK 2008). Ukázka viz obrázek 13 dole. Data obsahují přibližně 41 tis. polygonů skal na území ČR a jsou použita pro ořez rastrových dat a tvorbu vektorové reprezentace kresby skal. Tato verze představuje z hlediska cílů práce určitý kompromis. Starší verzi polygonů, které by přesně odpovídaly výsledku původní vektorizace ZABAGED podle výše zmíněného posledního analogového vydání ZM 10, se bohužel získat nepodařilo. Je zřejmé, že použít aktuální verzi objektů typu *Skalní útvary* nedává smysl, protože byly v mezidobí aktualizovány s využitím dalších zdrojů, zejména fotogrammetrie a leteckého laserové skenování (Lysák 2016). Dále bude tato datová sada nazývána jako **polygonová vrstva skalních útvarů**.



Obrázek 13: Ukázka vstupních dat.

Horní obrázek: rastrová mapa.

Dolní obrázek: polygonová vrstva skalních útvarů červenou linií (obvod polygonu), vrstevnice hnědé linie, na podkladu rastrové mapy.

Zdroj: ČÚZK (2007 a 2008).

Poslední vstupní vrstvou je vrstva vrstevnic také z databáze ZABAGED z roku 2008 (ČÚZK 2008), která je zobrazena na obrázku 13 dole. Opět se jedná jako v případě polygonů skal o starší verzi, která neodpovídá vrstevnicím na současné ZM 10. Důvod použití této starší verze

je stejný jako u polygonů skal – změna je v těchto datech výrazně méně než v současnosti (především s ohledem na aktualizaci vrstevnic s využitím dat leteckého laserového skenování).

Historická vektorová data byla poskytnuta katedrou aplikované geoinformatiky a kartografie, s tím, že podle dostupných informací by tehdejší licenční podmínky, za kterých byla data ZÚ pracovišti poskytnuta, měly umožňovat využití těchto dat pro účely výuky včetně zpracování studentských prací.

3.2 Příprava dat

Pro účely analýzy kresby skal bylo potřeba nejprve upravit vstupní data popsána v kapitole 3.1 (ukázka viz obrázek 13) a vytvořit z nich pomocné vrstvy, které byly následně použity pro výpočet příznaků pro shlukovou analýzu.

Pro tvorbu těchto pomocných vrstev byl navržen skript `prepare_data.py` (viz příloha 1). Jeho vstupem je cesta do geodatabáze, ve které jsou vstupní vrstvy. Vstupními vrstvami jsou: ***polygonová vrstva skalních útvarů***, ***vrstevnice*** a ***rastrová mapa***. Do této geodatabáze se ukládá i výsledek skriptu, označovaný jako pomocné vrstvy. Vstupní vrstvy pak spolu s pomocnými slouží k vlastní analýze kresby. Pomocnými vrstvami jsou vrstvy:

- ***polygonová vrstva objektů*** – jedná se o vrstvu obsahující všechny objekty zakreslené v ploše všech vstupních polygonů skalních útvarů (tj. krom šraf například využití půdy, do polygonu zasahující popis, liniové prvky polohopisu apod.);
- ***polygonová vrstva šraf*** – je to polygonová vrstva obsahující pouze skalní šrafy v ploše všech polygonů skalních útvarů;
- ***vrstva středových linií*** – liniová vrstva reprezentující šrafy odvozená z ***polygonové vrstvy šraf*** v ploše všech polygonů skalních útvarů;
- ***vrstva vrstevnic v okolí skalních útvarů*** – upravená vrstva vrstevnic, ve které je původní vrstva vrstevnic oříznutá na okolí do vzdálenosti 100 m od skalních útvarů.

Zavedené názvy těchto pomocných vrstev jsou používány i dále. Detailní popis tvorby uvedených pomocných vrstev je popsán níže.

Poslední vstupní vrstvou uvedeného skriptu je tzv. ***kontrolní vrstva polygonů skal***. Jedná se o vrstvu, která je použita pro zjištění již zpracovaných polygonů skal, aby se zabránilo jejich opakovanému zpracování, protože zpracování z důvodů velkého objemu dat probíhalo po částech (vysvětleno níže viz 2. Zpracování dat).

1. Předzpracování vstupních dat

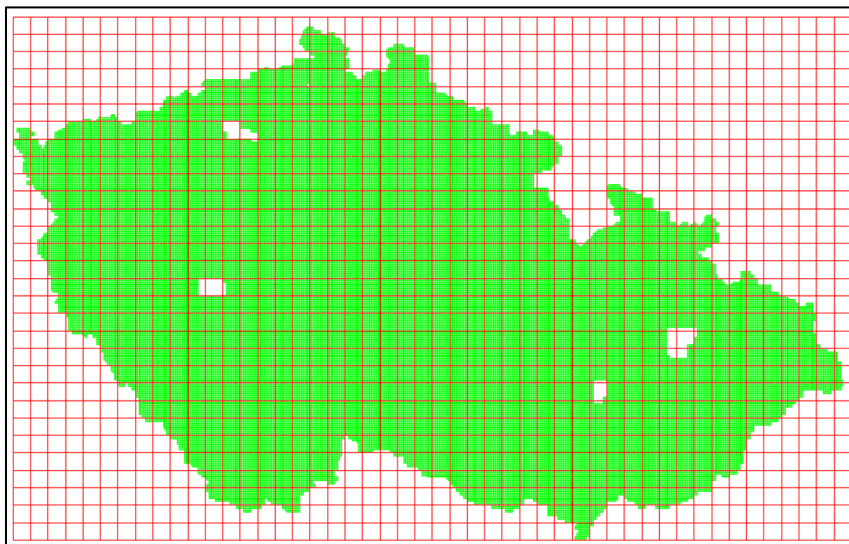
Prvním krokem přípravy dat byla tvorba *Mosaic Datasetu* z rastrové mapy, která měla podobu dlaždic 1×1 km ve formátu png. Vznikl tak jeden rastr pro celé území pokryté rastrovou ZM 10, tj. v terminologii zavedené výše **rastrová mapa**.

Následně byl pro **vrstvu skalních útvarů** vypočten Buffer o velikosti 5 m. Rozšíření plochy skalních útvarů bylo provedeno z důvodu posunutí některých polygonů skal ve vstupních datech oproti kresbě skály na *rastrové mapě*. Bylo tedy snahou zahrnout do výpočtu celou kresbu skály u co největšího počtu polygonů skal. Tato vrstva bude dále nazývána jako **rozšířená vrstva skalních útvarů**.

Dále byla vytvořena výstupní **vrstva vrstevnic v okolí skalních útvarů**, která je oproti původní vstupní vrstvě vrstevnic oříznutá pouze na okolí do vzdálenosti 100 m od skalních útvarů. Vrstva je následně použita pro výpočet pomocných vrstev (resp. odstranění vrstevnic zasahujících do kresby skalních útvarů při tvorbě **polygonové vrstvy šraf**) a při výpočtu příznaků (pro tvorbu lokálního modelu terénu při výpočtu orientace jednotlivých skalních útvarů ke světovým stranám, viz kapitolu 3.3).

2. Zpracování dat

Data byla zpracována vzhledem k velikosti vstupního rastru po částech. Tyto části jsou definovány podle vytvořené polygonové sítě, která je tvořena čtverci o straně 10 km. Ukázka polygonové sítě je zobrazena na obrázku 14.



Obrázek 14: Ukázka pomocné polygonové sítě pro zpracování vstupních dat.

Polygony sítě jsou vyznačeny červeně na podkladu zeleně zobrazeného pokrytí území rastrovými daty. Bílé oblasti uvnitř zeleně vyznačeného pokrytí území ČR daty představují listy, ve kterých rastrová mapa chybí.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

Data jsou zpracovávána v cyklu po jednotlivých částech této sítě, do kterých prostorově náleží. Aby nedocházelo opakovaně ke zpracování stejných polygonů skal, které leží na hranicích jednotlivých částí sítě, byla vytvořena **kontrolní vrstva polygonů skal**, do které se ukládají již zpracované polygony. Podle této vrstvy se následně kontroluje každý další výběr ze vstupních dat v cyklu a již spočtené polygony se z daného výběru pro zpracování vyloučí. Polygony sítě, do kterých prostorově nenáleží žádná vstupní data, jsou automaticky na začátku cyklu vynechány.

V rámci každého výběru vstupních dat pomocí jednotlivých částí sítě se následně vytvoří pomocné vrstvy: **polygonová vrstva objektů**, **polygonová vrstva šraf** a **vrstva středových linií**. Postup jejich tvorby je detailněji popsán níže

3. Tvorba polygonové vrstvy objektů

Polygonová vrstva byla vytvořena z **rastrové mapy** oříznuté na plochu **rozšířené vrstvy skalních útvarů** a převedené na polygon. Z takto převedeného rastru na polygon byly ještě odstraněny vrstevnice – podle vrstvy **vrstevnic v okolí skalních útvarů** rozšířené na plochu o vzdálenosti 3,5 m na obě strany od původní linie vrstevnic (tato vzdálenost byla určena experimentálně tak, aby výsledný Buffer vrstevnic o této velikosti zakryl kresbu vrstevnic na **rastrové mapě**). Odstranění vrstevnic zasahujících do kresby skály je patrné i na obrázku 15, na kterém je ukázka výsledné **polygonové vrstvy objektů**.

Polygonová vrstva objektů obsahuje kromě šraf všechny objekty zasahující do polygonu skály (na obrázku 15 je patrné například zachování popisu zasahujícího do polygonu skály). Plochy objektů jsou rozlišeny podle atributu *gridcode*, který představuje unikátní hodnotu pro každou barvu z původního rastru. Protože jsou šrafy kresby skal a vrstevnice zakresleny stejnou barvou, musely být vrstevnice z výsledné **polygonové vrstvy objektů** odstraněny výše popsaným způsobem.

Pro realizaci v ArcGIS byly použity funkce *Extract By Mask* (pro ořez vstupní **rastrové mapy** na plochu **rozšířené vrstvy skalních útvarů**), *Raster to Polygon* (pro převod vstupní **rastrové mapy** na polygon), *Buffer* (pro tvorbu polygonové vrstvy představující rozšířené vrstevnice o 3,5 m na obě strany), *Erase* (pro odstranění vrstevnic z výsledné **polygonové vrstvy objektů**).

Vrstva je následně využita pro výpočet příznaků (viz kapitolu 3.3), konkrétně se jedná o příznak popisující míru překrytí polygonu skal jinými objekty.



Obrázek 15: Ukázka polygonové vrstvy objektů.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

4. Tvorba polygonové vrstvy šraf

Tato vrstva je vytvořena jako odvozená z **polygonové vrstvy objektů**. Právě z této vrstvy je pomocí atributu *gridcode* vybrána pouze kresba šraf (viz obrázek 16). V levé části zobrazeného polygonu skály je patrné narušení kresby šraf popisem.

V ArcGIS byla pro výběr kresby šraf použita funkce *Select Layer By Attribute*.

Tato vrstva je následně využita pro tvorbu **vrstvy středových linií** a pro výpočet příznaků (viz kapitolu 3.3).



Obrázek 16: Ukázka polygonové vrstvy šraf.

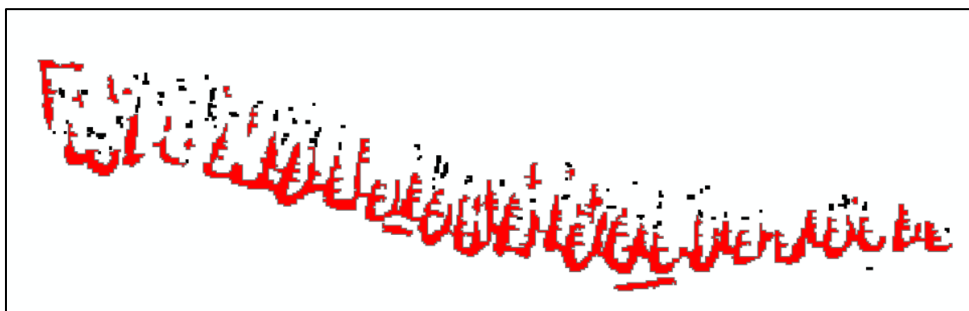
Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

5. Tvorba vrstvy středových linií

Cílem tvorby této vrstvy je vytvořit reprezentaci kresby šraf odpovídající kresbě v rastrové mapě. Ovšem nešlo primárně o snahu šrafy kresby skal dokonale automaticky zvektorizovat, ale vytvořit jejich reprezentaci automaticky dostatečně na to, aby se nad výslednou vrstvou dala dělat statistická analýza podobnosti.

Vstupní vrstvou je **polygonová vrstva šraf**, která vznikla právě převedením původního rastru na polygon (jak je uvedeno v kroku 4, resp. již v kroku 3 výše).

Z této polygonové vrstvy šraf jsou nejdříve odstraněny velmi malé části kresby, a to aplikací nejprve záporného a následně kladného Bufferu o stejné velikosti 1 m (tato hodnota je odvozena od velikosti pixelu, který má hranu právě o velikosti 1 m). Výsledek této úpravy a srovnání s původní vrstvou je zobrazen na obrázku 17.



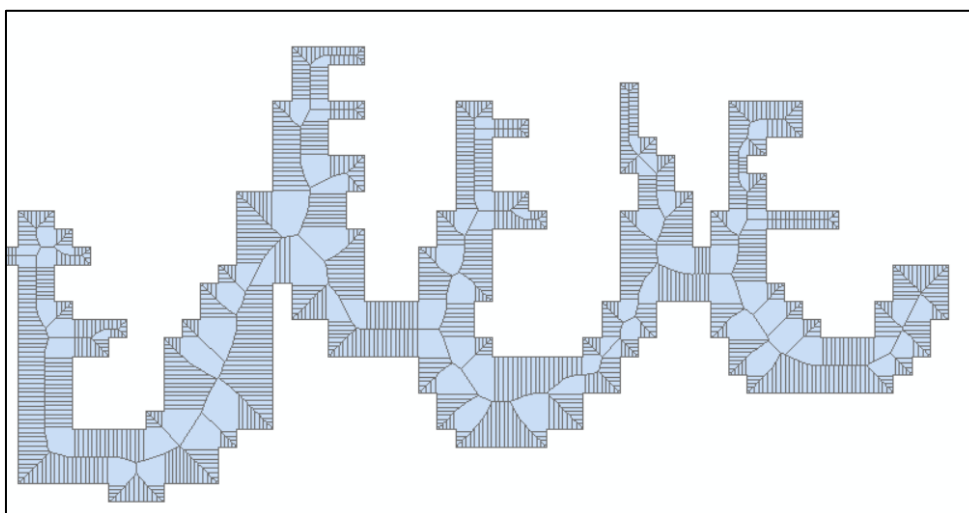
Obrázek 17: Odstranění malých částí kresby.

Červeně je zobrazena vrstva po odstranění malých částí. Odstraněné malé části kresby jsou zobrazeny černě.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Následně jsou ještě zaplněny malé prázdné části polygonu šraf pomocí funkce *Eliminate Polygon Part* (o rozloze 4 m² a menších, tj. o velikosti 2 × 2 pixely v původní rastrové mapě), aby byla zajištěna lepší návaznost výsledných linií. V ukázkovém polygonu skály zobrazeném na obrázku 17 se tato malá prázdná místa nevyskytují.

Poté je polygonová vrstva je převedena na linii (funkcí *Feature To Line*), čímž vznikne obrysová linie původního polygonu znázorňujícího kresbu šraf. Části této liniové vrstvy jsou následně zhuštěny a převedeny na body (pomocí funkcí *Densify* a *Feature Vertices To Points*), které slouží k tvorbě Voroného diagramů. Na obrázku 18 je zobrazena ukázka detailu vrstvy vytvořených Voroného diagramů již oříznutá na původní plochu kresby skály. Pro tvorbu Voroného diagramů je v ArcGIS implementována funkce *Create Thiessen Polygons*. Právě Voroného diagramy jsou nástrojem pro nalezení tzv. *medial axis* (viz kapitolu 2.3.2), z níž je odvozena středová linie kresby šraf.

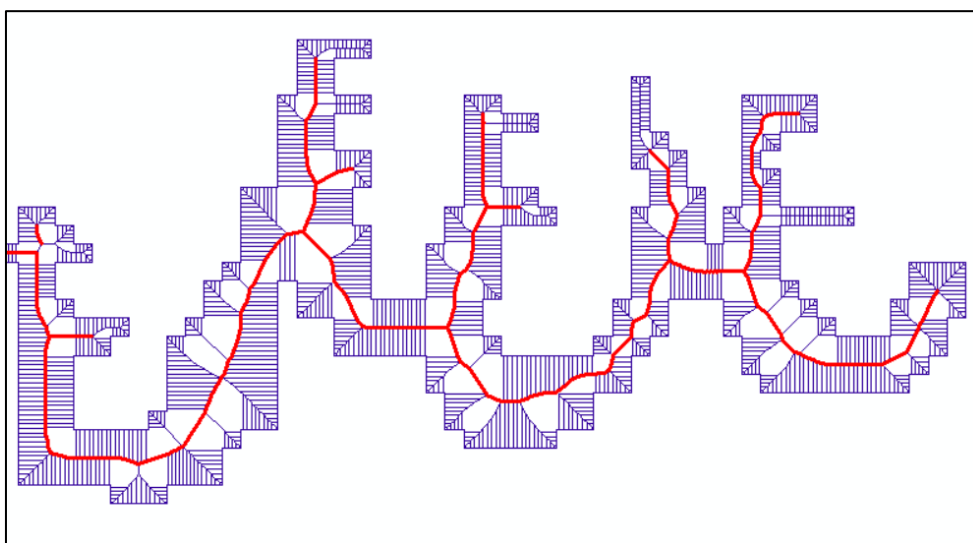


Obrázek 18: Ukázka Voroného diagramů.

Jedná se o detailní výřez ukázkového polygonu z předchozích obrázků. Voroného diagram je zde již oříznutý na původní plochu představující kresbu šraf.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Pro nalezení středových linií jsou dále Voroného diagramy převedeny na linie, z nichž jsou následně odstraněny všechny segmenty představující ohraničení původního polygonu kresby šraf a všechny krátké části spojující toto ohraničení se středovými liniemi (viz obrázek 19). Odstranění těchto segmentů linií je provedeno pomocí aplikace funkce *Dissolve* na vrstvu linií, která sloučí segmenty linií, a následně převodem linií na koncové body (funkce *Feature Vertices To Points*). Pak jsou pomocí funkce *Select Layer By Location* vybrány pouze ty body, které leží na linii tvořící hranici původní kresby šraf. Podle tohoto výběru bodů se následně vyberou jen ty linie vzniklé původních Voroného diagramů, které se s nimi prostorově překrývají. Tyto vybrané linie jsou následně smazány a ve vrstvě zůstane jen požadovaná středová linie kresby šraf.

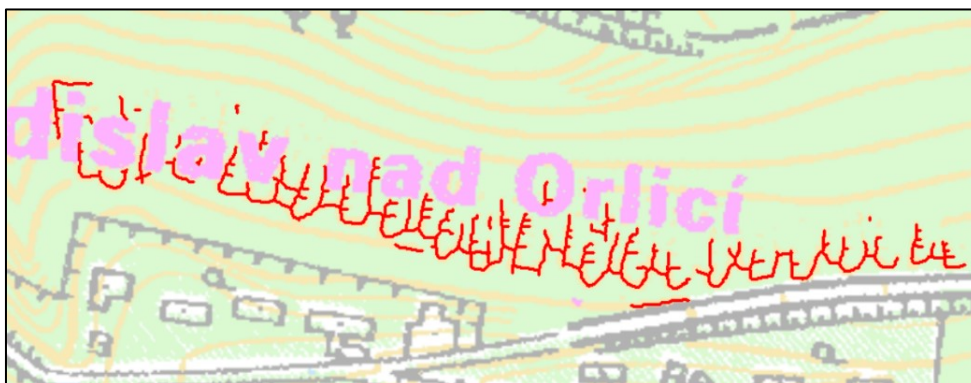


Obrázek 19: Ukázka nalezení medial axis pomocí Voroného diagramů.

Modře jsou zobrazeny linie původních Voroného diagramů, červeně je zvýrazněna hledaná středová linie (*medial axis*).

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Na obrázku 20 je zobrazena již celá výsledná vrstva středových linií pro daný vzorový polygon. Je zde vidět, že středové linie poměrně zdařile odpovídají původní kresbě skály na vstupní *rastrové mapě*. **Vrstva středových linií** je dále použita pro výpočet příznaků (viz kapitolu 3.3).



Obrázek 20: Ukázka výsledné vrstvy středových linií pro celý polygon skály.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

3.3 Příznaky pro klasifikaci kresby skal

V této kapitole jsou popsány příznaky použité pro účely analýzy kresby skal a jejich výpočet. Jedná se jak o příznaky odvozené přímo z kresby, tak o příznaky vypočtené pomocí složitějších metod pro analýzu textur. Popsány jsou zde všechny vybrané a vypočtené příznaky, tzn. i takové, které z dále uvedených důvodů (zejména velké korelace s jinými příznaky) následně nebyly pro účely analýzy použity (viz kapitolu 3.5).

Pro výpočet příznaků byl navržen skript `feature.py` (viz příloha 1). Jeho vstupem jsou kromě cesty do geodatabáze, také pomocné vrstvy (popsané v kapitole 3.2), **polygonová vrstva skalních útvarů** a tabulka pro uložení výsledků (z hlediska doby výpočtu se ukázalo efektivnější zapisovat výsledky do neprostorové tabulky).

Cizí objekty na ploše skalního útvaru

Tento příznak vyjadřuje, jaký podíl plochy skalního útvaru zabírají jiné objekty než kresba šrafy. Jinými objekty se rozumí všechny objekty na mapě mimo šraf a land coveru. Příznak je počítán z pomocné **polygonové vrstvy objektů** na základě součtu velikosti jednotlivých ploch dle atributu `gridcode` rozlišujícího jednotlivé objekty dle barvy. Analýzou bylo zjištěno, že v ploše skalních útvarů se nacházejí tyto barvy, které odpovídají objektům podle tabulky 3. Výsledek tohoto příznaku se následně vztahuje k ploše celého polygonu skalního útvaru. Dále je tento příznak nazýván jako **příznak pokreslení cizími objekty**.

Barva	Typ objektu v mapě
hnědá	vrstevnice, kresba skalních šraf
zelená	lesní půda
bílá	louky, orná a ostatní půda
modrá	vodstvo a popis vodstva
černá	polohopis a popis tvořící součást značky
purpurová	popis

Tabulka 3: Objekty na rastrové mapě zasahující do plochy skalních útvarů a k nim odpovídající barvy.

Zdroj: vlastní tvorba dle dat ČÚZK (2007).

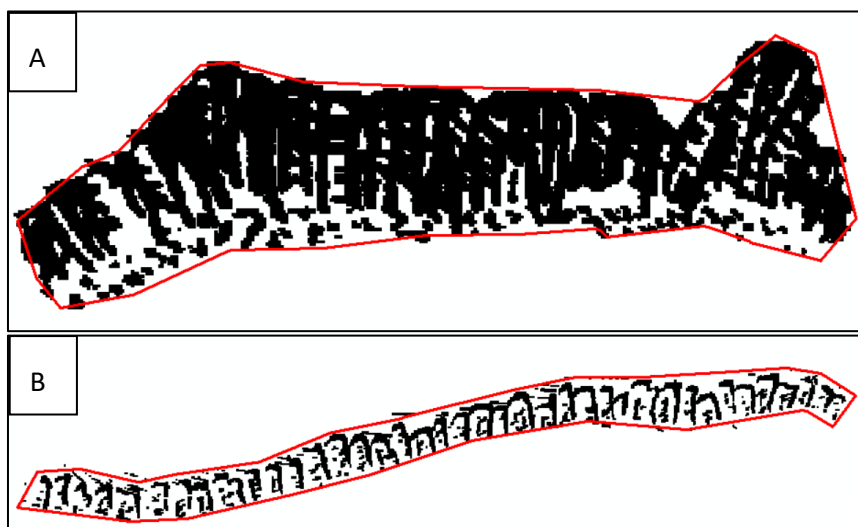
Je počítán proto, že pokud do kresby skály zasahuje například popis, liniové prvky polohopisu atd. výrazně to může narušit spočtené statistiky struktury kresby skály. Pro ukázkou byl vybrán právě polygon se zasahujícím popisem do kresby skály, který je zobrazen na obrázku 20. Konkrétně u tohoto polygonu je zakreslení plochy skalního útvaru jinými objekty 19 %.

Příznak je použit pro výběr polygonů vhodných k jejich statistickému zhodnocení pomocí shlukové analýzy. Byly pro ni vybrány pouze takové polygony, které mají hodnotu tohoto příznaku nízkou. Výběr polygonů na základě tohoto příznaku viz dále v kapitole 3.4.

Podíl kresby skal na celkové ploše polygonu

Na podobném principu jako předchozí příznak je počítán i podíl plochy kresby skal na celkové ploše polygonu. Tento příznak charakterizuje styl kresby ve smyslu zaplněnosti polygonu skal kresbou. Je počítán z pomocné **polygonové vrstvy šraf** a dále bude nazýván jako **příznak pokreslení šrafami**.

Smyslem výpočtu tohoto příznaku je popsat styl kresby skály co se týká její tloušťky, resp. zaplněnosti polygonu skalního útvaru. Vychází z předpokladu, že čím tlustější linie kresby nebo čím více je kresba skály „slitá“, tím je tento příznak vyšší. Proto je vhodné použít příznak pro shlukovou analýzu. Ukázka polygonů s odlišným stylem kresby je vidět na obrázku 21.



Obrázek 21: Ukázka k výpočtu pokreslení šrafami na celkové ploše polygonu.

Polygon A má pokreslení šrafami 68 % a polygon B 25 %.

