

**Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Ústav systémového inženýrství a informatiky**

**Definování přínosů laserových dat  
v oblasti krizového řízení**

**Roman Mareš**

**Bakalářská práce  
2018**

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Mareš**  
Osobní číslo: **E14825**  
Studijní program: **B6209 Systémové inženýrství a informatika**  
Studijní obor: **Informační a bezpečnostní systémy**  
Název tématu: **Přínosy laserových dat v oblasti krizového řízení**  
Zadávající katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je definování možných přínosů laserových dat v oblasti krizového řízení. Práce bude obsahovat charakteristiku sběru dat pomocí metod laserového mapování, charakteristiku laserových dat, výběr softwaru pro práci s daty a na základě souboru řešených příkladů student definuje možné přínosy laserových dat v oblasti krizového řízení.

Osnova:

- Dálkový průzkum Země a digitální zpracování obrazu.
- Laserová data.
- Krizové řízení.
- Příkladová studie.
- Přínosy v oblasti krizového řízení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**LIANG, S. Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application. ISBN 978-1402064494.**

**LILLESAND, T., M., KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 2005. ISBN 047087001X.**

**LIU, J. G. Essential Image Processing and Gis For Remote Sensing. 2009. ISBN 978-0470510315.**

**LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W. Geographic Information Systems and Science. Wiley, 2005. ISBN 978-0470870013.**

**WENG, Q. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods and Applications. ISBN ic Cartography and Geovisualization. 2010. ISBN 978-0132298346.**

**ROUDNÝ, R., SOUŠEK, R.. Management bezpečnosti. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-864-0.**



Vedoucí bakalářské práce:

**Mgr. Pavel Sedlák, Ph.D.**

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **1. září 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2018**



doc. Ing. Romana Provaníková, Ph.D.  
děkanka

L.S.



doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.  
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 1. září 2017

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval/a samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil/a, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako Školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Dušejově dne 27. 04. 2018

Roman Mareš

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Mgr. Pavlu Sedlákovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, názory, připomínky, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce.

## **ANOTACE**

*Tato práce se zaměřuje na využití laserových dat v oblasti krizového řízení. V práci jsou popsány vybrané geoinformační technologie, laserové skenování a metoda leteckého laserového skenování, pomocí které jsou získána data zájmového území. Tyto data jsou následně zpracována a vizualizována v programu ArcGIS Desktop. Přínos této práce spočívá v definování přínosů laserových dat v oblasti krizového řízení.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*laser, letecké laserové skenování, krizové řízení*

## **TITLE**

*Defining the benefits of laser data in crisis management*

## **ANNOTATION**

*This thesis deals with the use of laser data in crisis management. The thesis describes selected geoinformation technologies, laser scanning and airborne laser scanning which is used to obtain data from the area of interest. These data are then processed and visualized in ArcGIS Desktop. The aim of this thesis is to define benefits of the laser data in the area of crisis management.*

## **KEYWORDS**

*laser, airborne laser scanning, crisis management*

# OBSAH

ÚVOD.....	10
1 Geoinformační technologie .....	11
1.1 Geografické informační systémy .....	11
1.2 Dálkový průzkum Země .....	11
1.3 Globální navigační a polohové systémy .....	12
2 Technologie laserového skenování.....	13
2.1 Laser a definice laserového skenování .....	13
2.2 Princip laserového skenování .....	14
2.3 Zpracování dat .....	15
2.3.1 Filtrace dat .....	15
2.3.2 Klasifikace dat .....	15
3 Letecké laserové skenování .....	16
3.1 Lidar a principy leteckého laserového skenování .....	16
3.2 Výhody a nevýhody leteckého laserového skenování .....	17
4 Krizové řízení .....	18
5 Současný stav řešené problematiky .....	20
6 Vlastní zpracování .....	22
6.1 Charakteristika zájmového území.....	22
6.2 Použitý software .....	23
6.3 Vstupní data .....	23
6.4 Příprava dat .....	24
6.5 Vlastní zpracování .....	25
6.6 Vizualizace.....	25
7 Přínosy dat z laserového skenování.....	31
7.1 Vizualizace zájmového území .....	31
7.2 Mapování povodní .....	31

7.3	Identifikace rizikových svahů .....	31
7.4	Mapování a prevence v lesnictví .....	32
7.5	Vojenské a policejní využití .....	32
7.6	Mapování škod po zemětřesení.....	32
7.7	Orientace zakřiveného reliéfu.....	32
ZÁVĚR.....		33
Použitá literatura.....		34
Seznam příloh.....		37

## **SEZNAM ILUSTRACÍ**

Obrázek 1: Zájmové území .....	22
Obrázek 2: LASutility .....	24
Obrázek 3: Vizualizace části mračna bodů v programu LASUtility .....	24
Obrázek 4: Mračno bodů .....	26
Obrázek 5: Sklonitost svahů v LAS modelu .....	27
Obrázek 6: Klasifikace TIN modelu dle nadmořské výšky.....	28
Obrázek 7: Stínovaný reliéf.....	29
Obrázek 8: Orientace svahů.....	30



## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ALS	Airborne Laser Scanning
ČR	Česká republika
GIS	Geografické informační systémy
DMR	Digitální model reliéfu
DMT	Digitální model terénu
DMP	Digitální model povrchu
GNSS	Global Navigation Satellite System
LIDAR	Light detection and ranging
LLS	Letecké laserové skenování
MLS	Mobilní laserové skenování
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
TIN	Triangulated irregular network
TLS	Terestrické laserové skenování
ZABAGED	Základní báze geografických dat České republiky

# ÚVOD

Tato práce se věnuje využití dat z laserového měření v krizovém řízení a následnému definování možných přínosů.

Sběr laserových dat patří mezi mladé technologie, ale v současné době je využíváno v mnoha odvětvích lidské činnosti. Jedno z nejčastějších využití je tvorba digitálních modelů na základě laserových dat, ale laserová data jsou využívána také např. těžbě hornin, kdy tato technologie dokáže odhadnout množství hornin k vytěžení. Tato data také pomáhají archeologům objevovat nová místa, která jsou nedostupná, nebo skrytá pod vegetací. Uplatnění se nachází také v herním průmyslu, kde je tato technologie používána např. pro nasnímání závodních tratí a data jsou následně použita pro vytvoření modelové kopie ve virtuálním prostředí. Laserová data jsou taktéž používána v armádním prostředí, kde pomáhají vytvořit přesné mapy vojákům prozkoumat a pochopit prostředí v kterém se budou pohybovat.

Práce je rozdělena do sedmi částí. V první kapitole jsou uvedeny vybrané metody geoinformačních technologií, které představují základy této práce. Následující kapitola obsahuje technologii laserového skenování a detailní popis této technologie, která tvoří základ pro většinu mapovacích metod. Také zde bude popsáno zpracování dat, které je úzce svázáno se sběrem dat pomocí této technologie. Třetí kapitola představuje specifickou metodu laserového skenování, jmenovitě letecké laserové skenování. Výběr této metody má své opodstatnění v přednostech a výhodách, kterými tato metoda disponuje. Definování, vysvětlení a jednotlivým krizovým situacím v krizového řízení se věnuje čtvrtá kapitola. V následující kapitole jsou představeny práce a studie, které se vážou k oblasti monitorování, dálkového průzkumu a skenování v krizovém řízení. Předposlední kapitola představuje praktickou část. Data zde byla zpracována a následně vizualizována v softwarovém prostředí. V poslední kapitole jsou popsány poznatky a určeny možné přínosy v oblasti krizového řízení.

Cílem této diplomové práce je definovat možné přínosy laserového skenování v oblasti krizového řízení.

# 1 GEOINFORMAČNÍ TECHNOLOGIE

Geoinformačních technologie umožňují zpracovávat, analyzovat a prezentovat uživatelům prostorová data ve spojení s daty popisnými.

Definice geoinformačních technologií je velké množství a podle [22] jsou „*geoinformační technologie specifické informační technologie určené pro získávání, ukládání, integraci, analýzu, interpretaci, distribuci, užívání a vizualizaci geodat a geoinformací*“.

Mezi základní geoinformační technologie se řadí geografické informační systémy, dálkový průzkum Země, globální navigační satelitní systémy, digitální modely reliéfu, počítačová kartografie a prostorové modelování. [22]

## 1.1 Geografické informační systémy

Jak uvádí Rapant [22], jednoznačná definice pro GIS (Geografické informační systémy) neexistuje, jelikož každý autor upravuje tento pojem podle prostředí, z kterého pochází. Uvedu tedy běžně používaný pojem. „*Geografický informační systém (GIS z angl. Geographic information system) je běžně používán pro označení počítačových systémů orientovaných na zpracování geografických dat, prezentovaných především v podobě různých map*“ [22].

## 1.2 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země představuje metody a postupy, zabývající se pozorováním objektů a jevů v různém prostředí bez přímého kontaktu. Toto je umožněno fyzikálními zákony, že každý fyzikální objekt ovlivňuje okolní elektromagnetické, případně silové pole, pocházející z umělých (různé druhy skenerů) či přirozených zdrojů (Země, Slunce). [20]

Detektory jsou rozdělovány do dvou základních tříd, aktivní a pasivní. Přístroje založené na pasivním zdroji měří přirozeně existující energii. Lze je tedy použít pouze tehdy, kdy je taková energie k dispozici. Druhou skupinu tvoří přístroje aktivní, které nejprve vysílají paprsky a následně je měří. Dále můžeme rozlišovat senzory zobrazující, které vytvářejí obraz objektu, nebo senzory nezobrazující, které měří celkovou charakteristiku objektu. [10]

Podle způsobu sběru dat rozlišujeme mobilní laserové skenování (MLS), při kterém jsou nosiče umístěny na dopravním prostředku, terestrické laserové skenování (TLS), kdy jsou detektory umístěny stacionárně na stativu a letecké laserové skenování (LLS), kdy jsou využívány jako nosiče letadla, satelity, vrtulníky. [20]

Do dálkového průzkumu Země patří také laserové skenování, kterému bude v této práci věnována samostatná kapitola.

### **1.3 Globální navigační a polohové systémy**

Jedná se o proces, který umožňuje při použití signálů z družic určit s velkou přesností polohu bodu na zemském povrchu. Aplikace využívající signály GNSS se uplatňují nejen v železniční, silniční, námořní a letecké dopravě, ale i v dalších oblastech jako jsou geodézie a zemědělství. Výsledky měření s přesností na centimetry jsou dostupné téměř okamžitě. [21]

System obsahuje tři základní složky: kosmický, řídicí a uživatelský segment.

