

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

Obor SOČ: (číslo a název soutěžního oboru SOČ).....

## **Mapování sídelní zeleně prostředky dálkového průzkumu Země**

Vojtěch Daniel Eliáš

Jihomoravský kraj

Brno, 2023

## **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

Obor SOČ: (číslo a název soutěžního oboru SOČ).....

**Mapování sídelní zeleně prostředky dálkového průzkumu**

**Země**

**Mapping of settlement greenery by means of remote sensing**

**Autoři:** Vojtěch Daniel Eliáš

**Škola:** Gymnázium Matyáše Lercha, Brno, Žižkova 55, příspěvková organizace

**Kraj:** Jihomoravský kraj

**Konzultant:** Novotný, Jan, Ing., Ph.D.

## Anotace

Předmětem této práce je zpracování dat pořízených leteckým laserovým skenováním (LLS) městské části Brno-Žabovřesky za účelem mapování městské zeleně. Teoretický úvod nejprve popisuje historii dálkového průzkumu Země, do něhož LLS spadá, a dále vysvětluje tuto moderní metodu průzkumu. Při LLS letící vzdušná platforma vysílá laserový signál a detekuje jeho odraz. Takto získáváme pásové 3D mračna bodů snímané oblasti terénu. Pro zpracování těchto dat jsem používal program LAStools. Data v pásové struktuře jsem nejprve spojil, aby pokrývaly zkoumanou oblast a následně jsem odfiltroval šum. Identifikoval jsem oblasti, které odpovídají půdě (trávníkům), různým druhům zeleně (keře, menší, střední a vysoké stromy), vodě, silnicím/cestám a domům. Z takto získané rastrové mapy jsem v předem definovaných zónách zkoumané oblasti kvantifikoval procentuální zastoupení jednotlivých terénů a pomocí teplotní mapy města Brna porovnal jaký má zeleň důsledek na klima.

## Anotation

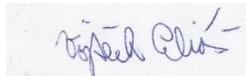
The subject of this thesis is the processing of data acquired by airborne laser scanning (LLS) of the Brno-Zabovřesky district for the purpose of mapping the urban greenery. The theoretical introduction first describes the history of remote sensing, which LLS falls under, and then explains this modern method of survey. In LLS, a flying aerial platform emits a laser signal and detects its reflection. This produces a 3D point cloud strip of the imaged terrain. I used the LAStools program to process this data. I first merged the strip-structure data to cover the study area and then filtered out the noise. I identified areas that corresponded to soil (lawns), different types of greenery (shrubs, smaller, medium and tall trees), water, roads/trails and houses. From the raster map thus obtained, I quantified the percentage of each terrain in the predefined zones of the study area.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Brně dne 28. 2. 2024 podpis:



Poděkování.

Nejprve bych chtěl poděkovat letecké laboratoři provozované Oddělením leteckých činností Czech Globe za to, že vytvořila bodová mračna, s kterými jsem v rámci práce pracoval a umožnila mi s nimi pracovat. Zároveň mé díky patří JCMM, za to že celou práci zaštitila a usnadnila mi psaní práce. Nejvíce bych chtěl poděkovat mému konzultantovi Ing. Janovi Novotnému, Ph.D., jenž měl se mnou celou dobu trpělivost a zodpovídal na mé nejrůznější dotazy. Nakonec chci poděkovat své rodině a přátelům, kteří mě práci podporovali.