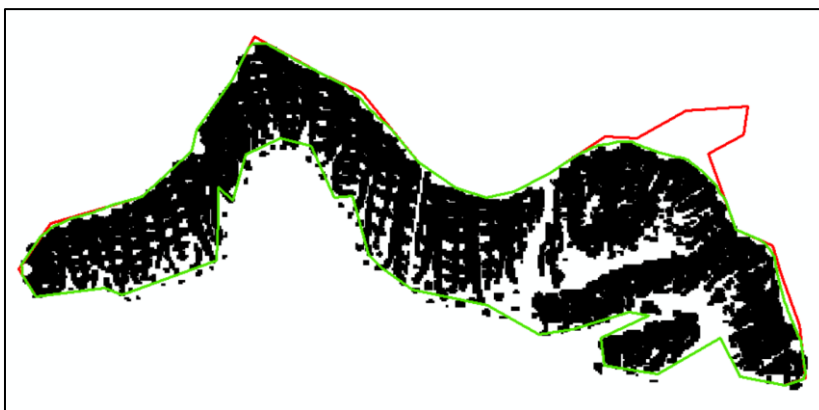
Polygony nejsou ve stejném měřítku.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Aplikace dilatace

Jedná se o takovou kladnou velikost *Bufferu* okolo kresby šraf, jejíž výsledek zaplní celý polygon skály (viz kapitolu 2.3.1). Počítá se z pomocné **polygonové vrstvy šraf** a výsledkem výpočtu je nejmenší velikost *Bufferu* v metrech splňující uvedenou podmínku. Příznak není relativizován k ploše polygonu.

Při výpočtu tohoto příznaku se projevil jeden nedostatek vstupních dat. V **polygonové vrstvě skalních útvarů** mnohdy neodpovídají tvary polygonů skalních útvarů kresbě skal na **rastrové mapě** či si prostorově neodpovídají. Příklad takového problému je zobrazen na obrázku 22.



Obrázek 22: Úprava plochy, ke které je vztahován výpočet dilatace.

Červená linie je původní plocha polygonu skalního útvaru a zeleně je zobrazena upravená plocha pro výpočet dilatace.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

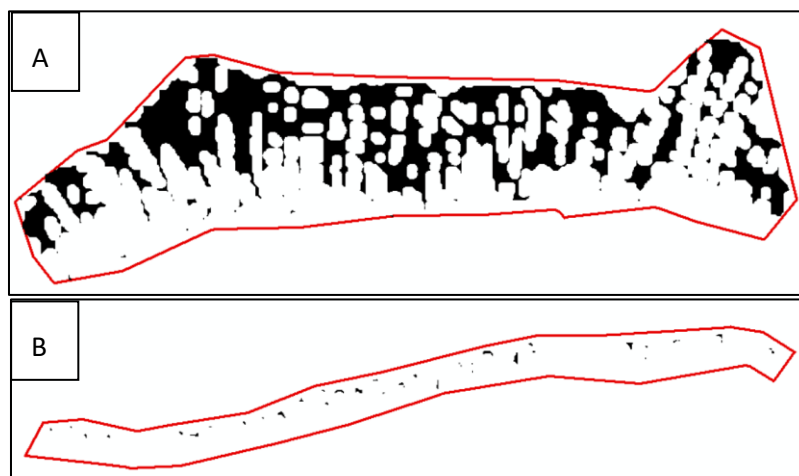
Vpravo nahoře na obrázku 22 je patrné, že polygon skalního útvaru zasahuje mimo kresbu skály získanou z *rastrové mapy*. Pravděpodobně byl polygon aktualizován, a proto neodpovídá rozsahu kresby šraf na *rastrové mapě*. V takovém případě by vyšla velikost dilatace pro tento polygon 41 m, což představuje velmi zavádějící výsledek vzhledem k zaplnění polygonu skalního útvaru kresbou šraf. Z tohoto důvodu byl výpočet tohoto příznaku upraven tak, že se nejprve vytvoří blízké okolí pro polygon šraf. Blízké okolí bylo vytvořeno pomocí aplikace dilatace a eroze na kresbu šraf (tzn. polygon šraf byl nejprve rozšířen pomocí kladného *Bufferu* o velikosti 50 m a následně byl pomocí záporného *Bufferu* o stejnou velikost zmenšen), čímž vznikl polygon, jehož hranice velmi těsně kopírují hranice kresby šraf. Uvedená hodnota 50 m byla určena experimentálně. Pro zajištění co největší podobnosti s původním polygonem skály byl ještě polygon nově vytvořeného blízkého okolí kresby šraf oříznut pomocí funkce *Clip* dle původního polygonu skály. Následně se dilatace počítá pouze pro toto blízké okolí. Tento příznak vypočtený na základě výše popsaného upraveného výpočtu dilatace je dále v textu nazýván zjednodušeně jako **příznak dilatace**.

Aplikace eroze

Eroze představuje takovou největší (v absolutní hodnotě nejmenší) zápornou hodnotu *Bufferu*, po jejíž aplikaci na kresbu skály tato zmizí, tj. výsledkem bude prázdná vrstva (viz kapitolu 2.3.1). V podstatě se jedná o nalezení velikosti poloviny nejširší tloušťky kresby. Příznak je stejně jako dilatace počítán z pomocné **polygonové vrstvy objektů**. Výsledkem je velikost *Bufferu* v metrech splňující uvedenou podmínku. Výsledek není vztahován k ploše polygonu. V následujícím textu je nazýván jako **příznak eroze**.

Pro ukázkou jsou na obrázku 23 uvedeny opět dva různé styly kresby skal. Na ně je aplikován stejně velký záporný *Buffer* (-2 m). V případě polygonu A je vidět, že je zapotřebí mnohem větší velikost *Bufferu* (dle výpočtu -12 m) než u polygonu B (-4 m dle výpočtu), aby

výsledkem byla prázdná vrstva. Z tohoto důvodu je vhodné příznak použít pro rozlišení kresby skal při shlukové analýze.



Obrázek 23: Ukázka aplikace eroze na různé styly kresby skal.

Vysvětleno v textu. Polygony nejsou ve stejném měřítku

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Analýza okolí pixelu

Cílem analýzy okolí pixelu je popsat zaplněnost polygonu skal kresbou, s větším důrazem na lokální proměnlivost charakteru kresby. Předmětem výpočtu je počet pixelů náležejících kresbě skály 8okolí každého pixelu. Příznak se počítá z **polygonové vrstvy šraf**, která je ale před výpočtem převedena na jednobitový rastr pomocí funkce *Polygon To Raster*.

Podstatou výpočtu je zjistit, kolik pixelů náležejících kresbě má ve svém okolí konkrétní počet pixelů kresby šraf. Použito je 8okolí a výsledkem je celkem 9 hodnot různých kombinací zaplněnosti okolí pixelu kresbou skály (pixelů v 8okolí může být 0 až 8).

Přestože návrh výpočtu primárně popisuje lokální charakter kresby, je možné pomocí výpočtu statistických hodnot popsat i charakter kresby šraf jako celku. Proto byly vybrány dvě statistické hodnoty, které představují dva další příznaky:

1. vážený průměr: vahou je podíl počtu pixelů s daným počtem pixelů náležejících kresbě ve svém okolí na celkovém počtu pixelů kresby; dále je zkráceně nazýván jako **příznak průměr okolí pixelu**;
2. modus: nejčastější hodnota počtu pixelů náležejících kresbě v okolí pixelu, dále je nazýván jako **příznak modus okolí pixelu**.

Interpretace těchto dvou příznaků vychází z předpokladu, že pokud bude kresba skály více zaplněná tlustšími liniemi, bude se zde nacházet více pixelů s vyšším počtem pixelů náležejících kresbě skály ve svém okolí (tzn. vyšší hodnota váženého průměru i modu), v opačném případě budou převažovat pixely s malým zastoupením pixelů náležejících kresbě skály ve svém okolí. Pro ukázkou jsou v tabulce 4 uvedeny hodnoty, které se vztahují k polygonům A a B zobrazených na obrázku 23.

Počet pixelů náležející kresbě skal v okolí pixelu	Polygon A		Polygon B	
	počet pixelů	podíl na celku (%)	počet pixelů	podíl na celku (%)
0	1	0,007	29	0,329
1	7	0,047	145	1,645
2	54	0,359	281	3,187
3	246	1,637	462	5,240
4	609	4,052	796	9,028
5	1785	11,876	1782	20,211
6	1174	7,811	756	8,574
7	1517	10,093	685	7,769
8	9637	64,118	3881	44,017
průměr okolí pixelu		7,1		6,2
modus okolí pixelu		8		8

Tabulka 4: Výpočet příznaků na základě analýzy 8okolí pixelu.

Hodnoty se vztahují k polygonům A a B z obrázku 23. Vysvětleno v textu.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Přestože u obou polygonů v tabulce 4 vychází jako nejčastější hodnota počtu pixelů náležejících kresbě v okolí pixelu 8, liší se vážený průměr. Polygon A má vážený průměr 7,1, což znamená, že v průměru mají pixely kresby skály ve svém 8okolí 7 pixelů náležejících kresbě. Polygon B má tuto hodnotu nižší. Polygon A tedy představuje styl kresby skály s tlustšími liniemi než polygon B, proto se zde vyskytuje také více pixelů s vyšším počtem pixelů náležejících kresbě ve svém okolí a kresba je více zaplněná. Oproti tomu polygon B je tvořen slabšími liniemi a kresba skály se při hřbetnici „neslévá“, proto má vyšší podíl pixelů s malým počtem pixelů náležejících kresbě ve svém okolí.

Orientace vůči světovým stranám

Protože se parametry kresby skal liší na osvětlené a zastíněné straně (viz kapitolu 2.1.1), byl navržen také příznak popisující orientaci vůči světovým stranám, dále nazýván zkráceně jako **příznak průměrné orientace**.

Vstupem je **vrstva vrstevnic v okolí skalních útvarů** a **polygonová vrstva skalních útvarů**. Digitální model terénu o velikosti pixelu 1 m je interpolován pomocí vrstevnic (s využitím funkce *Topo To Raster*) a z něj je pomocí funkce *Aspect* (viz kapitolu 2.3.3) vypočtena orientace každého pixelu v ploše skalního útvaru. Výslednou hodnotou je průměr z hodnot orientace v ploše polygonu skalního útvaru.

Podíl délky středových linií na ploše polygonu

Tento příznak popisuje také zaplněnost polygonu kresbou šraf, ovšem (do určité míry) nezávisle na tloušťce linie (a tedy i orientaci). Konkrétně udává, kolik metrů středových linií se v polygonu skalního útvaru nachází na 1 m² jeho plochy. Příznak je počítán z **vrstvy středových linií**. Dále je v textu nazýván jako **příznak středových linií**.

3.4 Výběr vhodných polygonů pro analýzu kresby skal

Po výpočtu příznaků byl dalším krokem výběr vhodných polygonů pro analýzu kresby skal. Ne všechny polygony byly ovšem pro statistickou analýzu vhodné. V této kapitole jsou proto uvedeny důvody, za kterých byly některé polygony skal vyřazeny z výsledné vrstvy použité pro analýzu.

Duplicita dat v polygonové vrstvě skalních útvarů

Duplicita dat ve vstupní **polygonové vrstvě skalních útvarů** byla zjištěna podle vizuálně neodpovídající vypočtené délky střední linie vztažené na plochu polygonu. Na základě tohoto zjištění byla vypočtena pro uvedenou vstupní vrstvu topologie. Duplicity byly nalezeny podle zvoleného topologického pravidla, které definuje vztah mezi prvky ve vrstvě – *Must not overlap* (polygony v dané vrstvě se nesmí překrývat) a odstraněny.

Prostorová neshoda polygonů skalních útvarů a kresby šraf na rastrové mapě

Některé polygony ve vstupní **polygonové vrstvě skalních útvarů** prostorově neodpovídaly kresbě šraf na **rastrové mapě**, protože data polygonů skal jsou novější oproti **rastrové mapě** a s velkou pravděpodobností byla aktualizována (viz kapitolu 3.1). Byly nalezeny dva případy:

1. polygon skalního útvaru byl úplně mimo kresbu šraf na rastrové mapě;
2. polygon skalního útvaru byl oproti kresbě skály na rastrové mapě výrazně posunut, tzn. obsahoval velmi málo kresby šraf.

První z uvedených případů (viz obrázek 24 vlevo) byl nalezen jednak pomocí polygonů, pro které nebyly vypočteny příznaky vůbec, tzn. byla u nich chyba již v pomocných vrstvách, při jejichž tvorbě pro tyto polygony chyběla kresba šraf z **rastrové mapy**. Dalším způsobem pro nalezení polygonů ležících mimo kresbu šraf byl výsledek příznaku popisujícího podíl kresby šraf na plochu polygonu, protože tyto polygony jej měly nulový, nebo u nich byly vypočteny výrazně nízké hodnoty tohoto příznaku. Do takovýchto polygonů skal také často zasahovaly vrstevnice. Na obrázku 24 uprostřed je zobrazen příklad, kdy polygon skály překrývá vrstva vrstevnic, které díky tomu mohly být odmaskovány a daný polygon měl následně nulový příznak popisující podíl kresby šraf na plochu polygonu. Vyskytly se však i případy, kdy vrstevnice odmaskovány nebyly (viz obrázek 24 vpravo) a algoritmus je považoval za kresbu šraf. Takové případy však bylo velmi těžké identifikovat a pravděpodobně se nepovedlo najít všechny takové případy.



Obrázek 24: Ukázka prostorové neshody polygonů skalních útvarů a kresby skal na rastrové mapě.

Vysvětleno v textu. Polygony nejsou ve stejném měřítku.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Druhý případ (viz obrázek 25), kdy byl polygon skály výrazně posunut oproti kresbě šraf či jeho tvar výrazně neodpovídal kresbě šraf, byl nalezen pomocí výsledků příznaku dilatace, která ještě nebyla přepočtena na blízké okolí kresby šraf. V takových případech pak dilatace dosahovala velmi vysokých hodnot. Poté, co byly takovéto polygony vyřazeny z výpočtu, byla dilatace přepočtena u zbývajících polygonů na jejich blízké okolí.



Obrázek 25: Ukázka polygonu skalního útvaru, který je oproti kresbě šraf na rastrové mapě výrazně posunut a jeho tvar kresbě šrafy velikostně neodpovídá.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

Omezení minimální velikosti polygonu

Některé polygony byly také odstraněny z výpočtu na základě jich malé rozlohy. V ZABAGED je deklarována rozloha polygonů skal nad 1000 m², proto byly odstraněny polygony s menší rozlohou, než je tato minimální hodnota. Dalším důvodem odstranění malých polygonů je fakt, že pro statistickou analýzu nejsou úplně vhodné, protože se u nich nemá možnost projevit rozdílný charakter kresby.

Odstranění odlehlých hodnot příznaků na základě histogramu

Po výpočtu příznaků byly jejich výrazně vysoké/nízké hodnoty odstraněny na základě výpočtu boxplotu a analýzy histogramu v Matlabu. Smyslem tohoto opatření bylo ze statistické analýzy vyloučit objekty, které jsou extrémně specifické. Pro tvorbu těchto grafů byla nejprve atributová tabulka výsledné vrstvy s vypočtenými příznaky vyexportována jako soubor *.dbf.

Tento soubor byl poté upraven v Excelu (smazání nepotřebných sloupců tabulky, nahrazení desetinné tečky čárkou apod.) a byl uložen jako *.txt. Textový soubor byl následně načten do Malabu a byly vypočteny histogramy a boxploty pro všechny příznaky. Podle těchto grafů pak byly určeny intervaly hodnot př znaků, které jsou vhodné pro další zpracování (viz kapitulu 4). Krajní hodnoty intervalů příznaků polygonů byly určeny na základě hodnot výpočtu mezikvartilového rozsahu (tzv. IQR), v grafu jsou znázorněny černou čarou jako „vousy“ boxplotu. Jeho nejnižší údaj je počítán jako $1,5 \cdot IQR$ spodního kvartilu a podobně nejvyšší údaj jako $1,5 \cdot IQR$ horního kvartilu. Znamená to tedy, že odstraněny byly pouze odlehlé hodnoty z důvodu snahy o zachování co nejvíce polygonů pro výpočet shlukové analýzy.

Omezení cizích objektů v ploše skalního útvaru

Pro shlukovou analýzu je vhodné, aby byly vybrány pouze ty polygony skal, které obsahují kompletní kresbu šraf. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.3. kresba šraf byla u mnohých polygonů narušena cizími objekty zasahujícími na plochu polygonu skály (například popis). Proto byly takové polygony z výpočtu statistické analýzy odstraněny a ponechány jen takové, které měly příznak **pokreslení cizími objekty** menší než 5 % plochy polygonu.

3.5 Vybrané příznaky pro klasifikaci kresby skal

Před samotnou klasifikací kresby skal byl kromě výběru vhodných polygonů proveden též výběr příznaků. Příznaky byly vybrány standardním způsobem na základě výpočtu korelace. Korelace byla vypočtena pomocí funkce `corr_coef` v programu Matlab a výsledkem je korelační tabulka (viz tabulku 5).

	Pokreslení šrafami	Dilatace	Eroze	Průměr okolí pixelu	Modus okolí pixelu	Středové linie
Pokreslení šrafami	1,00	-0,39	0,66	0,73	0,45	0,57
Dilatace	-0,39	1,00	-0,02	-0,09	-0,06	-0,31
Eroze	0,66	-0,02	1,00	0,78	0,45	0,04
Průměr okolí pixelu	0,73	-0,09	0,78	1,00	0,63	0,13
Modus okolí pixelu	0,45	-0,06	0,45	0,63	1,00	0,12
Středové linie	0,57	-0,31	0,04	0,13	0,12	1,00

Tabulka 5: Korelační tabulka.

Zeleně jsou zvýrazněny nízké hodnoty korelace dilatace s ostatními příznaky, červeně naopak vysoké hodnoty korelace příznaku vyjadřujícího pokreslení šrafami na celkové ploše polygonu.

Zdroj: vlastní tvorba.

Do výpočtu korelace již vstupovalo pouze 6 z 8 vypočtených příznaků (jejichž přehled je uveden v kapitole 3.3). Příznak popisující zastoupení cizích objektů na ploše polygonu nebyl pro korelaci vybrán, protože se nevztahuje ke kresbě šraf. Byl použit pouze pro výběr

vhodných polygonů (viz kapitulu 3.4). Dále nebyl použit výpočet **průměrné orientace** vůči světovým stranám (podrobněji viz níže).

Výsledek výpočtu korelace mezi 6 vybranými příznaky je uveden v tabulce 5. Z tabulky je patrné, že vysokých hodnot dosahuje s ostatními příznaky **příznak pokreslení šrafami** a výsledky analýzy okolí pixelu (**průměr okolí pixelu i modus okolí pixelu**), naopak nízkých hodnot příznaky **dilatace** (pozn. přepočtená na blízké okolí kresby šraf, viz kapitulu 3.3), **eroze** a **středové linie**.

Z výpočtu klasifikace kresby skal byly na základě korelace vyřazeny tyto příznaky:

- **pokreslení šrafami** – z důvodu jeho vysoké korelace s třemi dalšími příznaky;
- **modus okolí pixelu** – protože výsledky tohoto příznaku nejsou dostatečně variabilní, aby od sebe jednoznačně odlišovaly kresbu šraf.

Ponechán byl příznak **průměr okolí pixelu**, kde vahou je podíl počtu pixelů s daným počtem pixelů náležejících kresbě ve svém okolí na celkovém počtu pixelů kresby (viz kapitulu 3.3). Tento příznak sice koreluje s více ostatními příznaky než **modus okolí pixelu**, ale byl ponechán proto, že průměr vypočtený z dat získaných při analýze okolí pixelu lépe odlišuje kresbu šraf, než střední hodnota ze stejných dat.

Do analýzy kresby skal z výše uvedených důvodů vstoupily tyto příznaky: **dilatace**, **eroze**, **průměr okolí pixelu** a **středové linie**.

Normalizace příznaků

Pro výpočet shlukové analýzy bylo potřeba vybrané příznaky ještě normalizovat na hodnoty ve stejném intervalu, aby vůbec dávalo smysl klasifikovat polygony v příznakovém prostoru na základě vzdálenosti v něm. Kromě již zmíněného vztažení vypočtených hodnot některých příznaků k ploše polygonu bylo provedeno ještě vztažení hodnot k maximální hodnotě daného příznaku, tzn. výsledkem jsou hodnoty příznaků v intervalu 0–1. Tento krok byl proveden proto, že pokud jsou intervaly hodnot příznaků vstupujících do klasifikace v příznakovém prostoru rozdílné (například pokud by příznak **dilatace** nabýval hodnot od 1 do 50, ale příznak **pokreslení šrafami** jen od 0 do 1, protože již byl vztažen k ploše polygonu), byla by při shlukové analýze na základě euklidovské vzdálenosti dána větší váha příznaku s vyššími hodnotami (v uvedeném příkladu by byla dána větší váha **dilataci**). Pro přehlednost jsou v tabulce 6 uvedeny provedené normalizace u jednotlivých příznaků. Po odstranění polygonů skalních útvarů nevhodných pro shlukovou analýzu (viz kapitulu 3.4) vznikla **výsledná vrstva polygonů skalních útvarů**, která byla použita pro výpočet shlukové analýzy.

Název příznaku	Vztažení hodnot k ploše polygonu	Vztažení hodnot k maximální hodnotě daného příznaku
Pokreslení šrafami	ano	ano
Dilatace	ne	ano
Eroze	ne	ano
Průměr okolí pixelu	ne	ano
Modus okolí pixelu	ne	ano
Středové linie	ano	ano

Tabulka 6: Provedené normalizace u jednotlivých příznaků.

Vztažení hodnot k ploše polygonu bylo provedeno již při výpočtu příznaků, ale vztažení hodnot k maximální hodnotě daného příznaku bylo provedeno až po odstranění odlehlých pozorování (viz kapitola 3.4).

Zdroj: vlastní tvorba.

Souvislost výpočtu průměrné orientace s ostatními příznaky

Příznak **průměrné orientace** nebyl použit pro shlukovou analýzu, protože není vlastností kresby. Nicméně podle teorie by měl kresbu ovlivňovat, a to z důvodu jejího očekávaného stínování s využitím osvětlení ze severozápadu (viz kapitola 2.1.1). V důsledku aplikace stínování by měla kresba na severozápadních svazích být kreslena tenčími čarami než na svazích jihovýchodních. Proto byla vypočtena také korelace příznaků uvedených v tabulce 5 také s tímto příznakem (viz tabulka 7).

	Pokreslení šrafami	Dilatace	Eroze	Průměr okolí pixelu	Modus okolí pixelu	Středové linie	Průměrná orientace
Průměrná orientace	-0,03	0,03	0,00	-0,02	-0,02	-0,01	1,00

Tabulka 7: Korelace orientace s ostatními příznaky.

Zdroj: vlastní tvorba.

Z tabulky 7 je patrné, že se souvislost mezi průměrnou orientací polygonů skalních útvarů a ostatními příznaky popisujícími vlastnosti kresby (zejména **erozi**) nepotvrdila, protože hodnoty korelace se všemi ostatními příznaky vycházejí velmi malé.

3.6 Výpočet shlukové analýzy

Po výběru vhodných polygonů skalních útvarů a vhodných příznaků bylo provedeno několik variant shlukové analýzy. Shluky byly vypočteny právě na základě vybraných příznaků (viz kapitola 3.5) tak, že je obecně požadováno, aby podobnost polygonů skal na základě příznaků byla uvnitř shluků vysoká a mezi shluky nízká (viz kapitola 2.2).

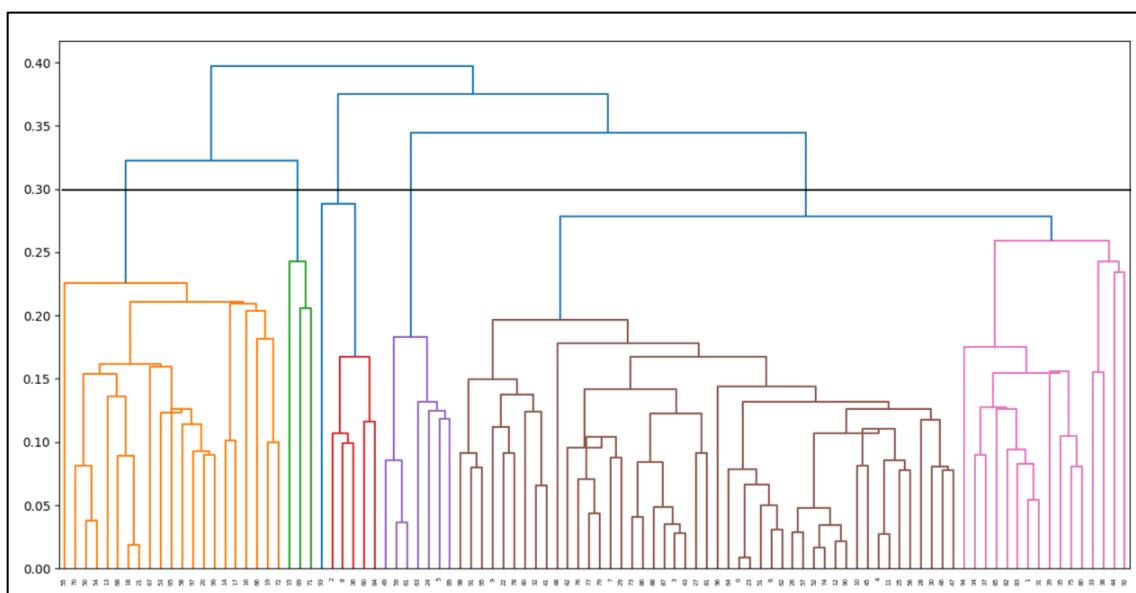
Určení optimálního počtu shluků

Nejprve je však nutné určit optimální počet shluků na základě metody hierarchické shlukové analýzy. Hierarchické shlukování bylo v tomto případě provedeno zdola-nahoru, tzn. shluky byly nalezeny postupným slučováním, kdy na začátku tvoří každý prvek vlastní shluk, následně

se vždy dva nejbližší shluky na základě podobnosti sloučí. Slučování se provádí až do okamžiku, kdy jsou všechny objekty v jednom shluku (viz kapitolu 2.2).