Kosmický segment je tvořen umělými družicemi Země, které obíhají kolem planety po předem určených drahách. Každá družice je vybavena atomovými hodinami, přijímačem a vysílačem. „*Kosmický segment je vždy navržený tak, aby zajistil co nejlepší pokrytí zemského povrchu signály z družic*“. [26]

Řídicí segment je tvořen jednou hlavní a několika monitorovacími stanicemi, které zajišťují chod celého navigačního systému. Mezi hlavní úkoly spadá např. sledování signálů a konstelace družic, zajištění správnosti systémového času GNSS a správa komunikace. [26]

Uživatelský segment je tvořen uživateli, kteří jsou vybaveni vhodným GNSS přístrojem, který je schopen přijímat a zpracovávat GNSS signály. [26]

## 2 TECHNOLOGIE LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Laserové skenování, nebo zkráceně LIDAR (Light Detection And Ranging), je metoda zkoumání povrchu pomocí laserového zařízení, která daný povrch naskenuje. V krátkém časovém rozpětí je na danou plochu území vyslán vysoký počet laserových paprsků, které se následně odrazí zpět do přístroje. Tyto data obsahují informace o tvaru, případně vzhledu objektu. Následně se tato data využívají na sestavení digitálních dvourozměrných (2D), či trojrozměrných (3D) modelů vhodných pro širokou škálu použití. [27]

Lasery využíváme v každodenním životě. Běžně se s nimi setkáváme zejména v optických čtečkách úložných zařízení (CD/DVD), čárových kódů či jako laserová ukazovátka. Také se například používají na řezání různých druhů kovů v průmyslu a také na lékařské a vojenské účely. [27]

### 2.1 Laser a definice laserového skenování

Laser je zařízení, které je schopné generovat paprsek světla za využití velmi úzkého pásma spektra. Typický laser vysílá tenký paprsek s nízkou odchylkou a dobře definovanou vlnovou délkou (případně konkrétní barvou, pokud laser pracuje ve viditelném spektru). Zde se odlišuje např. od žárovky, která vysílá paprsky světla do všech stran a v širokém spektru vln. [27]

Primárním úkolem laseru je tedy generovat nebo zesilovat světlo, podobně jako například tranzistory generují či zesilují elektrické signály na různých frekvencích. Zkratka "laser" (z angl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), znamená "Světelné zesílení stimulovaným vypouštěním záření". [27]

Laserové světlo je generováno laserovým zařízením. Toto světlo má ovšem některé speciální vlastnosti. Je vysíláno ve formě paprsku, který má vysoký stupeň prostorové koherence. Lze jej zaměřit na malý konkrétní bod a přenáší se i do velkých vzdáleností. „Viditelné paprsky mají konkrétní barvy (např. červená, zelená, modrá), nikdy však bílou či purpurovou. Většina laserů s krátkým a středním dosahem využívá vlnové délky 1 064 nm (blízké infračervené záření) nebo 532 nm (zelené světlo)“ [27]. Laserové záření může být viditelné, ale většina laserů emituje především v oblasti blízké infračervenému spektru. Světlo vycházející z laseru není vždy kontinuální, ale může být vysíláno ve formě krátkých nebo velmi krátkých pulzů. Kvůli svým soudržným vlastnostem zůstávají laserové paprsky zaostřené i při projekci na vzdálené objekty. Díky těmto vlastnostem je laserové světlo velmi vhodné pro měření objektů. Přední výhodou této metody spočívá ve schopnosti zaznamenat obrovské množství bodů s vysokou přesností

v relativně krátkém časovém úseku. Vzhledem k omezenému zornému poli zařízení je třeba pro úplné zachycení daného území použití zařízení z několika skenovacích stanovišť. [27]

Používají se dva typy laserového skenování, a to statické a dynamické. Pokud je skener během celého průběhu skenování umístěn v jedné pozici, hovoříme o statickém laserovém skenování. Jeho výhodou je vysoká přesnost a relativně vysoká hustota bodů. Statické skenování jako celek patří pod terestrické (pozemní) laserové skenování. [27]

Druhým typem skenování je dynamické laserové skenování. Skenovací zařízení je umístěno na pohyblivé platformě. Toto skenování vyžaduje současné využití polohovacích zařízení jako je např. GPS (Globální polohový systém) nebo GNSS (Globální navigační satelitní systémy). Příkladem použití dynamického laserového skenování je letecké laserové skenování, skenování pomocí dálkově ovládaného přístroje, tj. bezpilotní zařízení (UAV z angl. Unmanned Aerial Vehicle), či skenování z pohybujícího se automobilu. [27]

## **2.2 Princip laserového skenování**

Laserové skenování je založeno na vydávání laserových paprsků. Přístroj obsahuje zdroj laserového záření, mechanický prvek, optickou soustavu, hodiny a detektor elektromagnetického záření. [27]

Jako zdroje laserového záření se v dnešní době používají lasery rubínové, nebo lasery diodové. Diodové lasery jsou především používány u laseru nevyžadujících vysoký výkon, které mají jednoduchou implementaci, vysokou variabilitu a další výhody. Přesto se použití konkrétního laseru určuje např. podle požadované délky záření, nebo požadovaným výkonem. U detektorů jsou používány světlocitlivé diody spektrálně synchronizované na stejnou vlnovou délku, jakou má zdroj záření. Detektor záření musí být velmi citlivý, jelikož zachycuje vysílaný svazek paprsků, který se odráží od skenovaného objektu. Úloha optické soustavy je zajistit koncentraci záření do úzkého svazku paprsků a zajistit souosost detektoru a emitoru. Obvykle se zde využívá hranolu, nebo zrcadla, které jsou umístěny na mechanickém prvku. Úkolem mechanického prvku je zajistit směřování paprsku vždy pod jiným úhlem. Použitím mechanického prvku je proces snímání několikanásobně rychlejší a není tedy potřeba manuálního otáčení celého přístroje. [27]

Poslední částí jsou hodiny s vysokou přesností, které mají za úkol měřit čas, který uplyne od vyslání svazku paprsků po jejich zachycení detektorem. Na základě rychlosti světla lze určovat polohu každého měřeného bodu. [4] [27]

## **2.3 Zpracování dat**

Surová data představující mračna bodů jsou po provedení laserového skenování nepřehledná. Proto po procesu skenování následuje jejich zpracování. Používají se zde dvě metody. První metoda je filtrace, ve které jsou filtrovány pouze body, které leží na jediném druhu povrchu. Druhá metoda je klasifikace, ve které probíhá rozdělení bodů do předdefinovaných tříd. [4]

### **2.3.1 Filtrace dat**

Při laserovém skenování dochází k odrazu paprsku nejen od zemského terénu, ale také od budov, elektrického vedení případně korun stromů. Všechny tyto body musí být při tvorbě digitálního modelu terénu odfiltrovány. [4]

Při ruční editaci by tato operace vyžadovala enormní časové prostředky. Postupem času byly tedy vyvinuty automatické postupy, které na základě nadefinování upraví data do požadované podoby. Mezi často využívané metody patří především morfologické filtry, filtry využívající metodu nejmenších čtverců či filtry založené na porovnání sklonu. Každý z těchto filtrů má za výsledek odlišné zobrazení digitálního modelu. Výsledek filtrace je také značně závislý na hustotě bodů laserového měření a tvaru terénu. [4]

### **2.3.2 Klasifikace dat**

Pokud jsou data určena ke komplexnějšímu použití, je třeba využití klasifikace, při které probíhá roztřídění bodů podle druhu objektů, na kterém leží. Cílem je přiřazení všech obrazových bodů do určitých tříd. Často se využívají tři třídy (budova, vegetace, terén). Obecně se používá dvou způsobů klasifikace dat. Klasifikace pod dohledem funguje na principu porovnání každého bodu s cvičnými daty pro zjištění, do jaké třídy tento bod zařadit. Klasifikace bez dohledu pracuje na principu zařazení všech bodů do tříd na základě digitálních čísel v obrazu. Naměřené body je možné klasifikovat podle výškových poměrů s okolím bodu, ale také podle spektrálních vlastností, nebo podle odrazivosti z laserového měření. Většina klasifikačních metod vždy probíhá v cyklech. V každém cyklu se pracuje vždy pouze s jednou třídou a každý následující cyklus pracuje pouze s neroztříděnými daty. [28]

## 3 LETECKÉ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

### 3.1 Lidar a principy leteckého laserového skenování

Lidar je stejně jako radar metoda aktivního dálkového průzkumu země. Tato technologie je velmi podobná pozemnímu laserovému skenování. Laser vysílá signály k povrchu a následně se měří vzdálenost mezi nosičem lidaru a zemským povrchem na základě času, který uplyne mezi vysláním laserového paprsku, jeho odrazem od překážky a návratem do lidarového přijímače odražených impulsů. [17]

Metoda leteckého laserového skenování patří do skupiny metod tzv. dálkového průzkumu Země. V zahraničí je tato metoda známa pod názvem Airborne Laser Scanning (zkráceně ALS). Základem technologie je lidar. V tomto případě lidar nepracuje ze země, ale je připevněn k nosiči pohybujícímu se ve vzduchu. Nejčastějším typem nosiče je letadlo případně vrtulník. [12]

Moderní princip sběru dat je založený na kombinaci několika přístrojů. Hlavním prvkem je laserový skener emitující vysokou rychlostí laserové impulsy (10 000 až 100 000 pulsů za sekundu), vysoce přesné hodiny, palubní počítač a dostatečné uložení pro data. Impulsy jsou následně po odrazu od povrchu zachycovány citlivým detektorem. Díky měření časových rozdílů mezi vysláním impulsu a přijetím jeho odrazu lze přesně určit polohu bodů, od kterých se odrazil signál. Sběr dat probíhá často v noci. Lety jsou naplánovány s dostatečným překrytím (30 až 50%), aby se zajistilo úplné pokrytí. [17]

Surová data ALS jsou zpracovávána do dvou digitálních modelů. Jedná se o tzv. model povrchu (DMP) a model terénu (DMT). Rozdílnost těchto modelů je v určení, které odrazy laserového impulsu do výpočtu následně zahrneme. Pokud se v trase laserového paprsku k zemskému povrchu nacházejí různé menší překážky, např. sloupy elektrického vedení, koruny stromů apod., část impulsu se od nich odrazí. Průměr laserového paprsku má u země až několik desítek centimetrů. Z jednoho vyslaného impulsu je tak lze možno zaznamenat několik odrazů. Model povrchu včetně vegetace a nadzemních objektů vzniká, pokud jsou zpracovány první odrazy. Model holého terénu vzniká, pokud jsou využity jen poslední odrazy. Z tohoto modelu je následně možno pomocí specializovaných programů odfiltrvat různé objekty. [12]



