

UNIVERZITA KARLOVA
Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Ing. Bc. Tereza ENGLMAIEROVÁ

Detekce terénních hran s využitím nástroje
Sky-view faktor

Terrain Breakline Detection Using Sky-view factor

Diplomová práce

Brandýs nad Labem 2018

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Lukáš Brůha, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením školitele Mgr. Lukáše Brůhy, Ph.D., a že jsem uvedla a řádně citovala všechny použité prameny. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Brandýse nad Labem 7. prosince 2018

.....

Tereza Englmaierová

Poděkování:

Na prvním místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé práce Mgr. Lukáši Brůhovi, Ph.D. za jeho věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále děkuji svým nejbližším za podporu při zpracování práce i v průběhu celého studia.

Detekce terénních hran s využitím nástroje Sky-view faktor

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je návrh postupu detekce terénních hran s využitím nástroje Sky-view faktor. Teoretická část diplomové práce nejprve uvádí do problematiky detekce terénních hran, ve které jsou představeny doposud známé metody této analýzy a nástroj Sky-view faktor, který je stěžejním bodem navržené metody. Testování nad reálnými daty probíhá na čtyřech lokalitách v Česku (Vítkovice, Hradiště, Strnady a Velenka). Testována jsou data v podobě rastrového formátu. V závěru jsou představeny a zhodnoceny dosažené výsledky navržené metody a její verifikace pomocí dvou vybraných metod detekce terénních hran. Dosažené výsledky poukazují na možnost využití Sky-view faktoru pro detekci terénních hran.

Klíčová slova: terénní hrana, digitální model terénu, Sky-view faktor, metody detekce terénních hran

Terrain Breakline Detection Using Sky-view factor

Abstract

The subject of this diploma thesis is to propose the procedure of detecting of terrain breaklines using Sky-view factor. The theoretical part of the diploma thesis first introduces the issue of terrain breaklines detection, which presents the methods known to date and Sky-view factor, which is the focal point of the proposed method. Implementation over real data takes place at four locations in the Czechia (Vítkovice, Hradiště, Strnady and Velenka). Data in the form of raster format is tested. At the end, the results of the proposed method and its verification using two selected methods of field edge detection are presented and evaluated. Achieved results point to Sky-view factor for terrain edge detection.

Keywords: terrain breakline, digital terrain model, Sky-view factor, detection terrain breaklines methods

Obsah

Přehled použitých zkratků	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
Seznam příloh	12
1 Úvod	13
1.1 Cíle práce	14
2 Možnosti detekce terénních hran	15
2.1 Terénní reliéf	15
2.2 Terénní hrana	16
2.2.1 Postupy s využitím DMT v rastrovém formátu a formátu TIN	16
2.2.2 Postupy s využitím bodového mračna	19
2.2.3 Konfrontační metody detekce terénních hran	21
2.2.3.1 Metoda dle Canny (1986)	21
2.2.3.2 Metoda dle Jaroše (2011)	22
3 Sky-view faktor	24
4 Zájmové území	27
4.1 Lokalita 1: Vítkovice	28
4.2 Lokalita 2: Hradiště	28
4.3 Lokalita 3: Strnady	29
4.4 Lokalita 4: Velenka	30
5 Metodika	32
5.1 Teoretická východiska vlastní metody	34
5.1.1 Nástroj SVF	34
5.1.2 Morfologie reliéfu	36
5.2 Data a jejich úprava pro praktickou část	38
5.3 Analýza připravených dat	40
5.3.1 Určení typu hrany	41

6 Výsledky	43
6.1 Detekce terénních hran pomocí nástroje SVF	43
6.1.1 Lokalita 1: Vítkovice	43
6.1.2 Lokalita 2: Hradiště.....	46
6.1.3 Lokalita 3: Strnady.....	48
6.1.4 Lokalita 4: Velenka	51
6.1.5 Shrnutí doposud dosažených výsledků	54
6.1.5.1 Vyhodnocení určení typu hrany	56
6.2 Porovnání vybraných metod.....	63
7 Diskuse.....	67
8 Závěr	71
Seznam zdrojů.....	72
Přílohy	79

Přehled použitých zkratk

Bpv	B alt - po vyrovnání
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMP	digitální model povrchu
DMT	digitální model terénu
DMR	digitální model reliéfu
DMR 5G	digitální model reliéfu 5. generace
GPS	G lobal P ositioning S ystem
Lidar	L ight D etection A nd R anging
LiVT	L idar V isualization T oolbox
LLS	letecké laserové skenování
px	pixel
RVT	R elief V isualization T oolbox
SVF	S ky-view faktor
TIN	T riangulated I rrregular N etwork
ZM 10	Z ákladní mapa ČR 1 : 10 000

Seznam obrázků

Obr. 1: Typy terénních hran podle Gomes Pereira a Wicherson (1999)	18
Obr. 2: Typy terénních hran podle Brügelmann (2000)	18
Obr. 3: Typy terénních hran podle Brzank, Lohmann a Heipke (2005)	20
Obr. 4: Výpočet SVF	24
Obr. 5: Schéma výpočtu viditelné oblohy	25
Obr. 6: Zájmové lokality	27
Obr. 7: Lokalita 1 (výškový model - TIN, ZM 10)	28
Obr. 8: Lokalita 2 (výškový model - TIN, ZM 10)	29
Obr. 9: Lokalita 3 (výškový model - TIN, ZM 10)	30
Obr. 10: Lokalita 4 (výškový model - TIN, ZM 10)	31
Obr. 11: Odstranění vnitřních pixelů.....	33
Obr. 12: Schéma postupu analýzy	33
Obr. 13: SVF lokality 3 (vlevo 8bitové zobrazení, 32bitové zobrazení)	36
Obr. 14: Konvexní (vlevo) a konkávní (vpravo) tvary reliéfu	37
Obr. 15: Princip nástroje Thin (ArcMap).....	41
Obr. 16: SVF lokality 1 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	44
Obr. 17: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech.....	45
Obr. 18: Klasifikace lokality 1 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	45
Obr. 19: Hranové pixely lokality 1 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)	46
Obr. 20: SVF lokality 2 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	46
Obr. 21: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech.....	47

Obr. 22: Klasifikace lokality 2 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	48
Obr. 23: Hranové pixely lokality 2 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)	48
Obr. 24: SVF lokality 3 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	49
Obr. 25: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech.....	50
Obr. 26: Klasifikace lokality 3 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	50
Obr. 27: Hranové pixely lokality 3 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)	51
Obr. 28: SVF lokality 4 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	52
Obr. 29: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech.....	53
Obr. 30: Klasifikace lokality 4 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low).....	53
Obr. 31: Hranové pixely lokality 4 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)	54
Obr. 32: Vliv poloměru na rozložení hodnot SVF - lokalita 1	56
Obr. 33: Počet bodů hran detekovaných jako údolnice či hřbetnice v závislosti na zvoleném poloměru vyhledávání.....	58
Obr. 34: Rozložení počtu bodů pro 4 směry orientace svahů	60
Obr. 35: Rozložení počtu bodů pro 8 směrů orientace svahů.....	60
Obr. 36: Kontrola nalezených bodů hřbetnic a údolnic - lokalita 1	61
Obr. 37: Kontrola nalezených bodů hřbetnic a údolnic - 4 směry orientace svahu (A - lokalita 3, B - lokalita 4).....	62
Obr. 38: Detekce hřbetu.....	63

Seznam tabulek

Tab. 1: Vstupní a výstupní parametry nástroje SVF v systému RVT	26
Tab. 2: Vstupní údaje nástroje SVF	40
Tab. 3: Intervaly obsahující hranové pixely	41
Tab. 4: Vybrané orientace svahů	42
Tab. 5: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech	44
Tab. 6: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech	47
Tab. 7: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech	49
Tab. 8: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech	52
Tab. 9: Počet bodů hran detekovaných jako údolnice či hřbetnice	57
Tab. 10: Absolutní počty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 4 směry orientace svahů	58
Tab. 11: Absolutní počty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 8 směrů orientace svahů	59
Tab. 12: Procentuelní hodnoty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 4 směry orientace svahů	59
Tab. 13: Procentuelní hodnoty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 8 směrů orientace svahů	59
Tab. 14: Zadávané parametry pro metodu Jaroše	64
Tab. 15: Porovnání RMSE pro jednotlivé lokality	65
Tab. 16: Průměrné hodnoty RMSE pro jednotlivé lokality	65
Tab. 17: Porovnání vybraných parametrů jednotlivých metod	66

Seznam příloh

Příloha 1: Skript pro nalezení okrajových pixelů	79
Příloha 2: Skript pro výpočet hran dle metody Cannyho	79

1 Úvod

Rychlý rozvoj moderních technologií dává prostor rozvoje i v oblasti tvorby digitálních modelů terénu. V případě vytváření geomorfologicky přesných DMT je důležitou součástí znalost průběhu terénní kostry (Wild, Krzystek a Madani 1996). Terénní kostra představuje generalizovaný popis tvaru terénu a je vyjádřena významnými body a liniemi v místech, kde v terénu dochází ke změně v charakteristice plochy, např. expozice či sklon (Jaroš 2011). Terénní kostra představuje nejvyšší a nejnižší body v terénu - vrchol kupy či sedla, dále pak linie (čáry, hrany) spojující právě tyto zlomové body - hřbetnice, údolnice, spádnice a ostatní hrany (Hánek 2017). Skutečnost, že je terénní hrana významnou a nezbytnou součástí DMT, dává vzniknout nespočtu vědeckých prací na toto téma. Tyto postupy se odlišují zejména ve vstupních datech, aplikovaných postupech a přesnosti vymezení hrany. Známý jsou postupy založené na hledání terénních hran z DMT v rastrovém formátu, ale s rozvojem technologie přibývá i postupů využívajících přímo bodové mračno.

Tématem a cílem předkládané práce je navržení postupu pro detekování terénních hran z dat leteckého laserového skenování (LLS) s využitím nástroje Sky-view faktor. Dílčím cílem práce je také určit typ hrany. Navržená metoda pro detekci terénních hran využívá nástroje Sky-view faktor (SVF). Verifikace dosažených výsledků je provedena pomocí dvou vybraných metod detekce terénních hran. Ověření správné detekce typu hran je pak pomocí vlastní nově vytvořené pomocné vrstvy hřbetnic a údolnic.

V úvodní části práce jsou definovány pojmy terénní reliéf a terénní hrana, dále pak je zde uveden výčet dosavadních metod a postupů věnující se problematice detekce terénních hran. Následující část se zabývá již zmíněným nástrojem SVF, zejména jeho možností využití v případě detekce terénních hran. Představení prací zabývajících se postupy detekce terénních hran i nástrojem SVF byly podkladem pro návrh vlastní metody. Navazující část popisuje využitá data včetně charakterizace vybraných lokalit. Stěžejním bodem praktické části je popis navržené metody a porovnání vybraných metod.

Tato část se dále zaměřuje na implementaci navržené metodiky a následného zhodnocení navrženého postupu, které probíhá formou konfrontace s již známými algoritmy.

1.1 Cíle práce

Cílem práce je navržení nové metody detekce terénních hran. Metoda bude využívat nástroje SVF, který je zatím v této problematice téměř nevyužíván. Navržená metoda bude pracovat nad rastrem a bude uzpůsobena pro obecné využití všech typů terénu. Dílčím cílem bude také stanovení, o jaký typ hrany se jedná. V této práci se bude jednat o údolnice a hřbetnice. Dále pak je snahou vyřešit některá specifická místa v terénu, které činí jiným metodám problémy. Konkrétně se jedná o soutok, který byl v práci Peterkové (2015) označen za problémové místo v detekci správného průběhu údolnic. Verifikace bude probíhat pomocí konfrontace se dvěma vybranými metodami. Ověření správného určení typu hrany pak bude probíhat pomocí srovnání s nově vytvořenou vlastní vrstvou hřbetnic a údolnic. Lokality pro testování budou čtyři - Vítkovice, Hradiště, Strnady a Velenka. Lokality disponují rozličnými geomorfologickými charakteristikami. Z tohoto důvodu je možné zhodnocení metody pro různé typy terénu.

2 Možnosti detekce terénních hran

Následující kapitola uvádí do problematiky detekce terénních hran. Kapitola představuje pojmy terénní reliéf, terénní hrana a dosavadní postupy v problematice detekce terénních hran. V neposlední řadě jsou zde prezentovány vybrané konfrontační metody pro praktickou část této práce.

2.1 Terénní reliéf

Terénní reliéf je skutečný povrch, který je mapován. Tento reliéf je vytvářen a přeměňován jak přírodními silami, tak i antropogenní činností. Terénní reliéf je ve výsledku nepravidelná plocha sestávající z morfologických ploch, které dělíme na rovné, vypuklé a vhloubené. Seskupením těchto ploch se vytvářejí terénní tvary. Existují dva typy terénních tvarů a to vhloubené a vyvýšené, které se dále mohou dělit na další podtypy (např. úbočí, úpatí aj.). Pokud terénní tvary zaznamenáme jako body, lze tyto body spojit v čáry, které pak nazýváme jako čáry terénní kostry (Hánek 2017). Podle slovníku VUGTK (2017) je terénní kostra definována právě těmito body a čarami. Vichrová (2011) v multimediální učebnici geomatiky uvádí, že se v případě terénní kostry jedná o prostorové čáry, které se v mapě nezobrazují a na kterých se stýkají dílčí terénní plochy. Dodává, že tyto čáry prochází zlomovými body, které představují nejvyšší a nejnižší body v terénu (např. vrchol kupy, střed sedla aj.). Terénní čáry lze rozdělit na hřbetnice, údolnice, spádnice a ostatní hrany (Hánek 2017, VUGTK 2017). Terénní kostra tak představuje generalizovaný popis tvaru terénu vyjádřena významnými body a liniemi v místech, kde v terénu dochází ke změně v charakteristice plochy (např. expozice, sklon aj.) (Jaroš 2011). Znalost průběhu terénní kostry je podle Wild, Krzystek a Madani (1996) v některých případech až velmi zásadní. Jedná se především o vytvoření morfologicky přesných DMT, ale také pro definování odtokových poměrů a při povodňové ochraně

(Wild, Krzystek a Madani 1996, Gomes Pereira a Wicherson 1999). V této práci se budu věnovat jednomu z typů terénní kostry - terénní hraně (viz. kap. 2.2).

2.2 Terénní hrana

Jak už bylo řečeno v předchozí kapitole, terénní hrana představuje čáru terénní kostry. Hrana tvoří styk dvou různě skloněných částí terénní plochy (VUGTK 2017), spojuje místa, kde se zlomově mění sklonové poměry terénních ploch (Vichrová 2011). Existuje více možností dělení terénních hran. Vichrová (2011) uvádí dělení na přirozené (terénní zlomy), umělé (náspy a zářezy), vodorovné a skloněné. Slovník VUGTK (2017) říká, že terénní hrana může být ostrá nebo tupá. Mezi nejvýznamnější terénní hrany se řadí údolnice, spádnice a hřbetnice.

Otázce detekce hran se věnuje mnoho vědeckých prací. Tyto práce se liší zejména v aplikovaných postupech, ve vstupních datech, v přesném vymezení detekovaných hran či v univerzálnosti aplikovaného postupu. Postupy, které se využívají, se mohou aplikovat na samotná bodová mračna nebo na data převedená do rastrové podoby. V obou dvou případech je vlivem velmi přesných dat možné detekovat nejen průběhy hlavních terénních hran (např. hřbetnice či údolnice), ale i hrany malých terénních nerovností (např. strouhy u cest, erozní zářezy aj.) (Jaroš 2011). Z tohoto důvodu je vhodné, aby předložený postup zahrnoval také možnost určení významnosti terénní hrany.

Jak bylo zmíněno výše, algoritmy pro vyhledávání terénních hran se dají rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou postupy pracující s DMT v rastrovém formátu, druhou skupinou pak postupy využívající přímo bodové mračno. Následující podkapitoly práce se věnují nejprve jedné této skupině a následně druhé.

2.2.1 Postupy s využitím DMT v rastrovém formátu a formátu TIN

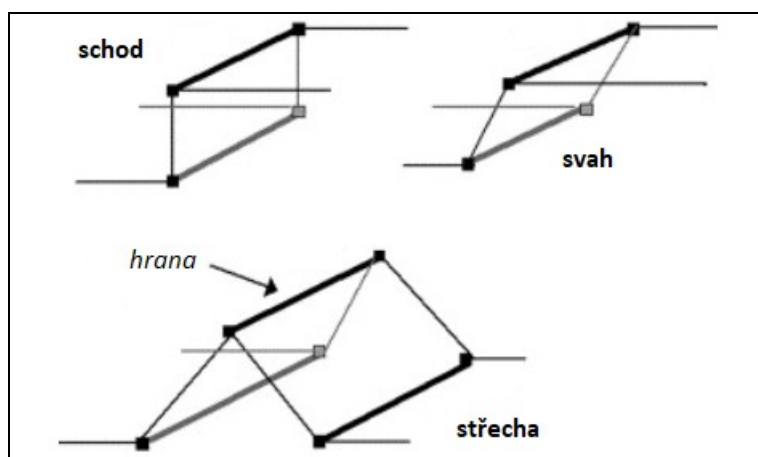
Kraus a Pfeifer (2001) představují myšlenku využití analýz odtokových poměrů i pro nalezení terénních hran. Jedněmi z prvních, kteří se pokusili využít data a analýzy z hydrologie byli O'Callaghan a Mark (1984). Jejich snahou bylo lokalizovat v DMT místa, kde je největší povrchový odtok (toky), a odstranit v reálu neexistující bezodtoké oblasti.

Ve skutečnosti neexistující bezodtoké oblasti se v DMT objevují v důsledku interpolačních technik při tvorbě DMT v rastrové podobě (Kraus a Pfeifer 2001). Totožnou problematikou se nadále zabývali například Rieger (1992), Tarboton (1997) či Gajski (2000). Při výpočtech jsou autory získány jako vedlejší produkt rozvodnice. Nelze však z postupů přesněji charakterizovat, jak významné nalezené údolnice a hřbetnice pro daný terén jsou.

Další možnost pohledu na terénní hrany představili Wild, Krzystek a Madani (1996), kteří zohledňují také průběh terénní hrany pro vytvoření morfologicky přesného modelu terénu. Autoři upozorňují, že většina software tuto funkci na detekci sice obsahuje, avšak je třeba ji znát ještě před samotným vytvořením DMT, kdy průběh terénních hran je vstupním údajem. Autoři proto představují novou metodu, kde k detekci terénních hran dochází při vytváření DMT a není třeba informací o průběhu terénních hran znát dopředu. Při tomto postupu využívají tzv. adaptativního filtru chránící hrany k nalezení lokálního maxima křivosti. Výsledkem jsou 3D polylinie, které jsou následně porovnány s výsledky Sobelova hranového operátoru. Místa, kde se nalezené linie shodují, jsou pak označena za hrany.

Gomes Pereira a Wicherson (1999) se věnují hydrodynamickému modelování. V souvislosti s využitím dat leteckého laserového skenování (LLS) představují také nový způsob detekce terénních hran. Tyto hrany definují jako spojnice bodů zlomu, které představují nenadálé změny sklonu terénu. Zlomy a tedy i terénní hrany pak člení na tři geometrické pravidelnosti a to střechu, svah a schod (obrázek 1). Pro zjištění průběhu terénních hran využívají autoři Prewittova hranového operátoru. Jedná se o derivaci první obrazové funkce, kdy dojde ke zvýraznění míst s náhlou změnou hodnoty pixelu. Následně je ostatním pixelům přiřazena informace o tom, zda leží ve svahu či v rovině. Dále jsou procházeny pixely označené za svah a zjišťuje se přítomnost náhlé změny hodnoty. Výsledkem jsou vektorové hrany s informací, zda se jedná o dolní či horní hranu svahu. Autoři sami uvádí nedostatky, a to především skutečnost, že vygenerované hrany jsou všechny hrany v terénu zájmové oblasti, resp. hrany pro terénní ráz charakteristické i bezvýznamné.

Obr. 1: Typy terénních hran podle Gomes Pereira a Wicherson (1999)

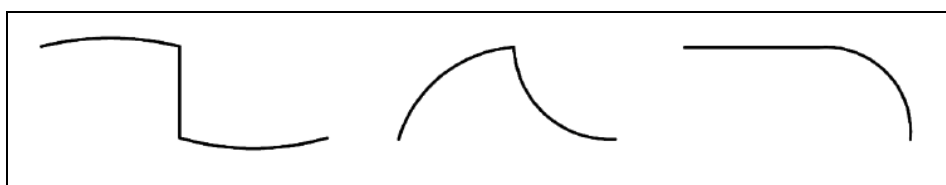


Zdroj: Gomes Pereira a Wicherson (1999), vlastní úpravy

Gomes Pereira dále ve spolupráci s Janssenem (Gomes Pereira a Janssen 1999) svými postupy získávají další informace o terénní hraně, například zda se jedná o dolní či horní hranu svahu. Autoři využívají jak ruční (vizuální z nadmořské výšky), tak i automatické postupy (Laplaceův hranový operátor). Při porovnání výsledků dochází autoři k závěru, že z automatického zjišťování průběhu terénních hran vychází mnohem více hran než z druhého postupu. Výsledkem autory navržené metodiky jsou 2D linie.

Brügelmann (2000) definuje terénní hrany v podobě 3D vektorových linií. Linie určuje jako spojnice míst, kde hodnota křivosti terénu dosahuje nejvyšších hodnot. Definuje homogenní oblasti se stejnou křivostí a místa styku těchto oblastí pak značí terénní hranu. Tento postup do jisté míry vychází z metodiky Förstnera (1998, 2000). Nový přístup autorky odhaluje terénní plynulé přechody a přehyby (obrázek 2). Autorka ve své práci dále také uvádí, že znalost průběhu terénních hran je důležitá nejen při tvorbě morfologicky správného DMT, ale i ve vodním hospodářství a v protipovodňových opatřeních.

Obr. 2: Typy terénních hran podle Brügelmann (2000)



Zdroj: Brügelmann (2000)

Poznámka: z leva: skok, přehyb, plynulý přechod

Karlíček (2014) se zabýval využitím trojúhelníkové sítě pro využití k získání významných hran v 3D objektu i terénu. Autorův postup vychází z publikace Yoshizawa, Belyaev a Seidel (2005), kteří vyhledávali hrany na základě změny tvaru plochy, kterou lze popsat křivostí. Karlíček (2014) využil této metody pro ohodnocení vrcholů trojúhelníkové sítě a definoval tak jejich významnost. Následně pak vygeneroval oblasti s hodnotami nad jím stanovenou mez, kde aplikoval morfologické operátory. Autor sám uvádí nedostatky modelu, a to v místech, kde je velké lokální zakřivení, které je pro globální popis terénu nevýznamné.

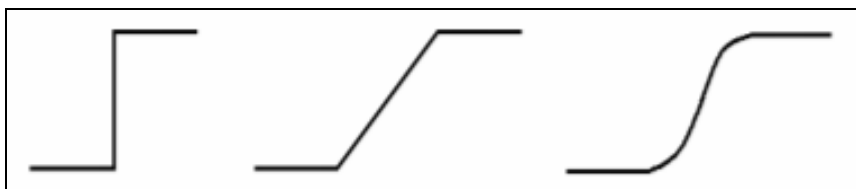
Dalším autorem, který se věnoval problematice detekce terénních hran z rastrového formátu je Jaroš (2011). Jeho metoda byla vybrána jako konfrontační pro praktickou část předkládané práce a je jí tedy věnován větší prostor v samostatné podkapitole v následujícím textu.

2.2.2 Postupy s využitím bodového mračna

Zpracováním bodového mračna a jeho využitím pro detekci terénních hran se zabývali Kraus a Pfeifer (2001). Jednou ze vstupních hodnot autory navrženého algoritmu je znalost přibližného průběhu terénních hran. Pro získání této informace doporučují autoři využít jeden z výše popsaných postupů detekce terénních hran nad DMT. Algoritmus následně spočívá v porovnávání bodového mračna a předem získaných linií. Na obě strany linie se vytvoří obalové zóny, do kterých jsou následně zařazeny body z mračna. Tím se vytvoří dvě skupiny bodů rozdělených hranou (linií), které představují svahy. To vše probíhá bez výškové souřadnice. Následně se body reprezentující svahy proloží rovinou a hledá se již i s výškovou souřadnicí průsečnice rovin představující terénní hranu. V závěru autoři ještě doplňují, že není třeba využívat pouze rovin, ale lze body proložit i složitější plochy, které mohou ve složitějším terénu lépe tento terén popsat. Tento postup dále rozpracoval Briese (2004), který navrhuje zohlednit vzdálenost bodů od roviny a to z toho důvodu, že terén může být různě členitý a také proto, že nejdůležitější k určení terénní hrany je popsání jejího bezprostředního okolí. Výpočet hrany pak provádí pomocí vah, kdy vzdálené body mají nižší váhu než body blízké. Dodává však, že při získávání dat (bodového mračna) může dojít k odrazu v okolí terénní hrany a tím k nepřesnostem v datech. Z tohoto důvodu navrhuje přiřazení nízké hodnoty váhy také bodům v nejbližším okolí terénní hrany.