**jihom**oravský kraj

## **Zkratky**

**DPZ** dálkový průzkum země

**LLS** letecký laserový systém

**FOV** úhlová šířka skenovaného pruhu

**SHP** shape file

**QGIS** Quantum GIS

**UV** ultrafialové záření

**MIR** střední infračervené záření

**NIR** blízko infračervené záření

**TIR** termální infračervené záření

**NDVI** normalizovaný vegetační index

1.	Cíle práce.....	7
2.	Teoretický úvod.....	7
2.1.	Dálkový průzkum země .....	7
2.1.1.	Historie DPZ.....	7
2.1.2.	Podstata měření.....	1
2.1.3.	Viditelné spektrum .....	2
2.1.4.	Ostatní spektra .....	2
2.1.5.	Spektrální vlastnosti objektů .....	3
2.2.	Termální skenování.....	7
2.2.1.	Vznik dat.....	7
2.2.2.	Teplotní mapa .....	7
2.3.	Laserové letecké skenování .....	8
2.3.1.	Skenovací parametry LLS .....	9
2.3.2.	Přesnost skenování .....	9
2.4.	Městská část Brno Žabovřesky .....	10
3.	Metodika.....	11
3.1.	Vznik dat.....	11
3.2.	Programy pro klasifikaci bodový mračen .....	11
3.2.1.	QGIS.....	11
3.2.2.	LAStools.....	12
3.3.	Fugroviewer .....	15
3.4.	Příprava rastrů.....	16
3.5.	Tvorba cílové mapy .....	16
4.	Výsledky.....	19
4.1.	Vysvětlení legendy rastrové mapy.....	19
4.2.	Vyhodnocení procentuálního zastoupení jednotlivých tříd .....	20
4.3.	Srovnání s teplotní mapou Brna.....	21



5. Diskuze .....	22
6. Závěr.....	23
7. Citovaná literatura .....	24

# 1. Cíle práce

Cílem práce je vytvoření rastrové mapy v QGisu pro městskou část Brno-Žabovřesky a určit z dat LLS její jednotlivé prvky terénu (vegetaci, domy, půdu). Samozřejmě tyto základní prvky se poté musí rozčlenit do více různých tříd (například vegetace na stromy a keře), čímž vznikne cílová požadovaná mapa, která se srovná s teplotní mapou města Brna a vysloví se závěr jaké prvky terénu ovlivňují klima. Dalším cílem práce je vypočítání procentuálního zastoupení těchto skupin v celé oblasti a také v jednotlivých menších daných zónách a srovnat.

Ale než se dostaneme k těmto cílům, tak byli dány dílčí cíle:

1. Vytvořit ve formátu SHP polygony celé oblasti a jednotlivých zón
2. Filtrace a klasifikace bodových mračen
3. Převod už klasifikovaného bodového mračen do rastrových čtverců

## 2. Teoretický úvod

### 2.1. Dálkový průzkum země

Definuje se jako moderní technologie ke sběru informací obvykle prostřednictvím elektromagnetického záření o jevech na planetě Zemi bez přímého kontaktu s nimi. Rozlišujeme dvě základní metody DPZ: 1. konvenční metody, které dříve převládaly a jejichž výsledkem jsou fotografie, a 2. nekonvenční metody snímání zemského povrchu z přístrojů na družicích Země, kdy výsledkem je obrazový záznam na médiu. Jako obor se zabývá pořizováním satelitních snímků a jejich následnou analýzou. Například lidský zrak jde přirovnat k nejjednoduššímu dálkovému průzkumu, jelikož nejdříve vnímáme jevy kolem nás a následně je analyzujeme a identifikujeme. Existuje hodně způsobů DPZ například hyperspektrální, termální nebo letecké skenování, které bylo použito při pořizování těchto dat. V dnešní době se využívá k široké škále oborů, jako stavebnictví nebo k lesnictví.

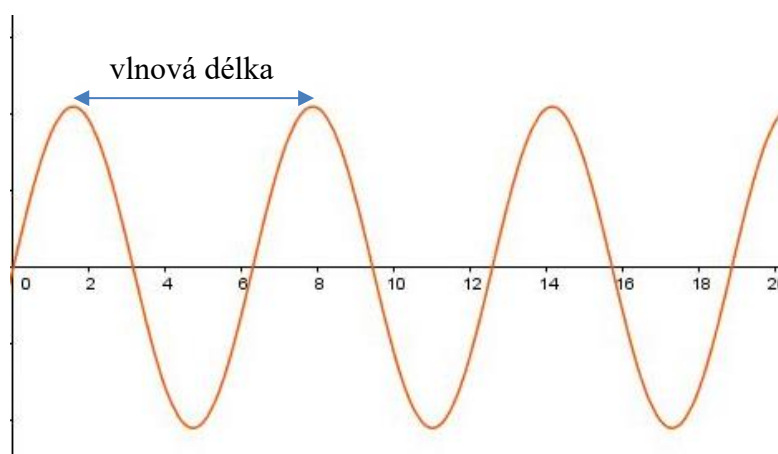
#### 2.1.1. Historie DPZ

Protože se dálkový průzkum Země zaměřuje na zkoumání snímků zemského povrchu, jeho vznik sahá až k počátkům fotografické praxe. První pokusy o vytvoření snímků pomocí fotografie pocházejí z počátku 19. století, kdy řada vědců, dnes již většina zapomenutých, prováděla pokusy s fotocitlivými chemikáliemi. Proto se za vznik fotografie udává rok 1839, kdy Louis Daguerre veřejně oznámil výsledky svých pokusů s fotografickými chemikáliemi, respektive pro DPZ rok 1858 v němž Francouz Gaspard-Félix Tournachon pořídil v Paříži první leteckou fotografii z balónu. Dalším milníkem je