Tento postup je možné vizualizovat do grafu – dendrogramu (viz kapitola 2.2). Na obrázku 26 je pro ukázkou znázorněn dendrogram pro rozdělení 100 polygonů do shluků. Černou čarou je na obrázku znázorněno rozdělení do 5 tříd.

V případě této práce bylo postupováno následujícím způsobem. Nejprve byla data (resp. vybrané příznaky) z atributové tabulky výsledné vrstvy převedena na strukturu pole pomocí knihovny *NumPy* (tzv. *numpy array*). Následně byly pro všechny hodnoty v tomto poli vypočteny vzdálenosti v příznakovém prostoru tvořeném vybranými příznaky funkcí *Scipy Cluster Hierarchy Linkage* (dále jen *Linkage*). Výsledkem této funkce je matice, která kromě indexu pro daný prvek obsahuje právě vzdálenosti a počty porovnání jednotlivých polygonů. Tato matice byla vypočtena na základě výše popsaného principu hierarchického shlukování zdola-nahoru. Vzdálenost v příznakovém prostoru byla vypočtena jako klasická eukleidovská vzdálenost, což je s ohledem na normalizaci příznaků adekvátní postup.



Obrázek 26: Ukázka dendrogramu pro testovou sadu 100 polygonů.

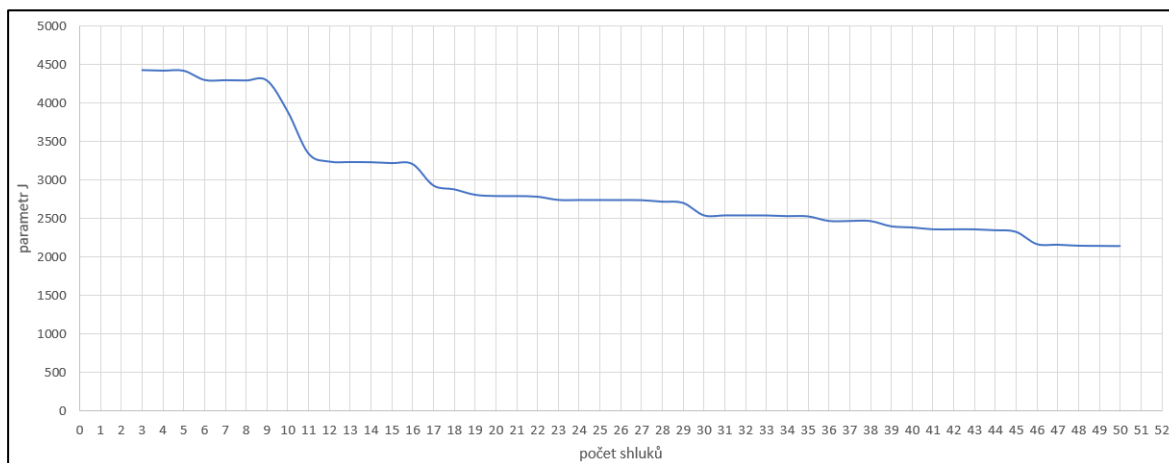
Černou čarou je znázorněn řez dendrogramem pro 5 tříd. Vysvětleno v textu.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Vypočtenou matici bylo nutné převést na takovou strukturu, kterou je možné prohledávat, tzn. na stromovou strukturu. K tomu byla použita funkce *To Tree*, jejíž výsledkem je binární strom, který se v podstatě rovná vizuálnímu zobrazení pomocí dendrogramu (viz obrázek 26). Následně byl tento strom procházen shora-dolů. Stromová struktura byla procházena rekurzivně, přičemž byl v každém kroku určen pro daný uzel jeho levý a pravý potomek, byly nalezeny indexy polygonů spadající pod tyto potomky a pro další dělení byl následně vybrán ten potomek, který měl v matici vypočtené pomocí funkce *Linkage* větší vzdálenost (v podstatě

byl vizuálně výše v dendrogramu). Rekurzivní prohledávání stromu bylo ukončeno při nalezení předem daného počtu shluků.

Poté bylo potřeba určit optimální počet shluků použitelný pro rozdělení polygonů skalních útvarů. To bylo provedeno a základě výpočtu parametru J (viz kapitolu 2.2). Výsledky výpočtu parametru J jsou zobrazeny v grafu na obrázku 27. V grafu je na ose x počet shluků v jednotlivých krocích prohledávání stromu a na ose y výsledek součtu odchylek všech polygonů v daných shlucích od těžiště těchto shluků.



Obrázek 27: Ukázka grafu výpočtu parametru J.

Vysvětleno v textu.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2008).

Optimální hodnota počtu shluků byla následně pomocí tohoto grafu vybrána na základě nalezení místa výrazného poklesu funkce popisující kvalitu shlukování. Toto lokální minimum se nachází na hodnotě 11 shluků.

Klasifikace

Pro nalezený optimální počet shluků byly poté vypočteny dvě klasifikace. První z nich již byla v podstatě vypočtena při hledání optimálního počtu shluků tak, že se pouze převzalo rozdělení do shluků podle výše popsaného postupu v kroku, ve kterém vzniklo 11 shluků.

Druhou klasifikací je klasifikace pomocí funkce *Multivariate Clustering* implementované v ArcGIS. Funkce byla použita s těmito parametry: jako metoda shlukování byl vybrán algoritmus k-means (viz kapitolu 2.2), inicializační metoda byla vybrána *Optimized seed locations*, při které jsou počáteční objekty shluků vybrány na základě optimalizace výsledků analýzy (Esri 2022c) a zvoleným počtem 11 shluků.

Na základě těchto dvou odlišných přístupů ke shlukování vznikla dvě rozdělení polygonů skalních útvarů do shluků. Následně bylo potřeba vybrat z nich takové rozdělení, které je odolnější vůči odlehlým pozorováním. Na základě prohlédnutí boxplotů jednotlivých tříd, počtu prvků v jednotlivých třídách a zástupců polygonů v jednotlivých třídách bylo vybráno

pro prostorovou analýzu výsledků rozdělení pomocí funkce *Multivariate Clustering*. Výsledky shlukové analýzy a jejich detailní popis viz kapitola 4.2.

Pro výpočet shlukové analýzy byly vytvořeny dva skripty `find_clusters.py` a `arcgis_classification.py` (viz příloha 1). Vstupem obou skriptů je **výsledná polygonová vrstva skalních útvarů**, která vznikla po výběru vhodných polygonů (viz kapitolu 3.4). Výstupem prvního skriptu je textový soubor s hodnotami parametru J a výstupem druhého skriptu je kopie **výsledné polygonové vrstvy skalních útvarů** s přidáním novým atributem s čísly shluků.

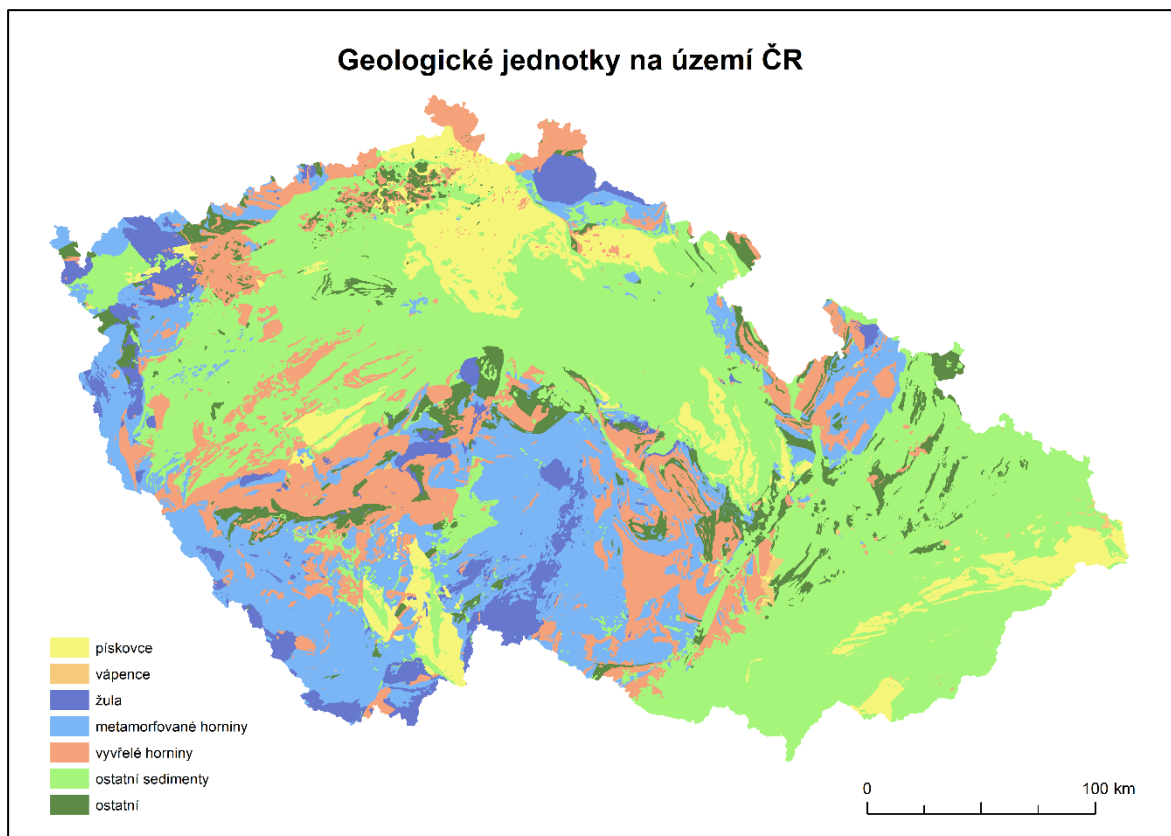
3.7 Prostorové analýzy

Nakonec byly provedeny prostorové analýzy nad výsledky ze shlukování, tzn. nad vrstvou polygonů klasifikovaných do 11 shluků dle vybraného přístupu ke klasifikaci (viz výše). Byly vybrány celkem dvě prostorové analýzy, a to analýza prostorového zastoupení shluků v jednotlivých mapových listech a analýza prostorového zastoupení shluků dle geologického podloží. Výsledky těchto prostorových analýz jsou uvedeny v kapitole 4.3. Níže jsou vysvětleny důvody, resp. hypotézy, které byly důvodem pro zpracování těchto prostorových analýz, a popsány postupy jejich zpracování.

Analýza prostorového zastoupení shluků v jednotlivých mapových listech starých vojenských map v měřítku 1 : 10 000 (dále jen TM 10) vychází z historie kresby šraf na TM 10 (viz kapitolu 2.1.2). Ty se tam dostaly z TM 10, a v rámci jednoho listu TM 10 (s ohledem na jednoho nebo několik málo autorů) lze očekávat konzistenci stylu kresby. Smyslem analýzy je ověřit, zda jsou listy mapy TM 10 homogenní z hlediska nalezených stylů kresby (které reprezentují jednotlivé shluky získané ze shlukové analýzy). Vrstva mapových listů byla vytvořena čtvrcením TM 20, která je dostupná ve volně stažitelné datové sadě ArcČR 500 (ARCDATA 2022). Byla vytvořena pomocí funkce *Create Fishnet*. Následně byly vybrány pouze ty polygony sítě, které obsahují data **rastrové mapy**. Následně byl vypočten *Intersect* polygonů každého shluku s touto vrstvou mapových listů a vypočtena statistika (počet polygonů každého shluku v jednotlivých mapových listech) pomocí funkce *Summary Statistics*. Výsledné tabulky statistiky byly pomocí *Join* s vrstvou mapových listů a bylo určeno, který shluk má maximální zastoupení polygonů v daném mapovém listě. Následně bylo vypočteno procentuální zastoupení polygonů ze zjištěného nejvíce zastoupeného shluku v daném mapovém listě.

Analýza prostorového zastoupení shluků dle geologického podloží by měla ověřit hypotézu o souvislosti kresby skal a typu horniny, kterou jsou tvořeny (viz kapitolu 2.1.1). Byla provedena na základě zjištění prostorového překryvu vrstvy geologických jednotek ČR a jednotlivých shluků polygonů skalních útvarů. Vrstva geologických jednotek byla získána

z webu České geologické společnosti (dále jen ČGS) jako volně stažitelná datová sada ve formátu *.gml (ČGS 2022). Vrstvu bylo potřeba nejprve vzhledem k použitému formátu, který nepodporuje ArcGIS přeuložit do formátu *.shp pomocí programu QGIS. V této získané vrstvě geologických jednotek bylo ještě potřeba provést reklasifikaci do menšího počtu kategorií geologických jednotek dle převažujícího typu horniny (viz obrázek 28).



Obrázek 28: Ukázka reklasifikovaných geologických jednotek na území ČR.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČGS (2022).

Vzniklo tak celkem 7 kategorií – pískovce, vápence, žula, přeměněné horniny, vyvřelé horniny, ostatní sedimenty, ostatní horniny. Následně byl postup podobný jako u předchozí analýzy dle mapových listů. Byly opět použity funkce *Intersect* a *Summary Statistics* pro tvorbu výsledné prostorové analýzy.

4 VÝSLEDKY

V této části práce jsou uvedeny výsledky, kterých bylo dosaženo s využitím metodiky popsané v kapitole 3. Jde především o výsledky shlukové analýzy včetně jejich prostorových souvislostí. Na začátku kapitoly je však popsána i výsledná vrstva skalních útvarů použitá pro analýzu a výsledky vedoucí k jejímu vzniku. Na konci kapitoly je zmíněna i časová náročnost výpočtů.

4.1 Výsledná vrstva polygonů skalních útvarů použitá pro analýzu

Výsledkem zpracování vstupních dat pro výpočet shlukové analýzy je **výsledná vrstva polygonů skalních útvarů**. Postup tvorby této vrstvy je popsán v předchozí kapitole (viz kapitoly 3.2–3.5). V této kapitole je nejdříve uvedeno několik mezivýsledků vzniklých při tvorbě této vrstvy a následně je zde popsána samotná výsledná vrstva. Protože je součástí této vrstvy také výpočet příznaku průměrné orientace, který není dále použit pro shlukovou analýzu (důvod viz kapitolu 3.5), je konec této kapitoly věnován také výsledkům analýzy souvislosti s příznakem eroze.

Mezivýsledky vzniklé při tvorbě výsledné vrstvy polygonů skalních útvarů

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3, **výsledná vrstva polygonů skalních útvarů** vznikla ze **vstupní vrstvy polygonů skalních útvarů** pomocí odstranění polygonů na základě výpočtu příznaků. Odstranění polygonů proběhlo na základě nalezení polygonů nevhodných pro analýzu z hlediska chyb ve vstupních datech, určení minimální rozlohy polygonu (1000 m²), dále polygonů, které měly odlehle hodnoty příznaků, a v neposlední řadě polygonů s podílem cizích objektů na ploše větším než 5 % (viz kapitolu 3.4). Počty odstraněných polygonů v těchto jednotlivých krocích jsou uvedeny v tabulce 8. V této tabulce jsou důvody odstranění polygonů uspořádány dle částí postupu zpracování dat, tzn. například uvedený počet odstraněných

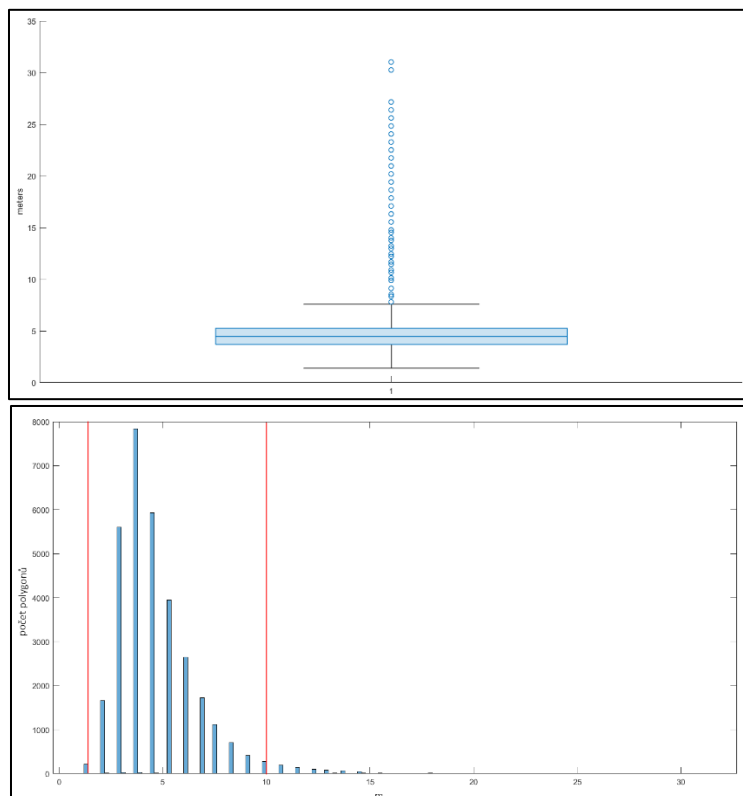
polygonů s rozlohou menší než 1000 m² nemusí přesně odpovídat počtu polygonů s touto rozlohou ve vstupních datech, protože některé polygony splňující tuto podmínku mohly již být odstraněny v některém z předchozích kroků.

Důvod odstranění polygonů ze vstupní vrstvy	Počet odstraněných polygonů
1. duplicita dat, polygony nezahrnující šrafy	1304
2. nevypočtené polygony pomocí skriptů <code>prepare_data.py</code> a <code>příznaky.py</code>	404
3. polygony s rozlohou menší než 1000 m ²	12537
4. polygony s odlehlými hodnotami příznaků	2475
5. polygony s podílem cizích objektů na ploše větším než 5 %	6909

Tabulka 8: Počty odstraněných polygonů ze vstupní vrstvy v jednotlivých krocích zpracování dat.

Zdroj: vlastní tvorba.

Odstranění polygonů s odlehlými hodnotami příznaků bylo provedeno na základě výpočtu boxplotů a histogramů v Matlabu (postup viz kapitola 3.4). Na obrázku 29 je zobrazena ukázka těchto grafů pro příznak *dilatace*. Krajní hodnoty intervalů příznaků polygonů, které byly dále použity pro výpočet shlukové analýzy, jsou v grafu na obrázku 29 nahoře znázorněny černou čarou jako „vousy“ boxplotu (výpočet těchto krajních hodnot viz kapitolu 3.4). V histogramu pro příznak *dilatace* zobrazeném na obrázku 29 dole jsou pro ukázkou vyznačeny také ony krajní hodnoty intervalu získané z boxplotu (jedná se o hodnoty 1,39 m a 10 m). Všechny boxploty a histogramy vypočtené pro ostatní příznaky jsou uvedeny v příloze 2.



Obrázek 29: Ukázka boxplotu a histogramu pro příznak dilatace.

Zdroj: vlastní tvorba.

V tabulce 9 jsou zapsány intervaly hodnot příznaků polygonů použitých pro výpočet shlukové analýzy. Z této tabulky a odpovídajících grafů uvedených v příloze 2 je patrné, že byly odstraněny pouze odlehle hodnoty příznaků, aby bylo co nejvíce příznaků zachováno pro výpočet shlukové analýzy a zároveň byly ošetřeny případy, kdy by mohly odlehle hodnoty příznaků výrazně ovlivnit výsledky shlukové analýzy (objekty s odlehlými hodnotami některého z příznaků by vytvořily jednoprvkové shluky). To však neznamená, že v datech nezůstaly objekty, u kterých je odlehlost způsobena kombinací příznaků (nikoliv jen jedním), jejichž nalezení při výpočtu shluků je popsáno v kapitole 4.2.

Název příznaku	Intervaly hodnot ponechaných pro výpočet shlukové analýzy
Pokreslení šrafami	0,16–0,89
Dilatace	1,39–10,00 m
Eroze	1,39–8,40 m
Průměr okolí pixelu	4,94–7,95
Modus okolí pixelu	2–8
Středové linie	0,06–0,23 m/m ²

Tabulka 9: Intervaly hodnot jednotlivých příznaků ponechaných pro výpočet shlukové analýzy.

Zdroj: vlastní tvorba.

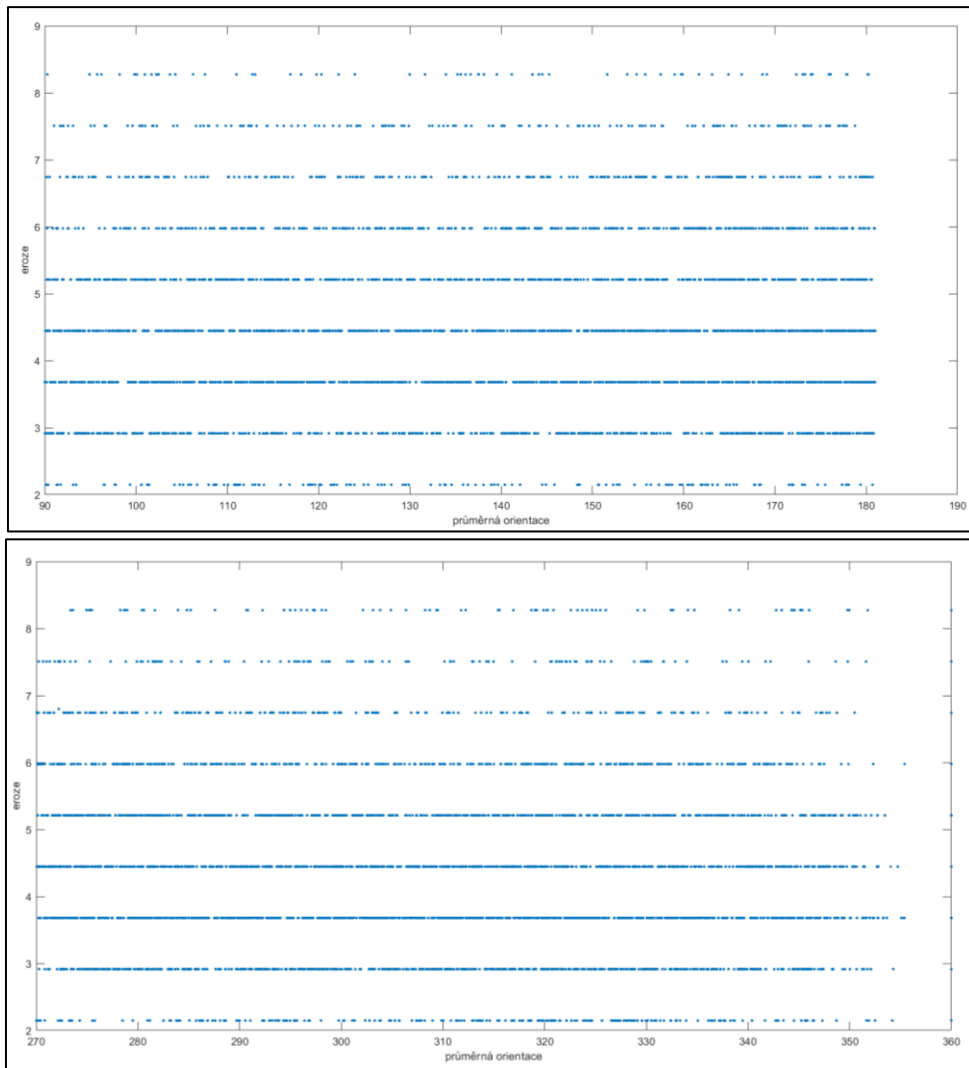
Výsledná vrstva polygonů skalních útvarů

Výsledná vrstva polygonů skalních útvarů obsahuje celkem 17 683 polygonů (z původních 41 312, tj. 43 % původního počtu polygonů) a je v ní vypočteno 8 příznaků. Pro vybrané příznaky použité k výpočtu shlukové analýzy (**dilatace**, **eroze**, **průměr okolí pixelu** a **středové linie**) jsou v této vrstvě vypočteny také jejich normalizované hodnoty (viz kapitolu 3.5).

Analýza souvislosti průměrné orientace s erozí

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.5, korelace mezi **průměrnou orientací** a ostatními příznaky potvrzena nebyla. Proto byla provedena samostatná analýza souvislosti **průměrné orientace** s **erozí** na základě porovnání **eroze** s jednotlivými intervaly **průměrné orientace**. Byly vymezeny dva intervaly pro převažující jihovýchodní orientaci (90°–180°) a převažující severozápadní orientaci (270°–360°, resp. 0°) Výsledné grafy pro tyto intervaly jsou zobrazeny na obrázku 28.

Smyslem této analýzy bylo ověřit, zda byla dodržována zásada stínování kresby skal popsaná v kapitole 2.1.1. Pokud by tak tomu bylo, měla by se projevit souvislost mezi převažující severozápadní orientací a nízkými hodnotami eroze, a naopak vysokými hodnotami eroze při převažující jihozápadní orientaci. Z grafů na obrázku 30 je však patrné, že tato hypotéza potvrzena nebyla. Protože rozložení hodnot eroze je ve všech intervalech průměrné orientace velmi podobné. Dokládá to také průměrná hodnota eroze, která je v obou intervalech velmi podobná (viz tabulka 10).



Obrázek 30: Grafy závislosti průměrné orientace na erozi.

Nahoře pro převažující jihovýchodní orientaci skalního útvaru a dole pro převažující severozápadní orientaci.

Zdroj: vlastní tvorba.

Interval orientace	Počet polygonů	Průměrná hodnota eroze (m)
90°–180°	3851	4,6
270°–360°	4338	4,5

Tabulka 10: Průměrná hodnota eroze a počet polygonů v jednotlivých intervalech orientace.

Zdroj: vlastní tvorba.