Z prací Kraus a Pfeifer (2001) a Briese (2004) vychází Brzank, Lohmann a Heipke (2005). V algoritmu pro detekci terénních hran využívají autoři také jako vstupní hodnotu již odhadnuté průběhy terénních hran a to pomocí Lanserova filtru pracujícího nad DMT. Následně autoři provádějí testování pixelů reprezentujících terénní hranu pomocí gradientů a tím dochází k odstranění pixelů představujících nevýznamné (velmi malé) hrany, které mohou být i projevem šumu v datech. Při modelaci terénních hran dochází k nalezení dvou hran zároveň v jednom kroku, čehož je dosaženo pomocí hyperbolického tangensu s různými parametry, který podle autorů nejlépe vystihuje skutečný terén. Omezení nastává v případě, kdy je mezi hranami malý počet bodů a tím mohou být výsledky značně zkresleny. Mezi vstupními parametry k detekci je třeba také definovat typ hran, které jsou pro zájmové území typické (obrázek 3).

Obr. 3: Typy terénních hran podle Brzank, Lohmann a Heipke (2005)



Zdroj: Brzank, Lohmann a Heipke (2005)

V práci Briese a kol. (2009) je představena metoda založená na určení hrany bez znalosti jejího jakéhokoli průběhu. Práce vychází z principu popsání okolí každého bodu bodového mračna a určení lokálních křivostí (maximální a minimální). Hrany jsou definovány právě místy extrémní křivosti, a proto na základě tohoto předpokladu je možné body nad hranicí určité křivosti zahrnout do potencionální oblasti výskytu terénní hrany. Dále lze určit i směr terénní hrany a následně postupovat metodou protínajících se rovin.

Některé metody nejsou pojaty obecně, ale jsou zacíleny na jeden typ hran se specifickým účelem. Takovým postupem je například metoda představená Peterkovou (2015). Práce se zabývá zpřesněním polohy vodního toku, které jsou autorkou brány jako údolnice. Tento aspekt umožňuje pracovat s liniemi vodních toků jako s terénními hranami a přitom zaměřit metodu na tento konkrétní typ hran. Představená metoda využívá dat LLS a pracuje nad filtrovaným bodovým mračnem. Práce se zaměřuje na úzké vodní toky s velkým spádem a v hluboce zaříznutých údolích. Dále pak také možnost získání prvotní linie toku z jiného zdroje než jsou vstupní data. Výsledkem algoritmu je zejména 3D liniová vrstva vodního toku s klesajícím profilem v celém svém průběhu. Za nedostatek metody považuje autorka především nesprávnou detekci v místech neočekávaného tvaru

a překážek (mosty, vodopády, soutoky, široká cesta podél toku aj.). Právě soutok bude v praktické části práce testován na jedné z vybraných lokalit se snahou zmiňovaný nedostatek v nesprávné detekci údolnice v místě soutoku vyřešit. Peterková (2015) ve své práci uvádí, že v místě soutoku dochází v případě využití její metody k nesprávnému vedení průběhu údolnice a především k nespojení toků vyššího řádu do toků řádu nižšího. Vzniká zde prázdné místo, kde neexistuje žádná detekovaná údolnice ani vodní tok.

2.2.3 Konfrontační metody detekce terénních hran

Výběr konfrontačních metod proběhl na základě několika kritérií. V první řadě je možné získání přístupu ke zdrojovému kódu algoritmu a je tedy možné jej v práci využít. Volně dostupný a stažitelný je algoritmus Jaroše (2011), který je přiložen u jeho diplomové práce. Algoritmus Cannyho (1986) je součástí knihovny systému Matlab jako samostatný nástroj.

Přestože algoritmus Cannyho je starší, stal se běžně využívanou standardní metodou pro detekci terénních hran (Kalra 2009). Algoritmus Jaroše (2011) je metoda zaměřená na obecné využití a definování významnosti hrany pro analyzovaný terén z rastrového formátu. Dále se pak jedná o jeden z novějších přístupů v oblasti detekce terénních hran. Obě vybrané metody jsou v následujících podkapitolách detailněji představeny. Pokud není citováno jinak, v následujících dvou podkapitolách vychází text z prací autora uvedeného v názvu podkapitoly.

2.2.3.1 Metoda dle Canny (1986)

Metoda sestává z několika kroků (Kalra 2009, Sinha 2018):

- **Předběžné zpracování** - odstranění šumu, nejčastěji se využívá Gaussova filtru (5x5, směrodatná odchylka 1,4)
- **Výpočet přechodů** - výpočet gradientové veličiny v každém pixelu obrazu, jedná se o směr a velikost (vysoká hodnota gradientu znamená, že se barva rychle mění a jedná se tedy o hranu, směr udává orientaci okraje)

- **Maximální potlačení** - potlačení pixelů, které nejsou označeny jako maximální (porovnání pixelů v matici 3x3 a vyhledání lokálních maxim, které jsou zachovány), vede ke ztenčení hran
- **Dvojitě prahování** - pixely nad stanovenou hranicí jsou označeny jako silné, naopak pixely pod určenou hranicí jsou potlačeny a pixely mezi stanovenými hranicemi jsou označeny jako slabé
- **Určení hran hysterezí** - silné pixely určené v předchozím kroku jsou zařazeny mezi hrany, slabé jen v případě napojení na silné (jinak se jedná o hrany vzniklé šumem)

Metoda je považována za velmi dobrý a jednoduchý detektor hran (např. Kalra 2009, Sinha 2018). Výsledkem jsou čisté a dobře propojené hrany (Sinha 2018). Dle Canny (1986) má optimální detektor jednoduchou implementaci, v tomto případě se jedná o označení hran pomocí maxima v Gaussovském vyhlazeném obrazu. Rozšíření tohoto jednoduchého detektoru je provedeno pomocí několika operátorů šířek, aby se eliminoval negativní vliv šumu, který může v některých případech zapříčinit nesprávné určení hran, a zároveň zůstala možnost zachytit co nejvíce hran. Tato metoda umožňuje obecné využití na rastrových datech v šedotónovém provedení.

2.2.3.2 Metoda dle Jaroše (2011)

Autor ve své práci navrhuje novou metodu detekce linií terénní kostry v rastrových datech. LLS poskytuje data o terénu, zejména informace o nadmořské výšce. Tyto data jsou dále uživateli upravována do rastrové podoby. Body LLS jsou vysoce přesná a vyznačují se velkou hustotou zaměřených bodů. Získán je tak velmi přesný popis terénu. V takovýchto datech je k nalezení nespočet terénních hran. Terénní hrany mohou být pro vizualizaci povrchu významné i zanedbatelné. Postupů pro volení míry podrobnosti je několik, je však žádoucí, aby volba míry podrobnosti byla především na uživateli. Právě na to, aby uživatel mohl volit míru podrobnosti, byl autorem kladen zvláštní důraz při vytváření nového algoritmu. Tato vlastnost nového algoritmu je odlišná od ostatních do té doby známých přístupů. Cílem ostatních postupů je právě odhalení existence hran v datech a co nejpřesněji určit jejich průběh. Významnosti jednotlivých hran není kladen příliš velký důraz. Dle výsledků autora mají přístupy s analýzou jediného parametru (vyhledání hrany) omezené možnosti. Tyto algoritmy lze dobře aplikovat pouze v území s pravidelným terénem, kde nalezneme ostré přechody rovin a svahů.

Nová metoda se odlišuje od dosavadních přístupů i tím, že využívá příčných profilů. Řez terénem představuje v případě rastrových dat řádky, sloupce nebo diagonály rastru. Určení hrany probíhá na každém pixelu zvlášť a to tak, že jsou vedeny řezy ve všech čtyřech směrech (řádek, sloupec, obě diagonály). Po získání informace zda hodnocený pixel je hranou či nikoliv, dochází k určení toho, zda je hrana významná pro daný terén. Následně jsou pomocí Douglas - Peuckerova algoritmu jednotlivé profily vyhlazeny. Tento algoritmus se využívá zejména v kartografii pro generalizaci lomených čar. Důležitost výsledných hran je takto brána komplexně pro charakter terénu dané oblasti. Naopak hojně využívané dosavadní postupy pracují s informacemi v okolí hodnoceného pixelu. Jednotlivé pixely jsou vyhodnocovány jen ve vztahu se svým okolím, které je definováno velikostí konvoluční masky.

Autor navrženou metodu testoval na 4 lokalitách Česka. Každá z lokalit disponovala jiným geomorfologickým členěním, což dobře reprezentovalo chování algoritmu v různých typech terénu. Autor testoval nejrůznější nastavení parametrů. Kód algoritmu psaný v prostředí Matlab je přiložen v jeho publikované práci a volně dostupný.

V práci autora jsou zmíněny nedostatky navrženého algoritmu. První nedostatek souvisí s otázkou přesnosti vstupujících dat. Převod bodového mračna do rastrového formátu je provázen určitou ztrátou přesnosti. Stejně tak lze k tomu připočítat i určitou míru ztráty přesnosti způsobenou aplikací. Dochází tak k poklesu kvality požadovaného výstupu. Autor zde navrhuje řešení v podobě využití přímo bodového mračna jako vstupujících dat. Vzala by se tak v potaz významnost hran a zároveň by se zvýšila přesnost konečného výstupu. Dalším problémem je nedostatečné ošetření detekce terénních hran v místech terénu s oblými tvary. Do jisté míry je dle autora nedostatkem samotný algoritmus prováděný přes příčné profily.

Hodnocení autorem navrženého algoritmu proběhlo na základě porovnání s 3D modely. 3D modely dobře zviditelňují terénní hrany a je možné je snadno identifikovat. Autor tento postup považuje za nejlepší možný v dané době, avšak navrhuje dle svého mínění lepší postup zhodnocení. Autor doporučuje konfrontovat navrženou metodu s jinými známými metodami detekce terénních hran. Dále podotýká, že detekce terénních hran v různých softwarech je zatím opomíjena.

3 Sky-view faktor

Sky-view faktor (SVF) je nástroj, který měří, jaká část oblohy je viditelná nad každým místem. Používán je fiktivní světelný zdroj, který osvětluje reliéfní povrch z nebeské hemisféry. Dále platí, že hemisféra je na celé ploše stejně světlá, neexistuje žádný další zdroj osvětlení a zakřivení Země je opomíjeno do vzdálenosti 10 km. Pro každý bod je tedy spočítána plocha viditelné oblohy, která je omezená horizontem (Zakšek, Oštir a Kokalj 2011). Plochy, které jsou více viditelné, zachycují více difúzního osvětlení než plochy, které vidí jen část oblohy (Kokalj, Zakšek a Oštir 2011). Na tomto základě lze předpokládat, že hluboká údolí budou méně osvětlená a tmavší než hřebeny, které se zobrazí světle (Zakšek, Oštir a Kokalj 2011). Výsledný obraz nabývá hodnot 0 - 1, kdy hodnoty 1 představují místa s viditelnou celou hemisférou (např. hřebeny, valy, vrcholy, lokálně plochý terén), kdežto hodnoty 0 ukazují místa s oblohou zcela neviděnou (např. příkopy, údolí, strže) (Zakšek a kol. 2013, Kokalj a Hesse 2017).

Výpočet SVF probíhá dle vzorce na následujícím obrázku, schéma výpočtu je pak zobrazeno na obrázku 5.

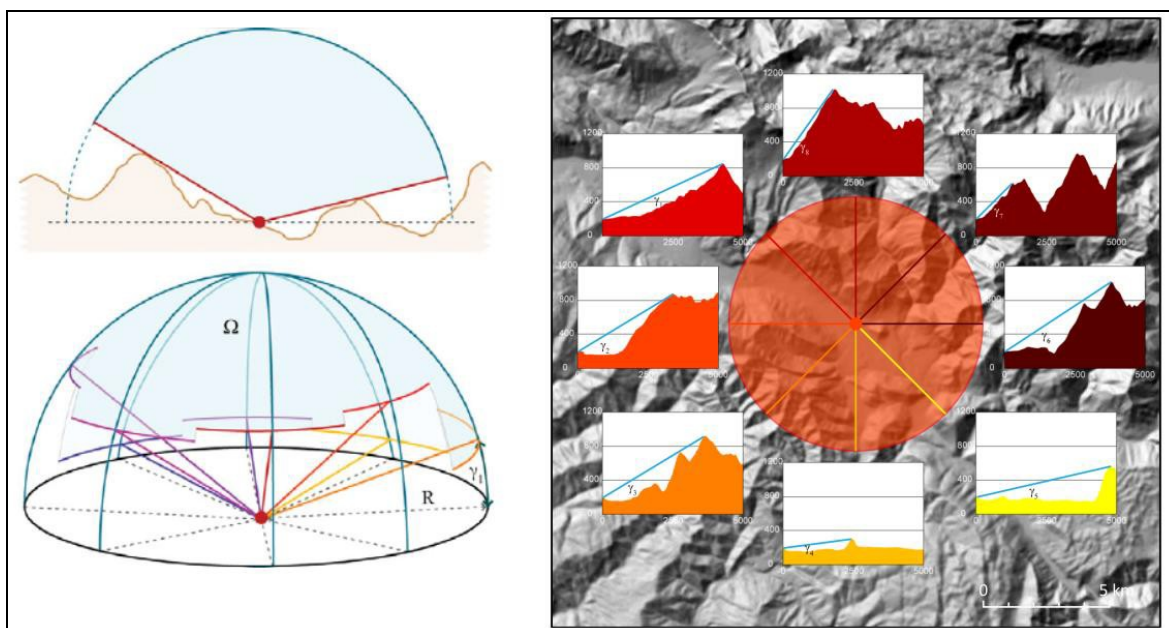
Obr. 4: Výpočet SVF

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

Zdroj: Kokalj, Zakšek a Oštir (2011)

Poznámka: γ_i - úhel vertikální elevace vztážená k horizontu ve směru i ; n - počet směrů osvětlení

Obr. 5: Schéma výpočtu viditelné oblohy



Zdroj: Oštir, Kokalj a Pehani (2010), Kokalj, Zakšek a Oštir (2011), vlastní úpravy

Poznámka: γ - úhel vertikální elevace vztažená k horizontu v daném směru; R - poloměr vyhledávání; Ω - viditelná obloha nad pozorovacím bodem

Výpočet je ovlivněn počtem směrů a vyhledávacím poloměrem horizontu. Výsledný SVF je součtem částí oblohy ze všech směrů. Pro obecnější výsledky či větší tvary reliéfu je vhodné volit vyšší hodnoty poloměrů (tepelné ostrovy, např. 10 km), v případě detailnějších studií (drobné terénní tvary, archeologické prvky) je doporučeno volit naopak menší poloměr (cca 10 m) (Kokalj, Zakšek a Oštir 2011).

Nástroj SVF je implementován pouze do několika systémů (např. volně dostupné systémy - SAGA, RVT, LiVT). Pro praktickou část této diplomové práce byl vybrán systém RVT, a to z toho důvodu, že disponuje uživatelsky nejjednodušším prostředím. RVT byl vyvinut speciálně pro snadnou vizualizaci digitálních modelů terénu a disponuje jen vybranými nástroji, což zjednodušuje práci se systémem. Kokalj a Hesse (2017) dále uvádějí, že systém RVT lépe zobrazuje detaily v údolních oblastech, kdy není dosahováno primárně nízkých hodnot SVF při celkové vizualizaci. Dále uvádějí, že se výsledky mohou lišit v různých systémech vlivem jiného softwarového řešení. Dle výsledků Englmaierová (2018) jsou pro analýzy historického osídlení výsledky systémů SAGA a RVT srovnatelné. V těchto analýzách se ovšem jedná především detaily konvexních tvarů.

V následující tabulce jsou představeny parametry, které nástroj SVF obsahuje v systému RVT.

Tab. 1: Vstupní a výstupní parametry nástroje SVF v systému RVT

	Parametr	Typ dat	Typ vstupu	Interval hodnot	Jednotky	Poznámka	Základní nastavení
Vstupní parametry	Vstupní data	raster	povinný	-	-	-	-
	Počet směrů	string	povinný	4 - 360	-	obvyklé hodnoty 8 - 36; optimální hodnota pro většinu aplikací 16	8
	Poloměr vyhledávání	string	povinný	1 - 100	pixel	obvyklé hodnoty 5 - 50	10
	Odstranění šumu	boolean	povinný	-/low/medium/high	-	obvyklé low	-
Výstupní parametry	SVF	raster	povinný	0 - 1	-	-	-

Zdroj: Zakšek a kol. (2013), vlastní tvorba

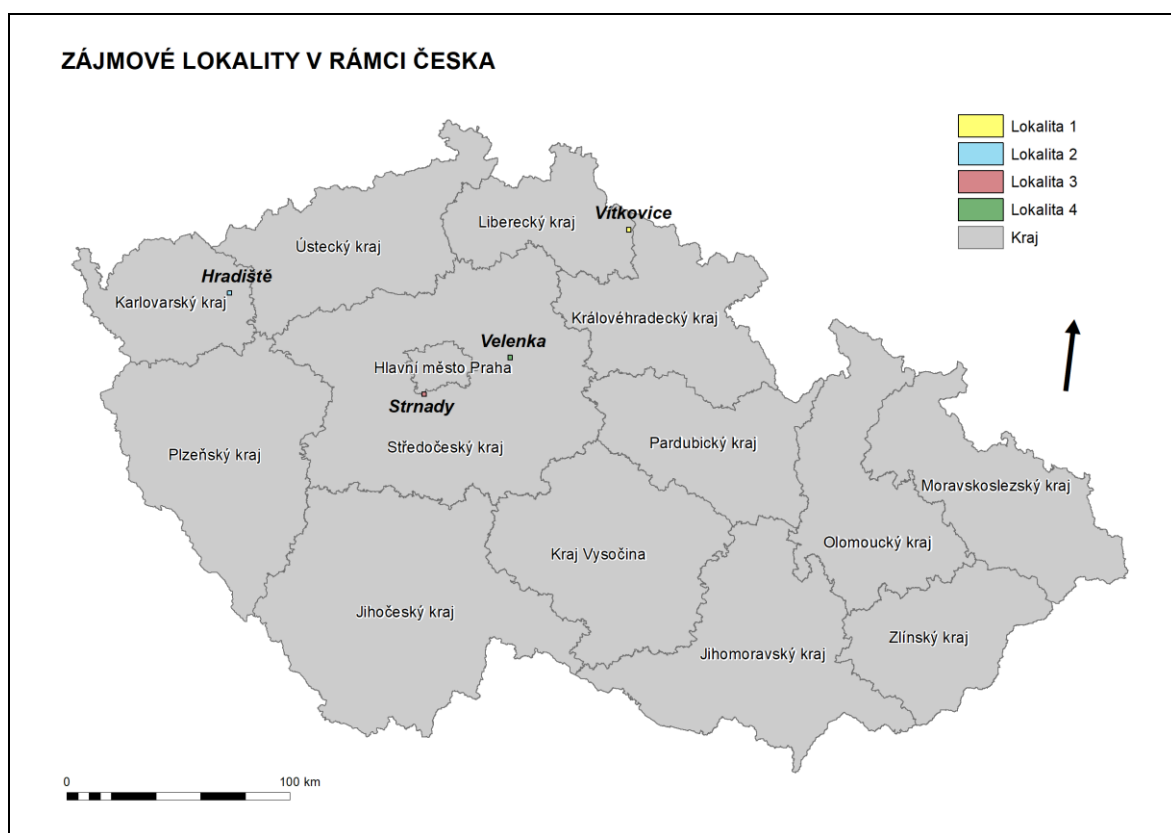
Z tabulky 1 vyplývá, že SVF nabízí k definování několik parametrů. Vyjma vyhledávacího poloměru a počtu výpočetních směrů je zde možnost volby odstranění šumu. V případě zvolení možnosti odstranění šumu je vybíráno ze tří možností - *low*, *medium* a *high*. Principem je vynechání určeného počtu pixelů pro výpočet. Zvolená možnost *low* vynechá prvních 10 % px, *medium* prvních 20 % px a *high* prvních 40 %. Vynechání prvních (nejbližších) sousedních pixelů výrazně zlepšuje viditelnost jemných rysů terénu (např. archeologické prvky), u kterých je žádoucí zobrazit ostré hrany a šum tuto skutečnost ztěžuje (Kokalj a Hesse 2017).

SVF jako geofyzikální parametr se nepoužívá jen pro vizualizaci výškopisných dat, ale lze jej uplatnit i v jiných oborech a to především tam, kde je důležitá míra ovlivnění dlouhověnného ozařování (např. sluneční záření) v terénu. Takovým příkladem může být určování dostupnosti signálu GPS, určení míst nebezpečná pro dopravu v souvislosti s počasím (např. místa pokrytá náledím či jinovatkou) či analýzy urbánní klimatologie (vyzařování povrchu), hydrologie, geomorfologie i lesnictví (Picek 2014).

4 Zájmové území

Cílem této kapitoly je představení zájmových lokalit využitých v praktické části předkládané práce. Zájmová území byla vybrána čtyři s rozdílnými geomorfologickými vlastnostmi terénu. Ve výsledcích je tak možné stanovit, pro jaký terén je vybraná metoda vhodná a kde jsou nedostatky metody. Velikost lokalit je 2 x 2 km. Každá z lokalit je jednotlivě představena v následujících podkapitolách. Umístění lokalit je zobrazeno na obrázku 6.

Obr. 6: Zájmové lokality



Zdroj: ArcČR500 verze 2.0, vlastní tvorba

4.1 Lokalita 1: Vítkovice

Lokalita 1 je situována ve východní části Libereckého kraje. Převážná část lokality se nachází na území obce Vítkovice, částečně zasahuje i na území Jablonce nad Jizerou. Lokalita pokrývá území soutoku Kozelského potoka, Jizerky a Koželského ručeje. Okolí soutoku se zvedá ke třem vrcholům - Vídeňská skála na severu, Velký Jeřábek na jihovýchodě a Presislerův kopec západním směrem. Lokalita disponuje hlubokými zařízlými koryty toků, prudkými svahy a vrcholem Velký Jeřábek. Rozdíl nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky činí 329,53 m, střední hodnota nadmořské výšky pak 786,90 m. Nejvýrazněji by se v analýze měly projevit zařízlá údolí. Lokalita Krkonoš v oblasti pramene Labe a Bílého Labe byla testována i v práci Peterkové (2015). Právě soutok byl jedním z problémových míst v autorkou představené metodě. Předpokladem vlastní metody této práce je vyřešení tohoto nedostatku a poskytnutí správného určení vedení údolnice v místě soutoku. Na obrázku 7 je zobrazena lokalita 1.

Obr. 7: Lokalita 1 (výškový model - TIN, ZM 10)



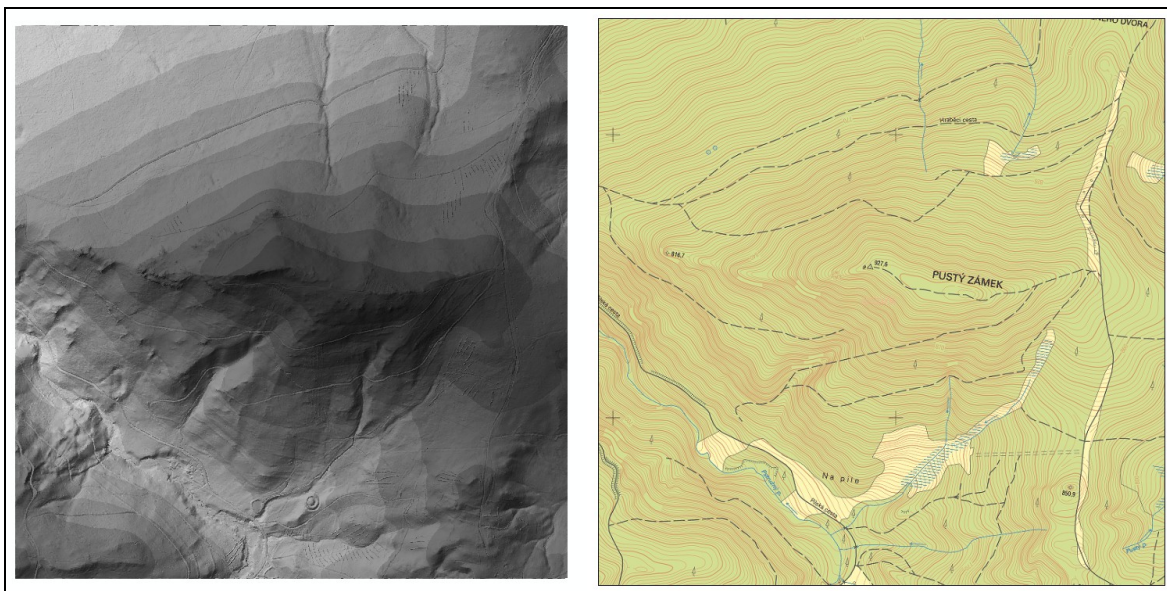
Zdroj: ČÚZK (2018), vlastní tvorba

4.2 Lokalita 2: Hradiště

Lokalita 2 se nachází v Karlovarském kraji na území vojenského újezdu Hradiště. Vojenský újezd je od poloviny 20. století neosídlený. Východozápadním směrem vybrané lokality se táhne hřbetnice Pustého zámku, z kterého sbíhají četné vodní toky s poměrně

strmými profily. Rozdíl minimální a maximální nadmořské výšky činí 280,64 m, střední hodnota nadmořské výšky je 788,98 m. Předpokladem detekce je hřeben a koryta vodních toků. Obrázek 8 zobrazuje tuto lokalitu.