využití motorových letadel jako platform pro letecké snímkování. V roce 1909, byly pořízeny pohyblivé snímky italské krajiny poblíž Centocelli a jsou údajně prvními leteckými fotografiemi pořízenými z letadla. Hlavní roli hráli manévrovací schopnosti letounu, které umožnily ovládat rychlost, výšku a směr, což bylo nutné pro systematické používání letecké kamery. Největší rozvoj DPZ byl v období světových válek. První přinesla letecké fotografie pro mapování velkých územích, které byly s pokračující válkou pro vojenský průzkum stále více důležitější a na konci konfliktu byly jejich role uznány ve vojenských operacích. Zato během druhé světové války se využití elektromagnetického spektra změnilo z téměř výhradního důrazu na viditelné spektrum i na další oblasti, nejvíce však na infračervenou a mikrovlnnou oblast. Další velký skok v technologiích proběhl za studené války, ve které se Rusko a USA, zaměřili na vesmírné programy. Vůbec první fotografie Země z vesmíru byla pořízena v roce 1964, v němž USA poslali do vesmíru původně německou balistickou střelu s automatickou kamerou. Už v tomto konfliktu byly do vesmíru vypouštěny satelity, aby státy zjistili, co se děje na územích nepřítele. Právě díky satelitním snímkům američtí foto průzkumníci odhalili zavádění sovětských hlavic na Kubu během kubánské krize v roce 1962. A to mnohem dříve, než sovětské strategové předpokládali, čímž zamezili potenciálně jednomu z nejničivějších konfliktů v historii. Od té doby šel vývoj rychle kupředu a bylo vysíláno do vesmíru stále více satelitů a družic pro další různé účely. Posledními milníky historie je spuštění Google Earth společností Google Inc., které přispělo k zvýšení povědomí veřejnosti o potenciálu DPZ pro mnoho aplikací a vypuštění evropského satelitu ENVISAT poskytujícího informace o stavu souše, oceánů a atmosféry.

### 2.1.2. Podstata měření

DPZ získává informace o objektech a jevech obvykle prostřednictvím elektromagnetického záření, jehož základní charakteristikou je vlnová délka, tzn. vzdálenost dvou nejbližších bodů postupného periodického vlnění. Důležitým faktorem pro měření je, že zkoumané předměty emitují nebo odrážejí určitý druh EM záření



Obrázek 1. Upřesnění pojmu vlnové délky.

## 2.2. Viditelné spektrum

Lidské oko je citlivé pouze na viditelnou část spektra (světlo), což je úzký interval vlnových délek záření (400–700 nm). Protože zdrojem tohoto krátkovlnného záření je Slunce, lze ho zaznamenávat pouze v denních hodinách. Suchou a čistou atmosférou prochází bez významného ovlivnění. Je však značně rozptylováno a pohlcováno různými aerosoly, a proto neprochází oblačností a mlhou, což má za následek např. ztrátu kontrastu snímků pořízených ve viditelném záření.