### **3.2 Výhody a nevýhody leteckého laserového skenování**

Mezi přední výhody LLS patří schopnost proniknout skrz vegetaci a koruny stromů a za pomoci algoritmu vytvářet jak digitální model terénu (DMT), tak digitální model povrchu (DMP). Letadlo taktéž může pracovat v prostředí, kde se kvůli neprostupnosti oblasti nedá použít metoda pozemního skenování. Výhodou zde také tvoří možnost mapování velkých ploch, které je v porovnání s měřením v terénu nesrovnatelně méně náročnější na čas. LLS je taktéž možné provádět kdykoliv během celého dne. Další klad spočívá v absolutní přesnosti měřených poloh, která je srovnatelná s přesností dosaženou pomocí pozemního geodetického měření, kde je ovšem doba měření v terénu nesrovnatelně delší než mapování z letadla. Letecké skenování ale nepomáhá pouze s mapováním známých prostředí, ale i s vyhledáváním nových oblastí, které jsou z různých důvodů nepřístupné. [7]

Jako nevýhody se uvádí závislost na stavu atmosféry, případně na výskytu oblačnosti, kouře či mlhy. Není ovšem specifikováno, do jaké míry tyto faktory ovlivňují výsledky skenování. Také je nutné podotknout, že laserové paprsky nemohou pronikat skrze pevné materiály, včetně zemského povrchu. Pokud je při snímání použit laser blízký infračervenému spektru, je toto záření vodou a sněhem pohlcováno. Přestože je metoda LLS finančně náročnější oproti leteckému snímání, dosahuje při stejných podmínkách neporovnatelně lepších výsledků. [7]

## 4 KRIZOVÉ ŘÍZENÍ

Termín krizové řízení vznikl jako nástroj pro řešení různých krizových situací vojenského charakteru. Následně se tento termín začal používat i při pojmenovávání procesů spojených se zvládáním krizových situací např. přírodního, ekonomického či podnikového charakteru. Své uplatnění v krizovém řízení našla i data z laserového skenování. [1]

*„Krizový management je ucelený soubor teoretických přístupů, praktických doporučení a metod, uplatňovaných v hierarchickém a funkčně propojeném systému orgánů veřejné správy, právnických a fyzických osob, jehož cílem je minimalizovat (zamezit) možnost vzniku krize nebo (v případě, že krize již nastala) redukovat rozsah škod a minimalizovat dobu trvání krize. Důležitou součástí krizového řízení je i odstraňování následků působení negativních faktorů krizových situací a obnova systému do nového (vylepšeného) běžného stavu.“ [1]*

Krizové řízení je tvořeno na úrovni státu, vlády, územních i místních orgánů, řídicích orgánů podniků a organizací, je propojeno s řízením složek integrovaného záchranného systému, ale i dobrovolných organizací, které pomáhají při řešení mimořádných událostí. Důležitou součástí krizového řízení je krizové plánování. [14]

*„Krizové řízení je souhrn řídicích činností orgánů krizového řízení zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik, plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s přípravou na krizové situace a jejich řešením.“ [14]*

*„Krizovou situací se stává mimořádná událost, narušení kritické infrastruktury nebo jiné nebezpečí, při nichž je vyhlášen stav nebezpečí, nouzový stav nebo stav ohrožení státu se stává krizovou situací“. [14]*

*„Mimořádnou událostí rozumíme škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací“. [14]*

Teorie krizového řízení rozeznává čtyři stádia vývoje krize. První stav se označuje stav nebezpečí. Tento stav se může vyhlásit v části, nebo v celém kraji, jsou-li ohroženy životy, majetek, životní prostředí apod., v důsledku živelné, ekologické nebo průmyslové havárie. Jako druhý je nouzový stav, vyhlášen vládou České Republiky, který ohrožuje životy, bezpečnost a majetkové hodnoty ve značném rozsahu v důsledku živelních, průmyslových a ekologických havárií. Třetí stav je ohrožení státu, který je vyhlášen Parlamentem České Republiky v důsledku ohrožení státní svrchovanosti, demokratických základů nebo územní celistvosti státu. Jako poslední je válečný stav, který vyhláší Parlament České Republiky při hrozbě napadení nebo je-li země napadena. [1]

## 5 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Metoda leteckého laserového skenování našla své uplatnění v posledních letech v mnoha oborech jako je např. lesnictví, archeologie, stavebnictví, meteorologie a také geodezie.

LLS v lesnictví z počátku pracovalo především s atributy jako jsou výška stromu, objem dřevní hmoty a objem biomasy. S postupným rozvojem technologií se rozrostlo pole atributů i na přesné určování dřevin, vyhledávání a vykreslování jednotlivých stromů. V současné době dokáže tato technologie monitorovat pokácené i padlé stromy a také množství a změny v korunách stromu. [24]

Možnosti využití LLS v oblasti bezbariérovosti zpracoval Ducháč. [5] Ve své práci se zaměřil na výhody jednotlivých metod mobilního mapování s ohledem na jejich možné využití. V závěru své práce popsal přednosti těchto metod, mezi které patří především vysoká přesnost, díky které je možno získávat a vytvářet detailní modely pro implementování bezbariérových prvků.

Jak uvádí [12], význam LLS v archeologii představuje především prostorová identifikace památek a dokumentace jejich současného stavu. Zde dochází k upřesnění řady terénních reliktnů. Přístup k datům LLS také umožnil objevování nových reliktnů, které se v krajině nacházejí. Metoda LLS může objevovat nové informace na již objevených památkách. Částečným limitem analýz krajin jsou nedostatečně podrobné digitální modely a tento limit by měla data z LLS pomoci minimalizovat. Data LLS jsou ovšem v ČR na počátku svého využití, na rozdíl od některých jiných zemí.

Studie pojednávající o využití dat z LLS pro mapování a určování povrchu silnic porovnává výsledky této metody s klasickou metodou, ve které jsou používány letecké snímky. Ve studii je uvedeno, že lze použít i automatickou metodu pro rozpoznání silnice. Výsledky této studie ukazují ve prospěch metody s využitím LLS, kde je výsledek správně klasifikovaných silnic přes 80 %, zatímco při použití leteckých snímků je výsledek přes 71 %. [13]

Mezi jedno z novějších využití laserového skenování patří spojení vytváření interiérů budov s daty katastrálního úřadu. Modely se zde používají ve fázi projektování a výstavby budovy, v aplikacích, které podporují správu nemovitostí, v navigačních a marketingových systémech, a nakonec v krizovém managementu a bezpečnostních systémech. V práci je uvedeno, že v současné době existuje velmi málo informací, ale implementace vytvořených modelů je poměrně jednoduchá. Výhodou je zde především snížení nákladů díky možnosti provádění

změn v modelu bez nutnosti přepracovávání fyzických výkresů. [8]

Potřeba rychlé detekce škod v důsledku přírodních katastrof, teroristických útoků a dalších krizových situací přinesla pro lidar další možnost využití. Dochází zde k porovnávání stavu před a po katastrofě, kdy algoritmus porovnává objekty a podle toho určuje předběžné škody. Cílem je, aby byl operační nástroj implementován v terénu, s využitím dostupných zařízení v prostředí a v reálném čase. [16]

Příkladem využití laserového skenování při přírodní katastrofě je určování škod po rozsáhlých požárech. Tyto informace jsou velmi důležité především pro země se značným množstvím požárů, jako je například USA, Austrálie, Španělsko, Řecko a Portugalsko. Metriky detekující změny jsou v tomto případě velmi citlivé, aby odhalily i jemnou změnu způsobenou požárem. [9]

K využití technologie lidarů dochází také při záplavách. Při záplavách je provedeno letecké laserové skenování. Následně je provedena klasifikace naměřených bodů rozdělením na zaplavené a nezaplavené body a vytvoření modelu výšky povodňových vod. Z tohoto měření je vytvořen digitální model, který je odečten od DMT pro získání mapy hloubky povodní. [11]

Laserové skenování se také uplatňuje při ochraně obyvatelstva. Tento projekt představuje spojení postupu a tradičních metod při předpovědi uvolnění kamenů ze svahu. Projekt byl proveden na třech svazích, ze kterých byly vymodelovány 3D modely pro rekonstrukci tvaru a objemu nejstabilnějších bloků a následné určení polohy oblastí dopadu kamení. Tento navrhovaný přístup může být užitečný při podpoře správných programů údržby a správy půdy jak v běžných, tak v mimořádných situacích. [6]

LLS má využití i při detekcích sesuvů půdy. Tradiční metody jsou časově náročné a nákladné. Často také hustá vegetace komplikuje tvorbu podrobných mapových podkladů pro tyto oblasti. V rámci testovaných lokací dosáhla metoda LLS lepších výsledků než tradiční metody. Výsledky tedy ukázaly, že navrhované postupy mají potenciál vytvářet přesné a vhodné mapy sesuvů a mají tak uplatnění i v této oblasti. [19]

V rámci spojení krizového řízení a obrany republiky vznikla studie [25], která je zaměřena na možnost navrhování dočasných mostů, případně dočasných komunikací při zničení, nebo narušení kritické infrastruktury. Na základě údajů z LLS je popsáno několik příkladů pro navrhnutí vojenských budov. Data z LLS jsou zde využita pro vytvoření DMT zájmového území. Následně tento model slouží jako základ pro navrhování dočasných mostů, nebo dočasných komunikací.

## 6 VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ

Tato kapitola se věnuje zpracování dat, provedení analýz a jejich vyhodnocení. Data pro účely této práce poskytl Ústav systémového inženýrství a informatiky, Fakulta ekonomicko-správní, Univerzita Pardubice.

### 6.1 Charakteristika zájmového území

Zájmové území se nachází v Pardubickém kraji. Přesněji jde o oblast v okolí malé obce Leština na pomezí okresů Chrudim a Ústí nad Orlicí, která se nachází 5 km od Nových Hradů. Zkoumaná oblast zahrnuje řeku Novohradku. Minimální nadmořská výška v zájmovém území je 328 m n. m., maximální 505 m n. m.