4.2 Výsledky shlukové analýzy

Shluky byly vypočteny dvěma způsoby – jednak při určování optimálního počtu shluků, jednak pomocí funkce *Multivariate Clustering* (viz kapitole 3.6). V této kapitole jsou uvedeny výsledky pro zvolený počet 11 shluků na základě výpočtu parametru J (viz obrázek 27 v kapitole 3.6) pro obě metody shlukování. Metody jsou porovnávány na základě počtů polygonů přiřazených do jednotlivých shluků, těžišť a rozptylu shluků a boxplotů pro jednotlivé příznaky. Na základě

těchto výsledků je nakonec zvolena metoda, jejíž výsledky jsou odolnější vůči odlehlým pozorováním. Ke shlukům vypočteným pomocí zvolené metody jsou nakonec uvedeny pro ukázkou reprezentativní polygony.

Počty polygonů v jednotlivých shlucích

V tabulce 11 jsou uvedeny počty polygonů klasifikovaných do 11 shluků pomocí dvou metod shlukové analýzy. Z tabulky je patrné, že klasifikace do 11 shluků vzniklá při hledání optimálního počtu shluků se jeví být velmi citlivá na odlehlá pozorování, protože do více jak poloviny shluků bylo přiřazeno velmi málo polygonů. Naopak výsledek klasifikace pomocí funkce *Multivariate Clustering* obsahuje rovnoměrněji rozložené polygony do shluků. Počet polygonů přiřazených do jednotlivých shluků ale ještě nic neříká o charakteristice těchto shluků, především o jejich (ne)podobnosti, proto byla vypočtena ještě jejich těžiště a rozptyl (viz níže).

Číslo shluku	Počty polygonů	
	Klasifikace při hledání optimálního počtu shluků	Klasifikace pomocí funkce <i>Multivariate Clustering</i>
1	1	1957
2	2	1354
3	7	1533
4	11	1188
5	15	1273
6	351	1756
7	7	1079
8	4	2212
9	2256	1806
10	6553	1141
11	8476	2384

Tabulka 11: Počty polygonů v jednotlivých shlucích.

Zdroj: vlastní tvorba.

Těžiště a rozptyl shluků vypočtených při hledání optimálního počtu shluků

Z podstaty shlukové analýzy vyplývá, že cílem je zachytit podobnost objektů v rámci shluku a zároveň nepodobnost objektů patřících do různých shluků (Hendl 2009), resp. nepodobnost shluků navzájem (viz kapitulu 2.2). Pro popis podobnosti, resp. nepodobnosti shluků byla vypočtena jejich těžiště a rozptyl. Při porovnání shluků na základě jejich těžiště a rozptylu platí, že pokud vypadají shluky dle těžiště zdánlivě odlišné, ale mají velký rozptyl, jejich oddělitelnost nemusí být ideální, resp. mohou se překrývat. Právě z tohoto důvodu je kromě těžiště vypočten i rozptyl shluků jak pro klasifikaci při hledání optimálního počtu shluků (popsáno v této podkapitole), tak i pro klasifikaci pomocí funkce *Multivariate Clustering* (viz níže). Výsledky pro shluky vzniklé při klasifikaci na základě hledání optimálního počtu shluků jsou uvedeny v tabulkách 12 a 13.

V tabulce 12 je možné si všimnout, že shluky 1 a 2 se liší pouze v příznaku *průměru okolí pixelu*. Protože však tyto dva shluky čítají pouze jeden a dva polygony, je pravděpodobné, že se jedná o objekty, u nichž je odlehlost je způsobena kombinací příznaků, nikoliv jen jedním (viz kapitolu 4.1), tzn. nereprezentují statisticky významný způsob kresby šraf.

Velmi malého počtu polygonů dosahují dle tabulky 11 také třídy 3, 7 a 8. Tyto shluky se již v příznacích odlišují více, především se jedná o příznaky *dilatace* a *eroze*. Protože rozptyl těchto shluků dosahuje nízkých hodnot, dá se předpokládat i jejich odlišnost. Ovšem s přihlédnutím k nízkému počtu polygonů přiřazených do těchto shluků se může opět jednat o polygony nereprezentující statisticky významný způsob kresby šraf.

Číslo shluku	Výpočet těžiště tříd z klasifikace při hledání optimálního počtu shluků			
	Dilatace	Eroze	Průměr okolí pixelu	Středové linie
1	1,00	0,26	0,67	0,27
2	1,00	0,26	0,71	0,27
3	0,22	1,00	0,91	0,70
4	0,28	0,96	0,92	0,39
5	0,93	0,98	0,90	0,72
6	0,78	0,85	0,88	0,53
7	0,92	0,46	0,88	0,83
8	0,79	0,75	0,87	0,93
9	0,68	0,40	0,76	0,49
10	0,43	0,43	0,78	0,71
11	0,47	0,67	0,86	0,66

Tabulka 12: Výpočet těžiště tříd z klasifikace při hledání optimálního počtu shluků.

Zdroj: vlastní tvorba.

Číslo shluku	Výpočet rozptylu tříd z klasifikace při hledání optimálního počtu shluků			
	Dilatace	Eroze	Průměr okolí pixelu	Středové linie
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,01	0,01
3	0,00	0,00	0,01	0,05
4	0,06	0,05	0,01	0,07
5	0,08	0,04	0,04	0,09
6	0,13	0,10	0,04	0,09
7	0,05	0,03	0,06	0,07
8	0,07	0,09	0,07	0,03
9	0,18	0,10	0,06	0,10
10	0,10	0,08	0,05	0,10
11	0,14	0,13	0,04	0,10

Tabulka 13: Výpočet rozptylu tříd z klasifikace při hledání optimálního počtu shluků.

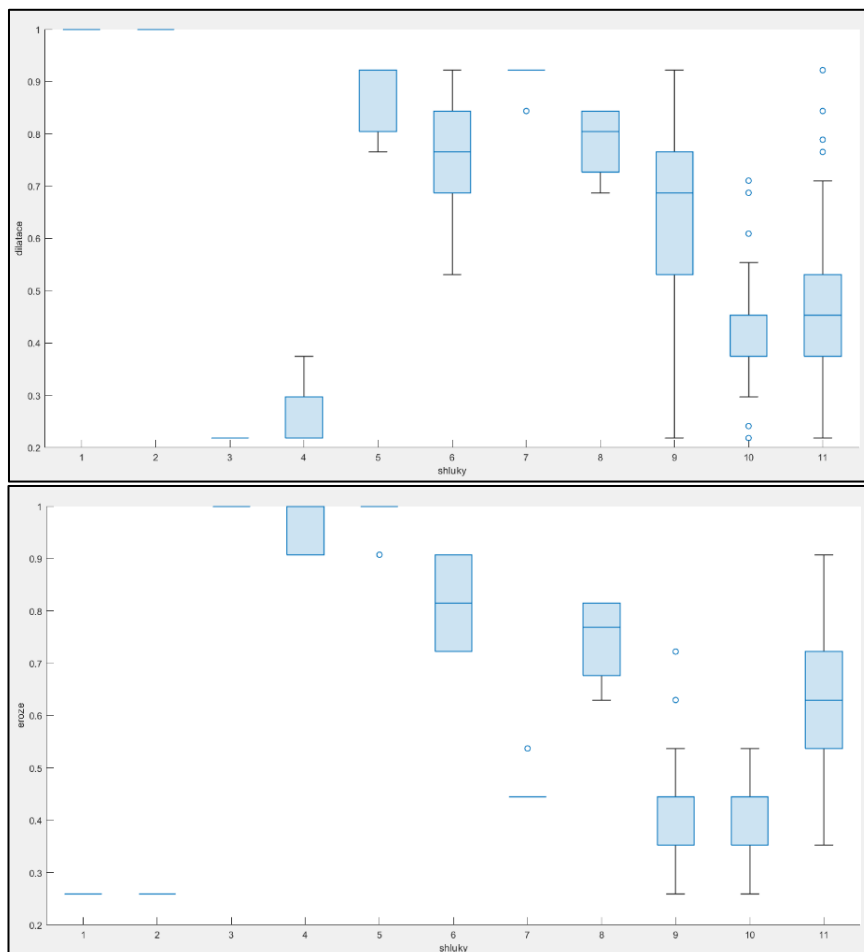
Zdroj: vlastní tvorba.

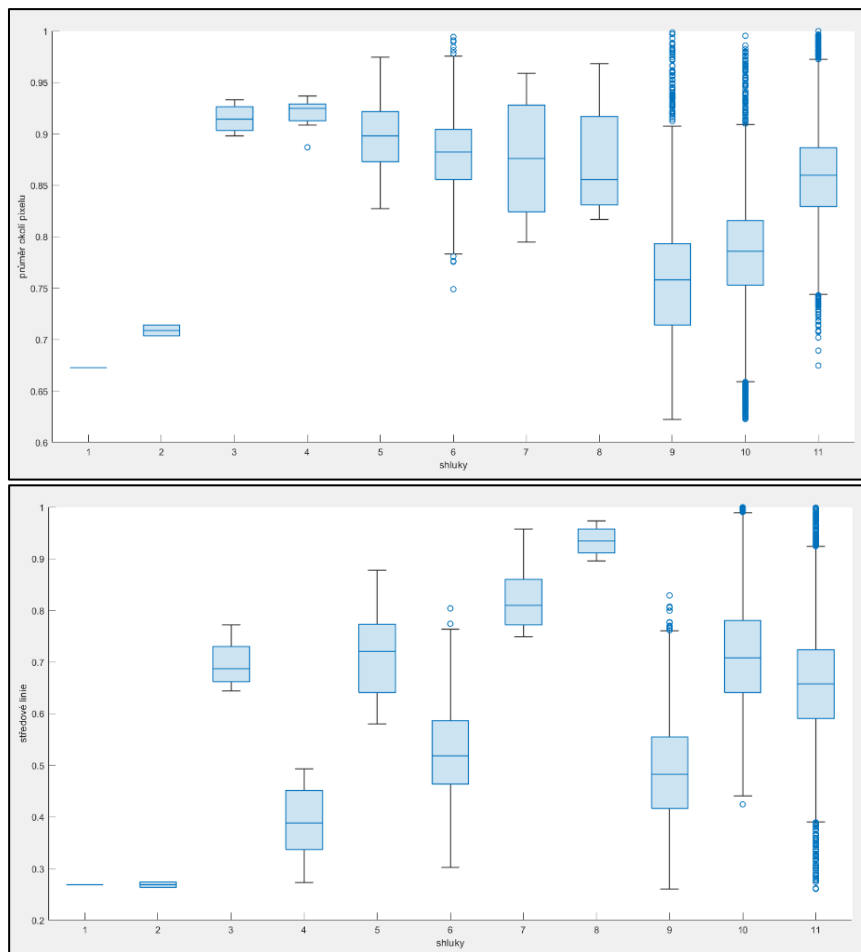
Zajímavé je také porovnání shluků, které obsahují jednotky tisíc polygonů – jedná se o shluky 9, 10 a 11. Tyto shluky se výrazněji liší pouze v příznaku *středových linií*. Z pohledu rozptylu ale dosahují tyto shluky vyšších hodnot než ostatní shluky. Dá se tedy předpokládat, že se jedná

o shluky, které si jsou více podobné než ostatní. To je však způsobeno také větším počtem přiřazených polygonů do těchto shluků než v ostatních shlucích. Tyto shluky by proto bylo potřeba pro jejich lepší odlišení ještě dále dělit na menší shluky.

Těžiště a rozptyl, ale i odlehle hodnoty příznaků v jednotlivých shlucích je možné také vizualizovat pomocí boxplotu. Na obrázku 31 jsou zobrazeny boxploty pro všechny čtyři příznaky použité ke klasifikaci dle jednotlivých tříd. Z těchto grafů je patrné, že velkého rozpětí hodnot dosahují právě příznaky shluků s vysokým počtem polygonů (shluky 9, 10 a 11), což potvrzuje zjištění z tabulek 12 a 13 uvedené výše.

Velké variability dosahuje dle boxplotů také shluk 6, a to v příznaku *dilatace*, a především *průměru okolí pixelu* a *středových linií*. Z tabulky 11 vyplývá, že tento shluk obsahuje 4. nejvyšší počet polygonů, hned po třídách 9–11.





Obrázek 31: Boxploty příznaků dle jednotlivých tříd klasifikovaných při hledání optimálního počtu shluků.
 Grafy pro příznaky (shora): dilatace, eroze, průměr okolí pixelu a středové linie.
 Zdroj: vlastní tvorba.

Těžiště a rozptyl shluků vypočtených pomocí funkce Multivariate Clustering

Stejně jako shluky klasifikované při hledání optimálního počtu shluků byla analyzována také těžiště a rozptyl shluků získaných pomocí funkce *Multivariate Clustering*. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 14 a 15. Dle rovnoměrnějšího počtu polygonů v jednotlivých shlucích (viz tabulku 11) se zdá tato klasifikace odolnější vůči odlehlým pozorováním. Největší počet polygonů má dle tabulky 11 shluk 11, naopak nejméně shluk 7.

Nejzastoupenější shluk 11 je v příznacích **dilatace** a **středových linií** velmi podobný se shlukem 8, do kterého byl přiřazen druhý nejvyšší počet polygonů. Celkově ale příznaky v těchto shlucích dosahují nižších hodnot rozptylu, což poukazuje na jejich lepší odlišnost. Naopak nejméně zastoupený shluk 7 je nejvíce podobný se shlukem 2 v příznacích **eroze** a **průměru okolí pixelu**, naopak se ale výrazně liší v příznaku **středových linií**. V příznaku **dilatace** se liší pravděpodobně méně, než by se dalo z hodnot těžišť předpokládat, protože u tohoto příznaku dosahuje rozptyl oproti ostatním příznakům nejvyšších hodnot u obou shluků.

Číslo shluku	Výpočet těžiště tříd z klasifikace pomocí funkce Multivariate Clustering			
	Dilatace	Eroze	Průměr okolí pixelu	Středové linie
1	0,62	0,52	0,81	0,69
2	0,48	0,34	0,71	0,66
3	0,41	0,88	0,90	0,64
4	0,48	0,58	0,84	0,50
5	0,75	0,71	0,89	0,60
6	0,40	0,43	0,78	0,82
7	0,53	0,35	0,71	0,45
8	0,40	0,47	0,80	0,64
9	0,36	0,61	0,85	0,81
10	0,80	0,45	0,77	0,51
11	0,40	0,65	0,87	0,66

Tabulka 14: Výpočet těžiště tříd z klasifikace pomocí funkce Multivariate Clustering.

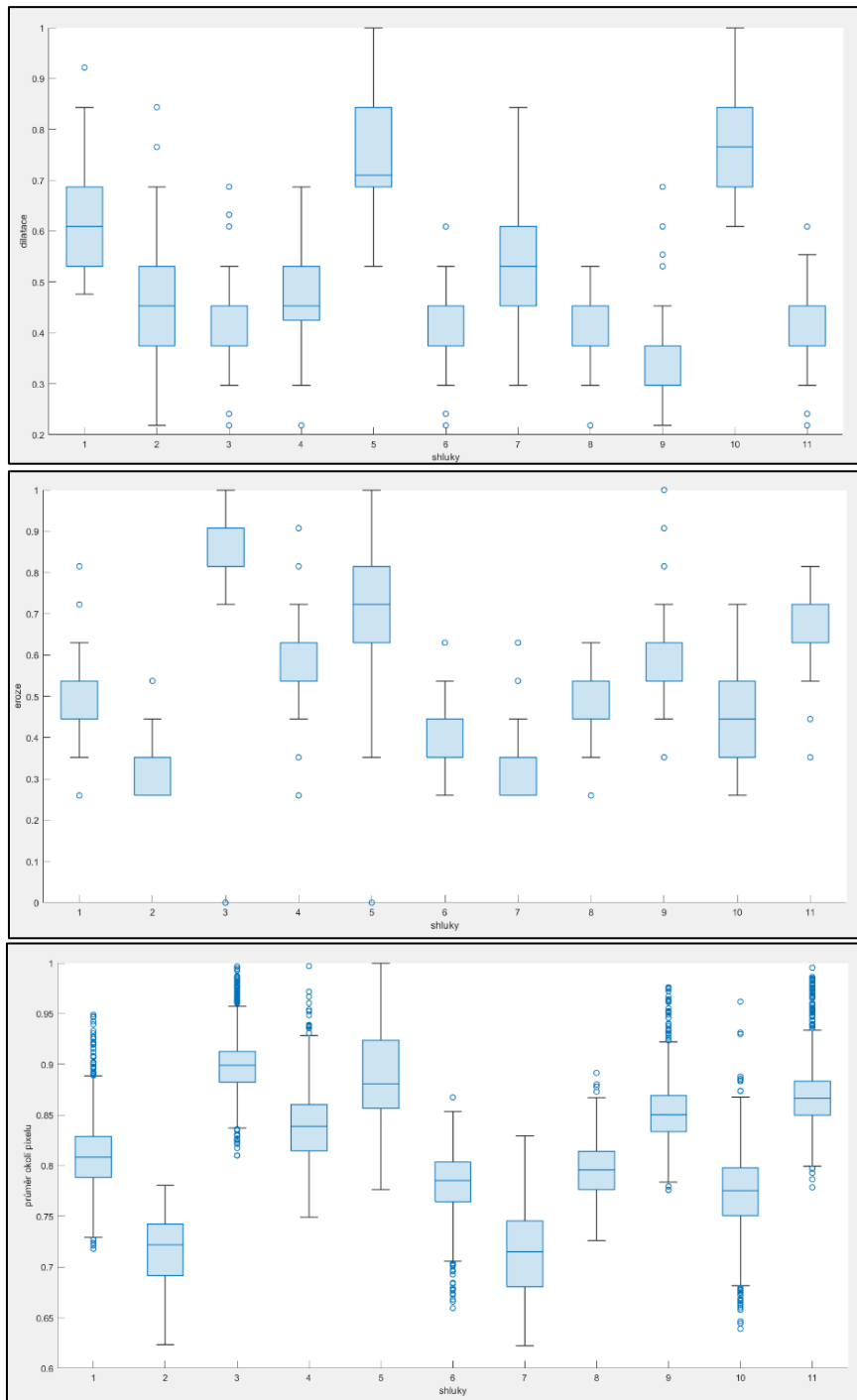
Zdroj: vlastní tvorba.

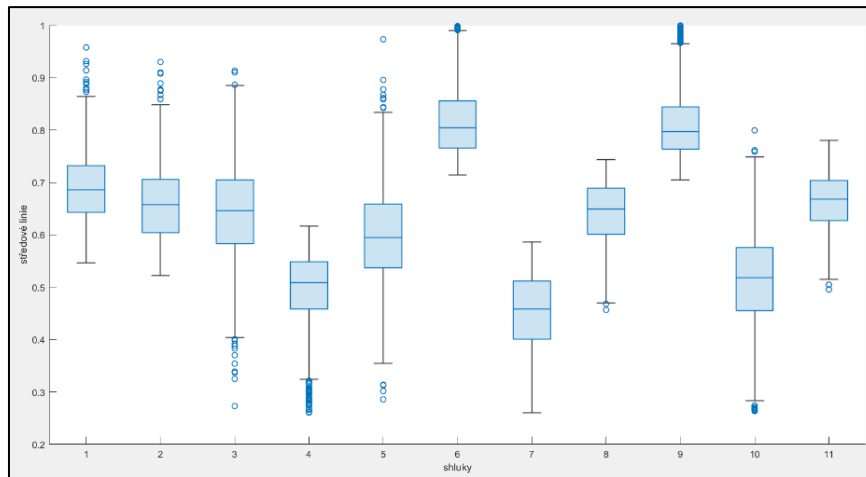
Číslo shluku	Výpočet rozptylu tříd z klasifikace pomocí funkce Multivariate Clustering			
	Dilatace	Eroze	Průměr okolí pixelu	Středové linie
1	0,08	0,08	0,03	0,06
2	0,10	0,06	0,04	0,07
3	0,10	0,07	0,03	0,09
4	0,10	0,09	0,03	0,07
5	0,11	0,14	0,05	0,09
6	0,08	0,07	0,03	0,06
7	0,11	0,07	0,04	0,08
8	0,07	0,07	0,03	0,06
9	0,08	0,09	0,03	0,06
10	0,11	0,10	0,04	0,09
11	0,08	0,07	0,03	0,05

Tabulka 15: Výpočet rozptylu tříd z klasifikace pomocí funkce Multivariate Clustering.

Zdroj: vlastní tvorba.

Opět byly také statistické hodnoty vizualizovány pomocí boxplotů pro každý příznak. Grafy jsou zobrazeny na obrázku 32. Zde je patrné, že velmi rozptýlené jsou jak hodnoty příznaků shluku 10, tak také i hodnoty shluku 5. V případě shluku 5 to potvrzují mimo jiné i hodnoty z tabulky 15, a to především u příznaku *dilatace* a *eroze*. V příznaku *průměru okolí pixelu* a *středových linií* se zdá být shluk 5 velmi podobný se shlukem 3 a 11, ovšem v obou případech se výrazně liší v *dilataci*.



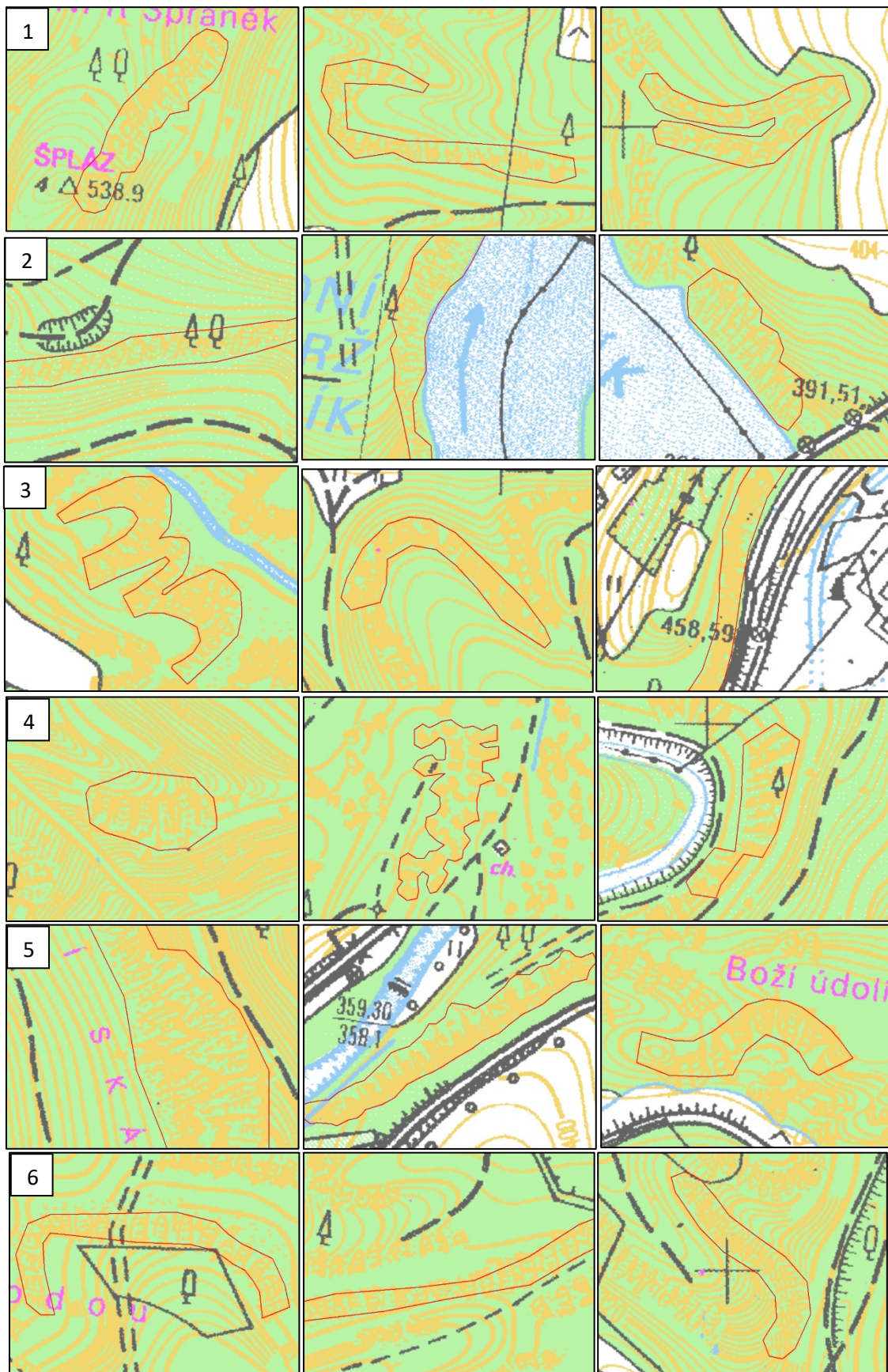


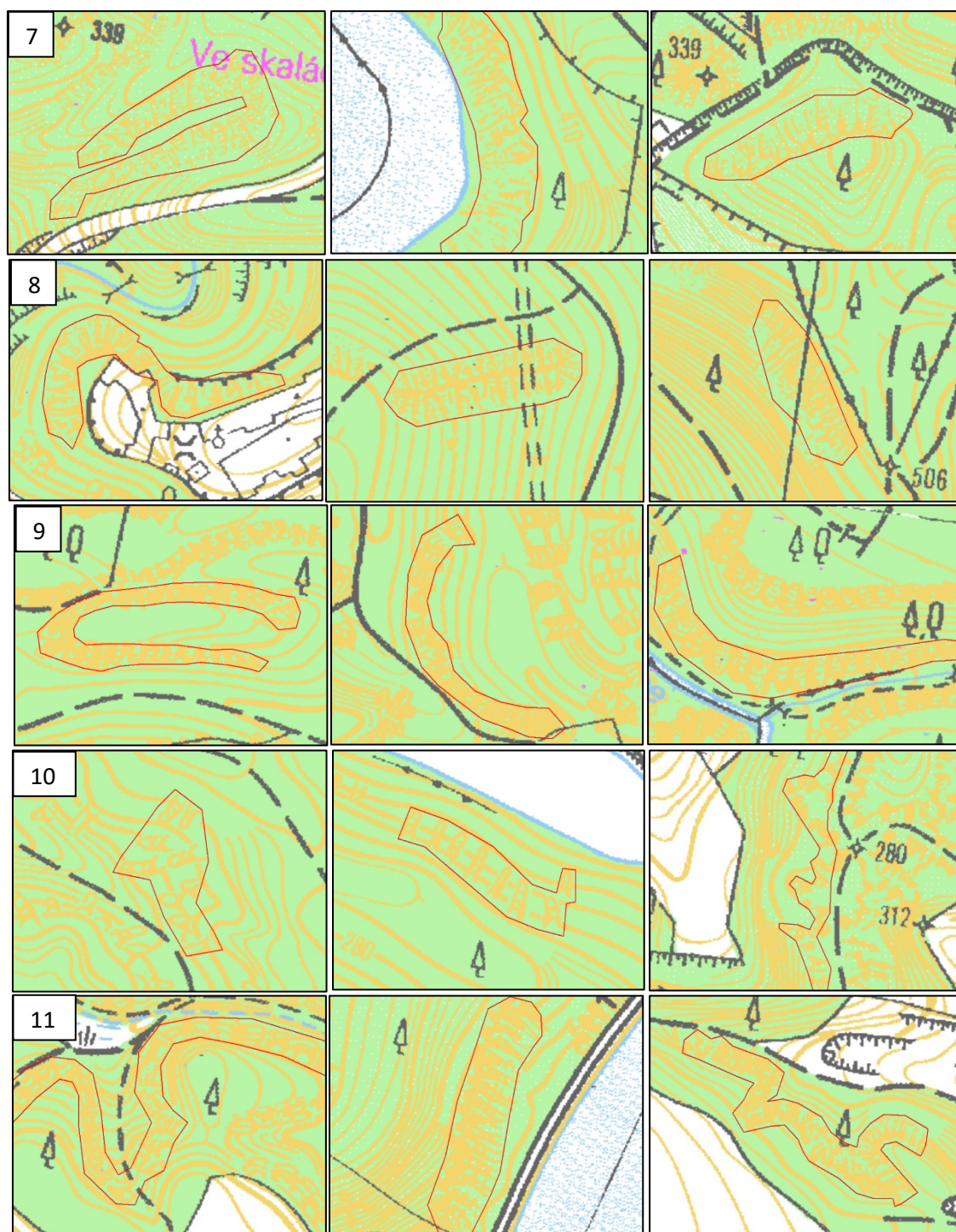
Obrázek 32: Boxploty příznaků dle jednotlivých tříd klasifikovaných Multivariate Clustering.
 Grafy pro příznaky (shora): dilatace, eroze, průměr okolí pixelu a středové linie.
 Zdroj: vlastní tvorba.