Obr. 8: Lokalita 2 (výškový model - TIN, ZM 10)



Zdroj: ČÚZK (2018), vlastní tvorba

4.3 Lokalita 3: Strnady

Tato lokalita se nachází na rozhraní Středočeského kraje a Hlavního města Prahy. Pokrývá části území obcí Dolní Břežany, Zvole, Ohrobec, Vrané nad Vltavou, Jíloviště a dvou městských částí (Zbraslav a Lipence). Jedná se o velmi členité území, jehož hlavní osu tvoří koryto řeky Vltavy s širokým dnem. Po obou stranách řeky jsou zařízlá údolí typu "V" se spíše nízkými svahy. V severozápadní části lokality je mírně zvlněná plošina, na které se nachází kamenolom (antropogenní tvar s ostrými hranami). Rozdíl nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky je 173,73 m a střední hodnota nadmořské výšky je 262,54 m. Při analýze tohoto území by se měly nejvýrazněji zobrazit hrany kamenolomu a postranní přítoky Vltavy v zařízých údolích. Dále by se mohla zobrazit břehová čára Vltavy. Téměř totožnou oblast jako je tato zvolil pro své analýzy i Jaroš (2011). Následující obrázek ukazuje lokalitu 3.

Obr. 9: Lokalita 3 (výškový model - TIN, ZM 10)

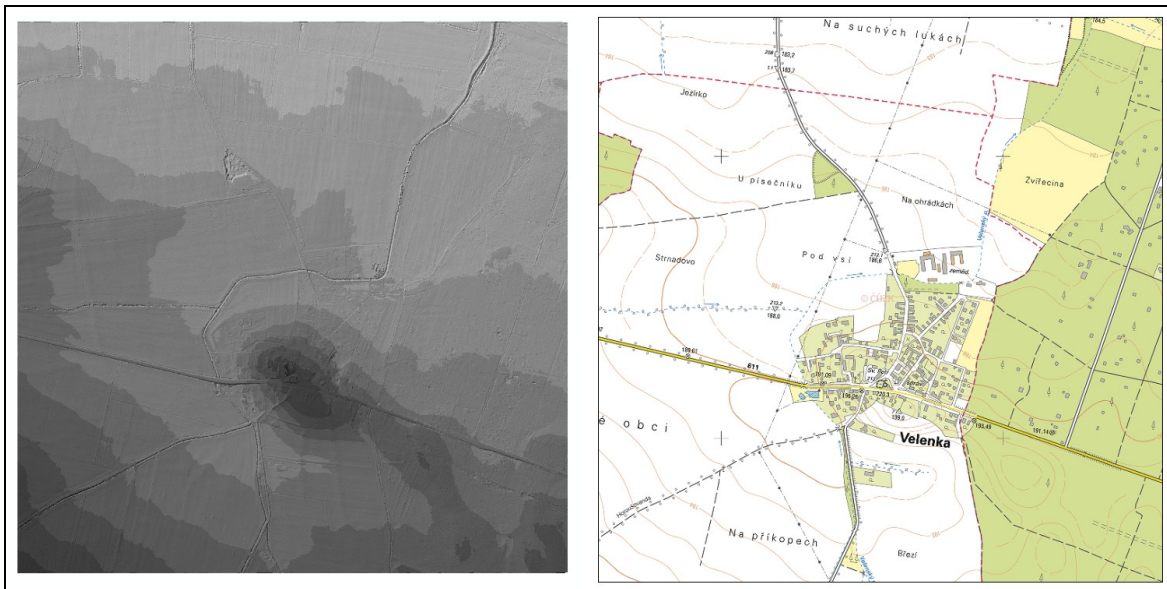


Zdroj: ČÚZK (2018), vlastní tvorba

4.4 Lokalita 4: Velenka

Čtvrtá lokalita se nalézá ve Středočeském kraji na rozhraní ORP Nymburk a Lysá nad Labem. Jedná se o okolí obce Velenka. Do lokality dále zasahují území obcí Semice, Hradištko a Starý Vestec. Rozdíl maximální a minimální nadmořské výšky je minimální (21,03 m). Oblast spadá do Polabské nížiny a tedy i jeho střední nadmořská výška je nízká (188,08 m). Jedná se o plochý, nezvlněný reliéf bez výrazných terénních hran. V případě analýzy je předpokladem detekování koryta vodních toků, případně násypy a příkopy procházejících komunikací, a sníženinu v severozápadní části území. Lokalita 4 je zobrazena na následujícím obrázku.

Obr. 10: Lokalita 4 (výškový model - TIN, ZM 10)



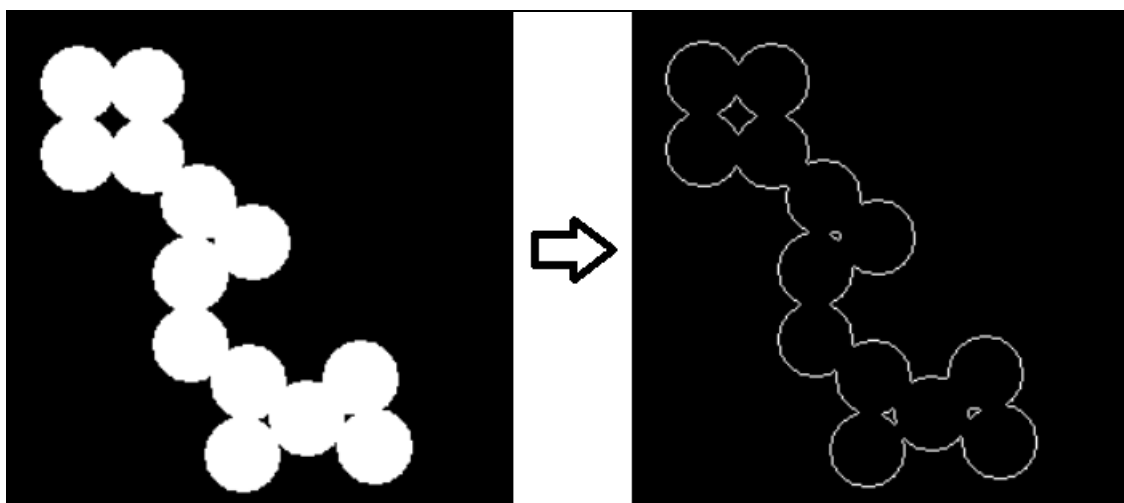
Zdroj: ČÚZK (2018), vlastní tvorba

5 Metodika

Jak je patrné z předešlých kapitol, velká část modelů detekce terénních hran je založena na získání linie z rastru. Tyto algoritmy se převážně použijí v kombinaci s již předem vytvořenými liniemi terénní kostry. Nadmořská výška hrany je následně doplňována z DMT. Výhodou postupů pracujících nad rastry je, že jsou rychle aplikovatelné díky dané pravidelnosti rastrové mřížky. Tento postup však ztrácí přesnost v momentě převodu dat LLS v podobě bodového mračka na rastrovou podobu DMT, kdy rasterizace může některé zlomy vyhladit (Briese a kol. 2009). Předkládaná diplomová práce využívá jako vstupní data rastr, což je dáno možnostmi využívaného nástroje SVF. Dalším důležitým bodem je vlastnost navrhované metody, která nepotřebuje jako vstupní hodnotu znát alespoň přibližný průběh terénních hran, což najdeme u většiny dosud známých metod, jak pracujících nad DMT, tak i nad bodovým mračnem. Metoda je založena na vyhledání oblastí obsahující terénní hrany a právě bez znalosti alespoň přibližného průběhu hledané hrany. Výsledkem jsou pixely těchto oblastí, které jsou označeny jako okrajové, a které po převedení představují 2D linii terénní hrany. Okrajové pixely jsou definovány jako pixely na okraji oblasti. Vznikají například odstraněním vnitřních pixelů či nalezením takových pixelů, které mají jako svého souseda pixel z pozadí. Příklad odstranění vnitřních pixelů je ukázán na následujícím obrázku. Pozadím je zde míněna černá plocha na levém obrázku, kdežto bílá plocha představuje oblasti, v nichž jsou požadované pixely (např. okrajové) hledány.

K odstranění vnitřních pixelů je možné použít například morfologické operátory. V této práci budou využity dva - *remove* a *thin*. Jedná se o matematické operace k extrakci požadovaných míst v obraze. Vlastnosti vybraných operátorů jsou představeny později v textu a to při jejich využití v postupu analýzy.

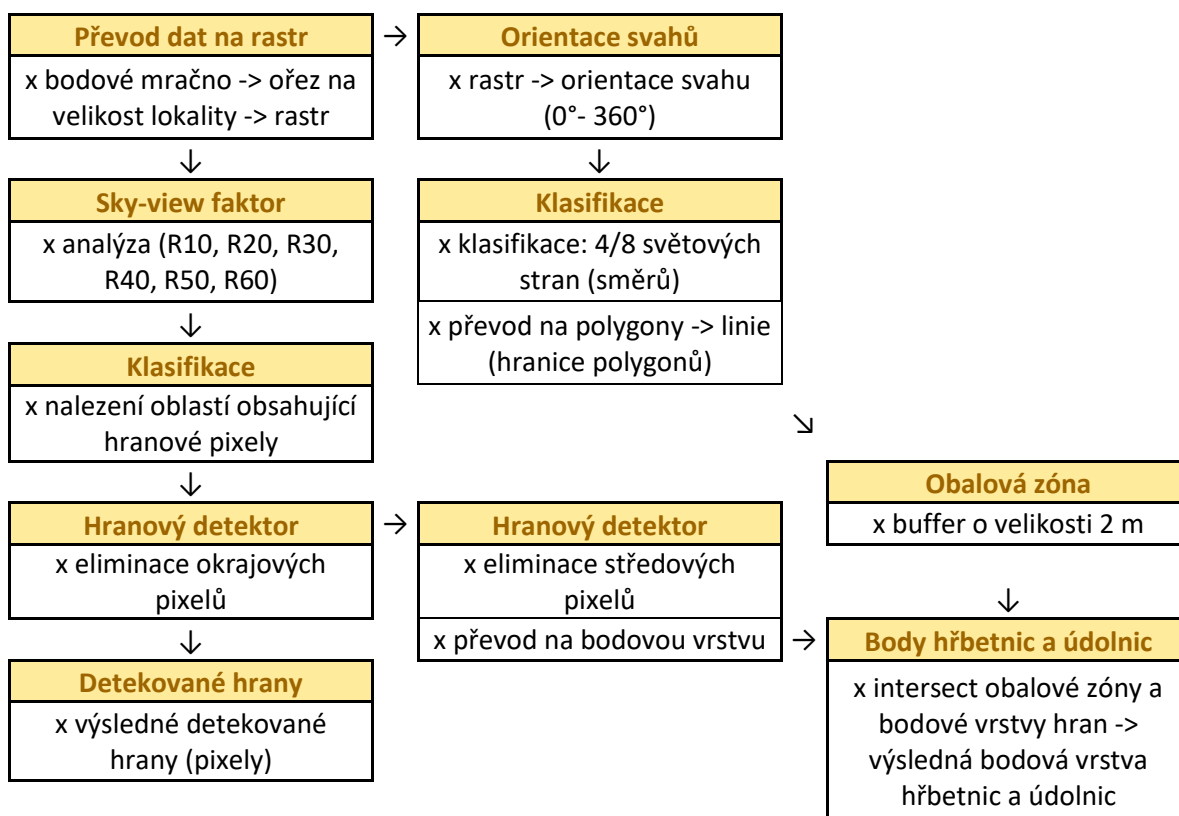
Obr. 11: Odstranění vnitřních pixelů



Zdroj: MathWorks (2018), vlastní úpravy

Schéma celého postupu práce je zobrazeno na obrázku 12. Následující podkapitoly se zaměřují detailněji na metodiku práce v jednotlivých krocích a doplňují některá důležitá teoretická východiska vlastní metody.

Obr. 12: Schéma postupu analýzy



Převážná část praktické části práce byla zpracována v systému ArcGIS, verze 10.2. Pro výpočet SVF byl využit software RVT. Kontrolní vybrané metody byly zpracovány v systému Matlab, stejně tak nalezení okrajových pixelů.

5.1 Teoretická východiska vlastní metody

Pro nalezení správného umístění hrany v terénu je třeba nejen znát geomorfologii terénu, ale i vliv parametrů nástroje SVF. Následující podkapitoly se věnují právě této problematice.

5.1.1 Nástroj SVF

Hlavními parametry, které ovlivňují výsledek SVF jsou počet směrů vyhledávání a maximální poloměr vyhledávání. Dále závisí na prostorovém rozlišení digitálního modelu terénu, členitosti terénu a rozložení výšek (Zakšek, Oštir a Kokalj 2011). Zakšek, Oštir a Kokalj (2011) při testování optimálních parametrů dále uvádějí, že určení SVF je výpočetně náročné a je tedy obzvláště důležitá volba optimálních parametrů s ohledem na velikost vstupujících datových souborů. Čím větší je datový soubor, tím delší je výpočetní čas, zároveň čím je požadováno více směrů vyhledávání a větší poloměr vyhledávání, tím je výpočet náročnější a časově také delší. Je tedy potřeba optimálně zvolit zadávané parametry v závislosti na velikosti vstupujících dat a možnostech výpočetní techniky.

Dle hodnocení Zakšek, Oštir a Kokalj (2011) nemá počet směrů výpočtu systematický vliv na výsledek. Autoři svými výsledky dospěli k názoru, kdy čím vyšší počet směrů, tím se rozdíl ve výsledku snižuje. Jako minimální hodnotu doporučují volit 8 směrů a předkládají, že neexistuje žádná významná odchylka mezi výpočtem SVF v 32 a 64 směrech. Jinak řečeno, pro vizualizaci ve více než 32 směrech výpočtu není zaznamenáno žádné znatelné zlepšení, což ostatně potvrzuje i Dozier, Bruno a Downey (1981), a pro studie využívajících osvětlení je tedy 32 směrů dostačujících. Dále je ze zjištěného pravidla Zakšek, Oštir a Kokalj (2011) doporučováno využít hodnotu počtu směrů mezi polovinou poloměru vyhledávání (v px) a velikostí poloměru vyhledávání. To znamená, že v případě velikosti vyhledávání 20 px se vhodná hodnota počtu směrů nalézá v intervalu 10 - 20.

Při volení poloměru vyhledávání je třeba dle studie Zakšek, Oštir a Kokalj (2011) vzít v úvahu velikost objektů, které mají být vizualizovány. Se zvýšením hodnoty poloměru

vyhledávání se výsledný SVF systematicky snižuje, například poloměr s velikostí 20 px nemůže mít vyšší hodnoty SVF než poloměr s velikostí 5 px. Velké poloměry vyhledávání se hodí spíše pro zobrazení velkých terénních prvků, kdežto malé vyhledávací poloměry jsou vhodné pro nalezení malých terénních prvků. Pro obecné využití je autory doporučené využít velikosti poloměru vyhledávání mezi 10 - 30 px. Dle zkušeností autorů nemá hodnota 50 px poloměru vyhledávání žádný smysl a to z důvodu nadměrného zvýšení výpočetního času. Je třeba podotknout, že jmenované analýzy byly lokálního měřítka, resp. analýzy archeologických stanovišť.

Protože jde o rastrovou analýzu, je určení SVF závislé na velikosti prostorového rozlišení vstupního rastru. Je zde tedy možnost převzorkování rastru, protože nižší rozlišení odpovídá pixelově menšímu poloměru vyhledávání. Při velkém vyhledávacím poloměru a nízké rozlišovací schopnosti rastru je možnost ovlivnění výsledků zakřivením Země a jejích projekčních vlastností (např. atmosférická refrakce). Zakřivení Země je opomíjeno do vzdálenosti 10 km (Zakšek, Oštir a Kokalj 2011).

Data LLS jsou ze své podstaty získávání dat zatížena chybou, tzv. šumem. Jedná se především o místa, která jsou zaznamenanými místy nesprávně odraženého paprsku. Vysílaný paprsek směrem k zemi zaznamenává jednotlivé odrazy na cestě k povrchu země, tak že jsou zaznamenány jednotlivé hodnoty výšek. Poslední zaznamenaný výškový údaj tedy odpovídá výšce zemského povrchu. Ovšem pokud se paprsek nedostane až k povrchu země, dochází k nesprávné interpretaci a poslední zaznamenaný údaj neodpovídá výšce zemského povrchu (Nelson, Reuter a Gessler 2009). Kromě nesprávných odrazů jsou data zatížena i například chybou způsobenou vlivem stavu atmosféry v době měření (Mikita 2014). K odstranění šumu z dat existuje několik metod z nichž nejběžněji využívanou je Gaussovský filtr. V případě nástroje SVF je odstranění šumu zahrnuto v samotném nástroji a není tedy třeba využívat jiných postupů předcházejících samotné analýze. V případě nastavení parametru odstranění šumu, dochází k vynechání při výpočtu nejbližších pixelů a tím se docílí zlepšené viditelnosti jemných rysů terénu (Zakšek a kol. 2013). Šum v Lidar datech je možné zobrazit při použití poloměru vyhledávání 2-5 px, kdy rozlišení je jeden metr (Zakšek, Oštir a Kokalj 2011).

Připravená data jsou jednotlivě nahrávána do systému RVT a je na ně aplikován nástroj SVF. Z každé spuštěné operace jsou výsledkem dva soubory *GeoTIFF*, jeden v hodnotách 0 - 1 (32bitové šedi) a druhý v 8bitové šedi optimalizovaný pro negeoinformační softwary (obrázek 13).

Obr. 13: SVF lokality 3 (vlevo 8bitové zobrazení, 32bitové zobrazení)



K následnému nalezení hran v terénu je třeba znát geomorfologii terénu, k jejímuž představení slouží následující podkapitola. Na základě poznatků z geomorfologie a textu výše lze poté definovat průběh terénních hran.

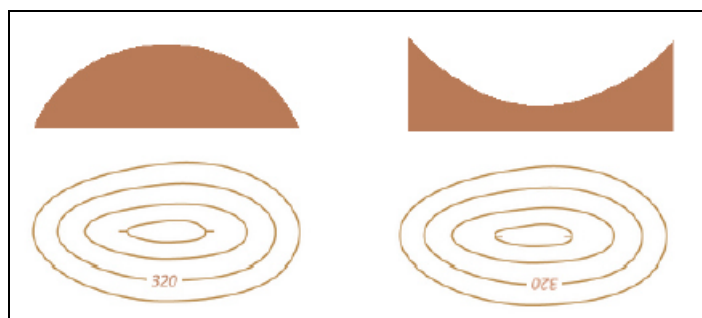
5.1.2 Morfologie reliéfu

Jak už bylo zmíněno výše v textu, mezi významné terénní čáry patří hřbetnice, údolnice, úpatnice a spádnice. Hřbetnice je "čára styku dvou přilehlých svahů téhož hřbetu, má ze všech spádnic na ploše hřbetu nejmenší sklon" (Demek 1987). Hřbetnice jsou z hydrologického hlediska často rozvodnicí (Mísařová 2015). Údolnice je definována jako "čára sledující místa největšího vhloubení údolí, má ze všech spádnic tohoto tvaru nejmenší sklon" (Demek 1987). Údolnice bývá z hlediska hydrologie často osou vodního toku (Mísařová 2015). Úpatnice je "čára styku dvou různě skloněných ploch při úpatí tvaru, svírajících spolu zpravidla tupý úhel" (Demek 1987). Spádnice je "čára probíhající ve směru největšího sklonu plochy, probíhá kolmo k vrstevnicím" (Demek 1987). K identifikaci těchto základních linií terénní kostry je třeba tedy znát sklonové poměry v daném terénu. Například Demek (1987) dle sklonu plochy rozlišuje:

<i>rovinné plochy</i>	0° - 2°
<i>mírně skloněné plochy</i>	2° - 5°
<i>značně skloněné plochy</i>	5° - 15°
<i>příkře skloněné plochy</i>	15° - 25°
<i>velmi příkře skloněné plochy</i>	25° - 35°
<i>srázy se sklonem</i>	35° - 55°
<i>stěny se sklonem více než</i>	55°

V případě využití nástroje SVF jsou výsledkem oblasti, ve kterých jsou jmenované linie terénní kostry nalezeny, ve skupinách: rovinné plochy (0° - 2°), mírně skloněné plochy (2° - 5°) a srázy se sklonem 35° - 55°, stěny se sklonem více než 55°. Přičemž první dvě jmenované skupiny reprezentují převážně vypuklé (konvexní) tvary reliéfu, kdežto zbylé dvě skupiny představují převážně vhloubené (konkávni) tvary (viz. obrázek 14).

Obr. 14: Konvexní (vlevo) a konkávni (vpravo) tvary reliéfu



Zdroj: Mísařová 2015

Je třeba také brát v úvahu charakter terénu analyzované lokality, například dle výškové členitosti. Relativní výšková členitost je dle Demka (1987) klasifikována do 5 kategorií dle výškové členitosti (rozdíl nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky ve sledovaném území): rovina (do 30 m), pahorkatina (30 - 150 m), vrchovina (150 -

300 m), hornatina (300 - 600 m) a velehornatina (nad 600 m). Vybrané lokality pro analytickou část patří do kategorií rovina (lokalita 4), vrchovina (lokality 3 a 2) a hornatina (lokalita 1).

5.2 Data a jejich úprava pro praktickou část

V praktické části byly využity data DMR 5G. Digitální model terénu 5. generace, neboli DMR 5G, jsou data poskytovaná Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) za odpovídající poplatek. Data vznikla v letech 2009 - 2013. V roce 2016 bylo dokončeno zpracování dat pro celé území Česka. Od té doby probíhají postupné aktualizace. DMR 5G vzniklo metodou leteckého laserového skenování (LLS) (ČÚZK 2010). Úplná střední chyba výšky je v odkrytém terénu 0,18 m, v zalesněném terénu pak 0,3 m (ČÚZK 2010).

V posledních letech se metoda LLS stala hojně využívanou pro získání výškopisných dat. Jak samotný název napovídá, jedná se o metodu dálkového (bezkontaktního) způsobu získání výškových dat. K měření dochází nejčastěji z letadla při přeletu nad vymezeným prostorem. Výhodou takto získaných dat je možnost pořizovat data z rozlehlých území či ze špatně dostupných míst (např. zalesněné oblasti, močály aj.) (Dolanský 2004). Nevýhodou oproti kontaktnímu měření je menší přesnost získaných dat, které se postupem času ale neustále zpřesňují (Jaroš 2011). Metoda LLS pracuje na principu vysílání laserových paprsků a zachycení jejich odrazu, který je poté zapsán v digitální formě. LLS tedy řadíme mezi metody využívající digitální aktivní senzory (Morin 2002). Cílem LLS je získání geocentrických souřadnic XYZ na zemském povrchu pro tvorbu DMT. Pozice skenru je určena pomocí referenční GPS v systému WGS 84 a směr laserového paprsku pomocí inerciální měřící jednotky (Dolanský 2004). Výhodou aktivních sensorů oproti pasivním je především to, že nejsou závislé na vnějším zdroji záření (např. Slunce) a tudíž lze mapovat za jakéhokoli počasí a v libovolnou denní dobu (Kraus a Pfeifer 1998). Další výhodou LLS je získávání výškové informace (souřadnice z) přímo měřením, není třeba dodatečně vyhodnocovat stereoskopické dvojice snímků, kdy může být nalezení dvojic bodů často obtížné (např. v zalesněném terénu) (Baltsavias 1999).

Data pořízená metodou LLS jsou charakterizována jako nepravidelná mračna 3D bodů. V důsledku tohoto faktu pak není možná jednoduchá vizuální interpretace objektů, jako je tomu u letecké fotogrammetrie, kde výstupem je letecký snímek. Identifikaci objektů je třeba založit na analýze výškových dat s využitím filtrů a klasifikačních

algoritmů (Baltasvias 1999). Specifickou vlastností mračna LLS je vysoká hustota bodů, která závisí na parametrech snímání (výška letu, rychlost letadla, vlastnosti měřicí aparatury aj.) a lze ji přizpůsobit konkrétním potřebám. Moderní aparatury dokážou pořídit data s hustotou vyšší než 1 bod/m² (Lemmens 2007). Čím vyšší je však hustota bodů, tím je větší objem a časová náročnost zpracování dat (Jaroš 2011).