Obrázek 1: Zájmové území

*Zdroj: vlastní zpracování*

## 6.2 Použitý software

Pro prvotní přípravu dat byl použit software LASUtility. Pro následnou vizualizaci a práci s modely bylo použito softwarového balíku ArcGIS Desktop, konkrétně aplikace ArcMap. Tato aplikace slouží především pro mapové úlohy zahrnující kartografii, prostorové analýzy a editaci dat. Pro práci s daty a jejich analýzu je zde dostupných mnoho tzv. geoprocessingových nástrojů. [2]

## 6.3 Vstupní data

Vstupní data pochází z databáze ZABAGED (Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®)). Datové sady vznikly v letech 2009 až 2013 metodou LLS. Data jsou pravidelně aktualizována a zpřesňována. [29]

Tato data poskytují informace o výškových poměrech terénního reliéfu, respektive povrchu (včetně staveb a rostlinného pokryvu) České republiky. Zeměměřický úřad v současné době spravuje a poskytuje několik výškopisných datových sad rozdílné úrovně podrobnosti a přesnosti výškopisu. [29]

*„DMP České republiky 1. generace (DMP 1G) představuje zobrazení území včetně staveb a rostlinného pokryvu ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohraničené (lesy a další prvky rostlinného pokryvu).“ [3]*

*„DMR České republiky 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu.“ [3]*

*„DMR České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.“ [3]*

Rozdíl mezi modely DMR 4G a DMR 5G spočívá v zaměření jednotlivých modelů. DMR 4G je zaměřen na regionální uplatnění, zatímco DMR 5G je přesnější a je určen především k práci s lokálním charakterem.

## 6.4 Příprava dat

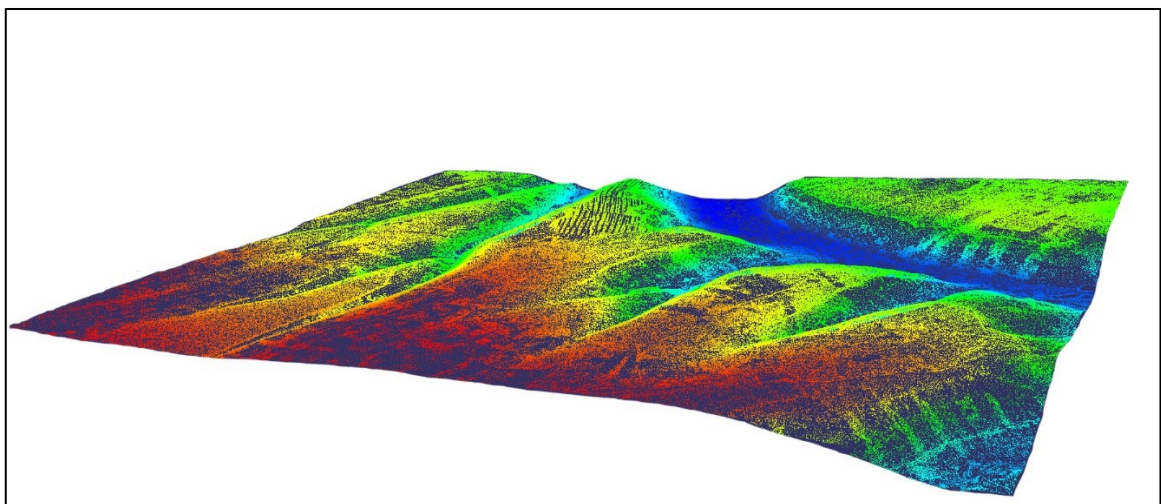
Původní data jsou v ASCII formátu s příponou *.xyz*. Tato data je třeba převést do *.las* formátu. Pro snadnější převod mezi těmito formáty bylo pro využito aplikace LASUtility. Tato aplikace je volně stažitelný software, který lze užívat pro nekomerční účely. Obsluha aplikace je velmi jednoduchá. [15]



**Obrázek 2:** LASutility

*Zdroj: vlastní zpracování*

Stisknutím *Convert* se otevře nabídka na převod mezi formáty. Zvolí se *XYZI to LAS*, následně se vybere první zdrojový soubor, verze LAS souboru, cílová složka a aplikace převede data z formátu *.xyz* do formátu *.las*. Tento postup opakujeme pro každý soubor. Po převodu lze tento soubor otevřít pomocí funkce *View*. Náhled na tento soubor poskytuje obrázek č.3.



**Obrázek 3:** Vizualizace části mračna bodů v programu LASUtility

*Zdroj: vlastní zpracování*



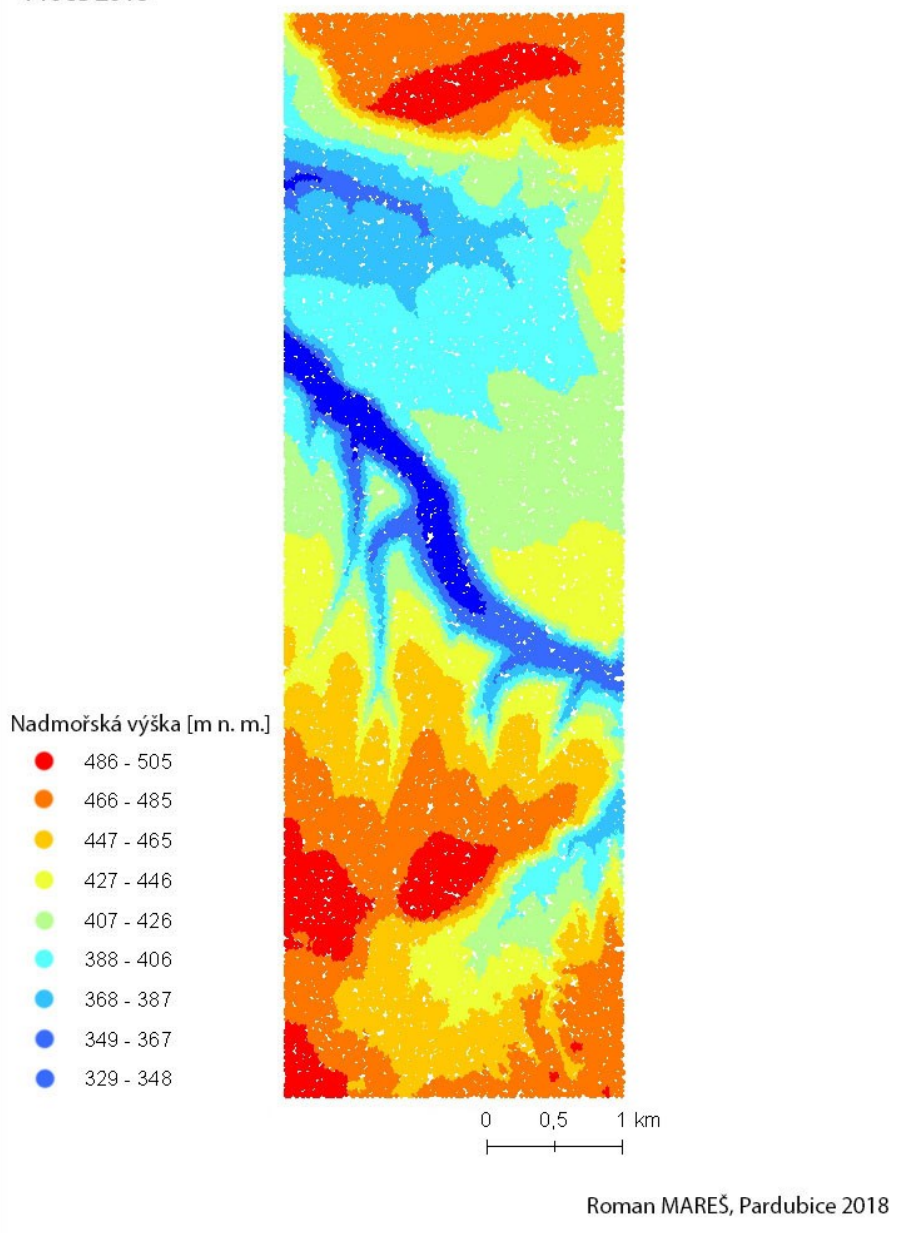
## 6.5 Vlastní zpracování

Při práci v ArcGIS bylo využito především integrované aplikace ArcToolbox, která obsahuje nástroje pro geoprocessing, které byly primárně použity. Pro práci s laserovými daty je dostupný panel nástrojů *LAS Dataset*, který umožňuje import a následné zpracování libovolného množství dat. Importovat ale pouze soubory s příponou *.las* nebo *.laz*. Data byla tedy převedena do formátu *.las* a bylo potřeba tyto jednotlivé soubory spojit v jeden ucelený soubor dat. Tuto možnost poskytuje nástroj *Create LAS Dataset*, ve kterém se navolí cesta ke zdrojovým souborům, následně se zvolí výstupní složka a vše se potvrdí volbou *OK*. Výstupem tohoto nástroje je jednotný soubor, který umožňuje vizualizaci všech naměřených bodů.

## 6.6 Vizualizace

Na základě vizuálního testování vhodného počtu intervalů, byl model klasifikován do devíti intervalů podle nadmořské výšky. Jako klasifikační metoda byla zvolena výchozí metoda *Natural Break (Jenks)*. Tento model lze vidět na obrázku č. 4. a umožňuje prvotní náhled na zájmové území.

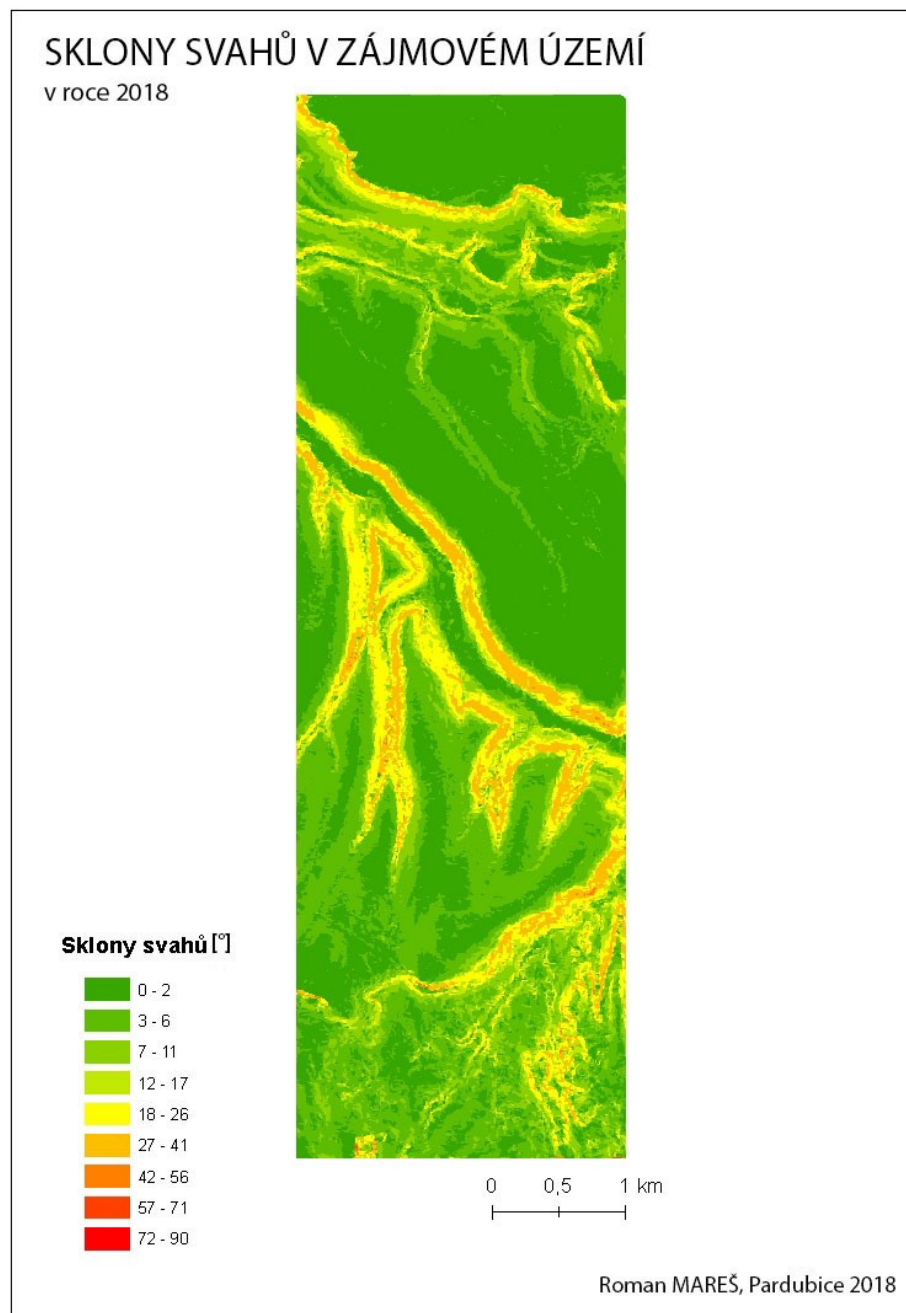
# MRAČNO BODŮ V ZÁJMOVÉM ÚZEMÍ v roce 2018