Závěrem analýzy (ne)podobnosti shluků ve dvou odlišných přístupech ke klasifikaci je možné shrnout, že výsledky se mezi těmito dvěma přístupy velmi liší. V případě klasifikace při hledání optimálního počtu shluků je patrné, že v datové sadě zůstaly objekty nereprezentující statisticky významný způsob kresby šraf, které mají tendenci při této klasifikaci tvořit samostatné shluky. Tento způsob klasifikace se s nimi obtížněji vypořádává a bylo by potřeba pro dosažení lepších výsledků více shluků a pro účely počítání ignorovat ty, které mají málo prvků, tzn. obsahují odlehle hodnoty. Oproti tomu klasifikace pomocí funkce *Multivariate Clustering* se jeví být odolnější vůči těmto odlehlým hodnotám, se kterými se lépe vypořádala. Z tohoto důvodu byly pro další analýzy vybrány výsledky právě z této druhé klasifikace a z první metody klasifikace byl převzat pouze nalezený optimální počet 11 shluků.

Ukázka reprezentativních polygonů výsledných tříd

V návaznosti na přechodí podkapitolu o (ne)podobnosti shluků vypočtených pomocí funkce *Multivariate Clustering* a na závěr, ve kterém byla tato metoda klasifikace vybrána pro další analýzy, jsou zde uvedeny příklady reprezentativních polygonů náležejících jednotlivým shlukům (viz obrázek 33). Pro přehlednost jsou uvedeny vždy jen tři polygony z každého shluku, a to takové, které jsou v příznakovém prostoru nejbližší vypočtenému těžišti shluku. Navíc byly tyto reprezentativní polygony vybírány pouze z těch, které mají rozlohu větší než 5000 m², aby se u nich co nejvíce mohl projevit rozdílný charakter kresby. Polygony ovšem nejsou na obrázku 33 z důvodu snahy o přehlednost zobrazeny ve stejném měřítku 1 : 1000.





Obrázek 33: Ukázky reprezentativních polygonů náležejících jednotlivým shlukům.

Jednotlivá čísla u obrázků vlevo odpovídají číslu shluku. Pro každý shluk jsou na řádku uvedeny tři polygony.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

Z obrázku 33 je patrné, že v některých shlukách jsou vybrané tři reprezentativní polygony navzájem vizuálně velmi podobné (viz shluky 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9), ovšem naopak jsou zde i shluky s vizuálně odlišnými reprezentativními polygony (viz shluky 4, 5, 10, 11).

Vizuálně podobné jsou shluky 2 a 7, které mají kresbu skal zakreslenou tenčími liniemi, což značí především celkově nižší hodnoty eroze oproti ostatním shlukům (viz tabulku 14). Právě

příznak **eroze** mají oba shluky dle hodnot pro jejich těžiště velmi podobný, ovšem rozdílné mají hodnoty především u příznaku **středových linií**, kdy polygony ve shluku 2 dosahují vyšších hodnot tohoto příznaku než polygony ve shluku 7. To může ukazovat na vlastnost polygonů ve shluku 2, které mají sice stejnou (resp. velmi podobnou) tloušťku linií kresby jako polygony patřící do shluku 7, ale kresby skal mají na své ploše více ve smyslu délky linií. Je to vidět také na reprezentativním polygonu ze shluku 7 na obrázku 33 uprostřed, ve kterém je vizuálně kresba skály v dolní části polygonu „roztříštěna“ a neobsahuje zde horizontální šrafy. Oproti tomu kresba skal ve shluku 2 je doplněna horizontálními šrafami mnohem více. Navíc má kresba skal ve shluku 7 vyšší hodnotu **dilatace** než ve shluku 2. Z těchto důvodů vyplývá, že kresba skály ve shluku 7 méně zaplňuje plochu polygonů a obsahuje kratší linie kresby, byť pravděpodobně stejně tlusté, jako ve shluku 2. Zajímavé na reprezentativních polygonech shluku 2 a 7 je také to, že dva z nich jsou ve shluku 2 orientovány spíše na jihovýchod a dva polygony ze shluku 7 spíše na severozápad. Tyto zjištěné charakteristiky by mohly poukazovat na vliv stínování při kresbě skal, který však nebyl exaktně pomocí příznaků použitých pro výpočet shlukové analýzy a z nich vypočtených statistických hodnot prokázán (viz kapitulu 4.1). Pokud se však sečte počet polygonů dle intervalů převažující (průměrné) jihovýchodní a severozápadní orientace pro polygony z obou těchto shluků (viz tabulku 16), je patrné, že se tento předpoklad není možné potvrdit, protože v případě obou shluků je více polygonů orientováno na severozápad. Pokud by předpoklad potvrzen byl, muselo by více polygonů ze shluku 2 být orientováno na jihovýchod.

Převažující směr dle stínování	Intervaly orientace (°)	Počet polygonů shluku 2	Součet počtu polygonů ve shluku 2	Počet polygonů shluku 7	Součet počtu polygonů ve shluku 7
převažující jihovýchodní orientace	46-90	145	610	113	510
	91-135	126		106	
	136-180	142		137	
	181-225	197		154	
převažující severozápadní orientace	226-270	213	744	173	569
	271-315	207		147	
	315-360	151		111	
	0-45	173		138	

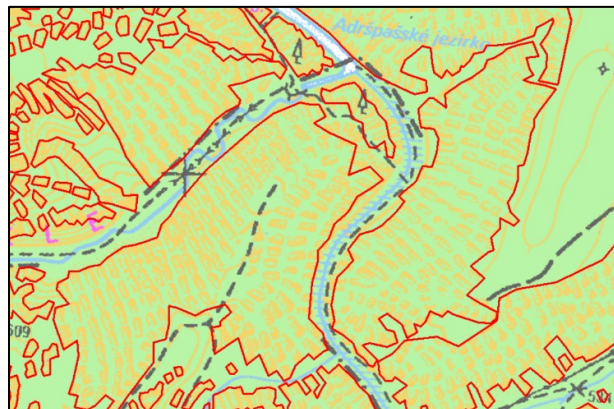
Tabulka 16: Počet polygonů ve shlucích 2 a 7 dle průměrné orientace.

Zdroj: vlastní tvorba.

Dále jsou si vizuálně podobné shluky 1, 6 a 9, a to především proto, že je na všech jejich reprezentativních polygonech rozeznatelná kresba skal, která je používána pro pískovcový typ reliéfu, tzv. pytlovitý typ kresby (viz kapitulu 2.1.1). Vizuálně nejvíce zaplněné polygony kresbou skály s nejtlustšími liniemi kresby mají polygony z těchto tří shluků ve shluku 9. To dokazují také hodnoty těžišť shluků, kdy shluk 9 dosahuje nízké hodnoty **dilatace** a vysoké hodnoty **eroze** (viz tabulku 14). Naopak vysoké hodnoty **dilatace** a nízké hodnoty **eroze** mají

polygony shluku 1, u kterého je možné na obrázku 33 vidět polygony o trochu méně pokreslené kresbou skály, čímž je kresba skály mnohem lépe rozpoznatelná, než u shluku 9, ve kterém má kresba skal tendenci se dokonce i slévat (viz obrázek uprostřed u shluku 9 na obrázku 33). Typická kresba pro pískovcové skály se nachází také u polygonů ve shluku 10, který je ale od shluků 1, 6 a 9 výrazně odlišný. Polygony ve shluku 10 jsou kresbou skály velmi málo zaplněny, spíše obsahují jednotlivé osamocené skály. Vysoká hodnota **dilatace** a nízká hodnota **eroze** uvedené u shluku 10 v tabulce 14 toto také dokládají. Oproti shlukům 1, 6 a 9 má shluk 10 také nižší hodnotu příznaku **středových linií**, což poukazuje na již zmíněné nižší zakreslení polygonu šrafami. V případě třetího reprezentativního polygonu u shluku 10 na obrázku 33 vpravo se kresby skal dokonce slévá, ovšem do velmi malých a oddělených částí, proto to neovlivňuje tak výrazně hodnoty příznaku **dilatace**, pouze **eroze**.

Jistý problém představuje kresba skal specifická pro pískovcový reliéf, která je i na příkladu reprezentativních polygonů zastoupená ve více shlucích (viz obrázek 33 např. shluky 1, 4, 5, 6, 8, 10). Pomocí navržených příznaků je však velmi obtížné charakteristický „pytlovitý“ tvar šraf pro pískovcový reliéf jednoznačně odlišit od ostatních. Nebyly také zjištěny jejich jednoznačné charakteristické rysy kresby, protože kresba pískovcových skal je kreslena jak tenkými, tak i tlustějšími liniemi. Někdy jsou polygony skalních útvarů velmi málo zakresleny kresbou šraf (např. ve shluku 10), ovšem v některých případech se kresba skály také slévá a je tím pádem polygon skály výrazně zakreslený kresbou (např. ve shluku 6 či ve shluku 9 vpravo). To výrazně snižuje šanci jednoznačně klasifikovat dle navržených příznaků tento typ kresby do samostatného shluku/shluků. Navíc byly také zjištěny chyby ve vektorizaci při tvorbě vstupní vrstvy **polygonů skalních útvarů** – v pískovcových oblastech byly polygony zakreslovány velmi nepřesně, přičemž některé kresby skal byly vektorizovány jako samostatné polygony, jindy bylo více skal spojeno do větších polygonů (viz obrázek 34, kde je zobrazena ukázka z Adršpašsko-teplických skal). Tyto důvody poukazují na nejednotnost v rámci tohoto typu reliéfu, z čehož vychází prostorová analýza dle typu horniny (viz kapitola 4.3).



Obrázek 34: Ukázka problému s vektorizací skalních útvarů v pískovcových oblastech.

Zdroj: ČÚZK (2007 a 2008).

4.3 Prostorová analýza výsledků

Jak již bylo naznačeno výše, při analýze výsledných shluků je možné klást si otázky, zda má jejich výskyt nějaké prostorové uspořádání. Proto byly popsány dvě hypotézy prostorové souvislosti (viz kapitola 3.7), a to s mapovými listy TM 10 a typem horniny. V této kapitole jsou uvedeny výsledky těchto prostorových analýz.

Analýza prostorového zastoupení shluků v jednotlivých mapových listech TM 10

Tato analýza testuje hypotézu, zda rozdělení polygonů skalních útvarů pomocí shlukové analýzy koresponduje se zastoupením polygonů v mapových listech TM 10. Dle způsobu tvorby TM 10 nastíněné v kapitole 2.1.2 je možné očekávat konzistenci kresby v mapových listech TM 10. Proto je smyslem této analýzy ověřit, zda jsou listy mapy TM 10 homogenní z hlediska nalezených stylů kresby, které jsou reprezentovány jednotlivými shluky ze shlukové analýzy (viz kapitola 4.2). Analýza byla provedena pouze u těch mapových listů, na jejichž území se nachází 5 a více polygonů, protože nízký počet polygonů v mapovém listu by přinesl velmi zkreslené výsledky.

Na prvním obrázku v příloze 3 je zobrazen podíl nejčastěji zastoupeného shluku v jednotlivých mapových listech TM 10, tj. kolik procent polygonů v daném mapovém listu bylo klasifikováno do nejvíce zastoupené třídy v tomto mapovém listu. Dle výše uvedené hypotézy by v ideálním případě mělo ve všech mapových listech vycházet 100 %. Podíl nejčastěji zastoupeného shluku blížící se 100 % se zde sice v některých mapových listech také vyskytuje, ale spíše u mapových listů s nižším celkovým počtem polygonů. Proto je v tabulce 17 pro ukázkou uveden průměrný počet polygonů v mapových listech dle podílu nejčastěji zastoupeného shluku.

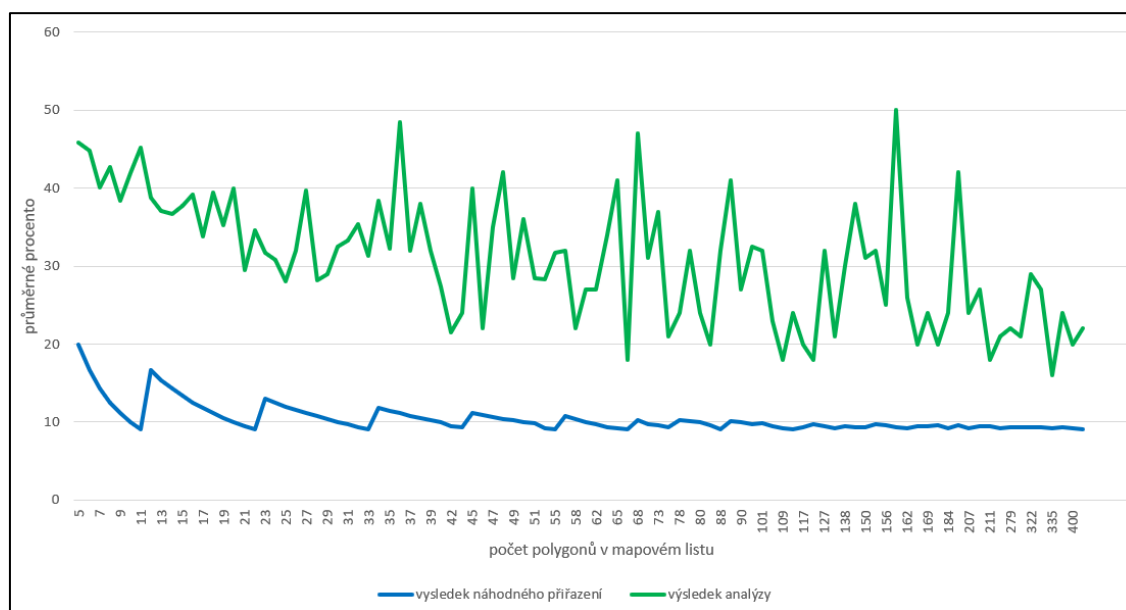
Průměrné procento zastoupení nejčastějšího shluku přes všechny listy TM 10 (resp. ty, které obsahují 5 a více polygonů) je 38,8 %. Pokud by se zahrnuly všechny mapové listy obsahující polygony, zvýšilo by se toto průměrné procento na 60,3 %, z toho důvodu, že 863 mapových listů z 1495 (tj. 57 %) obsahuje velmi málo polygonů (méně než 5), a tím pádem dosahuje snadněji vysokých hodnot podílu nejčastěji zastoupeného shluku.

Podíl nejčastěji zastoupeného shluku	Průměrný počet polygonů v mapovém listu
100–72 %	24
71–51 %	68
50–34 %	246
33–16 %	294

Tabulka 17: Průměrný počet polygonů v mapovém listu dle podílu nejčastěji zastoupeného shluku.

Vysvětleno v textu.
Zdroj: vlastní tvorba.

Graf na obrázku 35 zobrazuje, jak se liší výsledky analýzy od náhodného přiřazení polygonů do shluků. Vyhází z toho, že při počtu 5 polygonů v mapovém listu je v případě náhodného přiřazení, kdy by byl každý z 5 shluků přiřazen do jiné třídy, průměrné procento (tj. průměr z procentuálního zastoupení nejčetnějšího shluku v daném listu) 20 %. Obdobně je výpočet náhodného přiřazení proveden pro každý počet polygonů v mapovém listu. V grafu pak představuje modrá křivka průměrné procento dle náhodného přiřazení a zelená křivka dle výsledků analýzy pro každý počet polygonů v mapovém listu. V případě, že by průběh křivky výsledků analýzy byl velmi podobný křivce náhodného přiřazení, byla by distribuce shluků náhodná. Protože tomu ale tak není a křivka pro výsledky analýzy dosahuje v grafu vyšších procentuálních hodnot, je tím potvrzeno, že distribuce shluků úplně náhodná není.



Obrázek 35: Analýza prostorového zastoupení shluků v jednotlivých mapových listech TM 10 dle náhodného přiřazení.

Zdroj: vlastní tvorba.

Dále bylo zjišťováno, který konkrétní shluk je tím nejčastěji zastoupeným shlukem v jednotlivých mapových listech. Výsledek analýzy je zobrazen na druhém obrázku v příloze 3, kde jsou barevně odlišeny jednotlivé třídy shluků (číslovány stejně, jako v tabulkách 14 a 15), které v daných mapových listech jsou tím nejčastěji zastoupeným shlukem. Dále je zde pomocí průhlednosti zobrazen podíl z prvního obrázku v příloze 3, resp. nejčastěji zastoupené shluky, které dosahují vysokého podílu v mapovém listu mají nastavenou nízkou průhlednost, naopak shluky s nízkým podílem v mapovém listu vysokou průhlednost. Tím jsou zdůrazněny ty shluky, které dosahují vysokého zastoupení v daném mapovém listu.

Z druhého obrázku v příloze 3 je patrné, že vysokého podílu nejčastěji zastoupeného shluku v jednotlivých mapových listech TM 10 dosahují shluky 2, 3 a 6. Největšího počtu

mapových listů, ve kterých je nejvíce zastoupen, dosáhl shluk 11, což potvrzují i statistické hodnoty uvedené v tabulce 18.

V tabulce 18 jsou uvedeny průměrné podíly, minimální a maximální hodnoty podílů jednotlivých shluků v mapových listech TM 10 a počet mapových listů, ve kterých je shluk nejvíce zastoupen a počet mapových listů, ve kterých je podíl shluku větší než 50 %. Dle těchto hodnot je možné konstatovat, že žádný shluk nedosahuje průměrně nadpolovičního podílu v mapových listech. Rozmezí minimální a maximální hodnoty podílu je u všech shluků poměrně velké, kromě shluku 1, který ale dosahuje průměrně nejnižších hodnot zastoupení v mapových listech.

Číslo shluku	Průměrný podíl v mapovém listu TM 10 (%)	Min. hodnota podílu v mapovém listu TM 10 (%)	Max. hodnota podílu v mapovém listu TM 10 (%)	Počet mapových listů TM 10, ve kterých je daný shluk nejvíce zastoupen	Počet mapových listů, ve kterých je podíl shluku větší než 50 %
1	27	18	42	26	0
2	45	20	90	25	9
3	46	20	100	29	11
4	40	23	83	12	2
5	32	18	56	16	1
6	45	18	100	32	12
7	44	18	67	11	5
8	37	18	69	39	6
9	42	25	86	34	8
10	37	16	64	9	2
11	42	20	75	67	22

Tabulka 18: Statistické zhodnocení podílů převažujícího typu shluku v mapových listech TM 10.

Zdroj: vlastní tvorba.

Jak již bylo uvedeno nejčastěji zastoupeným shlukem v mapových listech, který zároveň dosahuje v nejvíce mapových listech více jak 50 % zastoupení je shluk 11. Ovšem tento shluk v žádném z mapových listů nedosahuje 100 % zastoupení, dokonce jeho maximální hodnota zastoupení v mapovém listu je pouze 75 %. Navíc v předchozí analýze (viz kapitolu 4.1) bylo zjištěno, že se jedná o shluk s nejvyšším celkovým počtem přiřazených polygonů (viz tabulku 11) a s vizuálním rozdílem v kresbě skály patrným již na příkladu tří reprezentativních polygonů (viz obrázek 33).

Další shluky, které dosahují podílu většího než 50 % v větším počtu mapových listů, jsou shluky 3 a 6, z nichž zajímavý je shluk 3. Dle obrázku 33 a tabulky 14 je možné odvodit, že shluk 3 zahrnuje větší počet polygonů, ve kterých se kresba skal více slévá (na obrázku 33 je to patrné u všech reprezentativních polygonů a v tabulce 14 dosahuje shluk 3 nejvyšší průměrné hodnoty *eroze* ze všech shluků). To může potvrzovat, že tento technologický

problém vznikající při reprodukci kresby skal pomocí metody žebříčkové manýry (popsaný v kapitole 2.1.3) je v mapě státního mapového díla velmi rozšířený.

Analýza prostorového zastoupení shluků dle typů hornin

Další ověřovanou hypotézou je předpoklad, zda kresba skal souvisí s typem horniny. Tato hypotéza vychází z historie kresby skal pomocí žebříčkové manýry, kdy se kresba lišila u pískovcového reliéfu (viz kapitola 2.1.1), kde byla provedena charakteristickým „pytlovitým“ tvarem. Z tohoto důvodu byla provedena analýza vypočtených shluků dle typů hornin a bylo zjišťováno, zda určitému typu horniny odpovídá některý z klasifikovaných shluků.

Opět byla vytvořena podobná mapa jako v předchozí analýze, která zobrazuje jednotlivé geologické jednotky rozdělené do kategorií dle nejvíce zastoupeného typu shluku s nastavenou průhledností dle podílu nejvíce zastoupeného shluku v dané geologické jednotce, viz třetí obrázek v příloze 3. Na tomto obrázku je vidět, že vysokých hodnot dosahuje shluk 3 na severozápadě Česka. Obrázek ovšem nic neříká o typu horniny, která se v této oblasti nachází. Proto byla vytvořena ještě tabulka 19, ve které je uveden nejčastěji zastoupený shluk v jednotlivých kategoriích hornin (viz kapitolu 3.7) a jeho podíl v dané kategorii.

Z tabulky 19 vyplývá, že pro vápence je charakteristický typ kresby skal odpovídající shluku 3. Tento shluk také dosahuje nejvyššího podílu nejčastěji zastoupeného shluku v daném typu horniny, a to 24 %, což je ale ve srovnání s podíly, které byly vypočteny v analýze mapových listů velmi nízká hodnota. Také je nutné zdůraznit, že vápence jsou dle rozlohy z typů hornin zastoupeny ve vrstvě geologických jednotek nejméně (viz obrázek 28 v kapitole 3.7).

Typ horniny	Nejčastěji zastoupený shluk	Podíl nejčastěji zastoupeného shluku v daném typu horniny (%)
pískovce	1	15
vápence	3	24
žula	11	17
přeměněné horniny	11	19
vyvřelé horniny	11	18
ostatní sedimenty	11	18
ostatní horniny	11	16

Tabulka 19: Nejčastěji zastoupené typy shluků dle typů hornin.

Zdroj: vlastní tvorba.

Pro pískovce vyšla jako nejčastěji zastoupená kresba skal odpovídající shluku 1. Tento shluk převažuje například v pískovcové oblasti Českého Švýcarska (viz třetí obrázek v příloze 3). Tento shluk ale také dosahuje nízkého podílu v rámci tohoto typu horniny, což značí vysoké zastoupení i ostatních shluků pro daný typ horniny (viz tabulka 20). Z tabulky 20 je však patrné, že pískovcovému typu horniny odpovídá prostorově nejvíce polygonů ze všech shluků. To znamená, že v pískovcových oblastech jsou zastoupeny všechny shluky a prostorová

souvislost mezi pískovcovým typem reliéfu a polygony koncentrovanými v jednom shluku se nepotvrdila.