Možností LLS je získání informace nejen o vlastnostech terénu, ale i o objektech na nich. ČÚZK poskytuje několik typů dat, které lze rozdělit na digitální modely terénu (DMT) a digitální modely povrchu (DMP). DMT, také využívané DMR, zobrazuje prostý povrch bez objektů na něm. Oproti tomu DMP disponuje i informací o poloze objektů na zemském povrchu (např. vegetace, budovy) (VUGTK 2017). V případě této práce je využito DMT, jelikož cílem analýzy je detekování terénních hran a znalost objektů na povrchu terénu je v tomto případě tedy nepotřebná.

Data byla poskytnuta po čtvercích o velikosti 2 x 2,5 km. Konkrétně byly využity čtverce: VRCHLABÍ 2-1, VRCHLABÍ 2-2, VRCHLABÍ 1-1 a VRCHLABÍ 1-2 (lokality 1), KARLOVY VARY 4-5, KARLOVY VARY 4-6, KARLOVY VARY 3-5 a KARLOVY VARY 3-6 (lokality 2), PRAHA 9-8, PRAHA 9-9, PRAHA 8-9 a PRAHA 8-8 (lokality 3) a ČESKÝ BROD 2-0, ČESKÝ BROD 2-1, ČESKÝ BROD 3-0 a ČESKÝ BROD 3-1 (lokality 4). Poskytnutá data bylo nejdříve potřeba nahrát do systému. Pro přípravu dat byl zvolen software ArcGIS Desktop ve verzi ArcMap 10.2. Data byla dodána ve formátu *.txt* (pevně daná struktura zápisu souřadnic XYZ bodů). Souřadnice XY vyjadřují polohu bodů, souřadnice Z je zaznamenanou výškou příslušného bodu ve výškovém systému Balt - po vyrovnání (Bpv).

Všechna data byla nahrána do ArcMapu pomocí nástroje *ASCII 3D To Feature Class (3D Analyst)*. Jako typ byla zvolena možnost *Point*, souřadnicový systém *S-JTSK_Krovak_East_North* a ostatní parametry byly ponechány dle návržení systému. Po importu dat do systému byly oblasti upraveny na velikost 2 x 2 km, tedy ořezány nástrojem *Clip (Analysis)* dle připraveného polygonu s požadovanou velikostí. Počet bodů v jednotlivých čtvercích byl v případě lokality 4 - Velenka nejmenší (cca 400 000 bodů na stanovenou oblast), lokality 3 - Strnady a lokality 2 - Hradiště disponovaly okolo 1 000 000 bodů na stanovenou oblast a nejvíce bodů s hustotou 1 bod/m² bylo zaznamenáno v lokalitě 1 - Vítkovice (přes 3 000 000 bodů na lokalitu). Průměrná hustota bodů na metr čtverečný je pak 0,1 bodu (1 bod/10 m²) v případě lokality 4 - Velenka a ve zbývajících lokalitách 2 a 3 téměř 0,25 bodu/m² (1 bod/4 m²). Výsledkem první části byly 4 lokality reprezentované body s informací o své poloze v prostoru.

Pro převod do rastrového formátu bylo využito dvou kroků. Nejprve byl zkonstruován TIN pomocí nástroje *Create TIN (3D Analyst)*. Souřadnicový systém byl určen znovu jako *S-JTSK_Krovak_East_North*. Druhým krokem bylo vytvoření rastru pomocí nástroje *TIN To Raster (3D Analyst)*. Zde bylo třeba správně zvolit několik parametrů. Při vytváření rastru je využíváno lineární interpolace, což znamená, že odhadnuté body leží na přímce mezi dvěma body známými a kterými přímka prochází. Tento postup oproti ostatním metodám zachovává ostrost přechodu hran (Jaroš 2011), což je pro tuto práci důležité. Dále byl zvolen typ dat *Float*, který je vhodný pro zaznamenávání velmi přesných hodnot. Velikost pixelu byla nastavena 1 m. Výsledný rastr byl vyexportován do formátu *TIFF* a tak připraven pro další analýzu.

5.3 Analýza připravených dat

Připravená data za jednotlivé lokality byla jednotlivě nahrávána do systému RVT a byl na ně aplikován nástroj SVF. Testované parametry nástroje SVF byly zadány dle následující tabulky.

Tab. 2: Vstupní údaje nástroje SVF

Parametr	Hodnota					
Počet směrů	8	16	16	32	32	32
Poloměr vyhledávání	10	20	30	40	50	60
Odstanění šumu	low	low	low	low	low	low

Výsledkem byly jednotlivé rastry SVF, které bylo třeba dále klasifikovat. Klasifikace slouží k nalezení pixelů, pomocí kterých lze definovat hrany v terénu. Další analýza proběhala opět v ArcMapu, pokud není řečeno jinak. Ke klasifikaci byl využit nástroj *Reclassify (3D Analyst)*. Intervaly byly klasifikovány metodou *Standard Deviation*. Výsledné intervaly hranových pixelů jsou k nalezení v prvním a posledním nově stanoveném intervalu. Tyto intervaly i s velikostí směrodatné odchylky pro jednotlivé lokality jsou zobrazeny v tabulce 3. Dále byl využit systém Matlab a na výsledný binární rastr (spodní a horní interval = 1, ostatní intervaly = 0) byl aplikován morfologický operátor (*remove*) k získání hranových pixelů. Celý skript z Matlabu je k nalezení v příloze 1.

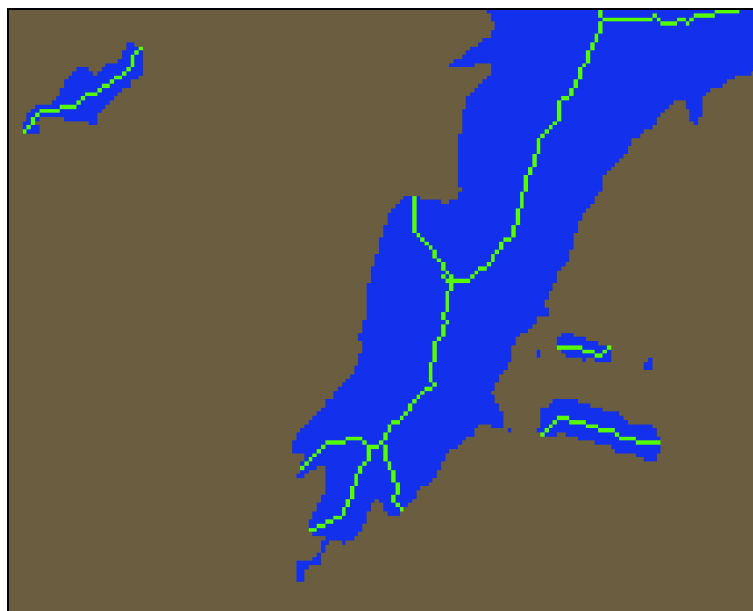
Tab. 3: Intervaly obsahující hranové pixely

Lokalita	Spodní interval	Horní interval	Směrodatná odchylka
Lokalita 1: Vítkovice	0 - 0,75	0,97 - 1	0,0450
Lokalita 2: Hradiště	0 - 0,80	0,97 - 1	0,0425
Lokalita 3: Strnady	0 - 0,66	0,95 - 1	0,0954
Lokalita 4: Velenka	0 - 0,95	0,99 - 1	0,0151

5.3.1 Určení typu hrany

Typy hran, které jsou v této práci určovány, jsou hřbetnice a údolnice. Všechny ostatní hrany jsou brány jako ostatní hrany v terénu. Jako první byla využita vrstva z předešlého postupu obsahující oblasti, resp. pixely, s hranovými pixely. Pro určení typu hrany nebylo využito nástrojů k nalezení okrajových pixelů, ale nástroje *Thin (Spatial Analyst)*. Tento nástroj detekuje pixely uvnitř těchto oblastí jako je to zobrazeno na obrázku 15. Rastr byl poté převeden na bodovou vrstvu obsahující body hrany. Vznikla tak vrstva **body_hrany.shp**.

Obr. 15: Princip nástroje Thin (ArcMap)



Poznámka: zeleně - výstup nástroje *Thin*, modře - oblasti obsahující hranové pixely

Dále byl vytvořen rastr s informací o orientaci svahu (*Aspect (3D Analyst)*). Výsledný rastr byl klasifikován (*Reclassify (3D Analyst)*) a rozdělen dle 8 světových stran

(S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ) a 4 světových stran (S, V, J, Z). Poté byl rastr převeden na polygonovou vrstvu (*Raster to Polygon (Conversion)*). Dále byl využit nástroj *Feature to Line (Data Management)*, tím vznikla liniová vrstva hranic mezi jednotlivými oblastmi s odlišnou orientací svahů. Každá linie obsahovala identifikátor levého a pravého polygonu od linie. K databázi nově vzniklé liniové vrstvy byla připojena databáze původní polygonové vrstvy s informací o okolních polygonech, resp. o orientaci svahu na každou stranu od linie. Hledané linie jsou ty, které mají v okolních polygonech vzájemně opačné orientace ke světovým stranám. Tabulka 4 ukazuje všechny zadané kombinace, které tuto podmínku splňují pro jednotlivé počty směrů.

Tab. 4: Vybrané orientace svahů

8 směrů	4 směry
S - J	S - J
S - JV	V - Z
S - JZ	
SV - J	
SV - JZ	
SV - Z	
V - SZ	
V - Z	
V - JZ	
JV - SZ	
JV - Z	
J - SZ	

Poznámka: S - sever, SV - severovýchod, V - východ, JV - jihovýchod, J - jih, JZ - jihozápad, Z - západ, SZ - severozápad

Okolo výsledné liniové vrstvy byl následně vytvořen buffer o velikosti 2 m (2 a 2 m na obě strany od linie). Pomocí *Select By Location* byly vybrány všechny body z vrstvy *body_hrany.shp*, které spadají svou polohou do vytvořené obalové zóny. Výsledným bodům je přiřazen atribut údolnice či hřbetnice manuálně dle podkladové mapy.

Liniová vrstva k verifikaci výsledků byla vytvořena na podkladě ZM 10 ruční vektorizací. Vznikla vrstva obsahující údolnice a hřbetnice. Výsledná vrstva nalezených hřbetnic a údolnic z předešlého postupu byla následně porovnána s vektorizovanou vrstvou. Okolo vektorizované vrstvy byla vytvořena obalová zóna o velikosti 2, 10 a 20 m. Pokud nalezená linie spadá do této zóny, pak je výsledek považován za správně určený typ hrany.

6 Výsledky

V této kapitole jsou popsány dosažené výsledky v praktické části předkládané práce. Dále jsou zde také tyto výsledky zhodnoceny a porovnány s konfrontačními metodami.

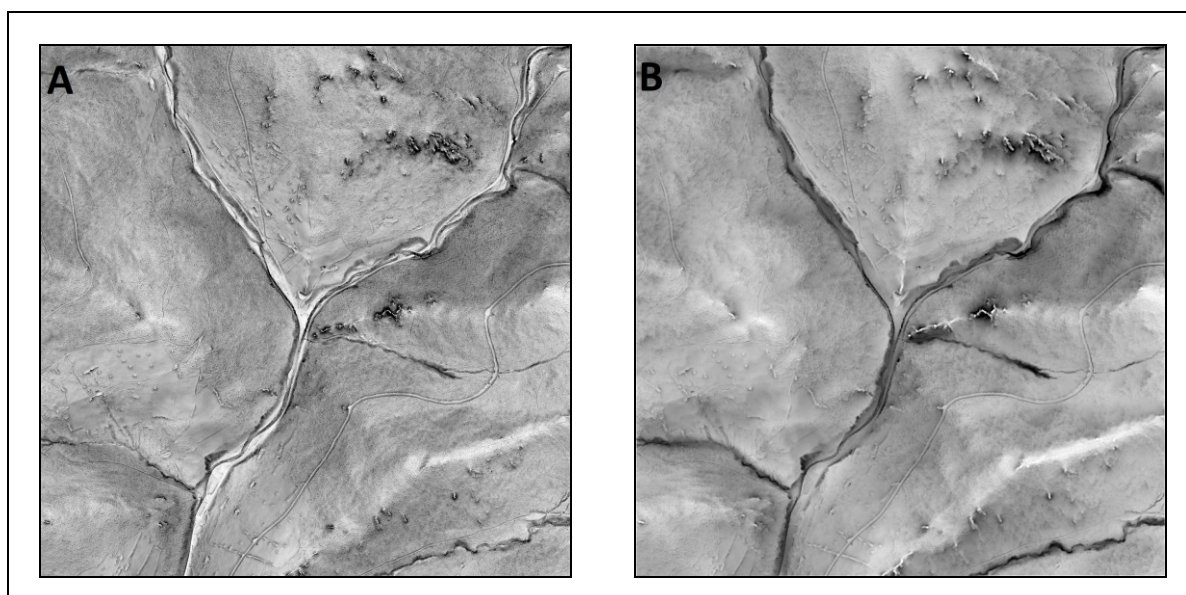
6.1 Detekce terénních hran pomocí nástroje SVF

Tato podkapitola se věnuje výsledkům vlastní navržené metody. Nejprve jsou zde jednotlivě analyzovány testované lokality, následně jsou shrnuty výsledky této části.

6.1.1 Lokalita 1: Vítkovice

Obrázek 16 ukazuje vliv zvolení parametrů vyhledávání. Na obrázku B jsou vidět makrostruktury reliéfu, kdežto obrázek A zobrazuje i jemné rysy a detailnější hrany analyzovaného terénu. V obou dvou případech jsou zde patrné údolnice a je vidět souběh údolí, resp. soutok, který je detailněji lokalizován na obrázku A. Při zvolení většího poloměru vyhledávání (v tomto případě poloměr = 60 px) jsou zřetelněji zobrazeny hřebeny. V obou dvou případech nástroj SVF detekoval také silnici vinoucí se v pravé dolní části na úbočí kopce i v údolí.

Obr. 16: SVF lokality 1 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



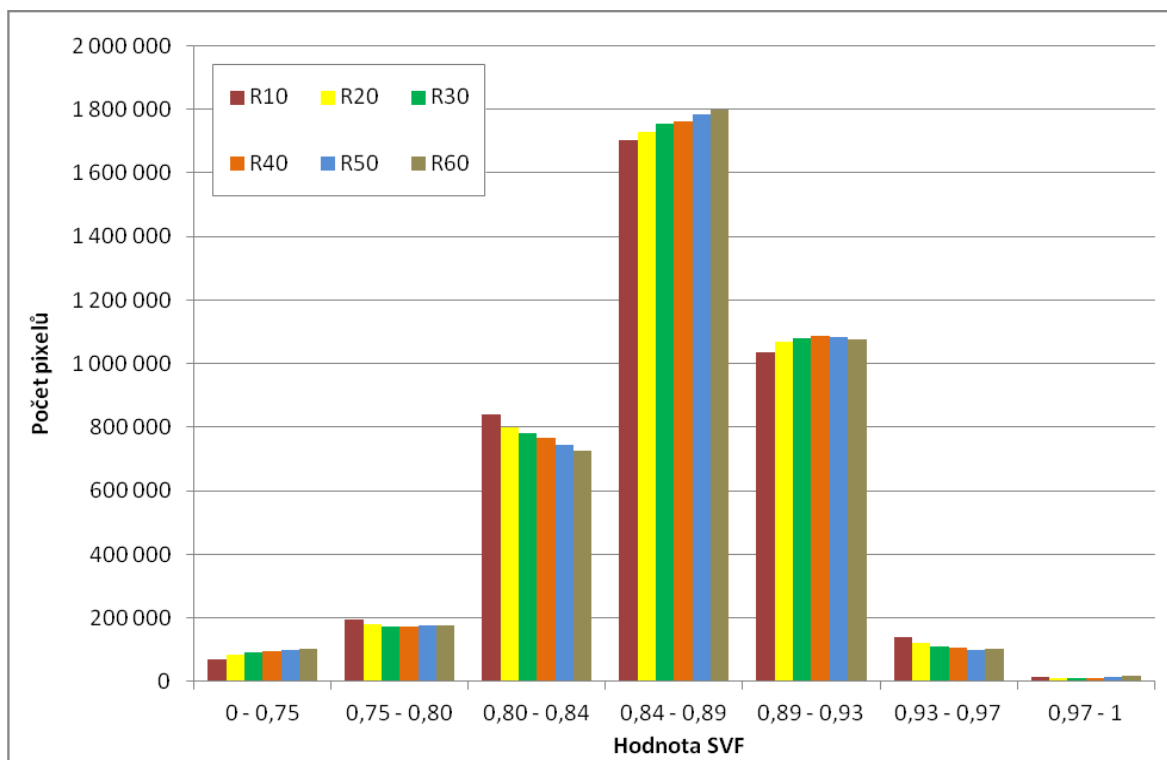
Tabulka 5 zobrazuje rozložení hodnot v jednotlivých klasifikačních intervalech a jejich procentuelní zastoupení z celkového počtu pixelů v analyzované lokalitě. Rozložení hodnot v jednotlivých intervalech ukazuje i následující graf na obrázku 17. Jak je z tabulky i grafu patrné, nejvyšší zastoupení má kategorie 0,84 - 0,89, která tvoří 43 - 45 % všech pixelů celé lokality. S připočtením hodnot dvou sousedních kategorií dosahuje počet pixelů 89 - 90 %.

Tab. 5: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

Hodnota SVF	R10	%	R20	%	R30	%	R40	%	R50	%	R60	%
0 - 0,75	71477	1,8	84488	2,1	91364	2,3	95094	2,4	98929	2,5	103196	2,6
0,75 - 0,80	193690	4,8	181340	4,5	172843	4,3	172307	4,3	175097	4,4	177865	4,4
0,80 - 0,84	839364	21,0	801334	20,0	781211	19,5	766657	19,2	744394	18,6	725443	18,1
0,84 - 0,89	1704364	42,6	1730465	43,3	1752613	43,8	1763181	44,1	1782689	44,6	1798186	45,0
0,89 - 0,93	1034352	25,9	1067792	26,7	1079610	27,0	1085866	27,1	1082929	27,1	1076549	26,9
0,93 - 0,97	141078	3,5	122494	3,1	110122	2,8	105206	2,6	100374	2,5	101654	2,5
0,97 - 1	15675	0,4	12087	0,3	12237	0,3	11689	0,3	15588	0,4	17107	0,4

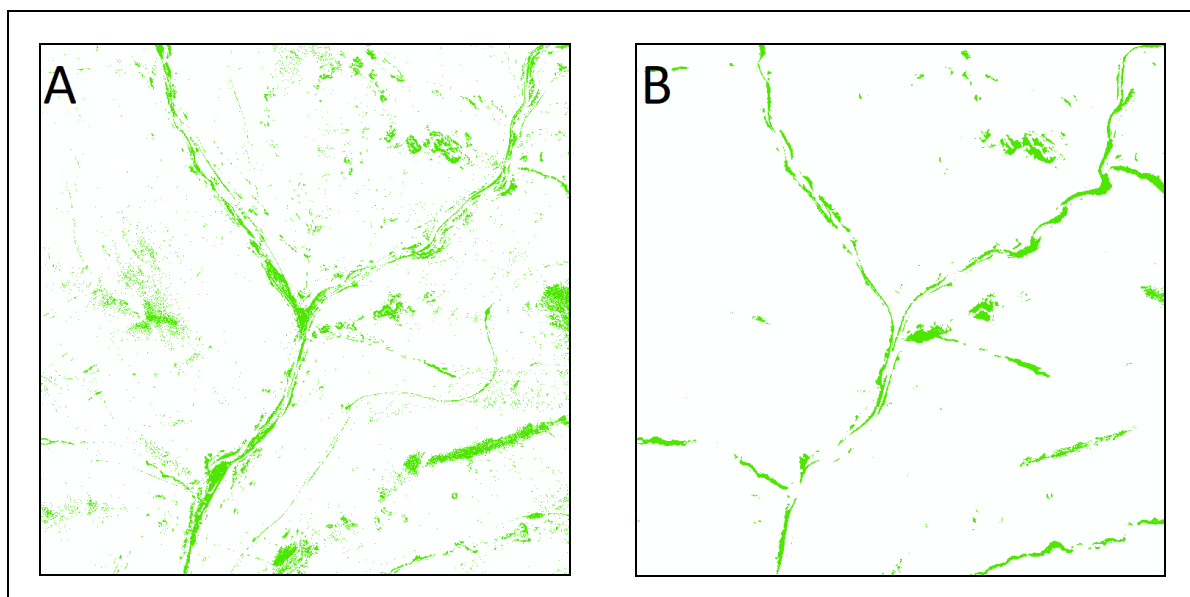
Poznámka: R = poloměr vyhledávání

Obr. 17: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

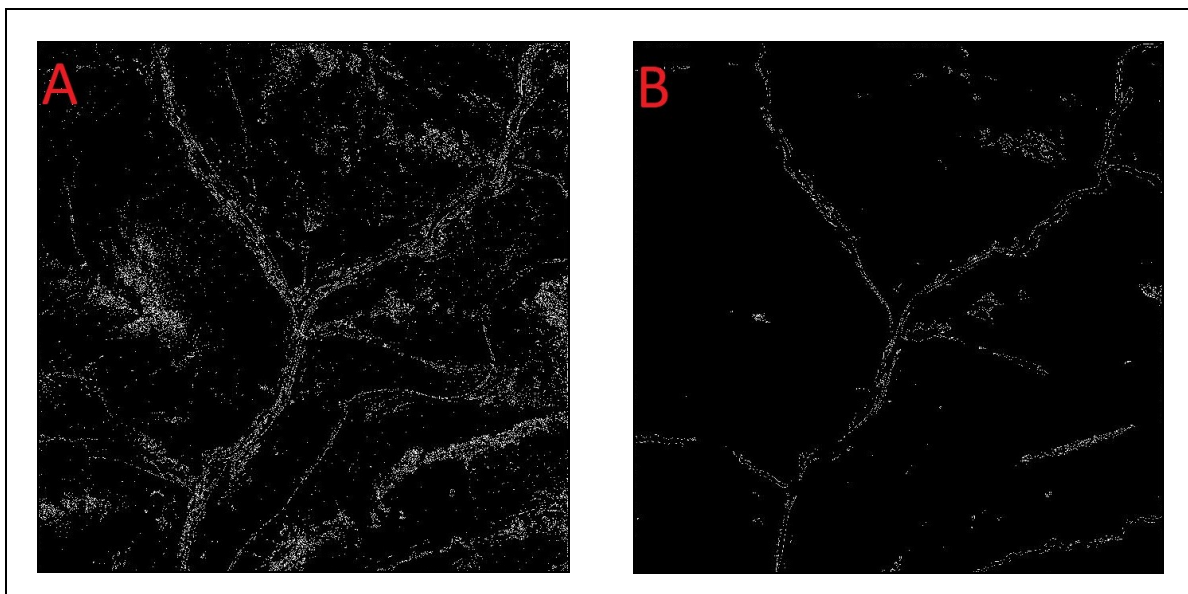


Následující obrázek (obrázek 18) zobrazuje výsledné oblasti, jejichž okrajové pixely představují hledané hrany. Na obrázku 19 jsou pak výsledné linie po aplikaci morfologického operátoru.

Obr. 18: Klasifikace lokality 1 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



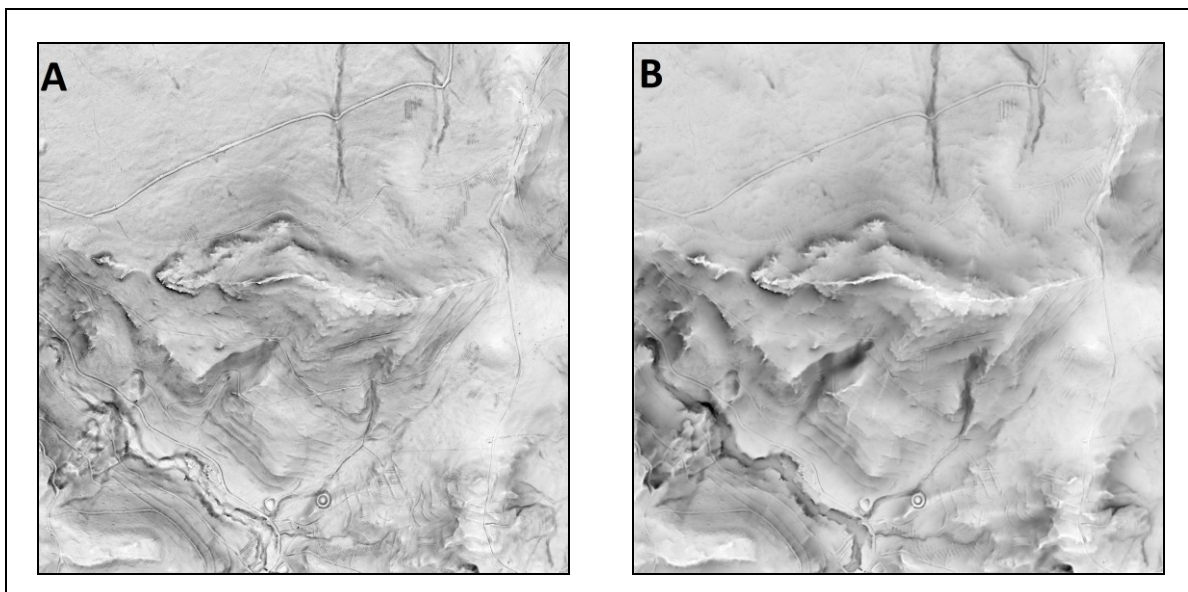
Obr. 19: Hranové pixely lokality 1 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



6.1.2 Lokalita 2: Hradiště

V této lokalitě je dominantní hřeben táhnoucí se východozápadním směrem. Zde je umocněn fakt, kdy při využití většího poloměru se hřeben zobrazuje ve vizualizaci dominantněji a s jasnějším průběhem. Dále jsou zde zobrazeny strmé svahy, kdy na obrázku B jsou zobrazeny s nižší hodnotou výsledného SVF a bez znatelných detailů v depresních částech. V levém dolním rohu je rozeznatelný vodní tok s údolím. Opět je zde také detekována silnice v horní části lokality.