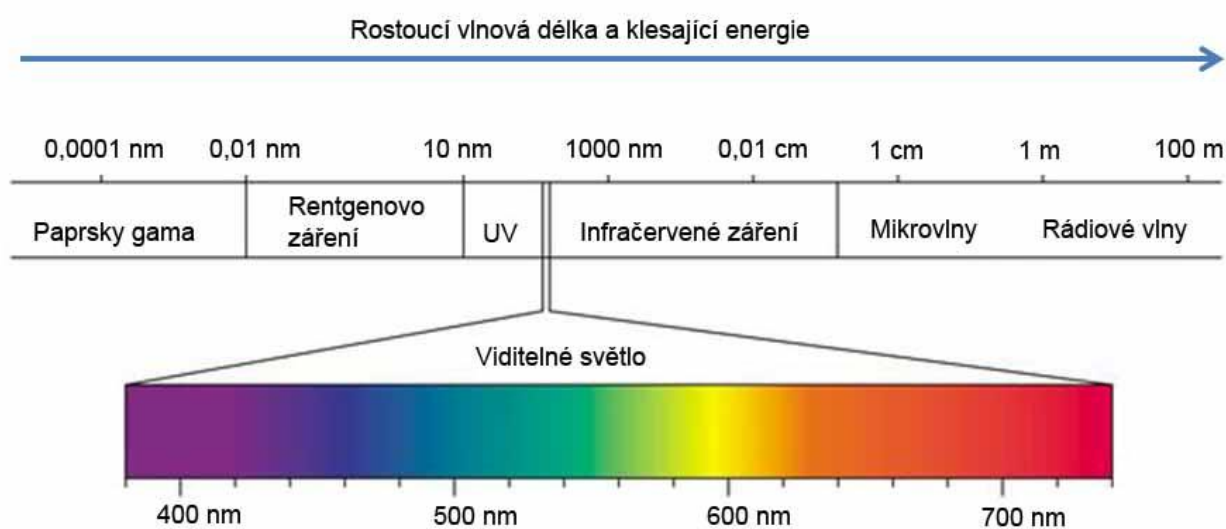
Rozptylem záření v atmosféře rozumíme změnu směru záření při kontaktu s molekulami plynu nebo jinými částicemi přítomnými v atmosféře. Míra rozptylu závisí na velikosti a množství rozptylujících částic, vlnové délce rozptylovaného záření a také na trajektorii průchodu záření atmosférou. Rozptyl se rozlišuje na dva způsoby Rayleighův a Mieův, přičemž teorie Mieova je obecnější než teorie Rayleighova. Rayleighův rozptyl nastává v případě, kdy záření interaguje s molekulami plynu nebo velmi malými částicemi, jejichž velikost je výrazně menší než vlnová délka záření. To znamená, že záření s kratšími vlnovými délkami je rozptylováno více než záření s delší vlnovou délkou. Například modré světlo je rozptylováno až čtyřikrát silněji než světlo červené, a proto se nám obloha jeví během dne modrá. Mieův rozptyl nastane, když záření interaguje s částicemi srovnatelné velikosti vzhledem k vlnové délce. Takové velikosti dosahují částice prachu, pylu, kouře nebo kapky vody.

Pohlčení dopadajících záření je částicemi atmosféry především plynů: ozonu ( $O_3$ ), oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) a vodní páry ( $H_2O$ ), u kterých tím dochází ke zvětšení vnitřní energie. Toto zvětšení vnitřní energie se projevuje jako zvýšení rotačních a oscilačních pohybů atomů a molekul, které bývá doprovázeno navýšením energie elektronů. Nejlépe je pohlcováno záření o vlnových délkách odpovídající těmto formám vnitřní energie částic atmosféry. Proto je nejsilněji absorbováno záření v infračervené a mikrovlnné části spektra, které vzniká právě v souvislosti s rotačními a oscilačními pohyby molekul. Ale naopak pro dálkový průzkum Země je pochopitelně zásadní provádět měření v těch částech spektra, kde je pohlcování atmosféry nízké. Tyto pro pozorování a měření příznivé intervaly vlnových délek označujeme jako atmosférická okna

### 2.2.1. Ostatní spektra

K ostatním vlnovým délkám je lidské oko necitlivé, respektive pro člověka bez speciálních pomůcek „neviditelné“. Nicméně pro dálkový průzkum jsou důležité i ostatní části spektra, jako je blízké infračervené či mikrovlnné záření. Typický rozsah vlnových délek prakticky používaných pro dálkový průzkum je od 380 nm po 1 m. Ultrafialová složka záření (UV, 300–380 nm) je v dálkovém průzkumu Země využívána jen zřídka, neboť tato část záření je silně ovlivněna rozptylem v atmosféře. Pasivní senzory pracují v takzvané odrazové části elektromagnetického spektra (380–3000 nm), která je