**Obrázek 4:** Mračno bodů

*Zdroj: vlastní zpracování*

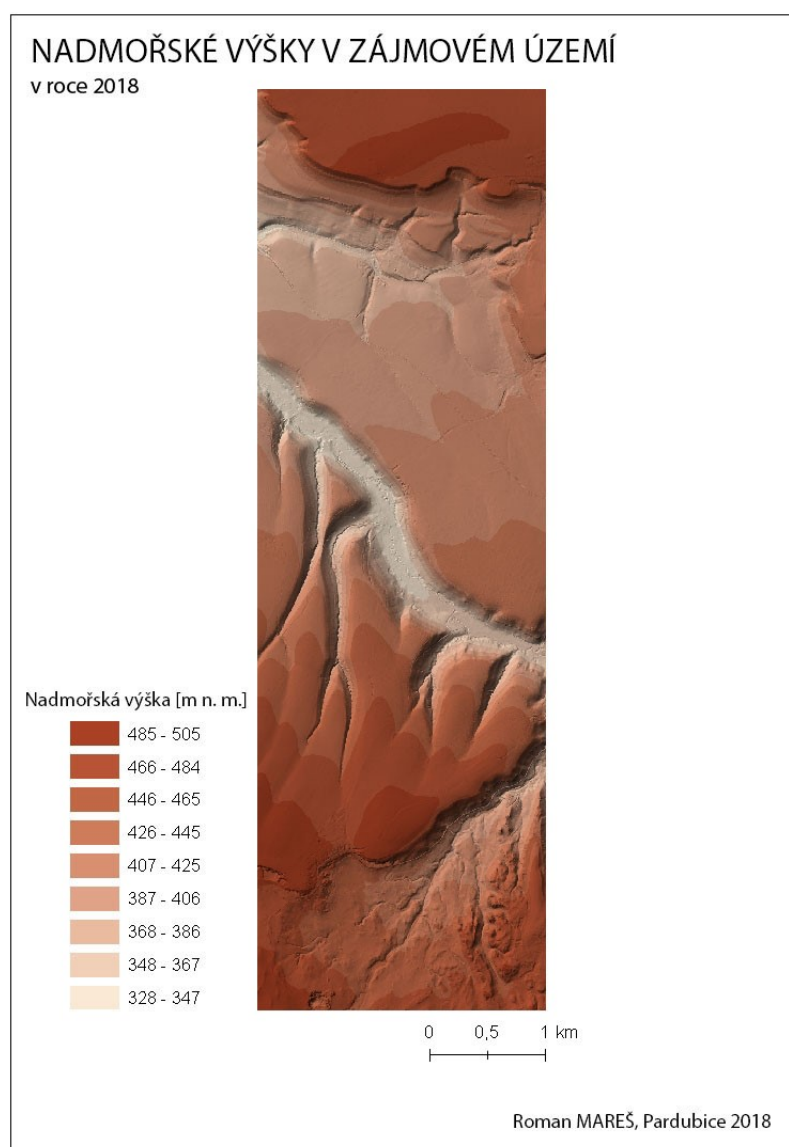
Pro zobrazení sklonů svahů lze v panelu nástrojů *LAS Dataset* přepnout ze zobrazení výškových bodů na zobrazení sklonů svahů volbou *Slope*. Tento model je vizualizován na obrázku č. 5. a ukazuje na zvýšený sklon v okolí říčního toku, kde se sklony pohybují především v rozmezí mezi 26° až 56°. Zvýšené hodnoty je také možno pozorovat v severní části modelu. Na zbylé části zájmového území se hodnoty sklonu pohybují v hodnotách do 10°.



**Obrázek 5:** Sklonitost svahů v LAS modelu

*Zdroj: vlastní zpracování*

Pro tvorbu 3D DMR byl použit nástroj *LAS Dataset To TIN*. Triangulovaný povrch (TIN) je povrch vytvořený triangulací. Ze vstupních dat (vrstevnic) jsou vybrány body, které jsou vrcholy jednotlivých trojúhelníků a jako výsledek je 3D model terénu, složený z trojúhelníků. Jako vstup byl zvolen LAS Dataset vytvořený v předchozích krocích. Následně je zvolena výstupní složka a potvrzen výběr. Po vytvoření TIN modelu zvolíme z důvodu malého rozpětí nadmořských výšek a také pro lepší čitelnost barevné odstíny jedné barvy. Kliknutím pravého tlačítka myši a zvolením možnosti *Properties* se zobrazí vlastnosti tohoto modelu. V záložce *Symbology* a nabídce *Color Ramp* je zvoleno vyhovující barevné zobrazení. Výsledný model je možno vidět na obrázku číslo 5.

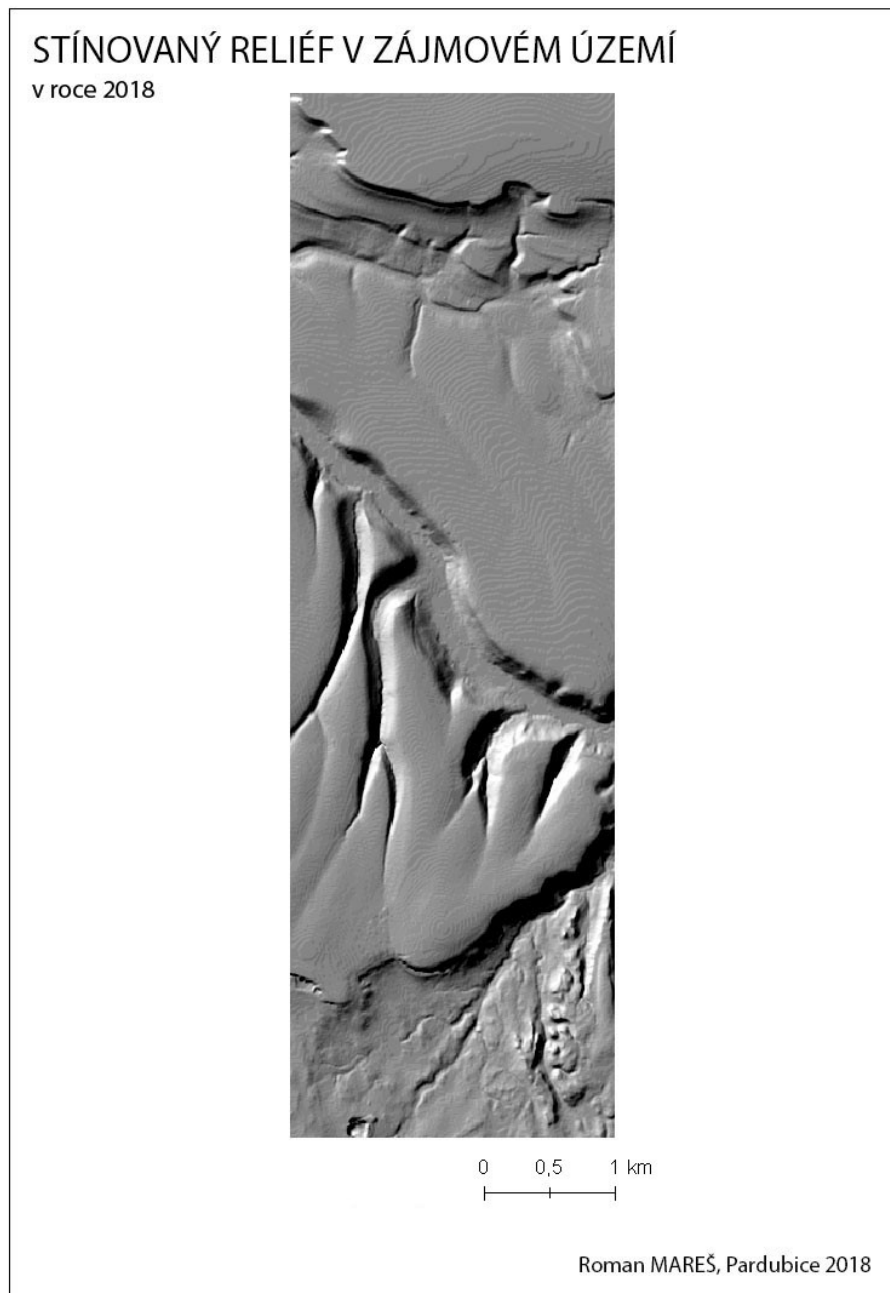


**Obrázek 6:** Klasifikace TIN modelu dle nadmořské výšky

*Zdroj: vlastní zpracování*

Pro vytvoření modelu stínovaného reliéfu byl použit nástroj *LAS Dataset to Raster*. Bylo použito výchozí nastavení, které pracuje s metodou *Binning*.