Obr. 20: SVF lokality 2 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



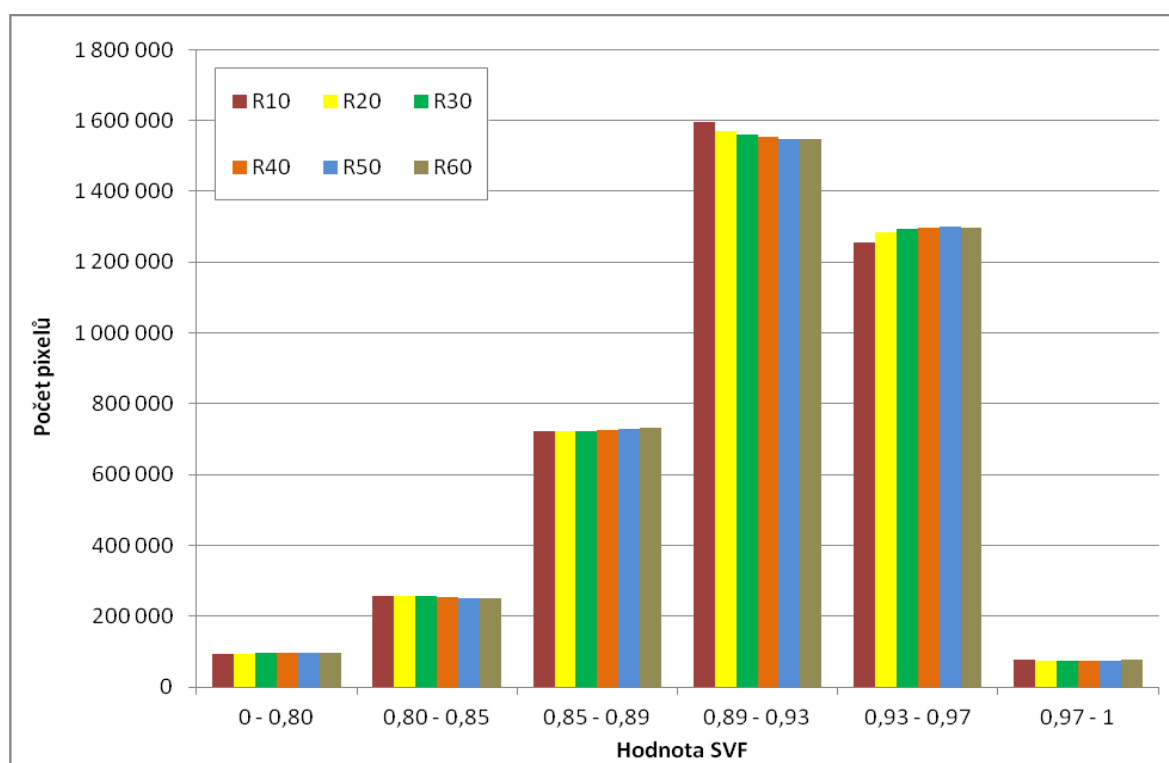
Tabulka 6 a graf na obrázku 21 zobrazuje rozložení hodnot a jejich procentuelní zastoupení v lokalitě 2. V tomto případě se ukazuje, že nejvyšší zastoupení má interval hodnot 0,89 - 0,93 (39 %). Rozložení histogramu je podobné jako v případě lokality 1.

Tab. 6: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

Hodnota SVF	R10	%	R20	%	R30	%	R40	%	R50	%	R60	%
0 - 0,80	91763	2,3	94511	2,4	95245	2,4	96567	2,4	96871	2,4	95844	2,4
0,80 - 0,85	257626	6,4	256766	6,4	255455	6,4	253190	6,3	251979	6,3	250892	6,3
0,85 - 0,89	721491	18,0	721049	18,0	722629	18,1	725454	18,1	729498	18,2	732988	18,3
0,89 - 0,93	1596079	39,9	1569805	39,2	1560207	39,0	1553289	38,8	1547198	38,7	1546736	38,7
0,93 - 0,97	1256316	31,4	1285214	32,1	1293695	32,3	1297881	32,4	1300126	32,5	1296767	32,4
0,97 - 1	76725	1,9	72655	1,8	72769	1,8	73619	1,8	74328	1,9	76773	1,9

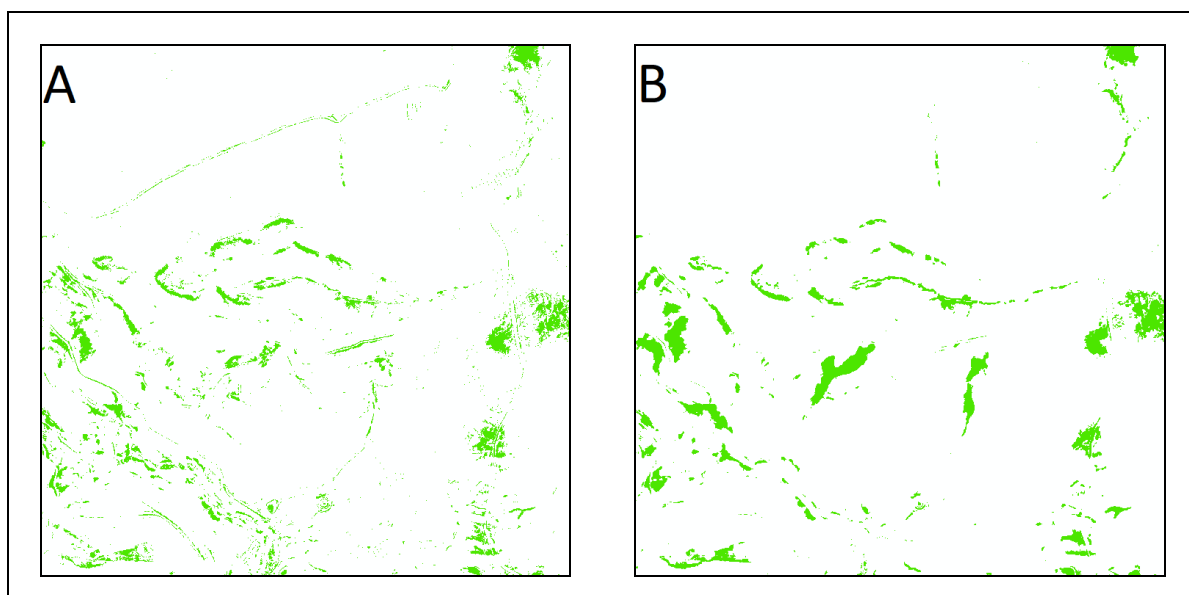
Poznámka: R = poloměr vyhledávání

Obr. 21: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

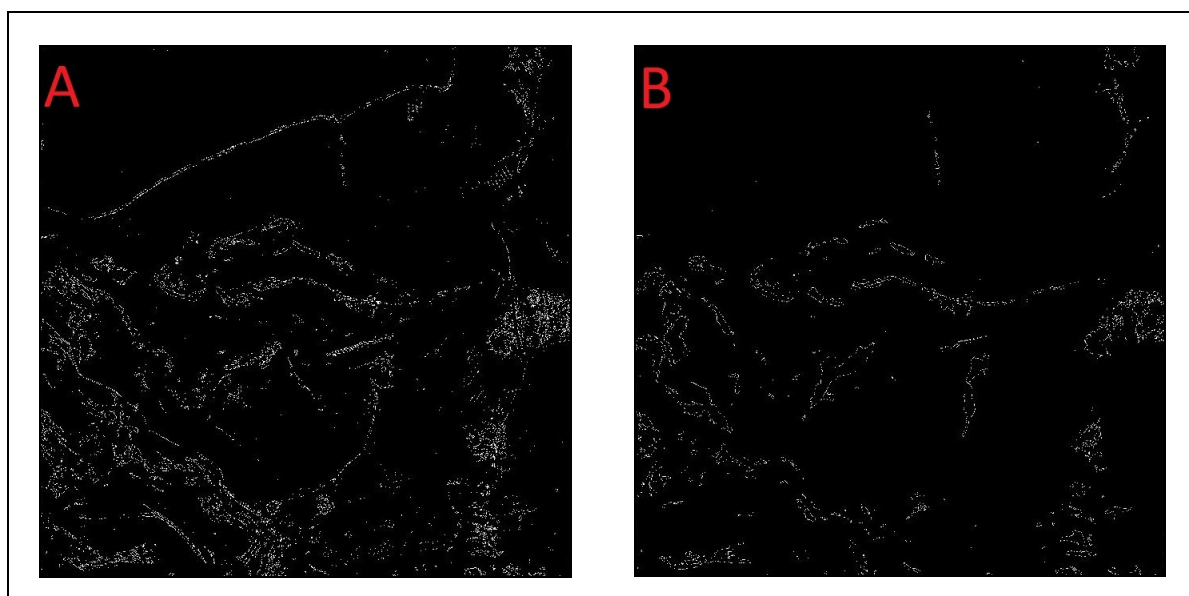


Obrázek 22 představuje oblasti s hranovými pixely, na které byl poté aplikován morfologický operátor k zobrazení právě jen hranových pixelů (obrázek 23).

Obr. 22: Klasifikace lokality 2 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



Obr. 23: Hranové pixely lokality 2 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)

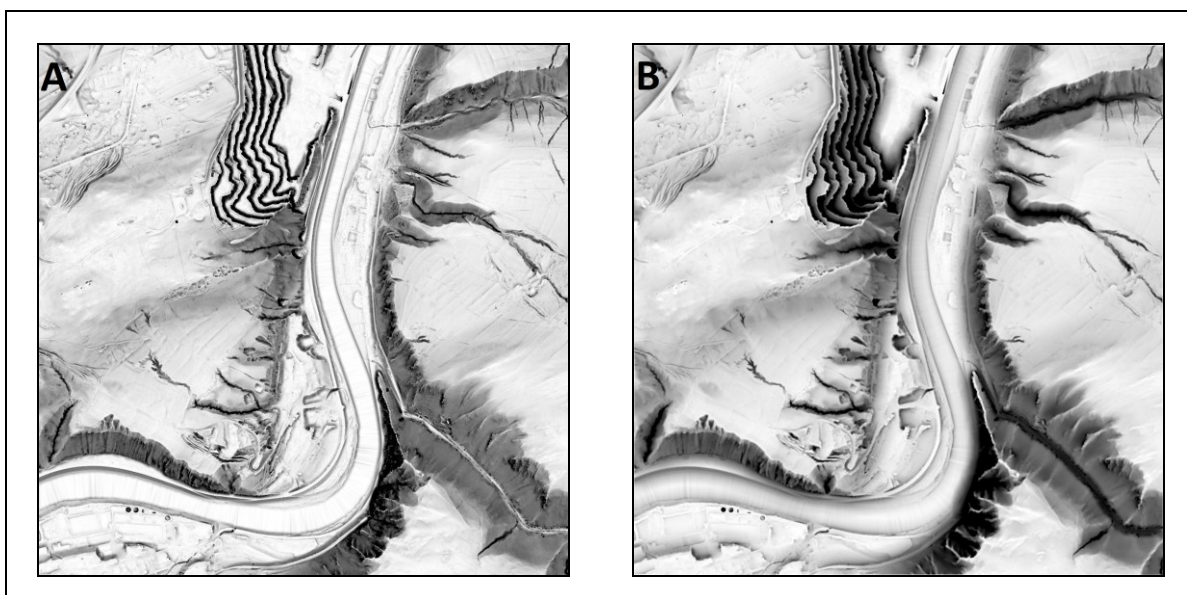


6.1.3 Lokalita 3: Strnady

Lokalita 3 na obrázku 24 dobře zachycuje lom se všemi svými patry těžby i zařízlá údolí typu "V". Dále je zde zobrazeno koryto řeky Vltavy, která je v tomto místě spíše široká a proto jsou detekovány především okraje toku. Údolnice je v takovémto případě velmi obtížně detekovatelná a zde se neprojevuje. Dle Jaroše (2011) je otázkou, zda se

v nížinách, kde koryto toku dosahuje velké šířky s téměř rovinatým průběhem dá hovořit o údolnicích jako o významných terénních hranách pro daný terén. Detekci vodních toků řadí mezi samostatná dosti široká témata, kterým se věnovala např. Peterková (2015). Z obou obrázků je také patrné, že místa v terénu s prudkými změnami sklonu (ostrými zlomy) jsou zobrazeny ostřeji než pomalé přechody, kdy se svah nemění tak náhle a prudce se nelomí. Dobrým příkladem je právě lom, který má jasně patrná jednotlivá patra těžby. Oproti tomu bude u postupně se svažujícího svahu obtížněji rozeznatelná například úpatnice.

Obr. 24: SVF lokality 3 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



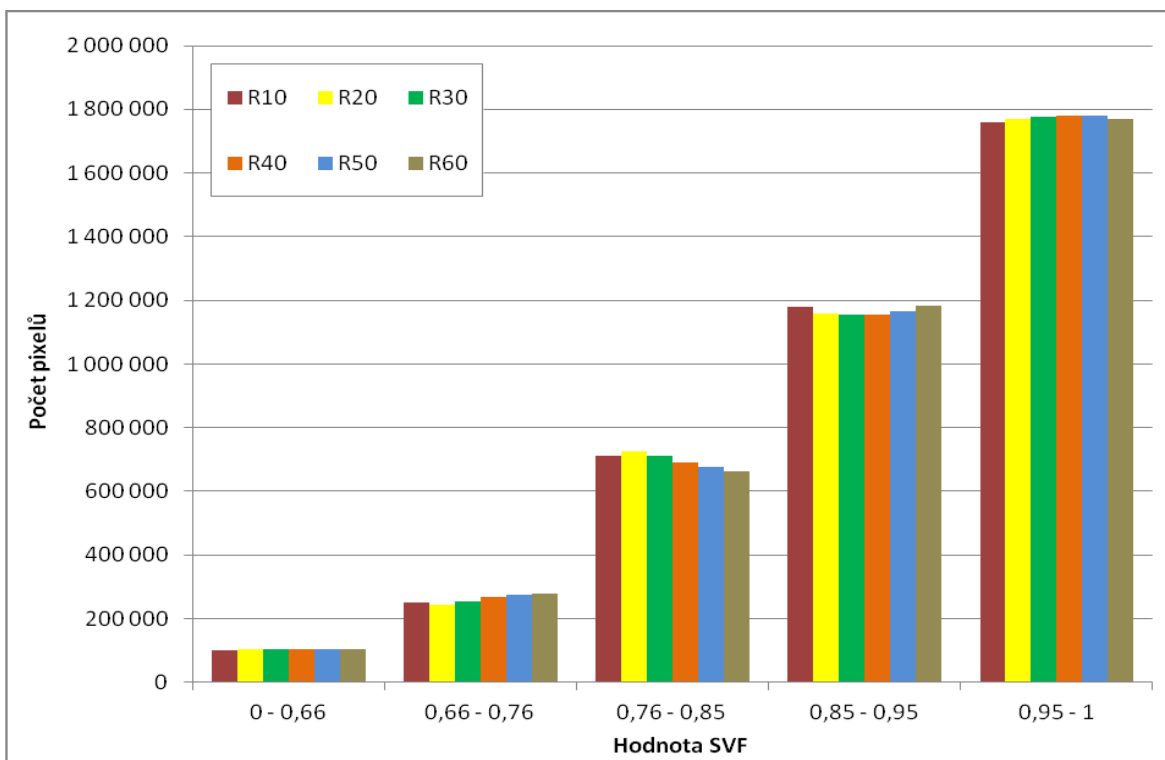
Tabulka 7 ukazuje procentuelní rozložení pixelů v jednotlivých intervalech a také jejich rozložení v absolutních hodnotách. Rozložení hodnot v klasifikačních intervalech zobrazuje i graf na obrázku 25. Jak je zejména z grafu patrné, dochází ke kontinuálnímu nárůstu počtu pixelů v intervalech s vyšší hodnotou SVF. Oproti ostatním lokalitám dosahuje nejvyšších hodnot poslední interval, který tvoří 44 - 45 % pixelů z celé lokality.

Tab. 7: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

Hodnota SVF	R10	%	R20	%	R30	%	R40	%	R50	%	R60	%
0 - 0,66	101676	2,5	105028	2,6	104788	2,6	105259	2,6	105100	2,6	105598	2,6
0,66 - 0,76	248926	6,2	241860	6,0	253660	6,3	268192	6,7	273841	6,8	278660	7,0
0,76 - 0,85	710365	17,8	724214	18,1	710817	17,8	690453	17,3	676959	16,9	663608	16,6
0,85 - 0,95	1179455	29,5	1157950	28,9	1153538	28,8	1155675	28,9	1163970	29,1	1181406	29,5
0,95 - 1	1759578	44,0	1770948	44,3	1777197	44,4	1780421	44,5	1780130	44,5	1770728	44,3

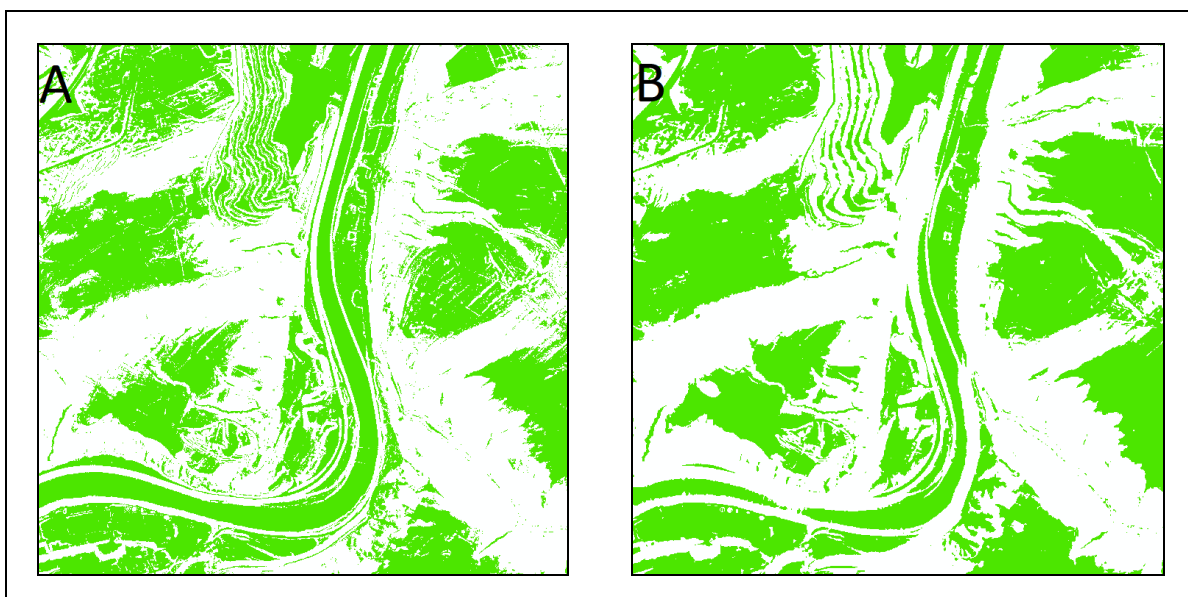
Poznámka: R = poloměr vyhledávání

Obr. 25: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

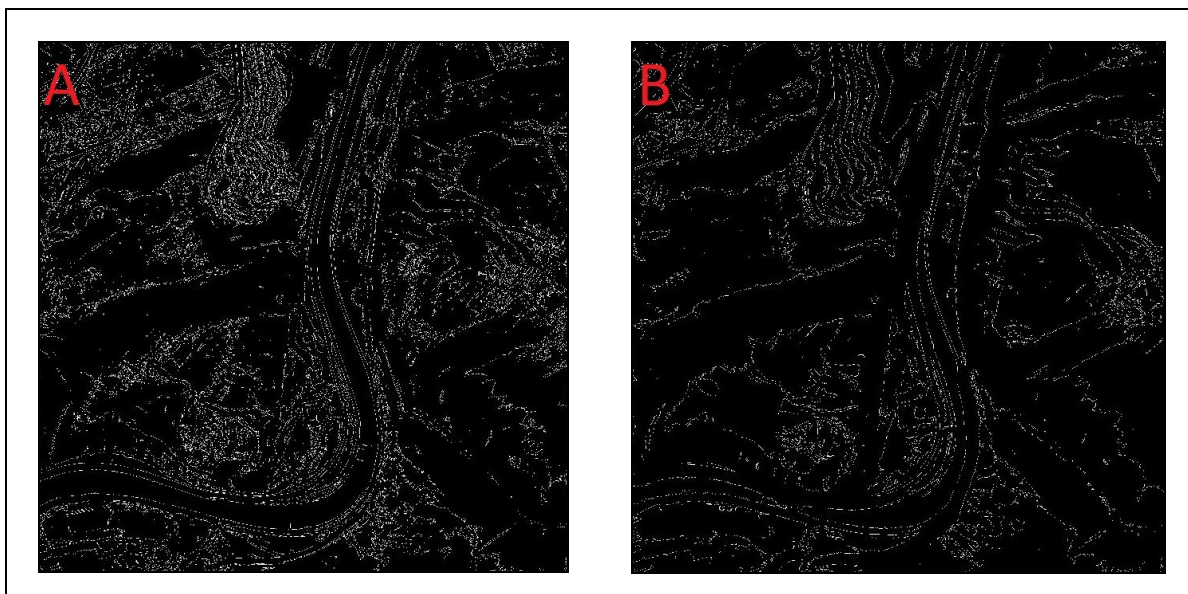


Obrázek 26 představuje oblasti s hranovými pixely pro lokalitu 3. Obrázek 27 pak lokalitu 3 po aplikaci morfologického operátoru. Druhý jmenovaný obrázek představuje hranové pixely představující hrany v analyzované lokalitě.

Obr. 26: Klasifikace lokality 3 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



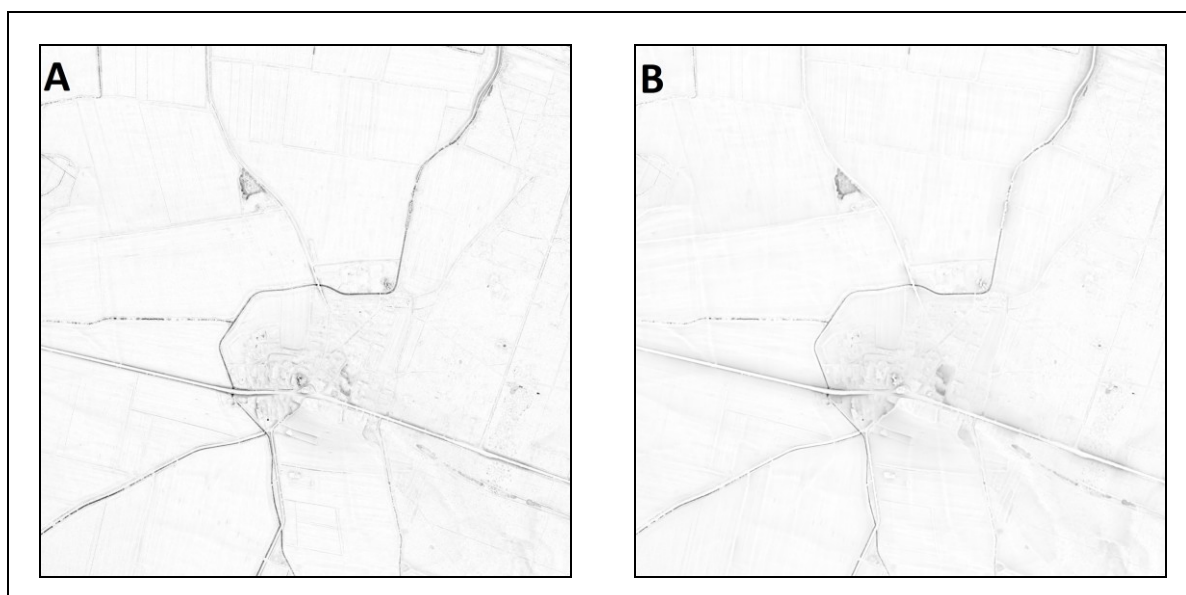
Obr. 27: Hranové pixely lokality 3 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



6.1.4 Lokalita 4: Velenka

Na obrázku 28 jsou dobře zachyceny nejen průběhy silnic, ale je zde i výrazně detekován vodní tok, který v nezpracovaném digitálním modelu terénu patrný nebyl. Dále je zde zachycena sníženina v severozápadní části území. Při použití velkého poloměru vyhledávání jsou detekovatelné pouze okraje jámy, kdežto v případě malého poloměru jsou vidět i terénní nerovnosti na dně jámy. Jelikož se jedná o zemědělsky využívané území, na obrázku A (při použití malého poloměru vyhledávání) jsou zde rozeznatelné jednotlivé plochy s různým zemědělským využitím. Jedná se o detailní struktury terénu a tudíž na obrázku B (velký poloměr vyhledávání) nejsou patrné.