podrobněji členěna na už zmíněnou část viditelnou (VIS, 400–720 nm), blízkou (NIR, 720–1300 nm) a střední infračervenou (MIR, 1300–3000 nm). NIR navazuje na viditelnou část spektra. Je méně ovlivňována atmosférou, proto jsou snímky ostřejší a kontrastnější. Díky tomu jsou vhodné k topografickým účelům. MIR záření se rozkládá ve dvou atmosférických oknech, která jsou využívána hlavně pro vegetační a geologické studie, proto umožňuje dobré rozlišení druhů vegetace a jejího zdravotního stavu. Vzdálená infračervená část (3–1000  $\mu\text{m}$ ) je odlišná od části odrazivé, neboť v této oblasti převažuje podíl záření vyzářeného na úkor odraženého záření. Vyzařovaná infračervená radiace se obvykle nazývá "teplo" či "termální záření". V dálkovém průzkumu označujeme oblast od 8 do 14  $\mu\text{m}$  jako termální infračervené záření (TIR).



Obrázek 2. Základní oblasti elektromagnetického spektra.

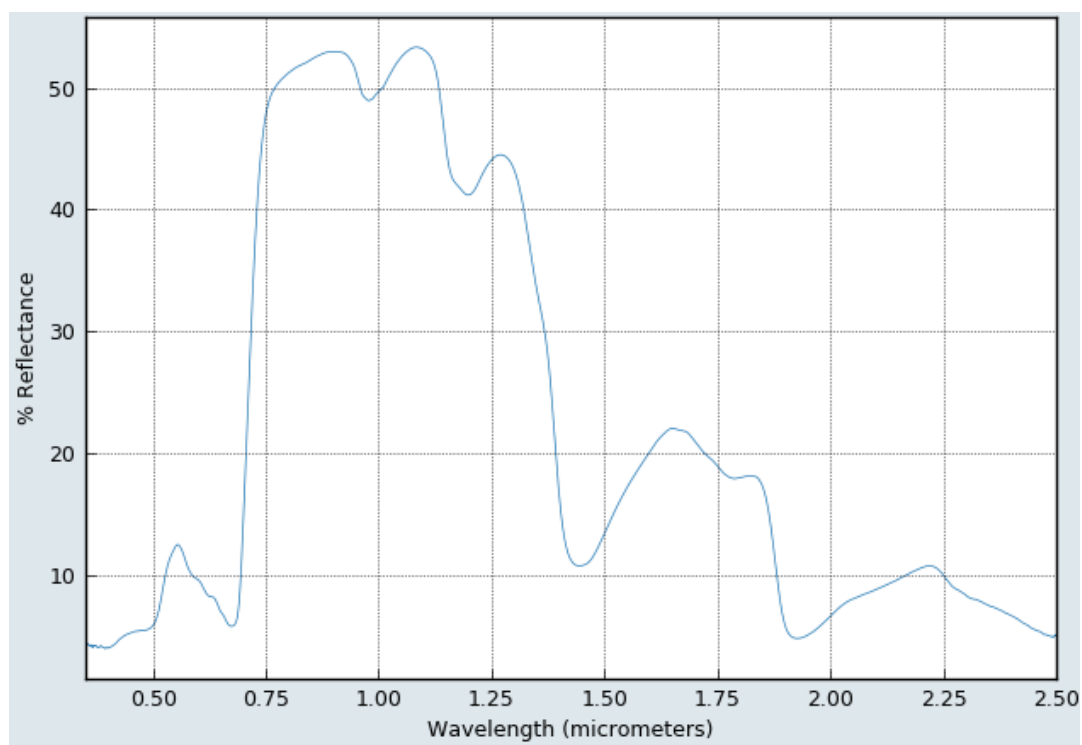
### 2.2.2. Spektrální vlastnosti objektů

Viditelnost a rozpoznatelnost objektu na snímcích je dána množstvím odraženého záření. Při obvyklém způsobu, kdy se přiřazuje konkrétní odstín šedi určitému množství odraženého záření, bude světlý ten objekt, který odráží hodně záření z té části elektromagnetického spektra, které bylo na snímku zachyceno, a naopak. Intenzita odraženého či emitovaného krátkovlnného záření závisí především na druhu: látky či objektu (např. na jeho chemickém složení), na fyzikálním stavu objektu (teplotě, obsahu vlhkosti, zhutnění povrchu atd.), na stavu okolí objektu (např. na propustnosti atmosféry apod.). Množství odraženého záření lze charakterizovat prostřednictvím spektrální odrazivosti. Pro daný objekt můžeme sestavit závislost mezi odrazivostí objektu a vlnovou délkou. Graficky ji lze znázornit tzv. spektrální křivkou odrazivosti. Spektrální křivka je projevem spektrálního chování objektu. Pro dané podmínky a stejné povrchy objektů (holá půda, vegetace) má křivka typický průběh. Množství odraženého záření rozhoduje o tom, zda je objekt na snímku vidět. Objekt, který odráží jen málo záření,