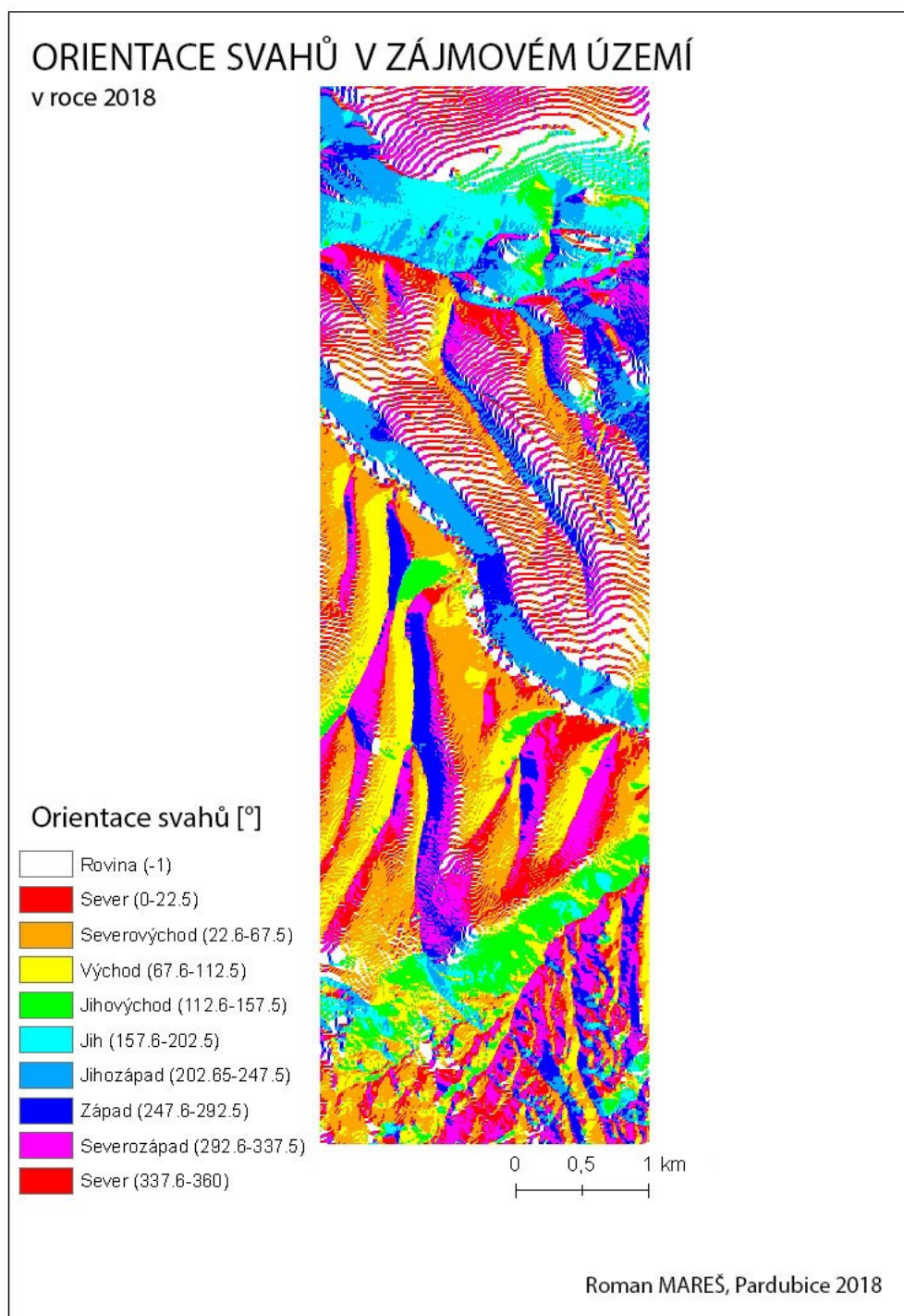
Pro následné zvýraznění tvaru terénu byl na tento model použit nástroj *Hillshade*. *Hillshade* je 3D reprezentace povrchu v různých odstínech šedé barvy, přičemž relativní pozice slunce je brána v úvahu pro zastínění obrazu. Tato funkce používá vlastnosti nadmořské výšky a azimutu pro určení polohy slunce.



**Obrázek 7:** Stínovaný reliéf

*Zdroj: vlastní zpracování*

Model orientace svahů byl vytvořen nástrojem *Aspect*. Jako vstup byl zvolen stínovaný reliéf a jako metoda zpracování byla zvolena planární metoda. Tato metoda funguje na principu měření maximální změny hodnot okolních bodů v porovnání s aktuálně zpracovávaným bodem.



**Obrázek 8:** Orientace svahů

*Zdroj: vlastní zpracování*

## **7 PŘÍNOSY DAT Z LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ**

Prostorové informace jsou nezbytné pro účely krizového řízení. Díky nim mohou být vytvořeny analýzy určené pro rozhodování v krizových situacích, nebo mapy obsahující potencionální riziko, např. zemětřesení, sesuvy půdy nebo záplavy. Tyto zdroje dat jsou využívány především integrovaným záchranným systémem během přírodních katastrof, ale také vědci, manažery a konstruktéry při práci na opatřeních k prevenci možných dopadů katastrof.

Tyto informace a mapové údaje by nebylo možné získat bez použití metod jako je například: letecké fotografování, laserové skenování a také letecké laserové skenování. Využívají se jejich největší přednosti jako je rychlost sběru, bezkontaktnost, detailnost a mnoho dalších.

### **7.1 Vizualizace zájmového území**

Použití geoinformačních technologií pro práci s daty a vizualizaci mapových podkladů je výborným prostředkem, jak v případě krizové situace získat úplný přehled o zájmovém území. Díky digitálním modelům je možno si zájmové území zobrazit např. podle nadmořské výšky, sklonitosti terénu, nebo se můžeme pomocí 3D vizualizaci volně pohybovat nad terénem. Toto použití může následně rozhodovat o správnosti a efektivnosti přijatého opatření.

### **7.2 Mapování povodní**

S rostoucí hrozbou globálního oteplování vzniká potřeba včasné analýzy povodňových rizik, předpovědí a případného určení kritických oblastí. V současné době jsou data z laserových měření velmi přesná a mají své postavení v boji s touto hrozbou. V rámci prevence je zájmové území zpracováno do digitálního modelu a následně je možné například pomocí modelu zobrazující nadmořské výšky předpovědět průběh a rozsah povodně. V případě probíhající krize umožňuje efektivní sběr laserových dat monitorování hloubky zaplavení. Zpracovaný model po uplynulé krizi je schopen odhalit množství i výšku vody v rámci zaplaveného území a na základě tohoto modelu je poté možno učinit patřičné kroky, aby se tato krize neopakovala.

### **7.3 Identifikace rizikových svahů**

Jako rizikové svahy lze označit především strmé, nebo kamenité svahy, kde hrozí uvolnění kamenů či sesuv půdy. Zpravidla bývá sklon svahů náchylných k sesuvu půdy větší než 22 stupňů. Sesuvy půdy mohou v blízkosti obydlí nebo silnic způsobit značné škody. Vizualizace zájmového území formou sklonitosti terénu umožňuje identifikovat zájmové



oblasti a těmto oblastem se následně věnovat. Digitální modely jsou velmi podrobné a umožňují tak detekci i jednotlivých objektů, které by mohly představovat hrozbu. Mezi rizikové oblasti ale lze také zahrnout chodníky, nebo různé vyvýšené objekty, které mohou v rámci bezbariérovosti působit obtíže případně překážky. Ve všech případech tak mohou vytvořené modely a podklady sloužit pro návrhy opatření a změn pro minimalizaci těchto rizik.

#### **7.4 Mapování a prevence v lesnictví**

Data z laserového skenování jsou velmi často používána v lesnictví, především pro plánování a správu lesů. Tato technologie je použita pro důkladné měření výšky stromů, hustoty vegetace a také pro odhadování rozlohy kořenů na základě výšky stromů. V posledních letech se tato data stávají velmi prospěšnými v oblasti správy lesních požárů. Díky digitálním modelům je možno zmapovat oblasti, ve kterých hrozí riziko požáru a tyto získané údaje pak mohou být použity k jejich prevenci.

#### **7.5 Vojenské a policejní využití**

Armáda využívá tuto technologii pro mapování bojišť a získání informací, které mohou následně pomoci ke správnému rozhodnutí a také pro určení přesných pozic nepřítele, včetně jejich kapacit. Také je využívána pro vyhledávání všech nepřátelských zbraní a tanků. U policie je tato technologie použita v radarech, které měří přesnou rychlost vozidel.

#### **7.6 Mapování škod po zemětřesení**

Škody způsobené zemětřesením mohou být obtížně určitelné a měřitelné. Díky využití laserového skenování je nyní snadné shromažďovat data před zemětřesením a po zemětřesení, aby bylo možné vyhodnotit způsobené škody a také pomoci v budoucí prevenci.

#### **7.7 Orientace zakřiveného reliéfu**

V závislosti na orientaci zemského povrchu vůči světovým stranám můžeme rozlišovat například severní svahy, které jsou vhodné kupříkladu pro výstavbu sjezdovek, nebo naopak jižní svahy, kam dopadá více slunečního záření, a tudíž zde může být riziko záplav v důsledku rychlého odtávání sněhu. Tyto modely také znázorňují roviny, které mohou být využity v případě nouze k bezpečnému přistání záchranných složek.



## ZÁVĚR

V této bakalářské práci byly popsány metody laserového skenování v oblasti dálkového průzkumu Země a byly definovány možné přínosy laserového skenování v oblasti krizového řízení.

Jako nejvhodnější metoda pro sběr velkého množství laserových dat je metoda leteckého laserového skenování, která byla využita pro sběr dat použitých v této práci. Výhoda leteckého laserového skenování spočívá především v dostupnosti oblastí, do kterých se jiná technika nedostane a možnosti mapování velkých ploch v krátkém časovém intervalu, oproti skenování pozemnímu.

Letecké laserové mapování je mladým, ale již velmi populárním způsobem získávání dat, které funguje na principu laserové technologie. Data získaná touto metodou jsou zapsána v souřadnicovém systému včetně výšky bodu. Jako celek tvoří mračna bodů, která jsou následně klasifikována a zpracována v jednotlivých softwarových aplikacích.

Zájmová lokalita se nachází v Pardubickém kraji, poblíž obce Leština. Pro přípravu dat bylo využito softwaru LASUtility, ve kterém byla data převedena do vhodného formátu a následná tvorba modelů probíhala v ArcGIS Desktop.