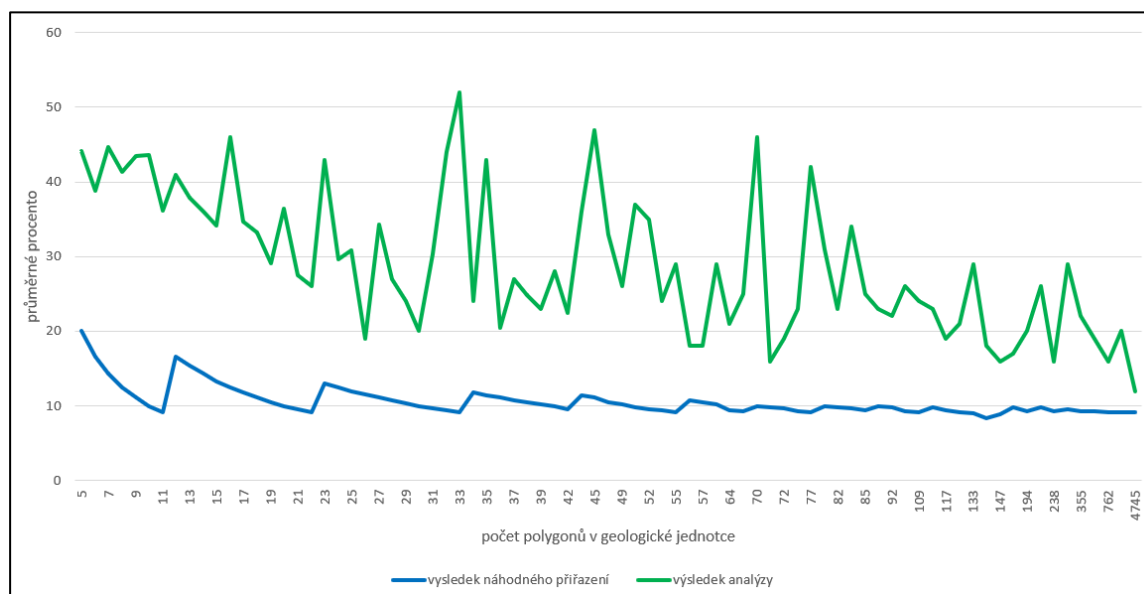
Typ horniny	Číslo shluku										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pískovce	1283	932	694	464	731	1065	570	1046	768	766	927
vápence	13	9	30	8	11	4	14	15	12	7	18
žula	71	31	49	55	53	72	42	107	102	28	113
přeměněné horniny	227	122	207	263	178	225	178	476	290	126	496
vyvřelé horniny	186	152	218	205	132	211	144	321	279	120	395
ostatní sedimenty	221	114	337	216	247	189	123	264	347	140	458
ostatní horniny	40	43	74	33	39	43	51	63	68	30	81

Tabulka 20: Počty polygonů jednotlivých shluků v daných typech hornin.

Počty polygonů dle shluků náležejících pískovcovému typu horniny jsou zvýrazněny zeleně. Vysvětleno v textu.

Zdroj: vlastní tvorba.

Také v rámci této analýzy byla testováno, jak se liší výsledky analýzy (zelená křivka v grafu na obrázku 36) od náhodného přiřazení polygonů do shluků (modrá křivka v grafu na obrázku 36). Protože křivka pro výsledky analýzy dosahuje v grafu vyšších procentuálních hodnot, není distribuce shluků úplně náhodná a potvrzuje to alespoň částečnou souvislost mezi vypočtenými shluky a typem horniny.



Obrázek 36: Analýza prostorového zastoupení shluků v jednotlivých geologických jednotkách dle náhodného přiřazení.

Vysvětleno v textu.

Zdroj: vlastní tvorba.

4.4 Časová náročnost výpočtů

V rámci této práce byly navrženy celkem čtyři skripty a k nim samostatné skripty s funkcemi:

- `prepare_data.py` a `functions_prepare_data.py` – pro tvorbu pomocných vrstev potřebných k výpočtu příznaků;
- `feature.py` a `functions_feature.py` – pro výpočet příznaků;
- `find_clusters.py` a `functions_find_clusters.py` – pro nalezení optimálního počtu shluků, a následně klasifikace do nalezeného počtu shluků dle této metody;
- `arcgis_classification.py` – pro klasifikaci pomocí funkce *Multivariate Clustering*.

Protože vstupní data a z nich vytvořené pomocné vrstvy obsahovaly velký počet dat, byly skripty `prepare_data.py` a `příznaky.py` velmi časově i výpočetně náročné. Časovou náročnost prodlužovaly také navržené operace s tímto velkým počtem dat. Proto byly v průběhu tvorby skriptů prováděny optimalizace, jejichž cílem bylo výpočetní čas co nejvíce snížit.

Nakonec u skriptu `prepare_data.py` byla doba jeho běhu 2 dny a 18 hodin na počítači s osmnácti jádrovým procesorem Intel® Core™ i9-9980XE s CPU 3 GHz a pamětí RAM 128 GB. Výpočet příznaků pomocí skriptu `feature.py` trval přibližně 20 dní, ovšem byl spuštěn částečně paralelně, takže reálný čas výpočtu byl výrazně nižší. Oproti tomu u skriptů pro výpočet shlukové analýzy se podařilo náročnost výpočtu natolik snížit, takže se pohybovala maximálně v řádu minut.

5 DISKUZE

Cílem této práce bylo analyzovat kresbu skalních šraf nakreslených pomocí žebříčkové manýry v českém státním mapovém díle, především na základě mnoha konkrétních použití metody v mapě určit četnost výskytu variant kresby žebříčkové manýry a její případné prostorové souvislosti, aby mohla být potvrzena, nebo zamítnuta hypotéza o nejednotnosti kresby. Ta vychází již z dostupné literatury, ve které je ovšem ilustrována pouze na několika příkladech a dokládána na základě vizuálního zhodnocení autora.

Dílním cílem bylo provést rešerši literatury o žebříčkové manýře ve snaze dostat se k původním zdrojům týkajícím se této metody. Při tom se vycházelo z odkazů v literatuře (Čapek 1973, Lysák 2016), že metoda vznikla v bývalém Sovětském svazu (viz kapitolu 2.1), takže hledání původních zdrojů bylo směřováno k předválečné, resp. těsně poválečné ruskojazyčné odborné literatuře a ke znakovým klíčům map státního mapového díla z poválečného období. O nalezení původních zdrojů k této metodě v ruskojazyčné literatuře se pokusil ve své disertační práci již Čapek (1973), který vycházel z ruských odborných článků z poválečného období. Všechny tyto články (Fedosejev 1961, Galkin a Losojakov 1969, Koldajev 1958, Sidělnikov 1959 a Švědčikov 1967) využitě v práci Čapka (1973) se podařilo získat v originále ve snaze najít v nich další zdroje, na jejichž základě byly sepsány a které by mohly vést k získání původních zdrojů o metodě žebříčkové manýry. Tento předpoklad, se však nepotvrdil, protože k uvedeným článkům nebyly přiloženy vůbec žádné zdroje, resp. odkazy na starší literaturu. Při hledání původních zdrojů se však podařilo nalézt jeden konkrétní údaj o kresbě skal pomocí této metody v ruské učebnici PGUAS (2015), který specifikuje tloušťku linií a jejich rozestup v horní části kresby u hřbetnice (viz kapitolu 2.1.2). Nedá se však ověřit, zda se jedná o původní parametr kresby skal žebříčkovou manýrou, nebo již novější a od původních pravidel upravený údaj. Stanovený cíl dostat se k původním zdrojům o této metodě

se tedy naplnit nepodařilo, protože v žádném z autorce známých (výše uvedených) zdrojích nebyla původní pravidla pro kresbu skal pomocí této metody obsažena. Ovšem v literatuře byla mnohokrát zmíněna nevýhoda žebříčkové manýry, kterou vidí autoři jako logický důsledek absence exaktních pravidel pro kresbu skal pomocí této metody (např. v Čapek 1973, Lysák 2016), což podporuje hypotézu o nejednotnosti zkoumanou v této práci.

Co se týká dostupné literatury, nebyl v rámci této práce problém pouze s nenalezením původních zdrojů o konstrukci této metody. Problémem byl ovšem nedostatek odborné literatury k tématu obecně. Proto není možné v rámci diskuze podrobně konfrontovat výsledky práce s podobnými pracemi. Je to možné pouze do jisté míry u obecně zaměřených prací na problematiku kresby skal pomocí žebříčkové manýry (tj. zdroje Kavan 1955, Čapek 1973 a Lysák 2016). Byla snaha nalézt také studie zabývající se podobnou analýzou kresby na mapách, jako byla provedena v rámci této práce, ovšem nepodařilo se najít takový zdroj, kterým by bylo možné výsledky této práce srovnat (opět ani přinejmenším na obecné úrovni). Tyto problémy s nedostatkem zdrojů jsou důsledkem velmi specifického zaměření této práce.

Dalšími dílčími cíli práce bylo provést analýzu kresby skal za účelem potvrzení či zamítnutí hypotézy o nejednotnosti a vybrat styl kresby: 1. nejlépe odpovídající specifikaci žebříčkové manýry z literatury a 2. nejčastěji zastoupený způsob kresby skal. Následně popsat charakteristiky těchto vybraných stylů kresby a jejich případné prostorové souvislosti. V neposlední řadě vybrat styl kresby za účelem budoucí detailní analýzy pro automatizaci této metody.

Pro provedení analýzy ale bylo potřeba nejprve upravit vstupní data, zvolit a vypočítat příznaky, na jejichž základě byla následně data klasifikována pomocí metod shlukové analýzy. Tyto kroky jsou detailně popsány v metodické části práce (kapitola 3), která je přínosná především proto, že představuje detailní postup analýzy kresby skal od přípravy dat až po prostorovou analýzu výsledků. Právě prostorová analýza výsledků byla provedena na základě dalších dvou hypotéz ověřovaných v rámci této práce. Jedná se o hypotézu o jednotnosti mapových listů TM 10 z hlediska použitých stylů kresby a ověření předpokladu, zda kresba skal souvisí s typem horniny (na příkladu používání specifického typu kresby pro pískovcový reliéf, který je popsán v literatuře (např. Lysák 2016, s. 136) jako tzv. „pytlovitý“ styl kresby).

Problémy ve vstupních datech a příprava dat

Při zpracování dat se objevilo několik problémů ve vstupních datech, které mohly určitým způsobem ovlivnit výsledek. Především se to týkalo vstupní **polygonové vrstvy skalních útvarů**, ve které se vyskytovaly duplicitní polygony, chyby ve vektorizaci polygonů (viz kapitolu 4.2 obrázek 34) a chyby vycházející z prostorového nesouladu polygonů skalních útvarů s **rastrovou mapou**, což bylo způsobeno tím, že se nepodařilo získat starší verzi

polygonů skal, které by přesně odpovídaly výsledku původní vektorizace ZABAGED dle posledního analogového vydání ZM 10. Stejný problém se týkal i třetí vstupní vrstvy, kterou byla vrstva **vrstevnic**. Popis vstupních dat je uveden v kapitole 3.1.

Tyto problémy byla snaha vyřešit tím, že se pracovalo s okolím vstupních polygonových vrstev. U vrstevnic to bylo okolí 3,5 m od linie vrstevnic, které bylo určeno experimentálně na základě tloušťky vrstevnic zakreslených v **rastrové mapě**, a u polygonů skalních útvarů 5 m (viz kapitolu 3.2). Limitem práce s okolím polygonů bylo především použití okolí u polygonů skalních útvarů, protože při výpočtu příznaků (viz níže) bylo potřeba přepočítat hodnoty některých příznaků na plochu skalního útvaru. Proto bylo nakonec od použití tzv. **rozšířené vrstvy skalních útvarů** zvětšené o toto okolí a na jejím základě odvozených pomocných vrstev upuštěno. Pomocné vrstvy však již zůstaly vytvořeny s tímto *Bufferem* a nebyly z důvodu vysoké časové náročnosti výpočtu (viz kapitolu 4.4) přepočítávány, ale byly pouze pro účely výpočtu příznaků oříznuty na původní rozměry polygonů skalních útvarů.

V pomocných vrstvách, které byly vytvořeny pro výpočet příznaků, šlo v souvislosti s výše uvedeným problémem vstupních dat také o problém s nedokonalým odmaskováním vrstevnic. V pomocných vrstvách proto mnohdy zůstaly vrstevnice, které následně algoritmus pro výpočet příznaků (na základě stejné barvy rastrových dat pro vrstevnice i kresbu skal) vyhodnotil jako kresbu skal. Částečně se podařilo polygony, kterých se týkal tento problém, odstranit na základě odlehlých hodnot příznaků (především příznaku pokreslení šrafami), ovšem zcela určitě se nepodařilo je odstranit z výpočtu všechny, což mohlo trochu ovlivnit výsledek, ale pravděpodobně nijak zásadně, viz dále.

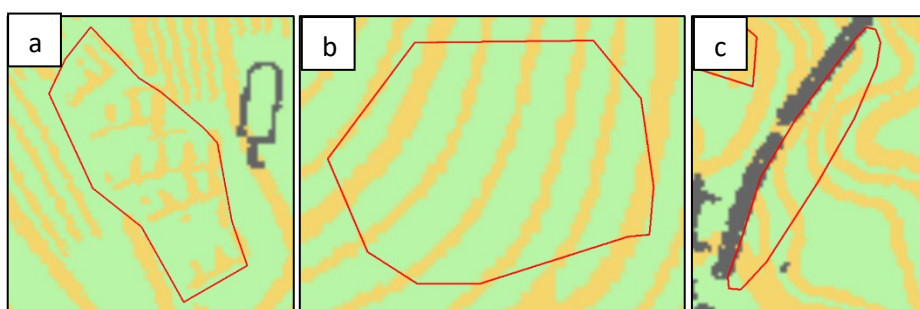
Při pokusu o kvantifikaci počtu polygonů obsahujících pouze vrstevnice bylo prohlédnuto 100 náhodných polygonů, z nichž dva obsahovaly místo kresby skal vrstevnice. Dokonce bylo zjištěno, že tyto dva polygony byly přiřazeny do jednoho shluku, a to shluku číslo 7 (dle číslování zavedeného v kapitole 4.2). Tudíž je možné, že klasifikátor zařadil do tohoto shluku více takových polygonů. Proto byl shluk 7 dále náhodně prohledáván a bylo nalezeno dalších 5 takových polygonů. Hodnoty jejich příznaků jsou uvedeny v tabulce 21. Zajímavý je zde příznak **eroze**, který dosahuje u všech těchto polygonů stejných nízkých hodnot. Také průměrná hodnota tohoto příznaku pro shluk 7 je 0,35 (viz tabulku 14 v kapitole 4.2). To znamená, že tyto polygony by mohlo být možné rozlišit dle nízké hodnoty **eroze**, která vychází z poměrně úzké kresby vrstevnic na **rastrové mapě**. Na druhou stranu tuto filtraci nelze udělat plošně v celém datovém souboru, protože stejných hodnot eroze nabývají i jiné polygony, ve kterých kresba skal je (např. polygon na obrázku 37 a, jehož hodnoty příznaků jsou uvedeny v tabulce 21).

Srovnání polygonu s vrstevnicemi a s kresbou skal se stejnou hodnotou eroze je na obrázku 37. Na tomto obrázku je patrné, že kresba vrstevnic má s kresbou skály v tomto případě velmi podobnou tloušťku linií a zároveň i nízké pokreslení polygonu kresbou. Pokud by bylo možné poznat chybné polygony s kresbou vrstevnic podle nízkého příznaku *eroze*, nabízí se před dalším zpracováním výsledných dat této práce projít také shluk 2, který má velmi podobnou průměrnou hodnotu *eroze* (viz tabulku 14, v kapitole 4.2), ovšem při náhodném prohledávání tohoto shluku byl nalezen pouze jeden polygon se zakreslenými vrstevnicemi (viz obrázek 37 c a hodnoty příznaků polygonu v tabulce 21). Důvod přiřazení těchto chybných polygonů do shluku 7 je tedy pravděpodobně způsoben ještě vlivem jiného příznaku. Z tabulky 21 je patrné, že by se mohlo jednat o příznak *středových linií*, který má polygon ze shluku 2 vyšší než polygony ze shluku 7. To by mohla dokládat i průměrná hodnota tohoto příznaku, která je v případě shluku 2 vyšší než u polygonů ze shluku 7 (viz tabulku 14, v kapitole 4.2).

Odpovídá obrázku 39	Číslo shluku	Dilatace	Eroze	Průměr okolí pixelu	Středové linie
a	7	0,61	0,26	0,66	0,45
b	7	0,53	0,26	0,70	0,41
	7	0,53	0,26	0,73	0,35
	7	0,30	0,26	0,78	0,29
	7	0,53	0,26	0,70	0,42
	7	0,53	0,26	0,83	0,28
	7	0,61	0,26	0,71	0,31
	7	0,30	0,26	0,69	0,51
c	2	0,45	0,26	0,77	0,55

Tabulka 21: Porovnání hodnot příznaků u polygonů obsahujících vrstevnice s polygonem obsahujícím šrafy.

Vysvětleno v textu.
Zdroj: vlastní tvorba.



Obrázek 37: Ukázka polygonu s kresbou šraf a polygonů obsahujících vrstevnice.

Vysvětleno v textu.
Zdroj: ČÚZK (2007 a 2008).

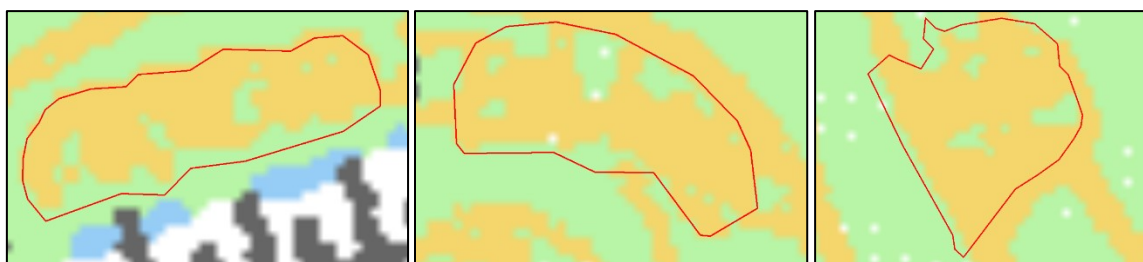
Z tohoto experimentu je možné závěrem shrnout, že rozpoznání chybných polygonů pouze pomocí příznaků představuje problematický úkol, protože většina z nich již byla pravděpodobně odfiltrována při odstranění polygonů na základě odlehlých hodnot příznaků. Některé z nich zde však i přesto zůstaly. Jejich rozeznání je však velmi složité, protože již

dosahují stejných hodnot příznaků jako polygony s kresbou skály. Na základě experimentu je pravděpodobné, že většina z těchto chybných polygonů se nachází ve shluku 7, ale není vyloučeno, že se mohou nacházet i v jiných shlucích (viz pokus se shlukem 2). Je však možné předpokládat, že z důvodu nalezené souvislosti chybných polygonů s nízkými hodnotami **eroze** by se tyto chybné polygony neměly vyskytovat ve shlucích s vysokými průměrnými hodnotami tohoto příznaku.

Výběr vhodných polygonů

Jak již bylo naznačeno výše, z důvodu snahy minimalizovat chyby ve vstupních datech, byly chybné polygony odstraněny. Všechny důvody a postup odstranění polygonů je popsán v metodice v kapitole 3.4.

Zde v diskuzi je vhodné pozastavit se ještě nad problematikou malých polygonů, které byly také z výpočtu vyloučeny. Jako minimální rozloha polygonů bylo stanoveno 1000 m², což vychází ze specifikace objektů v katalogu ZABAGED (viz kapitolu 3.4). V jednom z experimentů byla testována shluková analýza dokonce s polygony o rozloze větší než 500 m², z důvodu zachování co největšího počtu polygonů ve výsledných datech určených pro analýzu. Výsledkem však bylo zjištění, že se u takto malých polygonů styl kresby vůbec neprojeví, což výrazně ovlivňuje výsledek klasifikace. Na obrázku 38 jsou zobrazeny 3 polygony o stejné rozloze (pro srovnání zobrazeny také ve stejném měřítku). Je patrné, že všechny jsou vizuálně velmi podobné, ovšem klasifikátor zařadil každý z nich do úplně jiného shluku. Proto byla nakonec minimální velikost polygonů zvýšena na 1000 m².



Obrázek 38: Příklad polygonů s malou rozlohou.

Vysvětleno v textu.

Zdroj: ČÚZK (2007 a 2008).

Výběr a výpočet příznaků

Původně bylo zamýšleno využít pro výpočet příznaků složitější algoritmy na principu matematického popisu textur, metody na bázi krigingu s využitím variogramu, Fourierovy transformace, Grey Level Cooccurrence Matrix (dále jen GLCM), Support Vector Machine či momentové charakteristiky atd. Protože se ale tato práce zabývá případem, kdy je textura již aplikovaná, ale je potřeba zjistit její parametry, bylo od těchto složitějších algoritmů upuštěno. Dalším důvodem byla jejich pravděpodobná vysoká náročnost výpočtu, protože i pro

„jednodušší“ příznaky byl s ohledem na počet objektů výpočet časově náročný. Proto nebyly složitější výpočty z důvodu potřeby dokončit práci v určitém čase aplikovány. Na druhou stranu je nutné podotknout, že by tyto výše uvedené metody pro matematický popis textur by mohly mít potenciál přinést z hlediska intuitivního vnímání podobnosti šraf relevantnější výsledky.

Zvoleno a vypočteno bylo nakonec těchto 8 jednoduchých (oproti původně zamýšleným) příznaků:

- příznak pokreslení cizími objekty,
- příznak pokreslení šrafami,
- příznak dilatace,
- příznak eroze,
- příznak průměr okolí pixelu,
- příznak modus okolí pixelu,
- příznak středových linií,
- příznak průměrné orientace.

Výběr příznaků byla snaha konfrontovat s odbornou literaturou, ovšem nepodařilo se o automatické analýze kartografického stylu najít vhodný zdroj, pomocí něhož by se dalo porovnat použití příznaků či postup analýzy. Většina podobně zaměřených prací se spíše zabývá rozpoznáváním obrazu, což je mimo oblast zájmu této práce.

Výběr vhodné metody pro výpočet shlukové analýzy

Pro výpočet shlukové analýzy byly použity dvě metody. První z nich byla hierarchická aglomerativní metoda, která provádí shlukování objektů zdola-nahoru, tj. od počátečního stavu, kdy každý objekt představuje vlastní shluk, až po seskupení všech objektů do jednoho shluku (viz kapitolu 2.2). Tato metoda byla použita pro výběr optimálního počtu shluků na základě výpočtu parametru shlukovosti J . Pomocí této metody byl vybrán za optimální počet 11 shluků.

Tato metoda se však ukázala být citlivá pro odlehlé hodnoty, protože se zde vyskytl nízký počet polygonů přiřazených do shluků. Jednalo se pravděpodobně o polygony nereprezentující statisticky významný způsob kresby šraf, u něhož byla odlehlost způsobena kombinací příznaků, nikoliv jen jedním. Na druhou stranu zde byly i shluky, které obsahovaly jednotky tisíc polygonů, které by však bylo potřeba pro jejich lepší odlišení ještě dále rozdělit na menší shluky. Při prohledávání binárního stromu, pomocí něhož bylo nalezeno rozdělení polygonů do shluků při použití této hierarchické metody, by bylo správným řešením malé shluky spíše rovnou zahazovat, resp. je do určitého počtu prvků nepovažovat za relevantní výsledek z hlediska řešení úkolu. Tím se však trochu popírá argument o správném určení počtu shluků

na základě hodnoty J , protože ideální shlukování, které má tento parametr popisovat, s ohledem na výše uvedené až tak ideální není. Z toho vyplývá, že ani volba 11 shluků na základě parametru J nemusela být úplně dobrá volba. Řešením by bylo vyzkoušet shlukování, které by považovalo za reprezentativní výsledek pouze shluky od určitého počtu prvků, a porovnat je s výsledky prezentovanými v této práci. Na tento experiment už bohužel v rámci této práce nebyl prostor.

Z výše uvedených důvodů byla použita pro výslednou klasifikaci funkce *Multivariate Clustering*, přestože tato funkce má také své nevýhody. Velkou nevýhodou je použití algoritmu k -means, pomocí něhož je možné dostat při opakovaném spuštění na stejnou datovou sadu trochu odlišné výsledky. Na druhou stranu je tato metoda odolnější vůči odlehlým pozorováním, proto byla její klasifikace převzata pro výpočet prostorových analýz výsledků.

Srovnání výsledků shlukování s intuitivním vnímáním podobnosti

Na základě otázky o určení optimálního počtu shluků byl proveden experiment, ve kterém bylo porovnáno zařazení polygonů skal do shluků pomocí shlukové analýzy a dle intuitivního vnímání podobnosti kresby skal. Jako reprezentativní výsledek shlukování bylo vybráno z každého shluku 10 polygonů skal, které jsou v příznakovém prostoru nejbližše těžišti. Tyto polygony pak byla snaha na základě intuitivního vnímání podobnosti rozdělit do 11 shluků a následně porovnat tato dvě rozdělení. Výsledná kontingenční tabulka pro porovnání těchto dvou klasifikací je zobrazena níže (viz tabulka 22).

Z tabulky 22 je patrné, že nejvyšší shody mezi klasifikací algoritmu a vlastní klasifikací je u shluku 7 a 2. Znamená to, že v těchto shlucích jsou pravděpodobně zařazeny polygony, které jsou si vizuálně velmi podobné. Tyto dva shluky jsou patrně velmi dobře klasifikovány, a také jsou velmi dobře intuitivně rozlišitelné, přestože mají určité podobné charakteristiky kresby, např. podobná tloušťka linie (viz následující podkapitulu).

Naopak nejhůře jsou na tom shluky 4, 5 a 10, které mají nízké hodnoty uživatelské i zpracovatelské přesnosti (viz tabulku 22). Do těchto shluků jsou pravděpodobně zařazeny algoritmem polygony, které jsou si vizuálně méně podobné, přestože mají podobné hodnoty příznaků (či jejich kombinací). Přesto dosáhla celková přesnost klasifikace 75 % (viz tabulku 22), což je celkem obstojný výsledek.