se jeví jako tmavý. K identifikaci každého objektu jsou také důležité vlastnosti sousedních objektů. Odráží-li dva sousední rozdílné objekty stejné množství záření určité vlnové délky, budou na snímku splývat. Díky tomu, že odrazivost objektů se mění s vlnovou délkou záření, lze najít intervaly vlnových délek, ve kterých se projeví rozdílná odrazivost povrchů. Pak bude možno tyto objekty snadno rozpoznat.

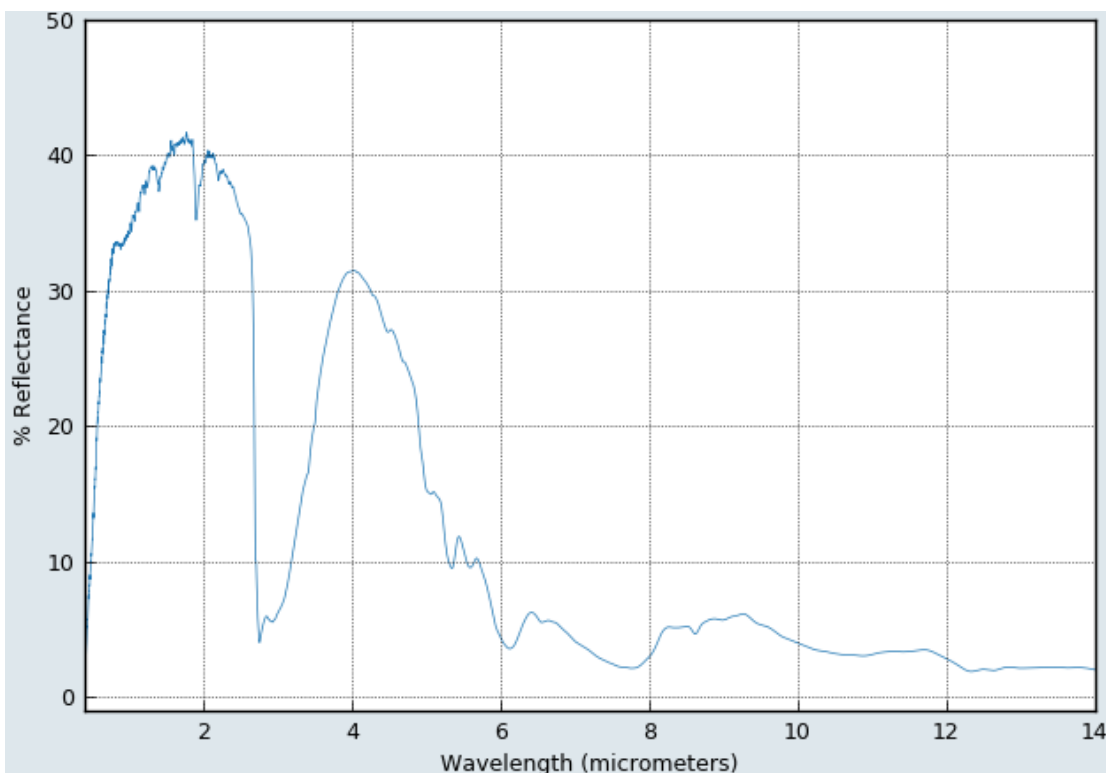
U všech zmíněných prvků jsou ukázány spektrální křivky odvozeny ze spektrální knihovny ASTER (Baldrige et al. 2009), která obsahuje na 2000 laboratorně změřených spekter.