Obr. 28: SVF lokality 4 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



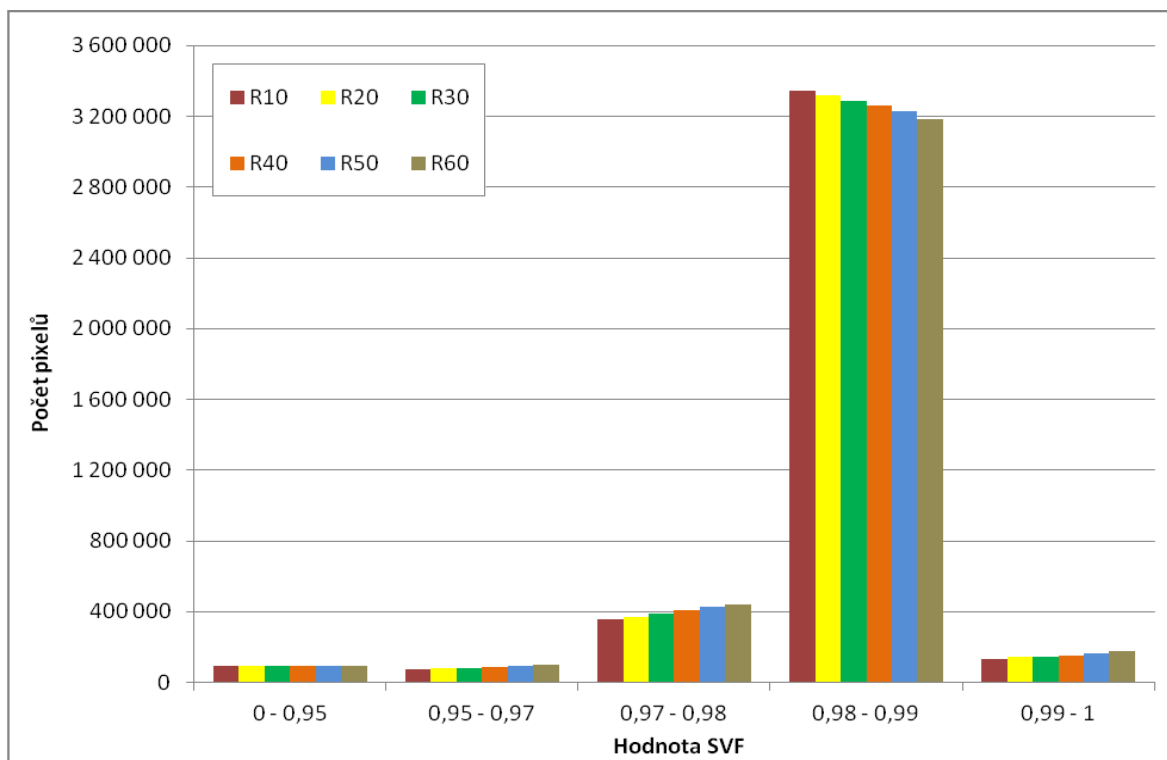
Procentuelní rozložení hodnot a jejich absolutní hodnoty v jednotlivých intervalech klasifikace představuje tabulka 8. Jejich rozložení v intervalech zobrazuje také graf na obrázku 29. V této lokalitě je dominantně zastoupena kategorie 0,98 - 0,99 (80 - 84 %). S připočtením předešlé kategorie se jedná až o 91 - 93 %. Histogram disponuje podobným rozložením jako lokality 1 a 2.

Tab. 8: Procentuelní rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

Hodnota SVF	R10	%	R20	%	R30	%	R40	%	R50	%	R60	%
0 - 0,95	91233	2,3	91379	2,3	90765	2,3	90808	2,3	91547	2,3	92739	2,3
0,95 - 0,97	73450	1,8	78815	2,0	83203	2,1	86790	2,2	91664	2,3	98538	2,5
0,97 - 0,98	356387	8,9	368675	9,2	389849	9,7	408499	10,2	426306	10,7	443857	11,1
0,98 - 0,99	3345651	83,6	3317658	82,9	3288953	82,2	3259456	81,5	3227349	80,7	3186707	79,7
0,99 - 1	133279	3,3	143473	3,6	147230	3,7	154447	3,9	163134	4,1	178159	4,5

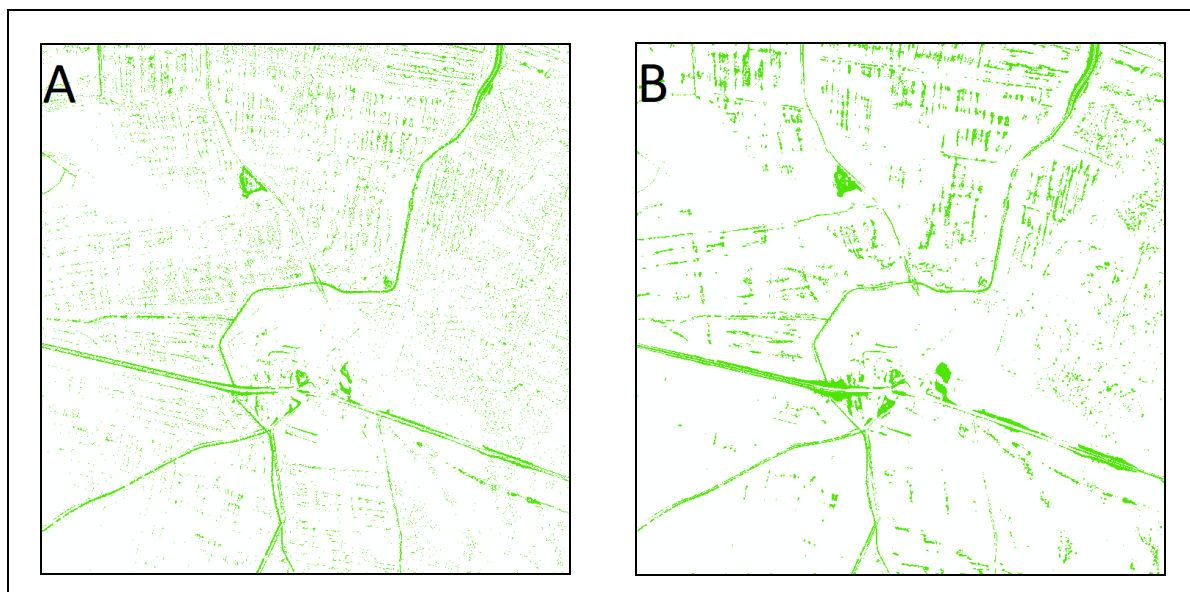
Poznámka: R = poloměr vyhledávání

Obr. 29: Rozložení hodnot SVF ve stanovených intervalech

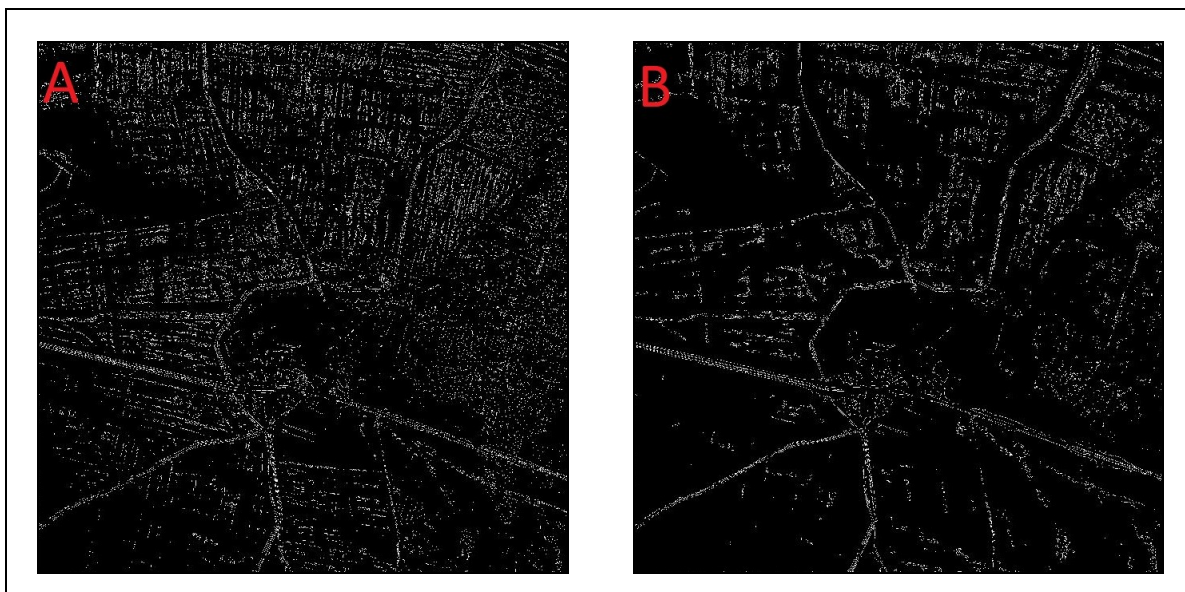


Následující obrázek zobrazuje oblasti s hranovými pixely lokality 4. Obrázek 31 potom zobrazuje použití morfologického operátoru a nalezení hranových pixelů.

Obr. 30: Klasifikace lokality 4 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



Obr. 31: Hranové pixely lokality 4 (A = R10, D8, low; B = R60, D32, low)



6.1.5 Shrnutí doposud dosažených výsledků

Tato podkapitola se věnuje výsledkům vlastní navržené metody. Vybrané lokality spadají do kategorií rovina (lokality 4), vrchovina (lokality 3 a 2) a hornatina (lokality 1). V případě větší výškové členitosti jsou lépe rozlišitelné makrostruktury, oproti lokalitám, které mají malou výškovou členitost. Hřbetnice jsou patrnější při použití většího poloměru vyhledávání a to z toho důvodu, že zvýšením poloměru vyhledávání se SVF snižuje a místa s viditelností větší plochy nebeské sféry jsou pak výraznější. Naopak při využití malého poloměru vyhledávání, jsou zobrazeny detaily v místech, která mají malou plochu viditelné nebeské sféry. Toto je patrné například v lokalitě 4, kde je detekovatelná jáma při použití jakékoli velikosti hodnoty poloměru vyhledávání, avšak při využití velkého poloměru jsou detekovatelné pouze vnější okraje jámy. Oproti tomu s využitím malého poloměru vyhledávání jsou k nalezení i vnitřní okraje a terénní nerovnosti na dně jámy. Optimální je volit poloměr vyhledávání dle velikosti objektů, které mají být detekovány. V závislosti na poloměru je pak třeba optimálně zvolit i počet směrů vyhledávání. V této práci byl větší důraz kladen na zvolení velikosti poloměru vyhledávání a to zejména z důvodu zjištění autorů Zakšek, Oštir a Kokalj (2011). Jmenovaní autoři ve své práci hodnotily vliv zvolené hodnoty počtu vyhledávacích směrů a došli k závěru, že počet směrů nemá na SVF systematický vliv. Hodnocené směry vyhledávání (8, 16, 32 a 64) podávají téměř totožné výsledky. Se zvyšující se hodnotou počtu směrů vyhledávání i poloměru vyhledávání se také zvyšuje doba výpočtu (Zakšek a kol. 2013). Je tedy třeba vždy volit optimální vstupní hodnoty dle požadované analýzy.

Silnice jsou detekovatelné u jakýchkoli zadávaných parametrů. Jedná se převážně o dvě paralelně se vinoucí čáry s atypickým průběhem pro terénní prvky. Tyto linie zobrazují v terénu náspy a příkopy.

Rozložení hodnot SVF je závislé na charakteru reliéfu. Čím je terén v lokalitě rovinatější, tím se vypočtené hodnoty posouvají do vyšších intervalů hodnot SVF. Také vliv antropogenních prvků je vidět z rozložení hodnot SVF v intervalech histogramu. Antropogenní prvky, ale i prvky přírodní s prudkými změnami sklonu, mají oproti přírodním strukturám ostřejší přechody, resp. prudké změny výšky terénu, a proto jsou jejich hodnoty SVF více přiblížené hodnotě 1. Vznikají zde plochy s rovinným terénem, které jsou svou rozlohou větší než rozloha úzkých údolí například typu "V". Dobrým příkladem pro antropogenní prvek je lom s jednotlivými patry těžby. Histogram výsledných hodnot SVF pro analyzovanou lokalitu pak disponuje nejvyšším zastoupením hodnot v posledním intervalu (hodnoty blízko 1 až 1). Obvyklým rozložením histogramu přírodního terénu disponuje lokalita 1 a 2. Pouze dle strukturních prvků terénu je zde přizpůsoben počet hodnot v jednotlivých intervalech.

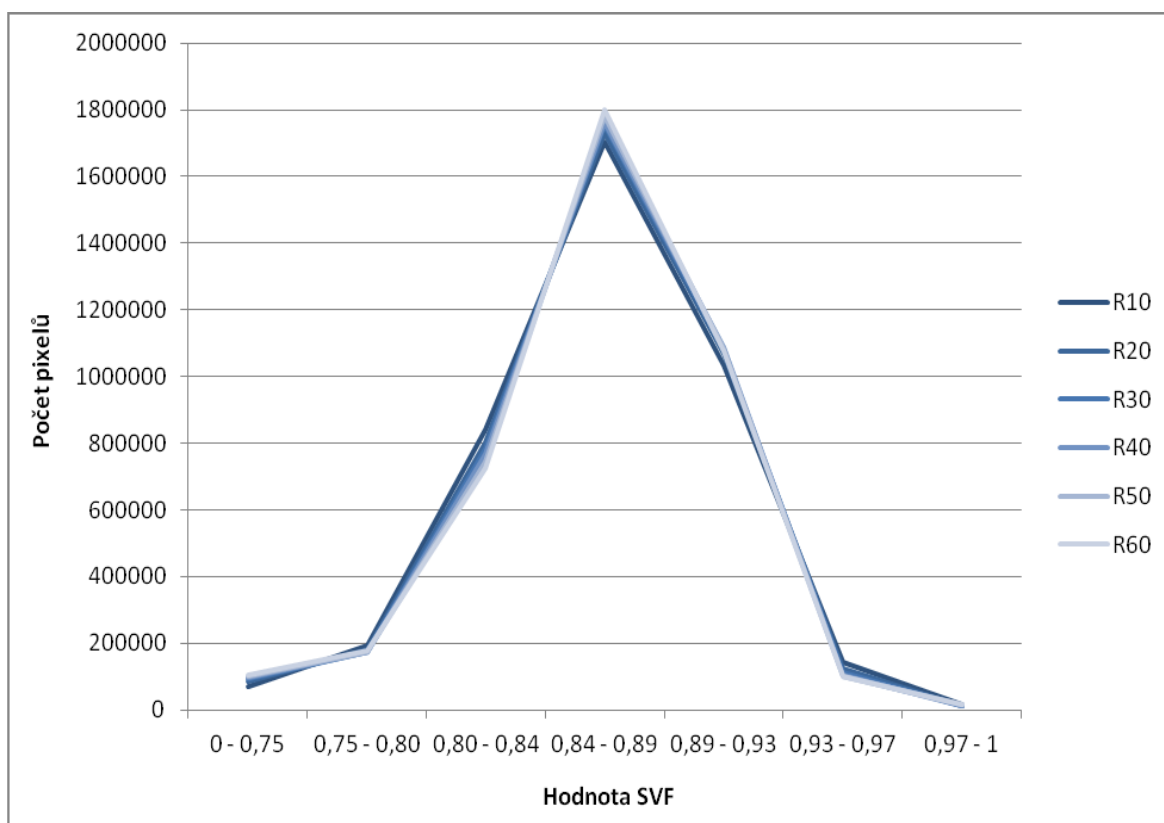
Dle výsledků analýzy, oblasti obsahující hranové pixely tvoří téměř ve všech lokalitách 2 - 4 % celkových pixelů lokality. Pouze lokalita 3 s převládajícími formami terénu s ostrými zlomy a prudkými změnami nadmořské výšky dosahuje hodnot až 45 %.

Při definování oblastí obsahující hranové pixely dochází v určité míře k eliminaci nedůležitých hran terénu. V úvahu, které hrany nejsou v daném terénu zas až tak důležité, je brán celkový terénní povrch lokality. Tento způsob je dán definováním intervalů, které budou následně obsahovat okrajové pixely. Vyzdvižením extrémních hodnot SVF jsou eliminovány nerovnosti (hrany) mezi dvěma svahy, které oba disponují stejným (např. mírným) sklonem. Tyto hrany jsou zanedbány a brány jako lokální nerovnost terénu, resp. mírně zvlněný terén.

Z výsledků dále plyne, že čím větší je zadán poloměr vyhledávání, tím se snižuje výsledná hodnota SVF. Tento jev je zde patrný, avšak není příliš velký. Rozdíl mezi malým a velkým poloměrem vyhledávání (např. 10 px a 50 px) v některých případech je velmi malý až žádný.

Následující obrázek ukazuje vliv poloměru na počet hodnot vypočtených k určité hodnotě SVF a zároveň obvyklé rozložení hodnot SVF pro přírodní terén.

Obr. 32: Vliv poloměru na rozložení hodnot SVF - lokalita 1



6.1.5.1 Vyhodnocení určení typu hrany

V předkládané práci byly určovány dva typy hran - hřbetnice a údolnice. Všechny ostatní hrany v oblasti jsou definovány jako ostatní hrany. Výsledkem jsou body hřbetnic a údolnic. Tabulka 9 ukazuje počet nalezených bodů pro jednotlivé lokality v rozdělení na testované poloměry vyhledávání. Jak je patrné z této tabulky, tak i z následujícího obrázku, nejvíce hledaných typů hran bylo nalezeno v lokalitách s rovinným, resp. mírně zvlněným terénem.

V případě roviny (lokality 4) je na diskuzi, zda lze hovořit o údolnici a jejím přesném určení pomocí orientace svahů. V rovinném terénu se mění orientace svahu velmi rychle a po rozlohou malých svazích. V tomto území také byla souhlasně nalezena pouze údolní linie podél existujícího potoka protékajícího územím a to i přes to, že je potok převážně veden podzemním prostorem. Hřbetnice v této kontrolní vrstvě pro lokalitu definována nebyla. Přestože vznikl nespočet míst odpovídajících dle definované podmínky hřbetnici či údolnici, bylo při manuální klasifikaci v daném postupu metody určeno, že zde prochází pouze jedna údolnice. Bylo tomu přistoupeno proto, že z reálné

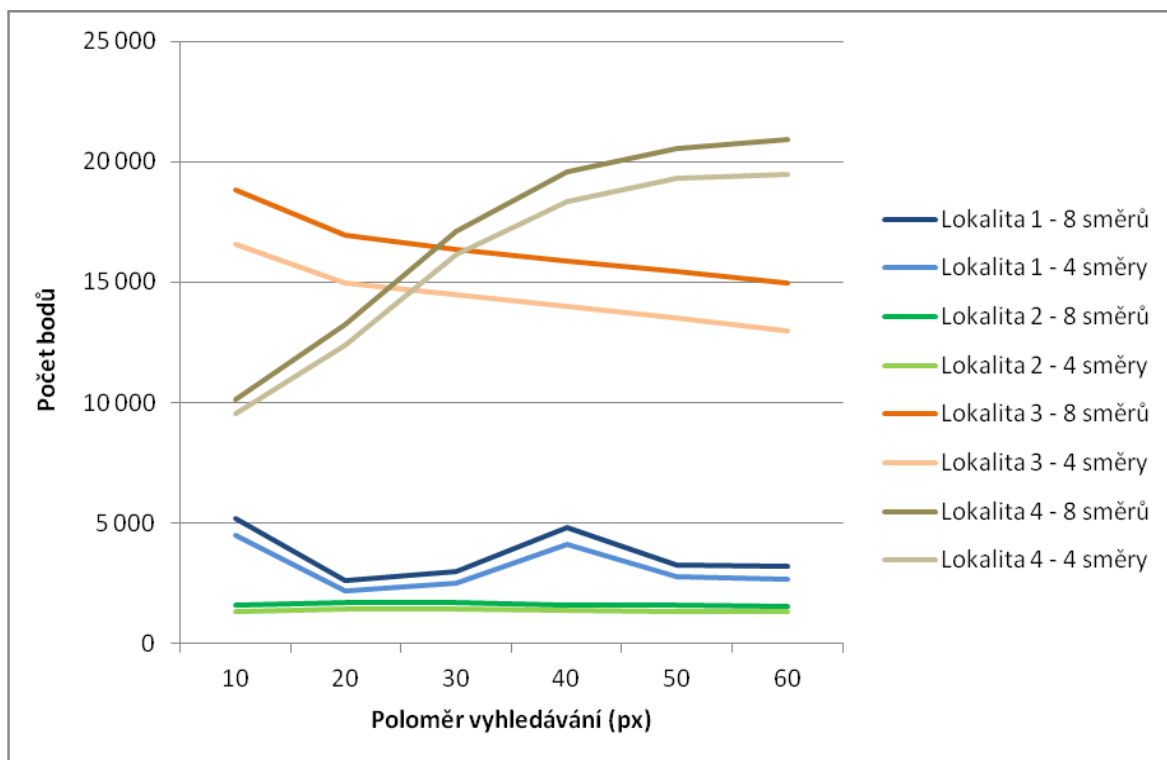
podstaty se v tomto území, resp. rovině, nemohou vyskytovat opravdové hřbetnice, a to i přes to, že dle orientace svahu definici hřbetnice některá místa splňují. Na určitou míru nepřesnosti ukazuje i rozdíl v průběhu křivek pro 8 a 4 směry orientace svahu na grafu na obrázku 33. V případě lokality je zde patrný největší rozdíl mezi oběma křivkami. Také je to jediná lokalita z analyzovaných, kde se zvětšujícím se poloměrem vyhledávání stoupá počet nalezených bodů spadajících pod typ údolnice či hřbetnice.

Z výsledků dále plyne, že čím obsahuje lokalita více makrostrukturních terénních prvků (větší výšková členitost lokality), tím je rozdíl mezi využitím 8 či 4 směrů orientace svahů na výsledky analýzy menší. Celkově vyšší počet bodů určených jako typ hřbetnice či údolnice je patrný ve všech lokalitách při použití 8 směrů orientace ke světovým stranám.

Tab. 9: Počet bodů hran detekovaných jako údolnice či hřbetnice

Poloměr vyhledávání (px)	Lokalita 1		Lokalita 2		Lokalita 3		Lokalita 4	
	8 směrů	4 směry	8 směrů	4 směry	8 směrů	4 směry	8 směrů	4 směry
10	5 169	4 502	1 588	1 307	18 828	16 602	10 149	9 546
20	2 622	2 203	1 675	1 421	16 943	14 968	13 227	12 396
30	2 978	2 529	1 691	1 442	16 349	14 491	17 117	16 141
40	4 813	4 122	1 600	1 368	15 860	13 983	19 565	18 352
50	3 271	2 781	1 581	1 341	15 446	13 493	20 564	19 296
60	3 182	2 687	1 514	1 297	14 961	12 979	20 915	19 460

Obr. 33: Počet bodů hran detekovaných jako údolnice či hřbetnice v závislosti na zvoleném poloměru vyhledávání



Následující tabulky, v absolutních hodnotách (tab. 10 a 11) a procentní podíl z celkových nalezených bodů (tab. 12 a 13), ukazují kolik bodů bylo detekováno správně jako údolnice či hřbetnice v porovnání s kontrolní vrstvou hřbetnic a údolnic. Pro kontrolní vrstvu byla vytvořena obalová zóna o velikosti 2 m, 10 m a 20 m.