Ovšem je nutné poznamenat, že tyto závěry jsou pouze předpokládány na základě tohoto malého experimentu. Především proto, že byl vybrán z každého shluku velmi malý vzorek polygonů. Ovšem při vyšším počtu vybraných polygonů by již bylo velmi obtížné provést vizuální porovnání jejich podobnosti. Ovlivnit výsledek mohlo také to, že byly vybrány polygony, které se nacházejí v příznakovém prostoru nejbližše těžišti. Při výběru například deseti náhodných polygonů z každého shluku by se mohl výsledek lišit. V neposlední řadě je

potřeba zmínit vysokou míru subjektivity, která se promítla do tohoto experimentu při porovnání podobnosti vybraného vzorku polygonů.

		Klasifikace na základě vizuální podobnosti											S	UP
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Klasifikace algoritmu	1	7			1	1	1						10	0,70
	2		9									1	10	0,90
	3			8	1	1							10	0,80
	4	1			5	1		1	1			1	10	0,50
	5					5	2	1	1	1			10	0,50
	6						9		1				10	0,90
	7							10					10	1,00
	8								8		2		10	0,80
	9			2						8			10	0,80
	10				2	2					6		10	0,60
	11				1						1	1	7	10
S		8	9	10	10	10	12	12	11	10	10	8	110	
ZP		0,88	1,00	0,80	0,50	0,50	0,75	0,83	0,73	0,80	0,60	0,88		0,75

Tabulka 22: Kontingenční tabulka pro porovnání klasifikace pomocí algoritmu a vlastní klasifikace na základě intuitivního vnímání podobnosti.

S = součet, ZP = zpracovatelská přesnost, UP = uživatelská přesnost, červeně je vyznačena celková přesnost klasifikace.

Zdroj: vlastní tvorba.

Výsledky klasifikace pomocí funkce *Multivariate Clustering*

Reprezentativní polygony výsledných 11 shluků klasifikovaných pomocí funkce *Multivariate Clustering* jsou uvedeny v kapitole 4.2 na obrázku 33.

Z těchto 11 shluků vyšel jako nejčastěji zastoupený shluk číslo 11, do kterého bylo zahrnuto 2 384 polygonů (dle tabulky 11 v kapitole 4.2). Tento shluk je dle výpočtu průměrných hodnot příznaků (viz tabulku 14 v kapitole 4.2) charakteristický poměrně vysokou hodnotou *eroze* a nižší hodnotou *dilatace*, což poukazuje obecně na kresbu s tlustšími liniemi, která více zaplňuje plochu polygonu. To dokládají i ukázky polygonů z tohoto shluku na obrázku 39, které byly vybrány z polygonů tohoto shluku náhodně a jsou zobrazeny pro porovnání ve stejném měřítku 1 : 1 000. Náhodný výběr však byl proveden pouze z polygonů větších než 5000 m² a vyskytujících se jinde než v pískovcových oblastech, aby bylo zajištěno rozlišení kresby skal a byl odfiltrován styl kresby pro pískovcové skály, který se vyskytuje ve všech shlucích (viz níže prostorová analýza dle typu horniny). Z tohoto obrázku je také patrné, že v případě mnoha polygonů se kresba skal u (nejen) hřbetnice dokonce slévá.



Obrázek 39: Ukázky polygonů z nejčastěji zastoupeného shluku 11.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

Dle orientace polygonů skal nebylo v případě tohoto stylu kresby u většiny z nich respektováno stínování na základě severozápadního osvětlení. Stínování je patrné pouze u polygonu na obrázku ve druhém řádku vlevo, zde je ale kresba skály na osvětlené straně výrazně roztržštěna, místo aby byly spádnice dle obecných „pravidel“ směrem od hřbetnice zeslabovány, jak je uváděno v dostupné literatuře (viz např. Lysák 2016). Roztržštění kresby je patrné na více polygonech z ukázky na obrázku 39, přičemž charakteristický „žebříček“, který tvoří horizontální čáry, je dobře vidět pouze u několika z nich.

Nejvíce podobné velmi obecnému popisu kresby skal pomocí metody žebříčkové manýry z literatury jsou polygony patřící do shluků 2 a 7. Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.2, tyto shluky jsou si velmi podobné průměrnými hodnotami příznaků, především *eroze*, která značí u obou shluků obecně tenčí linie kresby. Ovšem rozdílné jsou v příznaku *středových linií*, kdy bylo dospěno k závěru, že polygony ve shluku 2 jsou charakteristické tím, že mají oproti polygonům ze shluku 7 na své ploše více kresby skal ve smyslu délky linií na jednotku plochy. Tyto charakteristiky jsou patrné i na obrázcích 40 a 41, kde jsou jako v případě předchozího popisovaného shluku 11 zobrazeny příklady polygonů, které byly náhodně vybrané z polygonů těchto shluků větších než 5000 m² a nevyskytujících se v pískovcových oblastech.



Obrázek 40: Ukázky polygonů z nejčastěji zastoupeného shluku 2.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).



Obrázek 41: Ukázky polygonů z nejčastěji zastoupeného shluku 7.

Zdroj: vlastní tvorba z dat ČÚZK (2007 a 2008).

Vysvětlením vyšších hodnot příznaku středových linií u polygonů ze shluku 2 oproti shluku 7 může být to, že v kresbě skal u polygonů ze shluku 2 je patrný charakteristický „žebříček“,

ovšem u polygonů ze shluku 7 většinou patrný není, naopak je zde kresba skal více roztříštěná na menší neidentifikovatelné části (ve smyslu, zda se jedná o pozůstatek linie spádnice nebo horizontálních čar).

Je potřeba také přihlídnout ke zjištění uvedeném v podkapitole Problémy ve vstupních datech a příprava dat, které dokládá, že se ve shluku 7 nachází více chybných polygonů (obsahujících místo kresby skal vrstevnice) než ve shluku 2.

Při výběru vhodnějšího shluku z těchto dvou shluků je možné ještě vzít v potaz nastíněný předpoklad, že rozdělení polygonů do těchto dvou shluků bylo ovlivněno jejich orientací, kdy ve shluku 2 se nacházejí polygony převážně orientované na jihovýchod a ve shluku 7 převážně na severozápad, tj. osvětlenou stranu, což by vysvětlovalo částečnou absenci horizontálních šraf, protože se těmito šrafami stínovala osvětlená strana skalního útvaru jen minimálně (Lysák 2016). Částečně je možné tento předpoklad podpořit i pomocí příkladů polygonů na obrázku 40 a 41, ovšem ne pro všechny tyto polygony uvedený předpoklad platí. Navíc se předpoklad dle výsledků uvedených v tabulce 16 v kapitole 4.3 ani nepodařilo potvrdit.

Dle obecného popisu tvorby žebříčkové manýry uvedeného v dostupné literatuře je proto možné shrnout, že i když se oba shluky jeví dle statistických hodnot velmi podobné, vizuálně mu více odpovídají polygony ze shluku 2. Jsou zde velmi dobře rozeznatelné hřbetnice, spádnice i horizontální čáry. Ovšem problém je zde se stínováním, které bylo pravděpodobně u polygonů tohoto shluku ignorováno (stejná tloušťka linií spádnic na osvětlené i zastíněné straně skalního útvaru, šrafování pomocí horizontálních čar i na osvětlené straně). Stejný problém se vyskytuje i u shluku 7, kdy naopak většina polygonů vypadá podobně, jako na osvětlené straně, i když tomu orientace skalního útvaru neodpovídá. Kavan (1955) uvádí, že při šrafování horizontálními šrafami na zastíněné straně by měly být horizontální šrafy kresleny u hřbetnice silnějšími liniemi a blíže u sebe, ovšem při postupu směrem k údolnici by se měla jejich tloušťka zmenšovat a rozestup mezi nimi zvětšovat. Toto pravidlo nebylo u polygonů ve shluku 2 vůbec použito. Horizontální šrafy jsou zde zakresleny převážně stejně silnými liniemi ve stejných rozestupech. Také nesplňují podmínku, že by měly spojovat dvě sousední spádnice (viz Čapek 1973, Lysák 2016), protože jsou mnohdy k sousední spádnici nedotaženy.

Tyto výše uvedené důvody potvrzují problémy s kresbou skal pomocí žebříčkové manýry a její nejednotnost, na kterou již poukazují autoři v dostupné odborné literatuře (Čapek 1973, Lysák 2016). Předně výše uvedený problém se stínováním dokládá tezi, že některá pravidla obecného postupu kresby dokonce ignorována (Lysák 2016). Pokud se k tomu připočte celkem 11 nalezených shluků, které je možné velmi obecně chápat jako 11 různých stylů kresby skal (nelze to chápat doslovně, protože jak již bylo uvedeno, například typ kresby skal charakteristický pro pískovcový reliéf se pomocí zvolených příznaků nepodařilo klasifikovat

do jednoho shluku), je možné potvrdit hypotézu o nejednotnosti kresby skal nejen pomocí předpokladů uvedených v literatuře, ale i na základě výsledků analýzy provedené v této práci.

Analýza dle mapových listů TM 10

Pomocí této analýzy byla testována dílčí hypotéza vycházející způsobu tvorby TM 10 (viz kapitolu 2.1.2), že je možné očekávat konzistenci kresby v mapových listech na základě jejich zpracování jedním, nebo několika málo autory. Proto bylo smyslem této analýzy ověřit, zda rozdělení polygonů skalních útvarů koresponduje se zastoupením polygonů v mapových listech TM 10.

Na základě porovnání výsledného podílu nejvíce zastoupeného shluku s náhodným rozdělením polygonů do shluků v rámci mapového listu (viz obrázek 35 v kapitole 4.3) bylo zjištěno, že zastoupení nejčastějšího shluku v mapovém listu není náhodné. Určitá souvislost mezi výslednými shluky a mapovými listy zde je, i když výsledek není úplně přesvědčivý. Co mohlo způsobit tento výsledek? Předně by to mohl být výběr příznaků, přičemž by mohlo být řešením použití složitějších příznaků pro analýzu kresby skal. Tento nejednoznačný výsledek však mohly způsobit i chyby v datech a v neposlední řadě to může být způsobeno samotným lidským faktorem při ruční kresbě skal. Není totiž zaručeno, že stejný člověk kreslil vždy stejné šrafy. Pokud by tomu i přesto tak bylo, nedá se potvrdit, že to bude jednotné i z hlediska shlukování.

Ovšem při použití složitějších příznaků vypočtených na základě metod pro matematický popis textur v obraze (viz podkapitolu výše Výběr a výpočet příznaků) by tato analýza mohla být jedním ze způsobů, jak ohodnotit kvalitu výsledků shlukování. Shlukování by v takovém případě splňovalo podmínku, že všechny polygony v rámci jednoho listu TM 10 tvoří jeden shluk.

Analýza dle geologických jednotek

Další ověřovaná hypotéza představovala předpoklad, že kresba skal souvisí s typem horniny. Tato hypotéza opět vychází z historie kresby skal pomocí metody žebříčkové manýry, kdy pro pískovcový reliéf byl navržen specifický „pytlovitý“ tvar kresby připomínající pískovcovou skálu. Z tohoto důvodu bylo cíle této hypotézy ověřit, zda určitému typu horniny odpovídá některý ze shluků.

Jeden konkrétní shluk byl v rámci této analýzy určen pouze pro vápence a pískovce, u ostatních typů reliéfu ukázaly výsledky analýzy spíše na nejednotnost stylů kresby skal v rámci jednoho typu reliéfu. Pro vápence vznikl samostatný shluk pravděpodobně jen z toho důvodu, že vápence jsou dle rozlohy z typů hornin zastoupeny ve vrstvě geologických jednotek nejméně. Pískovcový reliéf naopak obsahoval nejvíce polygonů ze všech shluků, tzn. obsahoval

velké množství polygonů i z ostatních shluků, proto je vybrání jednoho reprezentativního shluku pro tento typ reliéfu velmi nepřesné. Prostorová souvislost mezi pískovcovým typem reliéfu a polygony koncentrovanými v jednom shluku se tak nepotvrdila. Lysák (2016, s. 143) uvádí, že „pro lepší zachycení rozčleněného pískovcového reliéfu bylo v praxi používáno mírně odlišných výrazových prostředků než popsané stylizované kresby s využitím pytlovitých symbolů“. Znamená to, že se na výsledek pro pískovcový reliéf obsahující nejvíce polygonů ze všech shluků může nahlížet také tak, že i pro jeden typ horniny (v tomto případě pískovce) je kresba nejednotná. Může to být také důvod, proč nebyla potvrzena prostorová souvislost mezi pískovcovým typem reliéfu a polygony koncentrovanými v jednom shluku.

Ovšem na základě porovnání s náhodným přiřazením se určitá prostorová souvislost mezi vypočtenými shluky a typem horniny potvrdila (viz graf na obrázku 36 v kapitole 4.3). Výsledek ale stejně jako u předchozí prostorové analýzy dle mapových listů není úplně přesvědčivý. Vysvětlením mohou být stejné důvody, jako byly uvedeny u předchozí analýzy. Ovšem dalším možným vysvětlením může být také úprava vrstvy geologických jednotek, která byla získána z webu České geologické společnosti (ČGS 2022). Ve vrstvě se totiž nacházelo mnoho tříd hornin, které bylo potřeba pro účely analýzy sloučit do menších skupin dle typu horniny. Přiřazování jednotlivých geologických jednotek do menších tříd však nebylo vždy jednoznačné z důvodu výskytu více typů hornin v jedné geologické jednotce, nebo z důvodu názvů geologických jednotek dle geologického období. Je proto možné, že se v rámci této vrstvy mohou vyskytovat chyby v přiřazení geologických jednotek do definovaných obecných skupin typů hornin.

Problematika výpočtu průměrné orientace polygonů skalních útvarů

Jedním z vypočtených příznaků byla **průměrná orientace** skalního útvaru. Smyslem výpočtu tohoto příznaku bylo potvrdit souvislost orientace skalního útvaru především s tloušťkou kresby, což vychází ze stínování kresby skal pod dojmem severozápadního osvětlení (viz popis kresby skal pomocí žebříčkové manýry v kapitole 2.2.1). Zjednodušeně z těchto požadavků na stínování kresby skal vyplývá, že kresba skály orientovaná severozápadním směrem by měla být kreslena tenčími liniemi než kresba skály na zastíněné straně orientované na jihovýchod.

Z tohoto důvodu byla testována korelace mezi příznakem **průměrné orientace** a ostatními příznaky. Korelace se však mezi nimi nepotvrdila. Dále byla proto testována souvislost **průměrné orientace** s příznakem **eroze**, který popisuje polovinu nejširší tloušťky linií kresby. Byly vytvořeny grafy závislosti průměrné jihovýchodní a severozápadní orientace na **erozi**, ovšem ani v tomto případě se souvislost nepotvrdila.

Co může být příčinou toho, že nebyla souvislost stylu kresby s průměrnou orientací potvrzena? Byla nalezena tři možná vysvětlení a k nim byla navržena jejich řešení:

1. problém je v průměrování hodnot orientace při výpočtu příznaku – průměrná orientace velkých polygonů má velký rozptyl, takže průměr není vypovídající; mohlo by se řešit klasifikací dílčích oblastí skály podle podobné orientace a výpočtem charakteristik jen nad těmito dílčími oblastmi;
2. problémem je malé rozlišení *rastrové mapy* – právě malé rozlišení vstupních rastrových dat (viz kapitulu 3.1) způsobuje, že hodnoty příznaku *eroze* jsou diskrétní, nikoliv spojité, což se projeví, pokud je změna tloušťky linie při stínování menší než rozlišení pořízených dat; to by se samozřejmě mohlo vyřešit použitím vstupní mapy ve vyšším rozlišení, které ale naráží na problém se sehnáním historických digitálních podkladů;
3. problém vznikl již při ruční kresbě skalních šraf, při které se stínování v praxi moc neřešilo; tento problém pochopitelně zpětně řešení již nemá.

Praktická využitelnost výsledku analýzy

Výše uvedené a diskutované výsledky analýzy i potvrzení hypotézy o nejednotnosti kresby skal ve státním mapovém díle však vedou k celkem logické otázce, který z diskutovaných tří shluků doporučit k analýze za účelem budoucí automatizace žebříčkové manýry. Zda nejčastěji zastoupený shluk 11, nebo shluk 2, který nejlépe odpovídá popisu z dostupné literatury. Jisté je, že shluk 7 není možné vzhledem k výše uvedeným problémům (především kvůli přítomnosti chybných polygonů ve shluku) pro analýzu doporučit.

Pro analýzu kresby skal z hlediska parametrů její kresby potřebných pro budoucí automatizaci kresby skal se autorce jeví jako vhodnější polygony klasifikované do shluku 2. V případě shluku 11 by totiž bylo nutné ještě provést výběr vhodných polygonů pro analýzu, protože se zde nachází mnoho polygonů, u kterých se kresba skály slévá, což není vhodný stav pro analýzu jednotlivých komponent kresby. Ovšem ani polygony ve shluku 2 nejsou zcela vyhovující. Při použití pro analýzu částí kresby by bylo vhodné nejprve nějak ošetřit problém s absencí stínování kresby skal. Například se nabízí vybrat pro analýzu z tohoto shluku pouze polygony odpovídající jihovýchodní orientaci, u které je možné kresbu skal v rámci tohoto shluku považovat za poměrně zdařilou. Ovšem v případě tohoto výběru by chyběla informace o komponentách kresby na osvětlené straně. V takovém případě by stálo za zvážení využít naopak polygonů ze shluku 7, ale pouze těch, které jsou opravdu orientovány na severozápad, a nepatří k chybným polygonům obsahujícím místo kresby skal vrstevnice. Případně by mohlo být řešením provést u polygonů ve shluku 2 a 7 klasifikaci dílčích oblastí skály podle podobné orientace a výpočet charakteristik jen nad těmito dílčími oblastmi, jak je navrhováno v řešení problému s nalezením souvislosti kresby skal s průměrnou orientací, které je uvedeno výše.

Dále je vhodné vybrat ze shluku 2 pro analýzu částí kresby pouze ty polygony skal, které nejsou pokresleny cizími objekty (tj. mají nulový příznak ***pokreslení cizími objekty***), což by mělo úspěšnost výsledné analýzy zvýšit. Vhodné by také mohlo být odstranit z tohoto shluku polygony vyskytující se v pískovcových oblastech.

Za zvážení ještě před provedením analýzy parametrů jednotlivých komponent kresby však také stojí to, zda byly použité příznaky dostatečné pro odlišení jednotlivých stylů kresby. Použity byly totiž pouze příznaky vypočtené z geometrických charakteristik z důvodu časové náročnosti výpočtu při vysokém počtu vstupních polygonů. Ovšem tyto příznaky nepopisují složitější vztahy v kresbě, které by vedly k potřebě v ní identifikovat části jako hřbetnice, spádnice a horizontální šrafy. Proto by mohlo být přínosné nejprve provést ještě další složitější analýzy (viz výše nastíněné), ale již pouze na ***výsledné vrstvě polygonů skalních útvarů***, která oproti původní datové sadě obsahuje pouze 43 % původního počtu polygonů (a jsou v ní z větší části odstraněny chybné polygony), nebo dokonce pouze na polygonech klasifikovaných do vybraného shluku 2 / vybraných shluků 2, 7 a 11.

6 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá analýzou kresby skalních šraf vytvořených žebříčkovou manýrou v českém státním mapovém díle. Je členěna do tří dílčích celků – teoretického, metodického a aplikačního. V teoretické části je nejdříve věnován prostor pro shrnutí dostupných zdrojů ohledně metody žebříčkové manýry a je zde popsán pokus dostat se k původním zdrojům o této metodě. Dále jsou v teoretické části popsány obecné principy shlukové analýzy a z hlediska práce relevantní metody pro výpočet příznaků – konkrétně výpočet dilatace, eroze, *medial axis* a orientace ke světovým stranám. Stěžejní částí práce je pak metodická část, která je přínosná detailním popisem postupu analýzy kresby skal, a to od přípravy dat pro výpočet příznaků, přes zásadní kroky, kterými byl výpočet příznaků a na jejich základě provedená shluková analýza, až po prostorovou analýzu výsledků. V poslední části jsou následně uvedeny a diskutovány výsledky práce, především výsledky shlukové analýzy a popsány výsledky jejich prostorové analýzy.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo analyzovat kresbu skalních šraf vytvořených žebříčkovou manýrou v českém státním mapovém díle. Pro dosažení hlavního cíle bylo definováno ještě několik dílčích cílů a hypotéz. Především hypotéza o nejednotnosti kresby skal, která byla na základě analýzy potvrzena. Pomocí shlukové analýzy bylo totiž klasifikováno celkem 11 shluků, které představují odlišné styly kresby skal. To znamená exaktní potvrzení hypotézy, že kresba skal ve státním mapovém díle není jednotná, jak bylo původně při aplikaci této metody zamýšleno a jak by mělo být ve státním mapovém díle se standardizovanou kresbou objektů deklarováno (Lysák 2016) a jsou potvrzena tvrzení z literatury, která nejednotnost kresby předpokládala na základě několika ukázek z kresby skal ve státním mapovém díle (Čapek 1973, Lysák 2016).

Dílčím cílem bylo provést rešerši literatury o žebříčkové manýře s cílem dostat se k původním zdrojům o této metodě. Tento cíl však nebyl naplněn, protože se původní zdroje o této metodě nepodařilo nalézt. Celkově se tato práce potýkala s nedostatkem zdrojů vhodných ke konfrontaci výsledků práce, tj. nejen s použitím metody žebříčkové manýry, ale také s provedenou analýzou kresby.

Další dílčí cíl práce představoval na základě výpočtu shlukové analýzy výběr takového stylu kresby, který nejlépe odpovídá specifikaci žebříčkové manýry z literatury a který je nejvíce zastoupený. Jako nejlépe odpovídající styl kresby popisu tvorby této metody z literatury byla vybrána kresba skal klasifikovaných do shluku 2. Ovšem nejčastějším stylem kresby byla kresba klasifikovaná do shluku 11.

V rámci prostorových analýz výsledků byla ověřována hypotéza, která předpokládá konzistenci kresby v mapových listech na základě jejich zpracování jedním, nebo několika málo autory. Výsledek analýzy sice toto hypotézu jednoznačně nepotvrdil, ale ani také nezamítl, protože byla zjištěna určitá souvislost mezi výslednými shluky a mapovými listy na základě porovnání výsledků přiřazení shluků mapovým listům s jejich náhodným přiřazením. Ovšem výsledek analýzy není úplně přesvědčivý.

Druhým předpokladem, který ověřovala prostorová analýza, byl předpoklad, zda kresba skal souvisí s typem horniny. Výsledek byl však velmi podobný, jako v případě předchozí analýzy dle mapových listů. Opět zde byla zjištěna jistá souvislost, ale výsledek uvedenou hypotézu jednoznačně nepotvrdil.

V neposlední řadě bylo dílčím cílem a také výstupem práce určení takového stylu kresby, který dává smysl dále detailně analyzovat pro účely automatizace. Jako nejvhodnější pro budoucí automatizaci se jeví polygony přiřazené do shluku 2. V tomto shluku jsou polygony charakteristické tenčími liniemi kresby. Jsou zde velmi dobře rozeznatelné základní komponenty kresby – hřbetnice, spádnice i horizontální čáry. Na druhou stranu je zde problém se stínováním, které bylo u polygonů ve shluku 2 převážně ignorováno (viz kapitolu 5). Problém je také u polygonů v tomto shluku s kresbou horizontálních šraf, které jsou zakresleny převážně stejně silnými liniemi ve stejných rozestupech, a navíc mnohdy nespojují dvě sousední spádnice, jak je u metody žebříčkové manýry obecně popisováno v literatuře (viz Čapek 1973, Lysák 2016).

Z těchto důvodů ani shluk 2 není zcela vyhovující pro další analýzu. Pro zvýšení úspěšnosti budoucí analýzy by bylo vhodné vybrat z tohoto shluku pouze ty polygony, které nejsou pokresleny cizími objekty. Také se nabízí ošetřit problém s absencí stínování. Řešením by mohlo být například provedení nejprve klasifikace dílčích oblastí skály podle podobné orientace a výpočet charakteristik jen nad těmito dílčími oblastmi ještě před výběrem vhodných polygonů k další analýze. V neposlední řadě by mohlo být řešením výběru vhodných

polygonů pro následnou analýzu aplikování složitějších příznaků, které nebyly v rámci této práce z důvodu vyšší časové náročnosti a při velkém počtu vstupních dat vypočítány. Ovšem právě složitější příznaky vypočtené na základě metod pro matematický popis textur v obraze by mohly přinést kvalitnější klasifikaci stylů kresby. V takovém případě je ale doporučováno provést výpočet složitějších příznaků pouze pro výstupní data z této práce, ve kterých jsou již (z velké části) odstraněny chybné polygony.

POUŽITÉ ZDROJE

- BAYER, T. (2008): Algoritmy v digitální kartografii. Karolinum, Praha.
- BAYER, T. (2016): Topologická kostra. Výukový materiál. Dostupné z:
<https://web.natur.cuni.cz/~bayertom/images/courses/Adk/adk7.pdf> (cit. 21. 7. 2022).
- ČAPEK, R. (1973): Znázorňování skal. Rigorózní práce. Katedra kartografie a fyzické geografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha.
- ČAPEK, R. a kol. (1992): Geografická kartografie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- ČÚZK (2022a): Ústřední archiv zeměměřictví a katastru. Dostupné z:
<https://ags.cuzk.cz/archiv/> (cit. 15. 6. 2022).
- ČÚZK (2022b): Základní mapa ČR. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/> (cit. 2. 6. 2022).
- ESRI (2022a): Aspect (Spatial Analyst). Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/aspect.htm> (cit. 21. 7. 2022).
- ESRI (2022b): How Aspect works. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/how-aspect-works.htm> (cit. 21. 7. 2022).
- ESRI (2022c): Multivariate Clustering (Spatial Statistics). Dostupné z:
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-statistics/multivariate-clustering.htm> (cit. 16. 7. 2022).
- FEDOSEJEV, M. A. (1961): Ob izobraženiji skal na topografičeskich kartách, Geodezia i kartografija, 6, 12, 36-40.
- GALKIN, V. M. – LOSOJAKOV, N. N. (1969): O gravirovaniji izobraženija skal, Geodezia i kartografija, 14, 11, 65-67.
- HEBÁK, P. a kol. (2007): Vícerozměrné statistické metody 3. Informatorium, Praha.
- HENDL, J. (2009): Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. Portál, Praha.