Na základě rešerše a provedených studií je možné popsat následující přínosy laserového skenování v oblasti krizového řízení. Prvním z přínosů je možnost vizualizace zájmového území ve dvou- nebo trojrozměrném formátu. Digitální model zobrazující nadmořské výšky umožňuje předpovědět průběh a rozsah povodně a může také posloužit při výstavbě protipovodňových opatření. Model sklonitosti terénu umožňuje identifikaci svahů náchylných k sesuvu půdy. Dalším přínosem laserového skenování je využití v lesnictví, kde tato technologie umožňuje správu lesů a mapování oblastí rizikových pro vznik požárů. Digitální modely jsou také využívány bezpečnostními složkami pro získání informací o prostředí a nepříteli. Díky laserovému skenování je také možné porovnat data před zemětřesením a po něm a vyhodnotit tak škody způsobené touto živelnou katastrofou. Přínosem modelu orientace svahů vůči světovým stranám je možná identifikace svahů, kde může vzniknout riziko tvorby lavin, riziko rychlého odtávání sněhu a následných záplav.

Práci mohou využít pracovníci oddělení krizového řízení a studenti zabývající se problematikou využití dat z laserového skenování.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ANTUŠÁK, Emil a KOPECKÝ, Zdeněk. *Úvod do teorie krizového managementu I. 2.* vyd. Praha: Oeconomica, 2003. ISBN 80-245-0548-7.
- [2] Desktopový GIS. ArcMap [online]. Arcdata Praha [cit. 2.4.2018]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>
- [3] ZABAGED® - výškopis – úvod. [online]. Poslední aktualizace: 5.1.2018 [cit. 25.3.2018]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(2gmniw4drk4szs3ur045xsyt\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopisZBG&side=vyskopis&head\\_tab=sekce-02-gp&menu=30](http://geoportal.cuzk.cz/(S(2gmniw4drk4szs3ur045xsyt))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopisZBG&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30)
- [4] DOLANSKÝ, Tomáš. *Lidary a letecké laserové skenování.* [online]. Universita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 2004. ISBN 80-7044-575-0. [cit. 16.3.2018]. Dostupné z: <http://wvc.pf.jcu.cz/ki/data/files/160lidaryweb.pdf>
- [5] DUCHAČ, Adam. *Využití dat z mobilního mapování v bezbariérovosti.* Hradec Králové, 2012. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Fakulta ekonomicko-správní.
- [6] GIGLI, Giovanni, MORELLI, Stefano, FORNERA, Simone a CASAGLI, Nicola. *Terrestrial laser scanner and geomechanical surveys for the rapid evaluation of rock fall susceptibility scenarios* [online]. 2014. [cit. 6.4.2018]. Dostupné z: doi:10.1007/s10346-012-0374-0.
- [7] GOJDA, Martin. a JOHN Jan. *Archeologie a letecké laserové skenování krajiny.* [online]. 1. vyd. Plzeň: Katedra archeologie, Západočeská univerzita v Plzni, 2013. 255 s. [cit. 19.3.2018]. ISBN 978-80-261-0194-9. Dostupné z: [http://www.arup.cas.cz/wp-content/uploads/2010/05/Lidar-in-Archaeology\\_lr.pdf](http://www.arup.cas.cz/wp-content/uploads/2010/05/Lidar-in-Archaeology_lr.pdf)
- [8] GOTLIB, Dariusz. a KARABIN, Marcin. *Integration of Models of Building Interiors with Cadastral Data. Reports on Geodesy and Geoinformatics.* [online]. 2018, **104**(1), 102 s [cit. 6.4.2018]. Dostupné z: doi:10.1515/rgg-2017-0018
- [9] GUPTA, Vaibhav, REINKE, Karin, JONES, Simon, WALLACE, Luke a HOLDEN, Lucas. *Assessing Metrics for Estimating Fire Induced Change in the Forest Understorey Structure Using Terrestrial Laser Scanning* [online]. 2015. [cit. 6.4.2018]. ISSN 7. 8180-8201. Dostupné z: doi:10.3390/rs70608180.

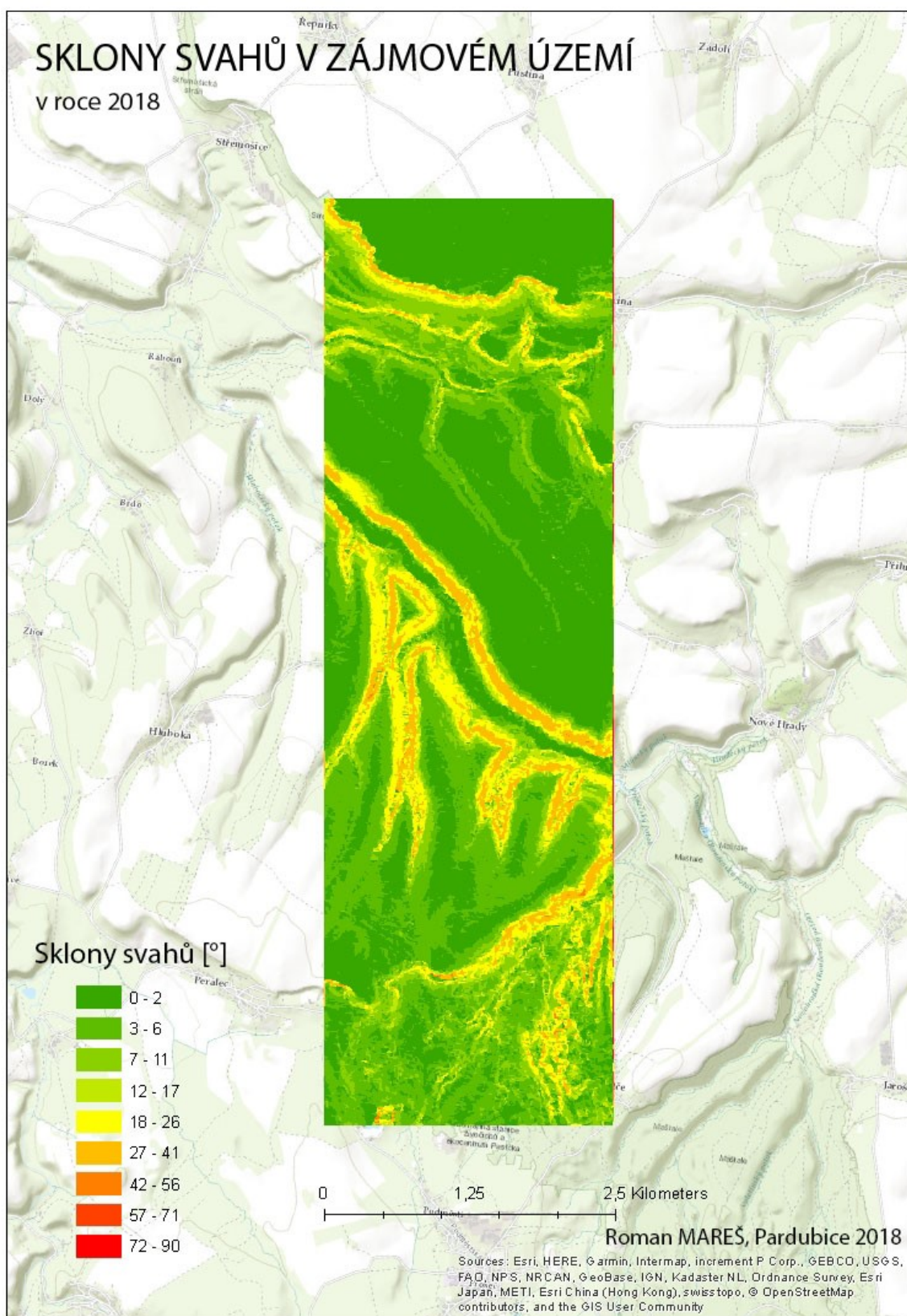
- [10] HALOUNOVÁ, Lena a PAVELKA, Karel. *Dálkový průzkum Země*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03124-1.
- [11] CHEN, Bo. *Using LiDAR surveys to document floods: A case study of the 2008 Iowa flood*. [online]. Amsterdam, 2017. [cit. 6.4.2018]. ISSN: 0022-1694 Dostupné z: doi:10.1016/j.jhydrol.2017.08.009
- [12] JOHN, Jan. *Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii: úvodní informace o projektu*. [online]. Plzeň, 2010 [cit. 2.3.2018] Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/266180637\\_Letecke\\_laserove\\_skenovani\\_ALSLIDAR\\_a\\_moznosti\\_jeho\\_vyuziti\\_v\\_archeologii\\_-\\_uvodni\\_informace\\_o\\_projektu](https://www.researchgate.net/publication/266180637_Letecke_laserove_skenovani_ALSLIDAR_a_moznosti_jeho_vyuziti_v_archeologii_-_uvodni_informace_o_projektu)
- [13] KARILA, Kirsi, MATIKAINEN, Leena, PUTTONEN, Eetu A HYPPÄ, Juha. *Feasibility of Multispectral Airborne Laser Scanning Data for Road Mapping* [online]. 2017. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: doi:10.1109/LGRS.2016.2631261.
- [14] Kraj Vysočina. *Krizový management*. [online] 2003. [cit. 1.3.2018]. Dostupné z: <https://www.kr-vysocina.cz/krizovy-management/d-318141>
- [15] *LASUtility* [online] Bharat Lohani, IIT Kanpur [cit. 20.4.2018]. Dostupné z: <http://home.iitk.ac.in/~blohani/LASUtility/LASUtility.html>
- [16] LABIAK, Rick. *Automated method for detection and quantification of building damage and debris using post-disaster lidar data*. [online]. 2011. [cit. 3.4.2018]. Dostupné z: doi: 10.1117/12.883509
- [17] LILLESAND, Thomas, KIEFER, Ralph W. a CHIPMAN, Jonathan. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 2005. ISBN 047087001X.
- [18] LONGLEY, Paul A., GOODCHILD, Michael F., MAGUIRE, David J., RHIND, David W. *Geographic Information Systems and Science*. Wiley, 2005. ISBN 978-0470870013.
- [19] MEZAAL, Mustafa, PRADHAN, Biswajeet, SHAFRI, Helmi, MD YUSOFF, Zainuddin a IBRAHIM, Maher. *Optimized Neural Architecture for Automatic Landslide Detection from High-Resolution Airborne Laser Scanning Data* [online]. 2017. [cit. 6.4.2018]. Dostupné z: doi:10.3390/app7070730.