Tab. 10: Absolutní počty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 4 směry orientace svahů

Poloměr vyhledávání (px)	Lokalita 1				Lokalita 2				Lokalita 3				Lokalita 4			
	4 směry	B2	B10	B20	4 směry	B2	B10	B20	4 směry	B2	B10	B20	4 směry	B2	B10	B20
10	4 502	387	1 867	2 909	1 307	106	389	557	16 602	850	2 159	2 878	9 546	955	2 351	2 959
20	2 203	466	1 384	1 817	1 421	130	513	691	14 968	635	1 987	2 709	12 396	939	2 269	2 845
30	2 529	554	1 523	2 049	1 442	129	533	687	14 491	442	1 945	2 580	16 141	938	2 163	2 712
40	4 122	604	1 739	2 444	1 368	141	565	716	13 983	405	1 975	2 582	18 352	913	2 164	2 709
50	2 781	550	1 654	2 243	1 341	147	576	721	13 493	349	1 864	2 668	19 296	874	2 158	2 736
60	2 687	512	1 568	2 184	1 297	125	543	691	12 979	299	1 613	2 651	19 460	901	2 184	2 743

Poznámka: B2 = buffer o velikosti 2 m, B10 = buffer o velikosti 10 m, B20 = buffer o velikosti 20 m

Tab. 11: Absolutní počty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 8 směrů orientace svahů

Poloměr vyhledávání (px)	Lokalita 1				Lokalita 2				Lokalita 3				Lokalita 4			
	8 směrů	B2	B10	B20	8 směrů	B2	B10	B20	8 směrů	B2	B10	B20	8 směrů	B2	B10	B20
10	5 169	482	2 197	3 352	1 588	117	455	640	18 828	938	2 436	3 305	10 149	981	2 451	3 079
20	2 622	555	1 660	2 176	1 675	141	586	799	16 943	709	2 282	3 155	13 227	972	2 366	2 969
30	2 978	680	1 832	2 424	1 691	138	606	794	16 349	488	2 206	2 961	17 117	975	2 269	2 854
40	4 813	728	2 077	2 914	1 600	154	642	825	15 860	444	2 222	2 966	19 565	958	2 279	2 862
50	3 271	663	1 992	2 663	1 581	164	661	835	15 446	390	2 093	3 034	20 564	918	2 271	2 909
60	3 182	620	1 902	2 602	1 514	140	625	788	14 961	346	1 862	3 037	20 915	933	2 307	2 916

Poznámka: B2 = buffer o velikosti 2 m, B10 = buffer o velikosti 10 m, B20 = buffer o velikosti 20 m

Tab. 12: Procentuelní hodnoty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 4 směry orientace svahů

Poloměr vyhledávání (px)	Lokalita 1				Lokalita 2				Lokalita 3				Lokalita 4			
	4 směry	B2	B10	B20	4 směry	B2	B10	B20	4 směry	B2	B10	B20	4 směry	B2	B10	B20
10	100	8,6	41,5	64,6	100	8,1	29,8	42,6	100	5,1	13,0	17,3	100	10,0	24,6	31,0
20	100	21,2	62,8	82,5	100	9,1	36,1	48,6	100	4,2	13,3	18,1	100	7,6	18,3	23,0
30	100	21,9	60,2	81,0	100	8,9	37,0	47,6	100	3,1	13,4	17,8	100	5,8	13,4	16,8
40	100	14,7	42,2	59,3	100	10,3	41,3	52,3	100	2,9	14,1	18,5	100	5,0	11,8	14,8
50	100	19,8	59,5	80,7	100	11,0	43,0	53,8	100	2,6	13,8	19,8	100	4,5	11,2	14,2
60	100	19,1	58,4	81,3	100	9,6	41,9	53,3	100	2,3	12,4	20,4	100	4,6	11,2	14,1

Poznámka: B2 = buffer o velikosti 2 m, B10 = buffer o velikosti 10 m, B20 = buffer o velikosti 20 m

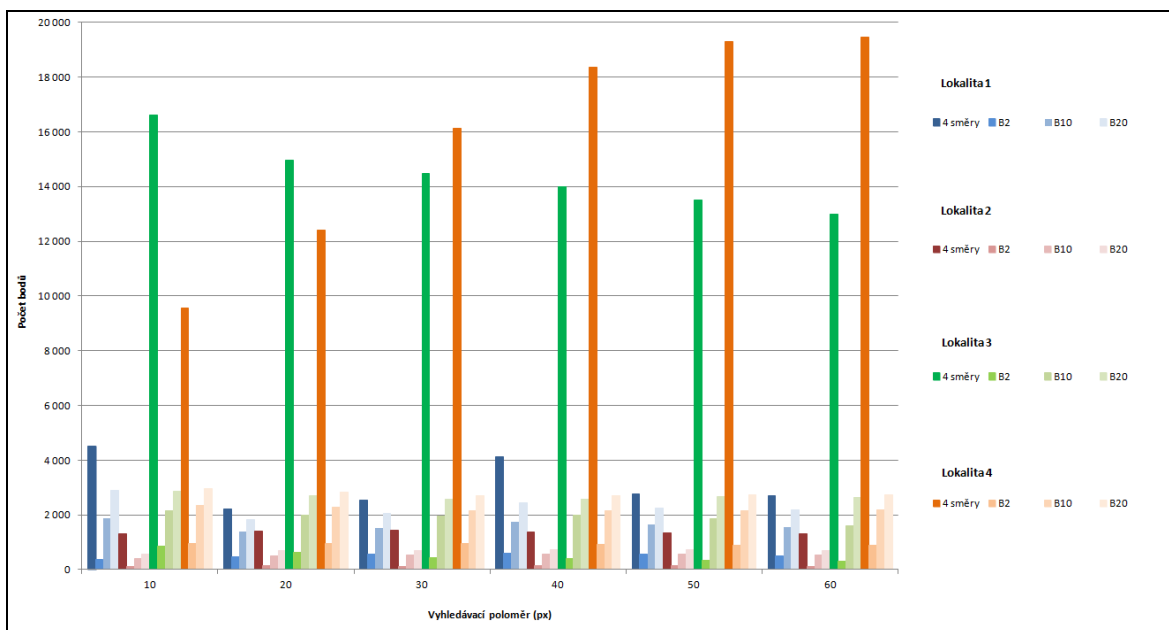
Tab. 13: Procentuelní hodnoty správně detekovaných bodů hřbetnic a údolnic pro 8 směrů orientace svahů

Poloměr vyhledávání (px)	Lokalita 1				Lokalita 2				Lokalita 3				Lokalita 4			
	8 směrů	B2	B10	B20	8 směrů	B2	B10	B20	8 směrů	B2	B10	B20	8 směrů	B2	B10	B20
10	100	9,3	42,5	64,8	100	7,4	28,7	40,3	100	5,0	12,9	17,6	100	9,7	24,2	30,3
20	100	21,2	63,3	83,0	100	8,4	35,0	47,7	100	4,2	13,5	18,6	100	7,3	17,9	22,4
30	100	22,8	61,5	81,4	100	8,2	35,8	47,0	100	3,0	13,5	18,1	100	5,7	13,3	16,7
40	100	15,1	43,2	60,5	100	9,6	40,1	51,6	100	2,8	14,0	18,7	100	4,9	11,6	14,6
50	100	20,3	60,9	81,4	100	10,4	41,8	52,8	100	2,5	13,6	19,6	100	4,5	11,0	14,1
60	100	19,5	59,8	81,8	100	9,2	41,3	52,0	100	2,3	12,4	20,3	100	4,5	11,0	13,9

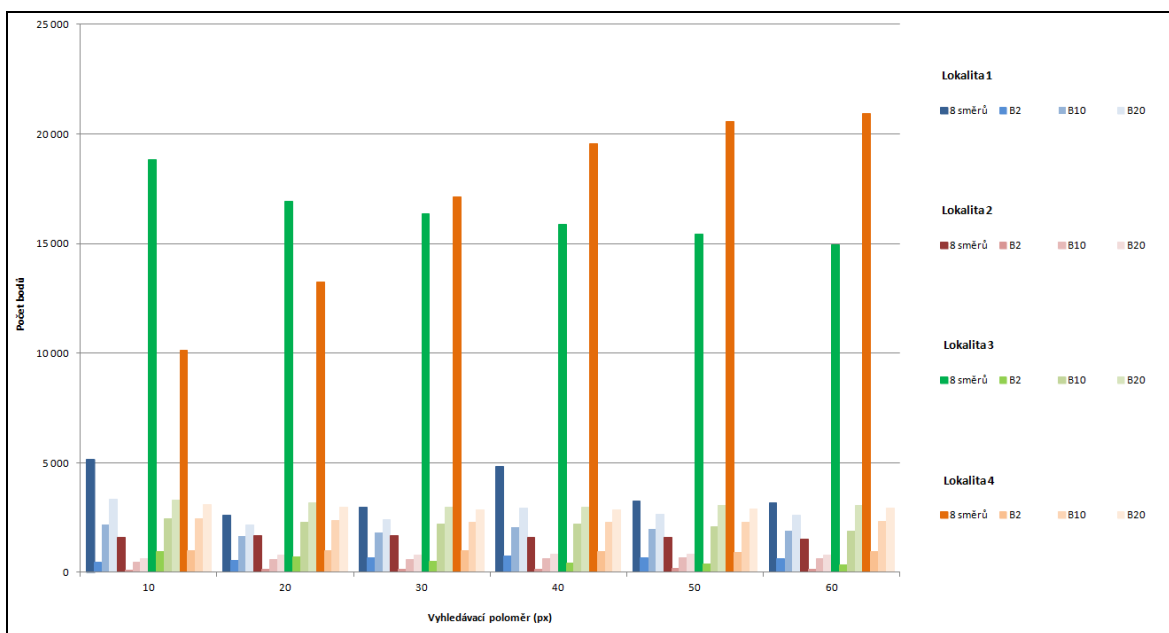
Poznámka: B2 = buffer o velikosti 2 m, B10 = buffer o velikosti 10 m, B20 = buffer o velikosti 20 m

Obrázek 34 a 35 ukazuje grafy rozložení absolutních počtů bodů pro obě výpočtové varianty orientace svahů.

Obr. 34: Rozložení počtu bodů pro 4 směry orientace svahů



Obr. 35: Rozložení počtu bodů pro 8 směrů orientace svahů

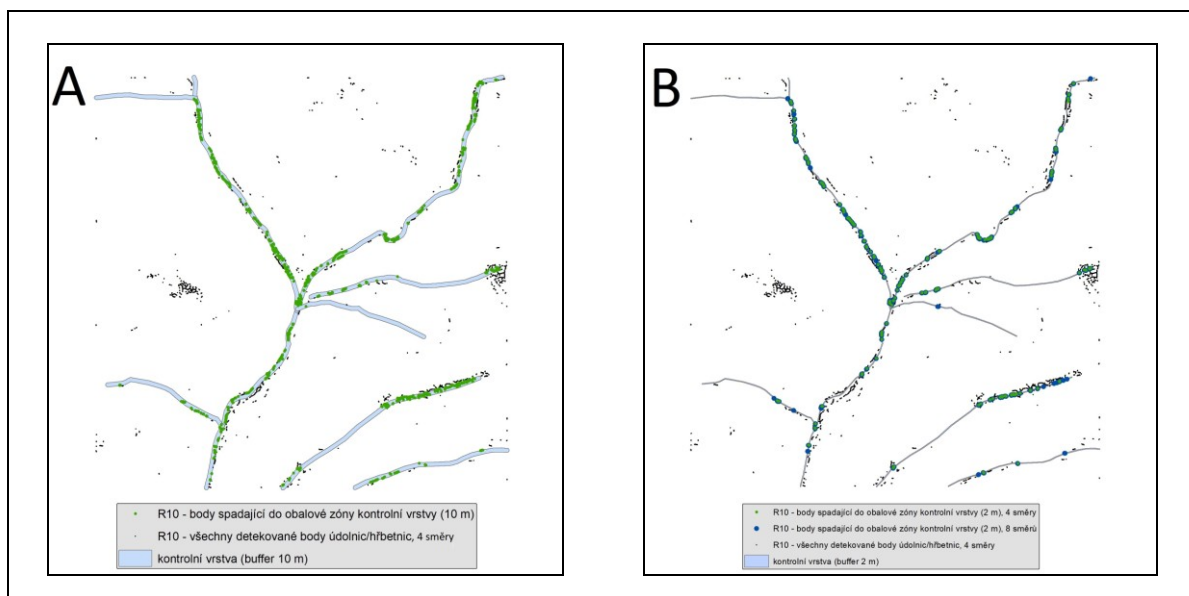


Z tabulek a grafů je patrné, že nejvíce souhlasně detekovaných bodů je pro každou lokalitu s použitím největší použité obalové zóny (20 m), nejméně pak s využitím nejmenší velikosti obalové zóny (2 m). Dále je také vidět, že nejvyšší procento souhlasně detekovaných bodů je v lokalitě 1 (min. 60 %, max. 83 %) a nejmenší v lokalitě 4 (14 %,

reps. 30 %). V lokalitě 2 je procento souhlasně nalezených bodů 41 - 53 % a v lokalitě 3 17 - 20 %. Vyšší procento i vyšší absolutní hodnoty souhlasně detekovaných bodů je patrné v případě využití 8 směrů orientace svahu oproti 4 směrům.

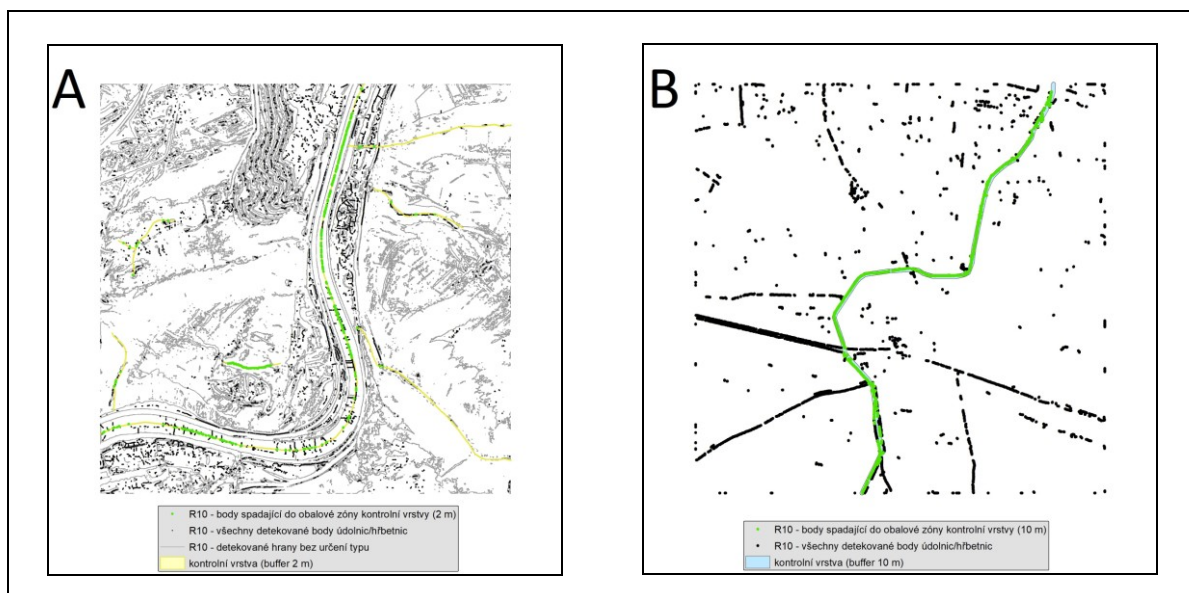
Obrázek 36 ukazuje lokalitu 1. Na obrázku A jsou zobrazeny všechny nalezené body pomocí zvolené metody pro 4 směry orientace svahu a poloměr vyhledávání 10 px. Dále je zde vykreslena kontrolní obalová zóna ve velikosti 10 m a body, které zde spadají. Obrázek B ukazuje všechny nalezené body pomocí zvolené metody pro 8 směrů i 4 směry orientace svahu pro poloměr vyhledávání 10 px. Zobrazena je zde také kontrolní obalová zóna o velikosti 2 m a souhlasné body spadající do této oblasti. Jak je z obou obrázků vidět, údolnice v levé horní části lokality nebyla vůbec detekována, a to v žádném z hodnocených poloměrů vyhledávání. To je dáno tím, že se jedná o severovýchodní a jihovýchodní svahy, které nebyly určeny jako výběrové pro detekci hřbetnic a údolnic. Je zde potvrzen také minimální rozdíl v počtu detekovaných bodů v případě využití 4/8 měřů orientace svahu. Za problémová místa ve výsledcích představené metody lze označit místa v terénu s plochým reliéfem, například plošina či hřbet s neostrým hřbenem. Zde se pak vyskytuje větší počet detekovaných bodů. Pro přesnější výsledky metody lze doporučit manuální kontrolu dle zvoleného podkladu. Zvolený podklad by mohl být například ZM 10 či DMR z původních dat. Stejně tak i určení zda se jedná o údolnici či hřbetnici je třeba udělat manuálně a to nejlépe právě po kontrole výsledné bodové vrstvy.

Obr. 36: Kontrola nalezených bodů hřbetnic a údolnic - lokalita 1



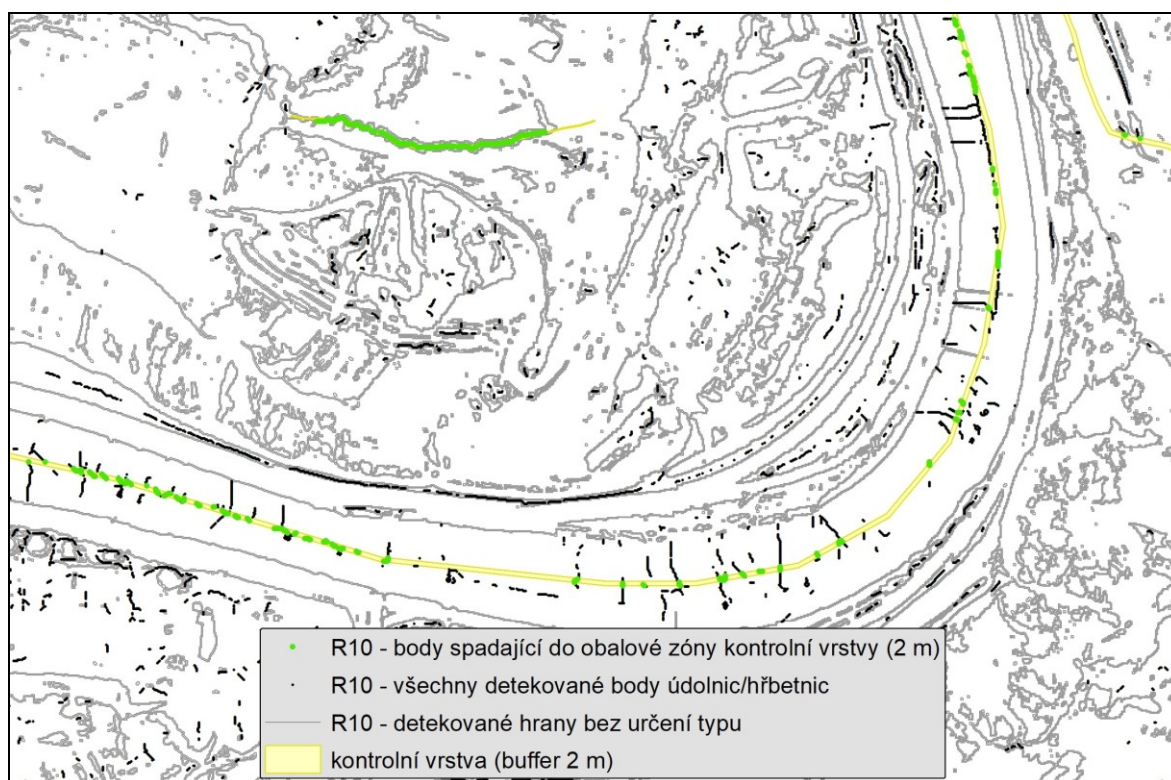
Obrázek 37 představuje lokalitu 3 (A) a lokalitu 4 (B). Obrázek A ukazuje rozdíl v průběhu detekovaných linií metodou okrajových pixelů a metodou vnitřních pixelů. V prvním případě byly nalezeny hrany představující břehové čáry, kdežto v druhém případě byla nalezena údolnice i jako body v korytu řeky. Pokud využijeme kontrolní vrstvy, pak se nám zobrazí body na linii vedené určeným průběhem linie pro údolnici. Jak už bylo zmíněno, otázkou zůstává, zda se v širokém rovinatém údolí dá hovořit o údolnici jako o významné terénní hraně daného území. Z následujícího obrázku je také patrné, že v lokalitě 3 a 4 bylo detekováno nejvíce bodů představujících hřbetnice či údolnice. Zde je nejvíce potřeba následná kontrola, jelikož metoda vyhledá i některé body, které zobrazují například hrany jednotlivých pater těžby lomu.

Obr. 37: Kontrola nalezených bodů hřbetnic a údolnic - 4 směry orientace svahu (A - lokalita 3, B - lokalita 4)



Následující obrázek ukazuje část lokality 3, kde je zobrazen detekovaný hřbet. Jak je z obrázku patrné, detekce zvolenou metodou dává dobré výsledky v případě hřbetu s ostrým průběhem vrcholové části.

Obr. 38: Detekce hřbetu



6.2 Porovnání vybraných metod

Tato podkapitola se věnuje verifikaci navržené metody. K verifikaci vlastní metody byly zvoleny dvě metody, které jsou detailněji popsány v kapitole 2.2.3. Jedná se o metodu Jaroše (2011) a Cannyho (1986).

Pro porovnání s vybranými metodami bylo třeba rastry všech čtyř lokalit nechat analyzovat pomocí vybraných metod (Jaroš, Canny). Tyto analýzy byly provedeny v systému Matlab. Skript pro výpočet hran dle Canny je k nalezení v příloze 2. Vstupní rast musí být binární, proto bylo využito stejného rastru jako pro nástroj *remove*.

Hodnoty zadávané pro výpočet dle Jaroše byly zadávány dle tabulky 14. Minimální kolmá vzdálenost udává vyhlazení povrchu. Jedná se o minimální kolmou vzdálenost mezi pixely v okolí úsečky, vytvořené Douglas – Peuckerovým algoritmem spojující dva koncové body, a touto úsečkou. Maximální úhel udává maximální velikost úhlu, který mohou dva svahy spolu svírat (v případě roviny se jedná o 180°). Nejmenší povolená délka hrany je minimální délka hrany jakou hrana může mít, aby byla ve výsledku

zachována a definována jako hrana. Délka je míněna jako počet pixelů, které tvoří hranu (Jaroš 2011).

Tab. 14: Zadávané parametry pro metodu Jaroše

Parametr	Lokalita 1	Lokalita 2	Lokalita 3	Lokalita 4
minimální kolmá vzdálenost	15	10	2	1
maximální úhel	165	170	170	175
nejmenší povolená délka hrany	10	10	15	5

Porovnání pomocí RMSE je zobrazeno v následující tabulce. K výpočtu RMSE chyby byl využit systém ArcGIS. K výpočtu příslušné hodnoty RMSE byly vždy kombinovány jednotlivé výsledné rastry vlastní metody, za všechny využité poloměry vyhledávání, s rastry vzniklými metodou Jaroše (se ztenčením/bez ztenčení linie), resp. metody Cannyho. Výpočet proběhl dle následujícího vzorce (1).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

(1), kde: P_i = metoda Jaroše/Cannyho, O_i = vlastní metoda

Tabulka 15 představuje výsledné vypočtené hodnoty RMSE pro jednotlivé lokality a zároveň v rozdělení pro jednotlivé analyzované poloměry vyhledávání. Tabulka 16 ukazuje průměrné hodnoty RMSE za zvolené poloměry se zachováním rozdělení na jednotlivé lokality. Hodnoty vypočtené RMSE představují chyby v poloze nalezených pixelů definovaných analýzou jako hrany.

Jak je z výsledků patrné, rozdíl mezi využitím různého poloměru vyhledávání je po zhodnocení vybranými konfrontačními metodami minimální, v případě srovnání s metodou Jaroše jsou výsledné hodnoty RMSE chyby téměř totožné. Je tedy možné říci, že velikost vyhledávacího poloměru nemá v analýze detekce hran v terénu zásadní vliv, resp. vliv velikosti vyhledávacího poloměru je pro detekci hran minimální. Dále z výsledků vyplývá, že více podobná, co do výsledků, je vlastní metoda metodě Jaroše. Ohledně podobnosti, resp. rozdílnosti lokalit, tak tabulky dokládají, že v rovinném terénu (lokalita 4) je průběh

detekovaných hran nejpodobnější u všech metod. Oproti tomu metody se nejvíce rozcházejí v lokalitách s poměrně nepravidelně členitým reliéfem s velkými zlomy a anomáliemi, jako je tomu u lokalit 2 a 3.

Tab. 15: Porovnání RMSE pro jednotlivé lokality

Poloměr vyhledávání	Jaroš (bez ztenčení)	Jaroš (ztenčení)	Canny
Lokalita 1			
10	0,04034	0,03094	0,038
20	0,04036	0,03089	0,039
30	0,04034	0,03094	0,055
40	0,04036	0,03094	0,043
50	0,04034	0,03094	0,048
60	0,04031	0,03093	0,081
Lokalita 2			
10	0,06375	0,04889	0,071
20	0,06381	0,04893	0,073
30	0,06375	0,04889	0,076
40	0,06379	0,04893	0,079
50	0,06377	0,04893	0,086
60	0,06379	0,04893	0,096
Lokalita 3			
10	0,06314	0,04803	0,06724
20	0,06358	0,04841	0,07036
30	0,06314	0,04803	0,07386
40	0,06342	0,04823	0,07817
50	0,06314	0,04803	0,08591
60	0,06329	0,04811	0,09652
Lokalita 4			
10	0,02090	0,01491	0,05899
20	0,02089	0,01491	0,05143
30	0,02090	0,01491	0,04699
40	0,02094	0,01491	0,04389
50	0,02090	0,01491	0,04103
60	0,02090	0,01491	0,03907

Tab. 16: Průměrné hodnoty RMSE pro jednotlivé lokality

Lokalita	Jaroš (bez ztenčení)	Jaroš (ztenčení)	Canny
1	0,040	0,031	0,051
2	0,064	0,049	0,080
3	0,063	0,048	0,079
4	0,021	0,015	0,047

Dále byla vytvořena tabulka vybraných parametrů pro porovnání všech tří metod.