- KARIMIPOUR, F. a kol. (2013): Voronoi-Based Medial Axis Approximation from Samples: Issues and Solutions. Transactions on Computational Science XX. Springer, Berlin, Heidelberg.
- KAVAN, G. (1955): Kresba skal, ssutí a ledovců. Vojenský topografický obzor, 2, 3, 203–206.
- KOLÁŘ, J. (2008): Digitální zpracování obrazových dat. Czech Space Office, Praha.
- KOLDAJEV, B. K. (1958): Izobraženije skal na topografičeskich kartach, Geodezia i kartografija, 3, 5, 45-48.
- KUČERA, J. (2022): Shluková analýza. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/172767/fi_b/5739129/web/web/hiermet.html#cel (cit. 16. 7. 2022).
- LYSÁK, J. (2015): Digital rock drawing on Czech topographic maps: The current state and historical circumstances. AUC Geographica, 50, 2, 193–199.
- LYSÁK, J. (2016): Topografické mapování skalních útvarů s využitím dat leteckého laserového skenování. Disertační práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha.
- MIKLÓS, L a kol. (2002): Atlas krajiny Slovenskej republiky. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky Bratislava a Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica. Esprit, spol. s r. o., Banská Štiavnica.
- PGUAS (2015): Topografičeskoje čerčenie. Penzejskij gosudarstvenyj universitet architektury i strojitelstva, Ministerstvo obrazovanii i nauky Rossijskoj Federacii, Penza.
- SAŽP (2022): Mapový server Slovenskej Agentúry Životného prostredia. Dostupné z: <http://atlas.sazp.sk> (cit. 1. 6. 2022).
- SIDĚLNÍKOV, L. I. (1959): Izobraženije skalistych form reliefa na topografičeskich kartach, Geodezia i kartografija, 4, 9, 55-60.
- SOJKA, E. a kol. (2012): Matematické základy digitálního zpracování obrazu. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava a Západočeská univerzita v Plzni. Dostupné z: <http://mrl.cs.vsb.cz/people/sojka/dzo/mzdzo.pdf> (cit. 21. 7. 2022).
- ŠAŠKOVÁ, M. (2020): Turistická mapa Srbska v Českém krasu se zaměřením na znázorňování krasového reliéfu. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha.
- ŠRÁMEK, J. a kol. (2011): Získávání a analýza obrazové informace. Masarykova univerzita v Brně. Dostupné z: <https://www.med.muni.cz/biofyz/Image/ucebnice.pdf> (cit. 21. 7. 2022).
- ŠVĚDČIKOV, A. J. (1967): Postrojenije vektornych izobraženij reliefa obryvistych i skalistych učastkov městnosti, Geodezia i kartografija, 14, 8, 213-219.
- RICHARDS, J. A. a kol. (2006): Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag, Berlín.

ZBGIS (2022): Archiv Geodetického a kartografického ústavu Bratislava. Dostupné z: <https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/sk/archiv?pos=49.154732,20.034169,14>. (cit. 20. 6. 2022).

Zdroje dat

ARCDATA (2022): ArcCR 500. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-4-0> (cit. 5. 6. 2022).

ČGS (2022): Geologické jednotky. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/stahovaci-sluzby#> (cit. 20. 6. 2022).

*ČÚZK (2007): Analogová ZM 10. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha.

*ČÚZK (2008): ZBAGED. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha.

* Pozn. data ČÚZK poskytnuta katedrou aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova.

PŘÍLOHY

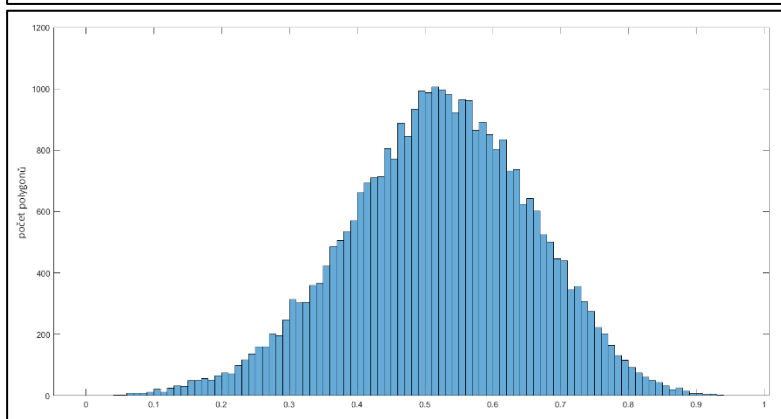
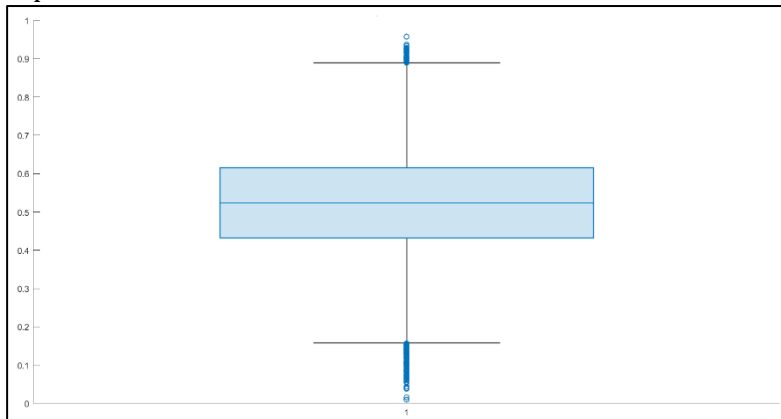
Příloha 1: stručný popis elektronických příloh

Elektronické přílohy obsahují tyto složky:

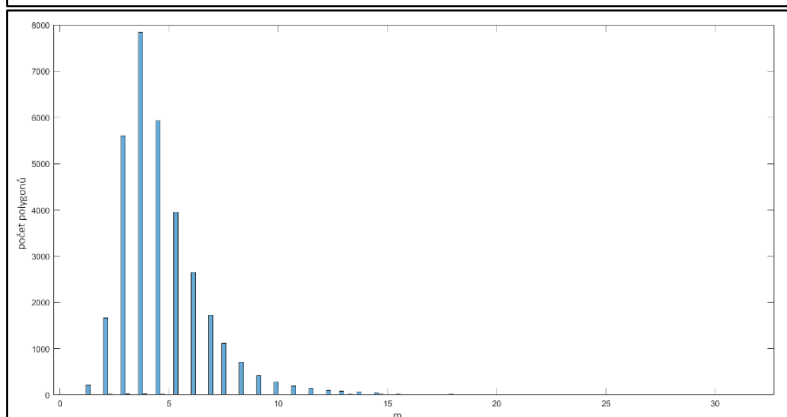
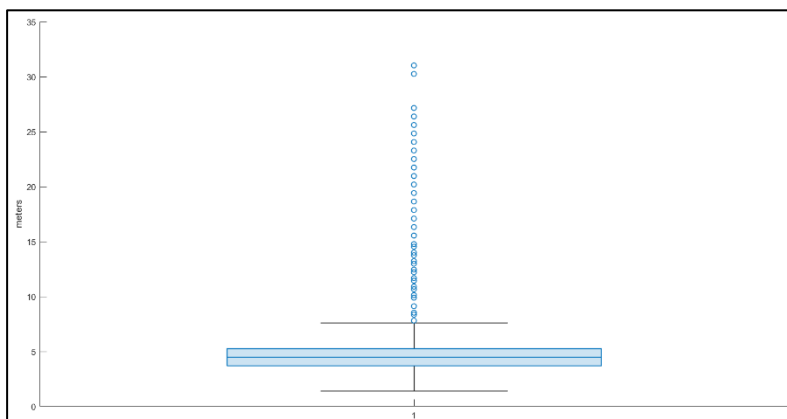
- /data:
 - polygonove_vrstvy.gdb
 - polygonova_vrstva_skalnich_utvaru_priznaky – výsledná vrstva, která obsahuje všechny vypočtené příznaky,
 - polygonova_vrstva_skalnich_utvaru_shluky – vrstva obsahující rozdělení polygonů do shluků a pouze příznaky vstupující do shlukové analýzy,
 - center_lines – pomocná vrstva středových linií,
 - vrstvy_popis.pdf;
- /skripty:
 - prepare_data.py a functions_prepare_data.py – tvorba pomocných vrstev pro výpočet příznaků,
 - feature.py a functions_feature.py – výpočet příznaků,
 - find_clusters.py a functions_find_clusters.py – nalezení optimálního počtu shluků, a následná klasifikace do nalezeného počtu shluků dle této metody,
 - arcgis_classification.py – klasifikace pomocí funkce *Multivariate Clustering*,
 - skripty_popis.pdf.

Příloha 2: Boxploty a histogramy

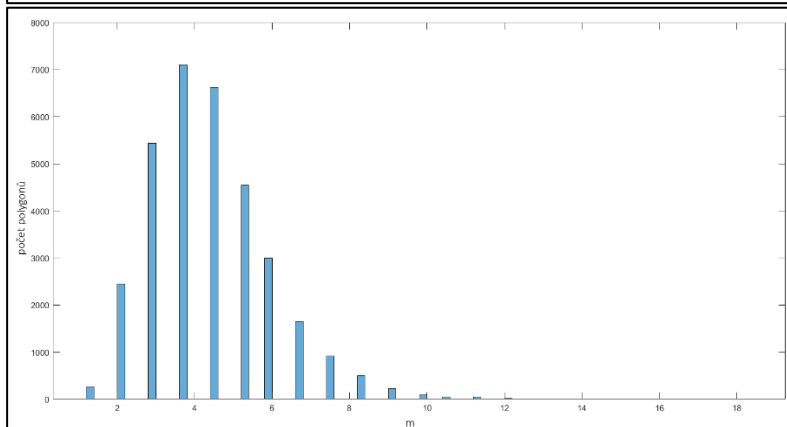
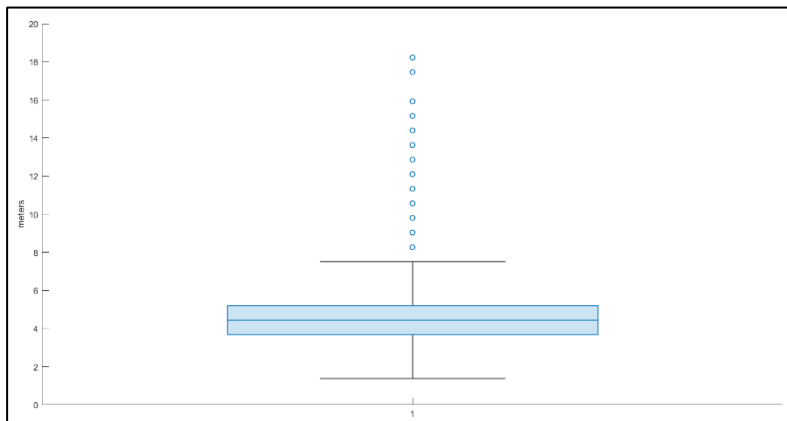
1. pokreslení šrafami



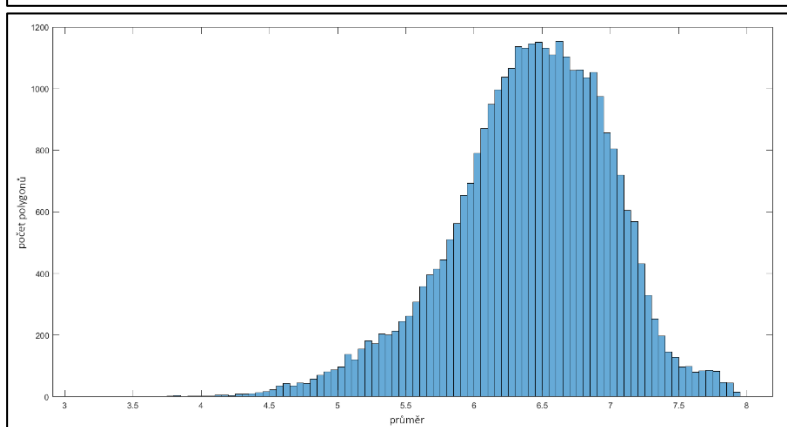
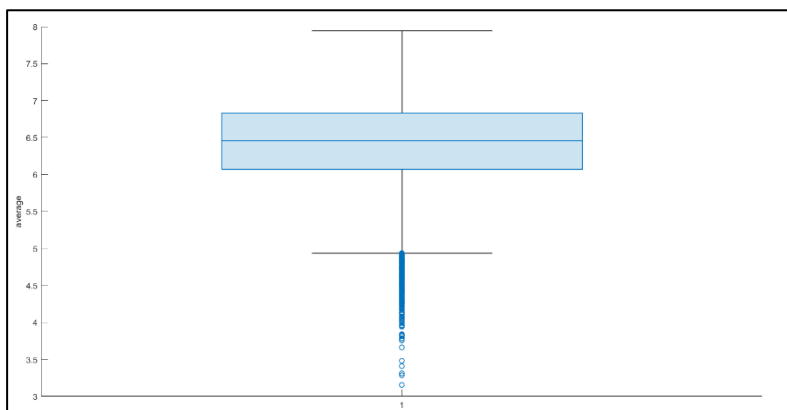
2. dilatace



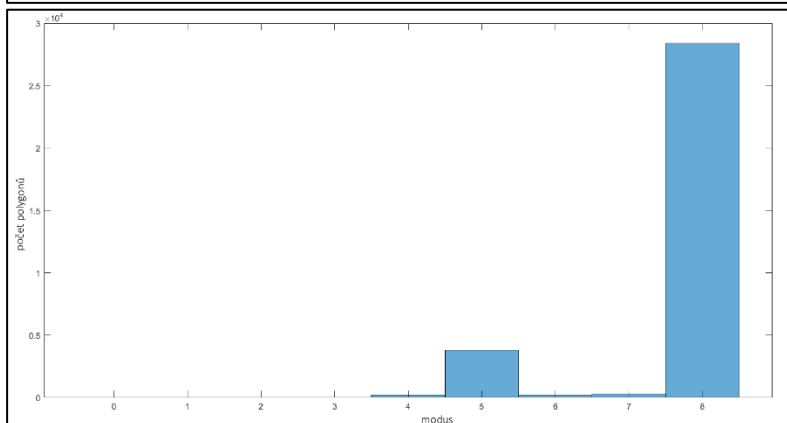
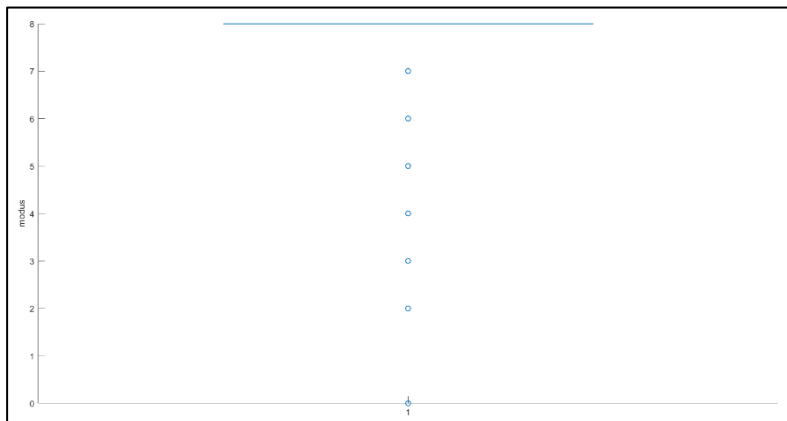
3. eroze



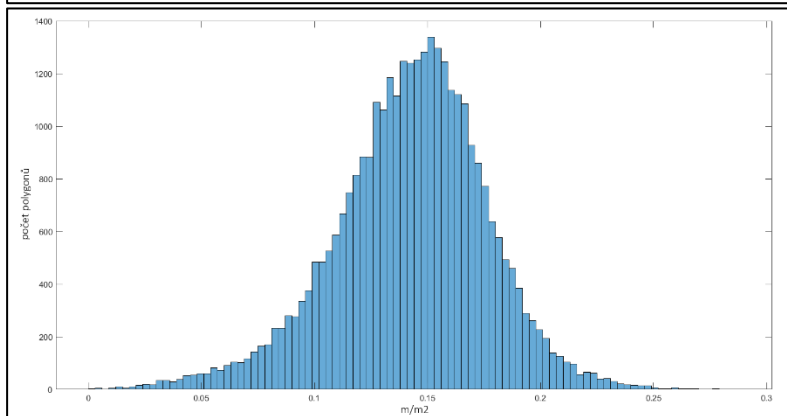
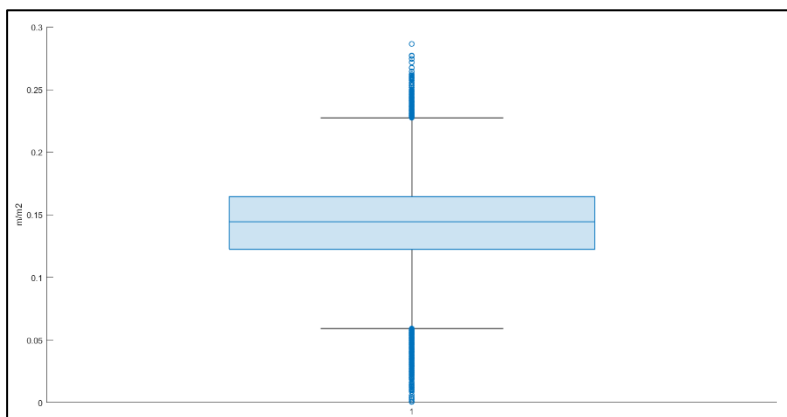
4. průměr okolí pixelu



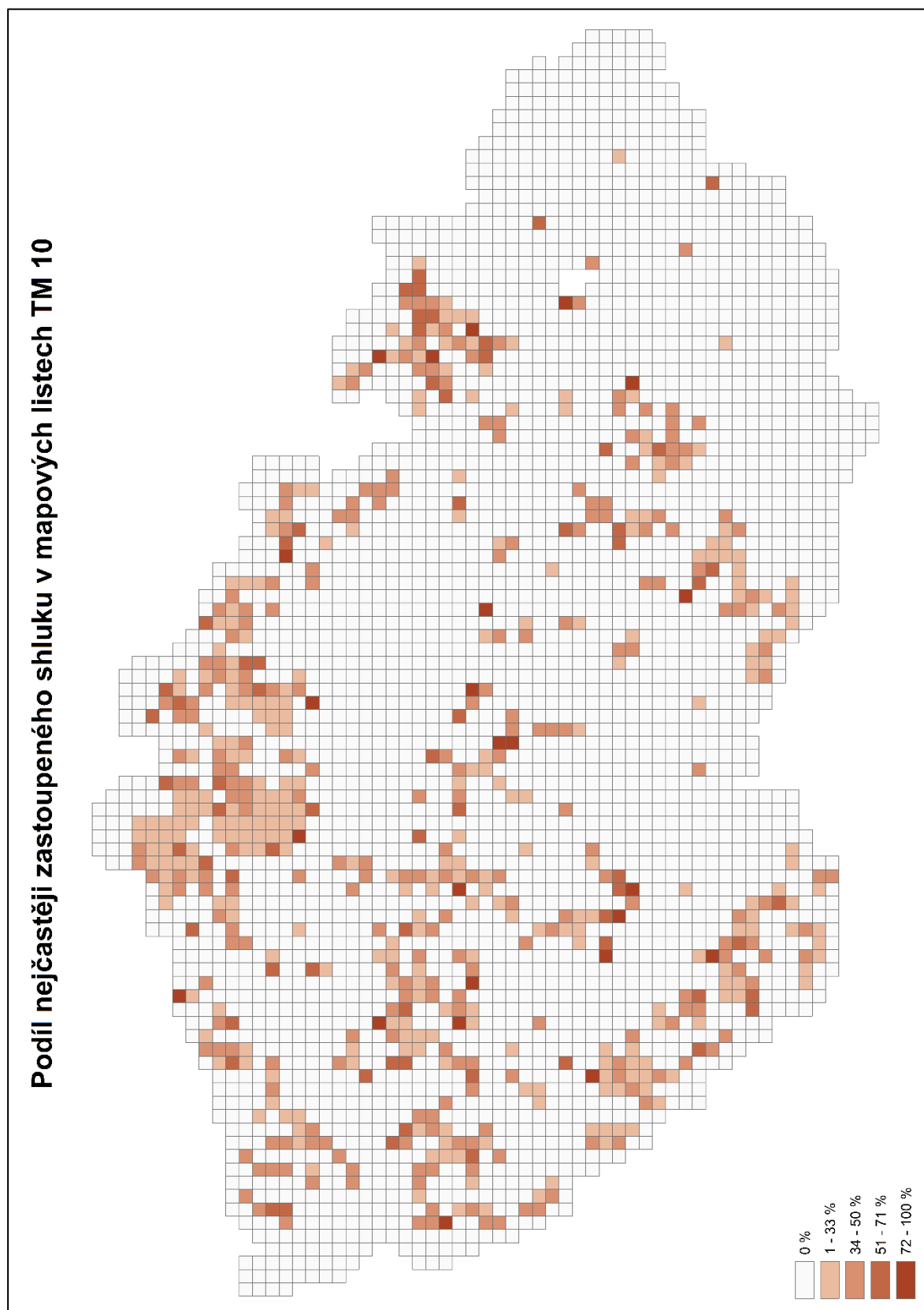
5. modus okolí pixelu



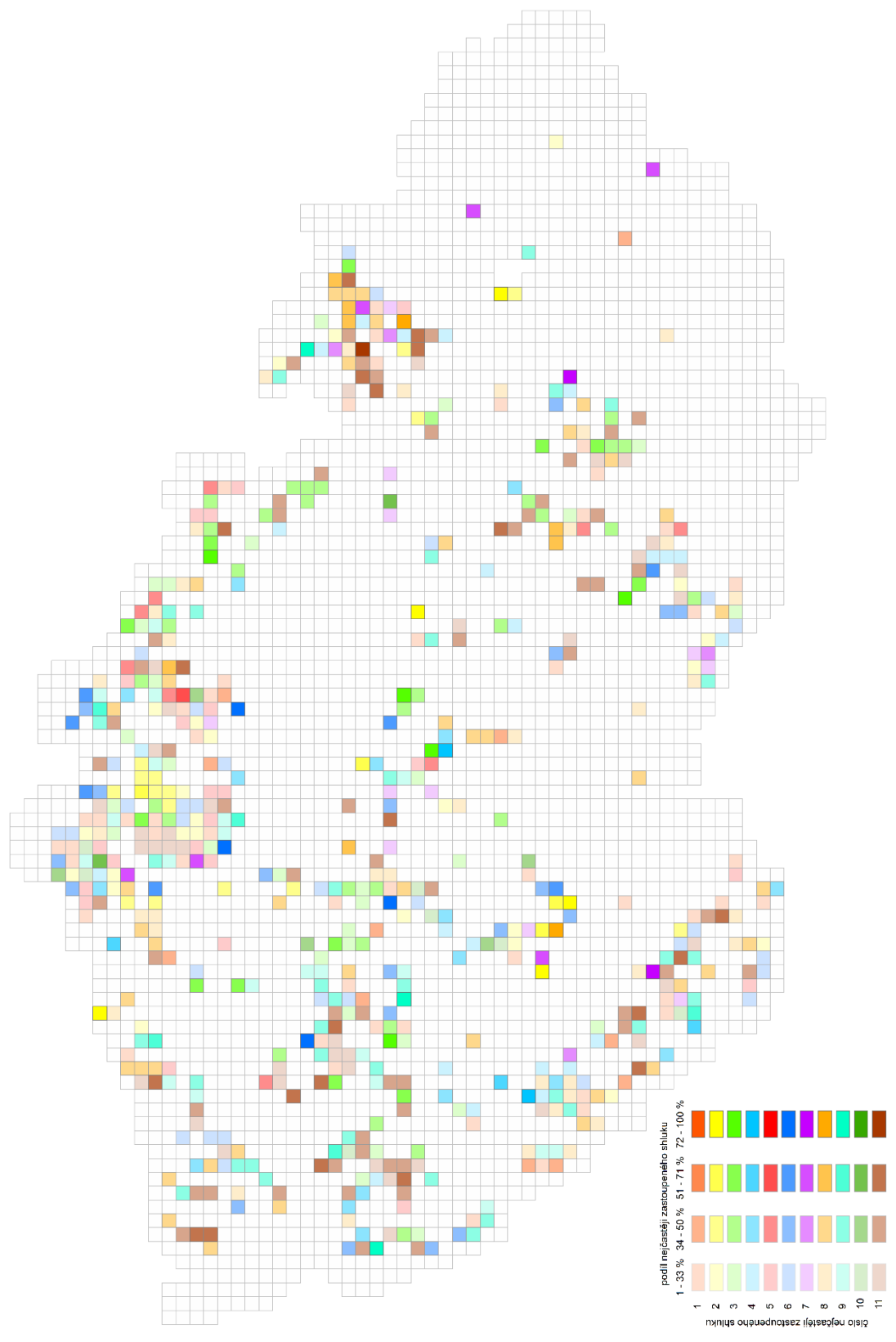
6. středové linie



Příloha 3: Prostorová analýza výsledků



Nejčastěji zastoupený typ shluku a jeho podíl v mapových listech TM 10



Nejčastěji zastoupený typ shluku a jeho podíl v geologických jednotkách