- [20] PLÁNKA, Ladislav. *Dálkový průzkum Země*. [online] Modul 01, Brno, 2007. [cit 4.3.2018] Dostupné z: [http://fast.darmy.net/opory%20-%20IV%20nMgr/HE05\\_M01-D%C3%A1lkov%C3%BD%20pr%C5%AFzkum%20Zem%C4%9B%20-%20Teorie.pdf](http://fast.darmy.net/opory%20-%20IV%20nMgr/HE05_M01-D%C3%A1lkov%C3%BD%20pr%C5%AFzkum%20Zem%C4%9B%20-%20Teorie.pdf)
- [21] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. 200 s. ISBN 80-248-0124-8. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Petr\\_Rapant/publication/310378256\\_Druzicove\\_p\\_olohove\\_systemy/links/582c467508ae138f1bf70cd3/Druzicove-polohove-systemy.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Petr_Rapant/publication/310378256_Druzicove_p_olohove_systemy/links/582c467508ae138f1bf70cd3/Druzicove-polohove-systemy.pdf)
- [22] RAPANT, Petr. *Úvod do geografických informačních systémů*. [online]. Ostrava, 2002. Skriptum. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. [cit. 15.4.2018]. Dostupné z: [http://katedry.fmfi.vsb.cz/616/soubory/Rapant\\_GIS.pdf](http://katedry.fmfi.vsb.cz/616/soubory/Rapant_GIS.pdf)
- [23] ROUDNÝ, R., SOUŠEK, R. *Management bezpečnosti*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-864-0.
- [24] SEDLÁČKOVÁ, Oldřiška. *Využití dat leteckého laserového skenování v lesních porostech*. Praha, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Karlova.
- [25] SOBOTKA, Jan, CIBULOVÁ, Klára. *Designing Military Constructions During Crisis Situation and New Elevation Data of the Czech Republic* [online]. 2017. [cit. 6.4.2018]. ISBN 978-981-10-3246-2. Dostupné z: doi: 10.1007/978-981-10-3247-9\_20
- [26] ŠEBESTA, Jiří. *Globální navigační systémy*. [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, FEKT, UREL, 2012. 132 s. [cit. 17.4.2018]. ISBN: 978-80-214-4500-0. Dostupné z: [www.urel.feec.vutbr.cz/~sebestaj/RAR/literatura/Globalni\\_navigacni\\_systemy.pdf](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~sebestaj/RAR/literatura/Globalni_navigacni_systemy.pdf)
- [27] VAN GENECHTEN, Björn. *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications*. [online]. 2008. [cit. 11.3.2018]. ISBN 978-84-8363-312-0. Dostupné z: <https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/201130>
- [28] WENG, Qihao. *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods and Applications*. ISBN ic Cartography and Geovisualization. 2010. ISBN 978-0132298346.
- [29] ZABAGED® - polohopis – úvod. *Geoportál ČÚZK: přístup k mapovým produktům a službám resortu* [online]. 17.8.2017. [cit. 2.4.2018]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1xj3uptr2xktbpbxw0fhb0dd\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady\\_zabaged&side=zabaged&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(1xj3uptr2xktbpbxw0fhb0dd))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)

## SEZNAM PŘÍLOH

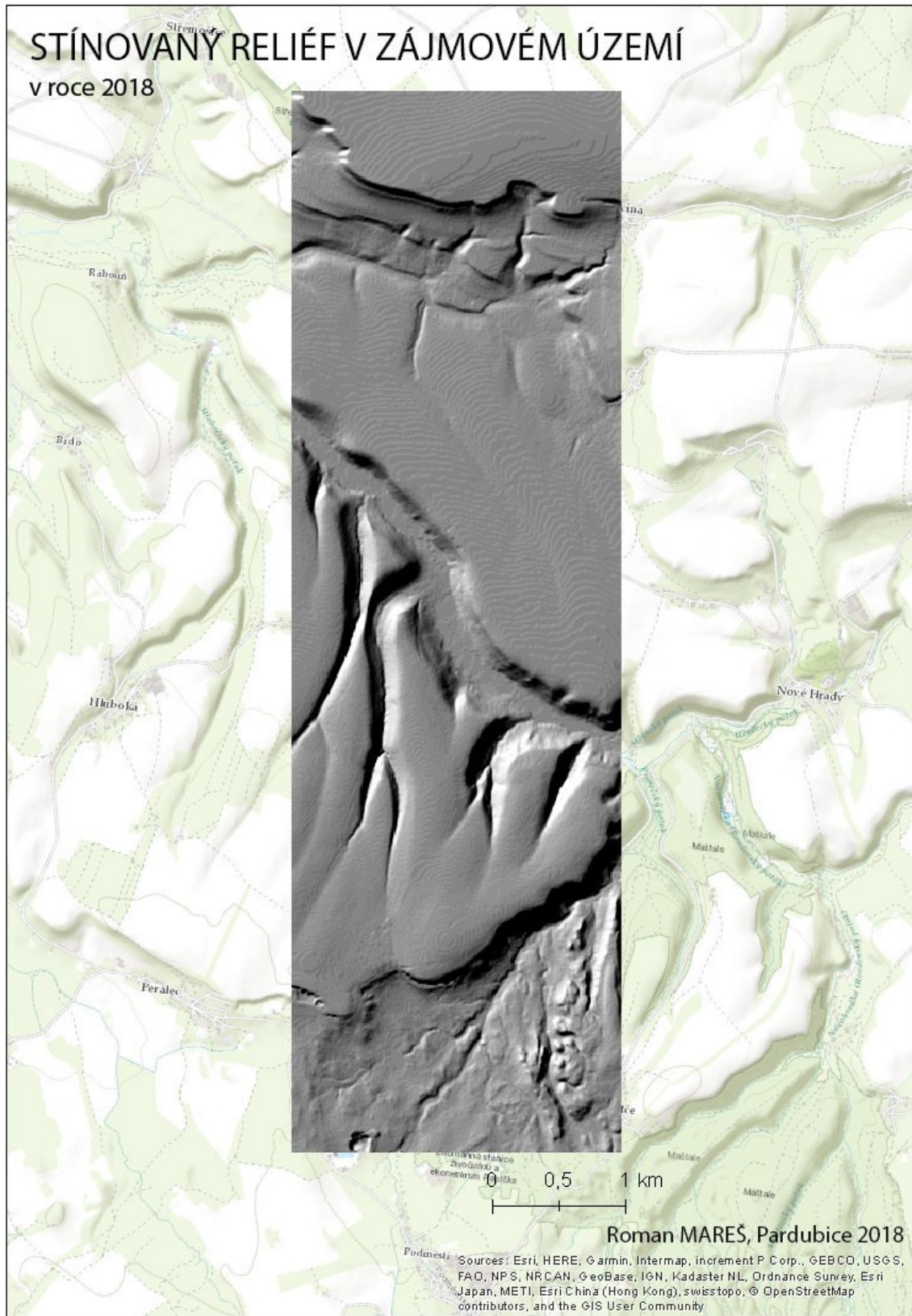
Příloha A: Sklony svahů v zájmovém území .....	38
Příloha B: Stínovaný reliéf v zájmovém území.....	39
Příloha C: Nadmořské výšky v zájmovém území .....	40
Příloha D: Orientace svahů v zájmovém území .....	41

## Příloha A: Sklony svahů v zájmovém území

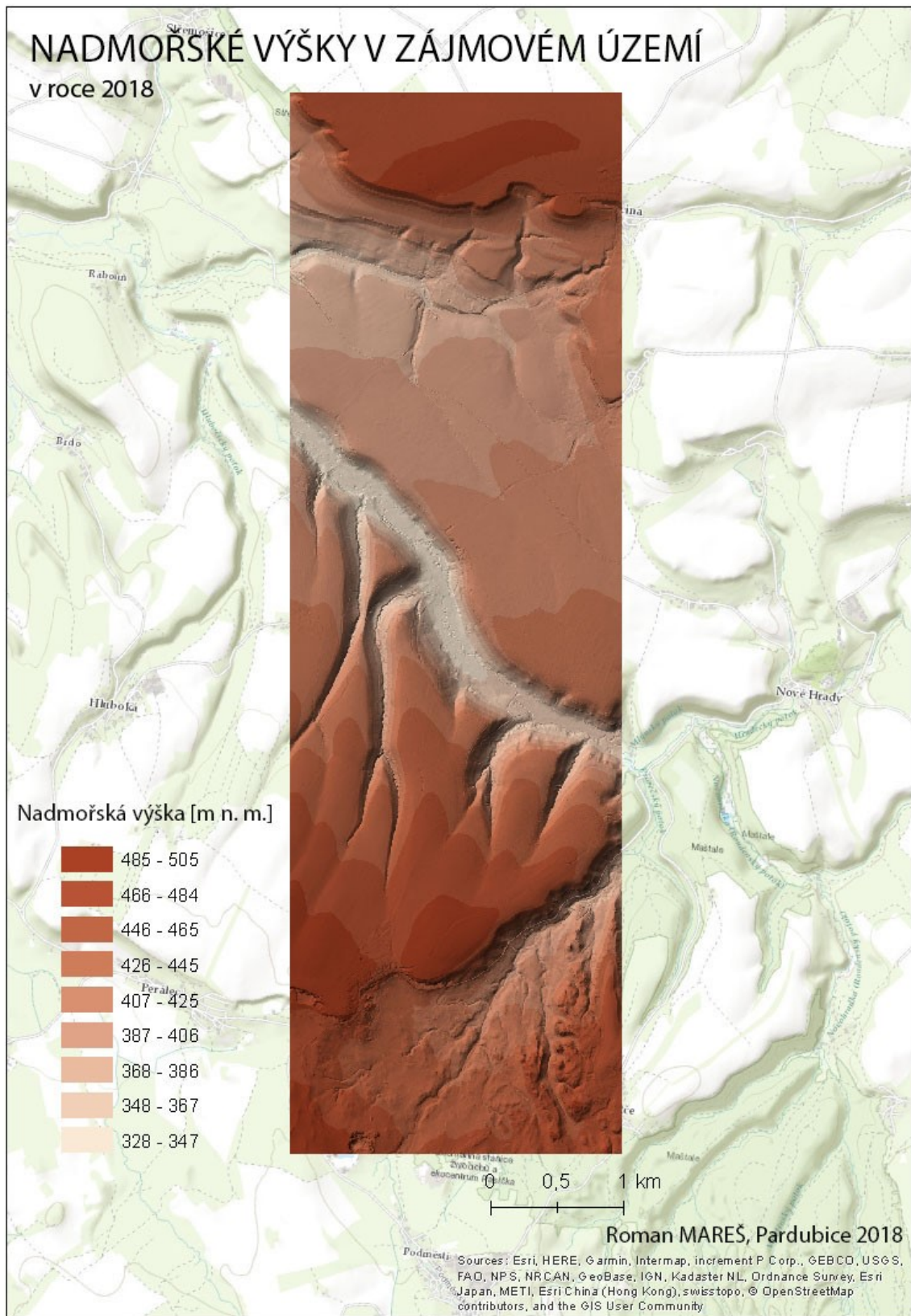




## Příloha B: Stínovaný reliéf v zájmovém území



### Příloha C: Nadmořské výšky v zájmovém území





## Příloha D: Orientace svahů v zájmovém území