Tab. 17: Porovnání vybraných parametrů jednotlivých metod

Parametr	Jaroš	Canny	Vlastní metoda
Software	Matlab	Matlab	RVT, ArcGIS, Matlab
Vstupní data	rastr	rastr	rastr
Určení významnosti hrany	ano (dle délky hrany)	ne	ne
Určení typu hrany	ne	ne	ano (hřbetnice/údolnice)
Eliminace šumu	ano	ano	ano

Všechny tři představené metody využívají jako vstupní data rastr. Software Matlab pro analýzu byl v případě metody Jaroše a Cannyho. Vlastní metoda využívá dále systému RVT a to z toho důvodu, že je zde implementován nástroj SVF. Další zpracování metody bylo provedeno v ArcGISu, přestože je možnost například ke klasifikaci využít i dalších systémů (např. Matlab). ArcGIS disponuje poměrně přívětivým uživatelským prostředím a lze zde jednoduše předpřipravit vstupní data. Nevýhodou může být komerčnost softwaru. Metoda Cannyho nedisponuje určením významnosti či typu hrany. Jedná se o metodu k zachycení co nejvíce hran v obraze. Metoda Jaroše určí významnost hran pouze na základě její délky (myšleno jako počet pixelů na sebe navazujících). Hrany s délkou pod zadanou mez nejsou zaznamenány jako hrany. Tato metoda také nedokáže definovat typ hrany. Oproti tomu vlastní představená metoda nedefinuje významnost nalezené hrany, ale dokáže zaznamenat hrany (body), které jsou v terénu hřbetnicí či údolnicí. Šum v datech LLS je obsažen běžně. Vlastní metoda a metoda Cannyho je jej schopna eliminovat. Jistou mírou eliminace šumu je v případě metody Jaroše eliminace krátkých hran. Právě krátké hrany mohou být projevem šumu ve vstupních datech.

7 Diskuse

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou detekce terénních hran. Cílem práce bylo navržení nové metody detekce terénních hran s využitím dat LLS a nástroje SVF. Dále pak bylo snahou určení typu hrany v daném terénu. Verifikace probíhala pomocí srovnání s dvěma vybranými metodami (Jaroš (2011) a Canny (1986)). Typy hran, které byly v této práci určovány byly hřbetnice a údolnice. Srovnání proběhlo pomocí nově vektorizované liniové vrstvy hřbetnic a údolnic na podkladě ZM 10. V praktické části bylo využito tři systémů: Matlab, RVT a ArcGIS, verze 10.2.

V úvodní části práce jsou představeny významné pojmy terénní reliéf a terénní hrana. Dále jsou zde uvedeny dosavadní metody zabývající se předmětnou problematikou. Důraz je kladen především na popis vybraných konfrontačních metod pro zhodnocení nové navržené metody. Následující kapitola se věnuje představení nástroje SVF, která je stěžejním principem navrženého postupu. Lokality pro implementaci navržené metody byly zvoleny čtyři - Vítkovice, Hradiště, Strnady a Velenka. Zájmová území byla vybrána tak, aby reprezentovala rozličné charakteristiky terénu a bylo tak možné odhalit úskalí a přednosti navržené metody. Zájmové území pokrývá oblasti soutoku řek, hřbetnic, údolnic aj. Jsou zde zahrnuty nejen přírodní útvary, ale i antropogenní (lom, příkopy aj.).

Data využitá v praktické části byla poskytnuta Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním. Jedná se o DMR 5G pořízené metodou LLS. Data byla dodána v textovém souboru představujícím mračno bodů. Pro využití nástroje SVF bylo nutné tyto data převést do rastrové podoby a tím podstoupit určitou ztrátu informace při samotném převodu. I právě proto je důležité využití kvalitních vstupních dat, od kterých se následně odráží kvalita výsledné analýzy.

Dle Zakšek, Oštir a Kokalj (2011) jsou reliéfní mapy a parametrické charakteristiky topografie zásadní pro interpretaci zemského povrchu. Metoda SVF zobrazuje i malé nerovnosti v nadmořské výšce v jinak plochem terénu. Poloměr vyhledávání určuje, jak

velké nerovnosti jsou požadované zaznamenat. Lze tedy částečně volit míru detailu zobrazení hran v požadovaném území už na začátku analýzy. Při zadání malého poloměru vyhledávání (např. 10 px) se zobrazí i nejmenší detaily a hrany terénu lokality, kdežto při využití velkého poloměru vyhledávání (např. 60 px) jsou zvýrazněny makrostruktury reliéfu. Zakšek, Oštir a Kokalj (2011) došli ve své studii k poznatku, že další zadávaný parametr - počet směrů vyhledávání, nemá na výsledky SVF systematický vliv. Přesto je třeba v závislosti na poloměru vyhledávání volit velikost hodnoty počtu směrů vyhledávání. Doporučený poměr je minimálně polovina a maximálně stejná hodnota počtu směrů jako je hodnota poloměru vyhledávání. Výpočtová doba se zvyšuje jako lineární funkce k počtu směrů vyhledávání (Zakšek a kol. 2013).

Následná analýza po vytvoření rastrů SVF probíhala klasifikací. Tato klasifikace určila oblasti, které obsahují hrany, resp. pixely reprezentující hranu. Zde lze také do jisté míry eliminovat nevýznamné hrany pro daný terén. Okrajové pixely zobrazují hrany mezi svahy s velkými rozdíly ve sklonu. Oproti tomu však nejsou detekované hrany mezi svahy, které disponují oba stejným či podobným sklonem svahu (např. mírný a mírný svah). V tomto případě se jedná o mírně zvlněný terén a hrana nebyla vyhodnocena jako důležitý zlom pro daný analyzovaný terén. Každý terén je svým způsobem charakteristický a jedinečný. Z tohoto důvodu je třeba se podívat na terén jako na celek a nalézt charakteristické zlomové linie analyzovaného terénu. Stejně tak, jak je to cílem i metody Jaroše (2011).

Výsledky ukázaly, že rozložení výsledných hodnot SVF je závislý na zvoleném poloměru. Stejně jako ve studii Zakšek, Oštir a Kokalj (2011) bylo potvrzeno, že s vyšší hodnotou poloměru vyhledávání klesá hodnota SVF. Dále bylo zjištěno, že rovinatější terén disponuje vyššími hodnotami SVF. Stejně tak terén s převážnou většinou plochy jako jsou terasy, patra těžby či plošinami, a to i přes to, že je v oblasti vysoký počet depresních míst se srázy či jinými prudkými svahy. Bylo také nalezeno charakteristické rozložení hodnot SVF pro přírodní terén, které reprezentuje lokalita 1 a 2.

Verifikace metody detekce hran v terénu byla provedena pomocí dvou vybraných metod. Kontrola proběhala především porovnáním pomocí RMSE chyby. Výsledky ukázaly, že vliv poloměru vyhledávání pro tuto analýzu není příliš velký. Rozdíl byl potvrzen, avšak byl minimální. Detaily zobrazované při použití malého poloměru vyhledávání oproti použití velkého poloměru, mají tedy v měřítku hledání charakteristických terénních hran pro velké území menší vliv, například oproti lokálním analýzám archeologických lokalit. Nejpodobnější nalezení hran v porovnání s kontrolními

metodami bylo detekováno v rovinatém terénu. Nejvíce se naproti tomu metody rozcházejí v území s velkou členitostí terénu.

Vhodnou metodou pro verifikaci by byla také metoda Šilhavého (2016). Vzhledem k tomu, že se jedná o v současnosti právě se rozvíjející problematiku využití shlukové metody pro detekci terénních hran a nebyla doposud publikována převážná většina zmiňovaného výzkumu, bylo od zahrnutí metody Šilhavého (2016) upuštěno. Vzniká tak zde prostor pro další výzkumy.

Kromě detekce hran v terénu bylo cílem analýzy také stanovit údolnice a hřbetnice v analyzovaném terénu. Nejvíce vybraných typů hran (hřbetnice a údolnice) bylo nalezeno v rovinatém terénu. V tomto terénu se nachází mnoho malých ploch s rozličnou orientací svahů, přestože se jedná vesměs o rovinu. Dle stanové metody je právě tato rovinatá lokalita problémem místem metody, jelikož v rovině není pravděpodobné, že se zde bude v reálném terénu vyskytovat například hřbetnice, případně více hřbetnic. K analýze bylo využito pro srovnání 7 a 8 směrů orientace svahu ke světovým stranám. Orientace svahů k dané světové straně je určena jako normála daného svahu k příslušné světové straně. Udává se ve stupních a je tříděna nejčastěji do 4 nebo 8 kategorií, přestože počet kategorií může být dobrovolný (Křížek, Uxa a Mida 2016).

Výsledky určení typu hrany ukázaly, že vliv použití 4 či 8 směrů je minimální. Při využití 8 směrů bylo nalezeno o něco více detekovaných bodů, které jsou výsledkem metody. Tyto body představující hřbetnice a údolnice byly srovnávány pomocí nově vytvořené liniové vrstvy hřbetnic a údolnic na podkladě ZM 10. Pro srovnání bylo využito 2, 10 a 20 m obalové zóny. Metoda dobře detekuje ostrý hřbet, oproti tomu nejednoznačná detekce je v místech plošin a neostrého hřbetu. Metoda nedokáže určit mezi hřbetnicí a údolnicí. Zde je třeba přistoupit k manuálnímu určení tohoto atributu. Metoda by však mohla být dobrým postupem pro určení průběhu údolnice ve velmi širokém údolí s širokým vodním tokem, což například Jarošova či Cannyho metoda nedokáže.

Přínosem předkládané práce je potvrzení využitelnosti nástroje SVF v analýze detekce terénních hran. Nástroj SVF doposud nebyl v této problematice téměř využíván. Výhodou metody je její pohled na terén jako na komplexní jednotku. Detekce hran probíhá z celkového zhodnocení analyzovaného terénu. Metoda je také využitelná v jakémkoli charakteru terénu. V metodě jsou dále využité morfologické operátory, které nejsou pro analýzy detekce terénních hran příliš obvyklé.

Jistou nevýhodou představené metody může být využití rastru jako vstupních dat. Gridy dle Yokoyama, Shirasawa a Pike (2002) zakrývají pravý průběh hran a to právě z důvodu mřížkovitosti. Jak už potvrzuje ve své práci Jaroš (2011) je zde prostor využít metody využívající přímo bodové mračno.

Celkově výsledky ukázaly, že nová představená metoda je schopna detekce terénních hran. Výhodou nástroje SVF je robustnost, kdy se využívá poměrně velkého výpočetního okna a to při zachování mnoha detailů (Zakšek, Oštir a Kokalj 2011). Dále je zde možnost eliminace šumu, což je součástí nástroje a není tedy třeba využívat jiných metod a náročnější předpřípravy dat. Brügelmann (2000) doporučuje například využít Gaussova filtru (vyhlazení obrazu), který dokáže působení šumu potlačit. Tuto metodu využívá například Canny ve svém postupu. Metoda nemá také problémy v detekci terénních tvarů i jakýchkoli tvarů linií. Nová metoda tedy dobře detekuje například soutok (správný průběh údolnic), se kterým si metoda Peterkové (2015) nebyla schopna zcela správně poradit.

8 Závěr

Cílem předkládané diplomové práce bylo navržení vlastní metody detekce terénních hran z dat leteckého laserového skenování s využitím nástroje Sky-view faktor. Dílčím cílem bylo stanovit typ hrany, zda se jedná o údolnici či hřbetnici. Vlastní metoda využívá dat leteckého laserového skenování v rastrové podobě. K verifikaci výsledků bylo použito dalších dvou metod pro detekci terénních hran a vlastní nově vytvořené vrstvy údolnic a hřbetnic. Výsledky ukázaly, že navrhovaná metoda dokáže detekovat terénní hrany a definovat vybraný typ hrany. Závěrem lze říci, že cíle práce byly splněny.

Seznam zdrojů

- **ArcČR 500 verze 2.0:** digitální geografická databáze
- **BALTSAVIAS, E. P. (1999):** A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Volume 54, Issue 2/3, p. 83–94. [online]. [cit. 3. 3. 2017]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.42.6581&rep=rep1&type=pdf>
- **BRIESE, CH. (2004):** Breakline modelling from airborne laser scanner data Wien. Disertační práce, Fakulta matematiky a informatiky, Technická univerzita Vídeň, 67 s.
- **BRIESE, CH. a kol. (2009):** Automatic breakline determination for the generation of a DTM along the river main. In: BRETAR, F., PIERROT-DESEILLIGNY, M. a VOSSELMAN, G. (eds.) (2009): *Laser scanning: IAPRS*, Volume 38, Part 3/W8 - Paris, France, September 1-2, p. 236–241. [online]. [cit. 3. 6. 2018]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.409.6104&rep=rep1&type=pdf>
- **BRÜGELMANN, R. (2000):** Automatic breakline detection from airborne laser range data. *International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 33, Part B3, p. 109–116. [online]. [cit. 30. 5. 2017]. Dostupné z: http://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part3/109_XXXIII-part3.pdf
- **BRZANK, A., LOHMANN, P. a HEIPKE, C. (2005):** Automated extraction of pairwise structure lines using airborne laserscanner data in coastal areas. *ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005"*, Enschede, the Netherlands, September 12-14, p. 36–41. [online]. [cit. 7. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W19/papers/036.pdf>

- **CANNY, J. (1986):** A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Volume Pami-8, No. 6, p. 679–698. [online]. [cit. 12. 7. 2018]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.420.3300&rep=rep1&type=pdf>
- **ČÚZK (2018):** WMS ZM 10. [online]. [cit. 26. 6. 2018]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx
- **ČÚZK (2010):** Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). [online]. [cit. 27. 6. 2018]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(pf15ggsfvbzelzyzyvhctaa\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302](http://geoportal.cuzk.cz/(S(pf15ggsfvbzelzyzyvhctaa))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302)
- **DEMEK, J. (1987):** Obecná geomorfologie. ACADEMIA, 476 s.
- **DOBROVOLNÝ, P. (2009):** Metody zvýrazňování obrazu II: Prostorová zvýraznění - filtrace. Digitální zpracování materiálů DPZ. Masarykova Univerzita. [online]. [cit. 22. 11. 2018]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2009/Z8114/um/9018418/DZO_05_zvyrazneni_2.pdf
- **DOLANSKÝ, T. (2004):** Lidary a letecké laserové skenování. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, 100 s. [online]. [cit. 3. 3. 2017]. Dostupné z: <http://wvc.pf.jcu.cz/ki/data/files/160lidaryweb.pdf>
- **DOZIER, J., BRUNO, J. a DOWNEY, P. (1981):** A Faster Solution to the Horizon Problem. Computers and Geosciences, Volume 7, p. 145–151. [online]. [cit. 2. 11. 2018]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/222461392_Faster_solution_to_the_horizon_problem
- **ENGLMAIEROVÁ, T. (2018):** Využití Sky-view faktoru v analýze historického osídlení. Diplomová práce, Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze, 69 s.
- **FÖRSTNER, W. (1998):** Image preprocessing for feature extraction in digital intensity, color and range images. In: BRÜGELMANN, R. (2000): Automatic

- breakline detection from airborne laser range data. *International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 33, Part B3, p. 109–116. [online]. [cit. 30. 5. 2017]. Dostupné z: http://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part3/109_XXXIII-part3.pdf
- **FÖRSTNER, W. (2000):** Image preprocessing for feature extraction in digital intensity, color and range images. Institute for Photogrammetry, Bonn University, p. 165–189. [online]. [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <http://www.ipb.uni-bonn.de/pdfs/Forstner2000Image.pdf>
 - **GAJSKI, D. (2000):** Goemorphologic improvement of DTMs especially as derived from laser scanner data. *Geodetski vestnik*, 44/4. Institute for Photogrammetry, Faculty of Geodesy, University of Zagreb, Croatia, p. 398–405. [online]. [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-IEMZV2Y8/f9305187-6430-49e5-8940-efaedf18aa2d/PDF>
 - **GOMES PEREIRA, L. M. a JANSSEN, L. L. F. (1999):** Suitability of laser data for DTM generation: A case study in the context of road planning and design. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Volume 54, Issue 4, p. 244–253. [online]. [cit. 30. 5. 2017]. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com.ezproxy.is.cuni.cz/S0924271699000180/1-s2.0-S0924271699000180-ain.pdf?_tid=632796ba-4cdf-11e7-98b9-00000aab0f27&acdnat=1496990978_e8fc5695848505dac47503b875b26df3
 - **GOMES PEREIRA, L. M. a WICHERSON, R. J. (1999):** Suitability of laser data for deriving geographical information: A case study in the context of management of fluvial zones. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Volume 54, Issue 2/3, p. 105–114. [online]. [cit. 30. 5. 2017]. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.is.cuni.cz/science/article/pii/S0924271699000076>
 - **HÁNEK, P. (2017):** Terénní tvary. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu. [online]. [cit. 16. 4. 2017]. Dostupné z: http://www2.zf.jcu.cz/~hanek00/GEODA/dopl_n_mat/09_1_ter%C3%A9nn%C3%A9D%20tvary.pdf
 - **KALRA, P. (2009):** Canny Edge Detection. [online]. [cit. 12. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.cse.iitd.ernet.in/~pkalra/col783/canny.pdf>

- **KARLÍČEK, L. (2014):** Rozpoznávání význačných rysů triangularizovaných modelů. Diplomová práce, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni, 81 s.
- **JAROŠ, J. (2011):** Detekce linií terénní kostry z dat leteckého laserového skenování. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, 86 s.
- **KOKALJ, Ž. a HESSE, R. (2017):** Airborne laser scanning raster data visualization: A Guide to Good Practice. *Prostor, kraj, čas*, č. 14, 90 s. [online]. [cit. 23. 7. 2018]. Dostupné z: https://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/pkc014_kokalj.pdf
- **KOKALJ, Ž., ZAKŠEK, K. a OŠTIR, K. (2011):** Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models. *Antiquity* 85 (327): 263–273. [online]. [cit. 23. 7. 2018]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257315893_Application_of_sky-view_factor_for_the_visualization_of_historic_landscape_features_in_lidar-derived_relief_models
- **KRAUS, K. a PFEIFER, N. (1998):** Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Volume 53, Issue 4, p. 193–203. [online]. [cit. 3. 3. 2017]. Dostupné z: https://ac-els-cdn-com.ezproxy.is.cuni.cz/S0924271698000094/1-s2.0-S0924271698000094-main.pdf?_tid=4c55cc2c-c183-46c6-9801-387a2a1df6f6&acdnt=1535632090_a59abb61c16e7bd39ade7e0e8d4397f8
- **KRAUS, K. a PFEIFER, N. (2001):** Advanced DTM generation from lidar data. *International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing*. Annapolis: Volume 34, Part 3/W4, p. 23–30. [online]. [cit. 3. 3. 2017]. Dostupné z: citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.150.7055&rep=rep1&type=pdf
- **KŘÍŽEK, M., UXA, T. a MIDA, P. (2016):** Praktikum morfometrických analýz reliéfu. Karolinum, 178 s.
- **LEMMENS, M. (2007):** Airborne Lidar Sensors. *GIM International*, Volume 21, Issue 2, p. 24–27. [online]. [cit. 3. 3. 2017]. Dostupné z: <https://www.gim-international.com/content/article/airborne-lidar-scanners?output=pdf>

- **MathWorks (2018):** bwmorph, Documentation. [online]. [cit. 1. 12. 2018]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/bwmorph.html#bui7adf-1-operation>
- **MIKITA, T. (2014):** Využití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství přednáška č.8: Letecké laserové skenování. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. [online]. [cit. 25. 10. 2018]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis4.pdf
- **MÍSAŘOVÁ, D. (2015):** Základy kartografie. Studijní materiál Masarykovy univerzity. [online]. [cit. 5. 10. 2018]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/podzim2015/Ze2RC_KTK1/um/Cviceni_2_vyskovy_profil.pdf
- **MORIN, K. W. (2002):** Calibration of Airborne Laser Scanners Calgary. Diplomová práce, Univerzita Calgary, 125 s. [online]. [cit. 3. 3. 2017]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.73.5013&rep=rep1&type=pdf>
- **NELSON, A., REUTER, H. I. a GESSLER, P. (2009):** DEM Production Methods and Sources. In: HENGL, T. a REUTER, H. I. (2009): Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, Volume 33, p. 65–86.
- **O'CALLAGHAN, F. J. a MARK, M. D. (1984):** The extraction of drainage networks from digital elevation data. Computer Vision, Graphics and Image Processing, Volume 28, Issue 3, p. 323–344. [online]. [cit. 30. 5. 2017]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734189X84800110>
- **OŠTIR, K., KOKALJ, Ž. a PEHANI, P. (2010):** Sky-View Factor Based Visualization. Institute of Anthropological and Spatial Studies. [online]. [cit. 6. 12. 2018]. Dostupné z: <https://iaps.zrc-sazu.si/en/svf#v>
- **PETERKOVÁ, T. (2015):** Zpřesnění průběhu vodních toků z dat leteckého laserového skenování. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, 77 s.
- **PICEK, J. (2014):** Vizualizace digitálních modelů reliéfu vytvořených z dat leteckého laserového skenování. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, 79 s.

- **RIEGER, W. (1992):** Automated river line and catchment area extraction from dem data. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, The Vienna University of Technology, Vienna, Austria, ISPRS Commission IV, p. 642–649. [online]. [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: http://www.isprs.org/proceedings/XXIX/congress/part4/642_XXIX-part4.pdf
- **SINHA, U. (2018):** The Canny Edge Detector. AI Shack. [online]. [cit. 12. 7. 2018]. Dostupné z: <http://www.aishack.in/tutorials/canny-edge-detector/>
- **ŠILHAVÝ, J. (2016):** Automatické vymezení morfolineamentů. Disertační práce, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni, 138 s.
- **TARBOTON, D. G. (1997):** A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. Water resources research, Volume 33, No. 2, p. 309–319. [online]. [cit. 30. 8. 2018]. Dostupné z: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/96WR03137>
- **VICHROVÁ, M. (2011):** Topografické mapování KMA/TOMA. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd - KMA, oddělení geomatiky. [online]. [cit. 16. 4. 2017]. Dostupné z: http://old.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika_multimedialne/TOMA/Morfologie%20terennich%20tvaru_T.pdf
- **VUGTK (2017):** Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí. Terminologická komise ČÚZK. [online]. [cit. 16. 4. 2017]. Dostupné z: <https://www.vugtk.cz/slovník/>
- **WILD, D., KRZYTEK, P. a MADANI, M. (1996):** Automatic Breakline Detection Using an Edge Preserving Filter. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 31, Part B3, p. 946–952. [online]. [cit. 16. 4. 2017]. Dostupné z: http://www.isprs.org/proceedings/XXXI/congress/part3/946_XXXI-part3.pdf
- **YOKOYAMA, R., SHIRASAWA, M. a PIKE, R. J. (2002):** Visualizing Topography by Openness: A New Application of Image Processing to Digital Elevation Models. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Volume 68, No. 3, p. 257–265. [online]. [cit. 7. 12. 2018]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/c3d9/a561fdb9e8c34a2b79152aea72b46090bb2e.pdf>

- **YOSHIZAWA, S., BELYAEV, A. a SEIDEL, H.-P. (2005):** Fast and Robust Detection of Crest Lines on Meshes. ACM symposium on Solid and Physical Modeling, p. 227–232. [online]. [cit. 16. 6. 2017]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/f019/61084581cb9d0647dcb2f0fdce382da131cd.pdf>
- **ZAKŠEK, K. a kol. (2013):** Relief Visualization Toolbox. Institute of Anthropological and Spatial Studies. (RVT Manual) [online]. [cit. 21. 6. 2018]. Dostupné z: <https://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#v>
- **ZAKŠEK, K., OŠTIR, K. a KOKALJ, Ž. (2011):** Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. Remote Sensing 3, p. 398–415. [online]. [cit. 21. 6. 2018]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/49620296_Sky-View_Factor_as_a_Relief_Visualization_Technique

Přílohy

Příloha 1: Skript pro nalezení okrajových pixelů

```
clear all;
clc;

%nahrání vstupního rastru
I = imread('lokalita1.tif');

%zobrazení vstupního rastru
figure(1)
imshow(I)

%aplikace morfologického operátoru k nalezení okrajových
pixelů a jeho zobrazení
BW = bwmorph(I, 'remove');
imshow(BW)
```

Příloha 2: Skript pro výpočet hran dle metody Cannyho

```
clear all;
clc;

%nahrání vstupního rastru
I = imread('lokalita1.tif');

%zobrazení vstupního rastru
figure(1)
imshow(I)

%aplikace cannyho metody detekce hran a následné
zobrazení
BW1 = edge(I, 'canny');
imshow (BW1)
```