**Vegetace:** Spektrální křivka odrazivosti vegetace má v oblasti 400 až 3000 nm velmi charakteristický tvar. Ve viditelné oblasti je odrazivost ovlivněna především silnou absorpcí rostlinných fotosynteticky aktivních pigmentů jako jsou karotenoidy, xantofyly a hlavně chlorofyly. Pro blízkou infračervenou část spektra je typický plochý tvar křivky s vysokými hodnotami odrazivosti, která je zejména ovlivňována vnitřní strukturou listu a celkovým uspořádáním porostu. Ve střední infračervené oblasti se projevují silné absorpční pásy vody a další látky obsažené v rostlinách



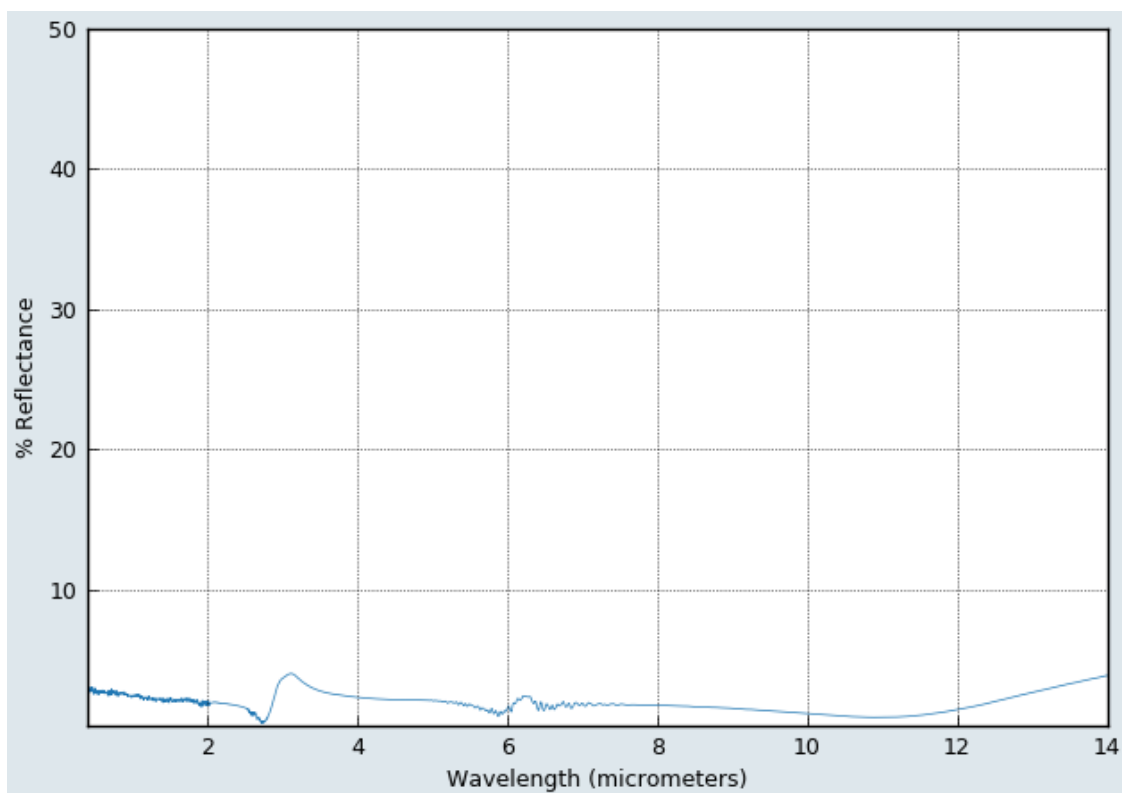
Obrázek 3. Spektrální křivka borovice vejmutovy.

**Půda:** Spektrální projev půdy je ovlivněn čtyřmi hlavními faktory: minerálním složením, půdní vlhkostí, obsahem organické hmoty a zrnitostí. V odrazivé části spektra hraje významnou roli právě obsah organické hmoty, která, přesáhne-li 2 % v obsahu, snižuje celkovou odrazivost a její spektrální odezva tak zamaskuje absorpční pásma obsažených minerálů. Absorpční pásy jednotlivých minerálů se vyskytují především ve střední infračervené oblasti a také dále v termální části spektra. Například projevy absorpce jílovitými minerály, jako je kaolinit nebo montmorillonit, můžeme vidět ve vlnových délkách 2,2  $\mu\text{m}$  a za 2,7  $\mu\text{m}$ . Dalším výrazným faktorem ovlivňujícím spektrální odezvu půdy je půdní vlhkost; její vyšší obsah také snižuje celkovou odrazivost půdy. Nejvýrazněji se absorpce vody projevuje ve vlnových délkách 1,4 a 1,9  $\mu\text{m}$ .



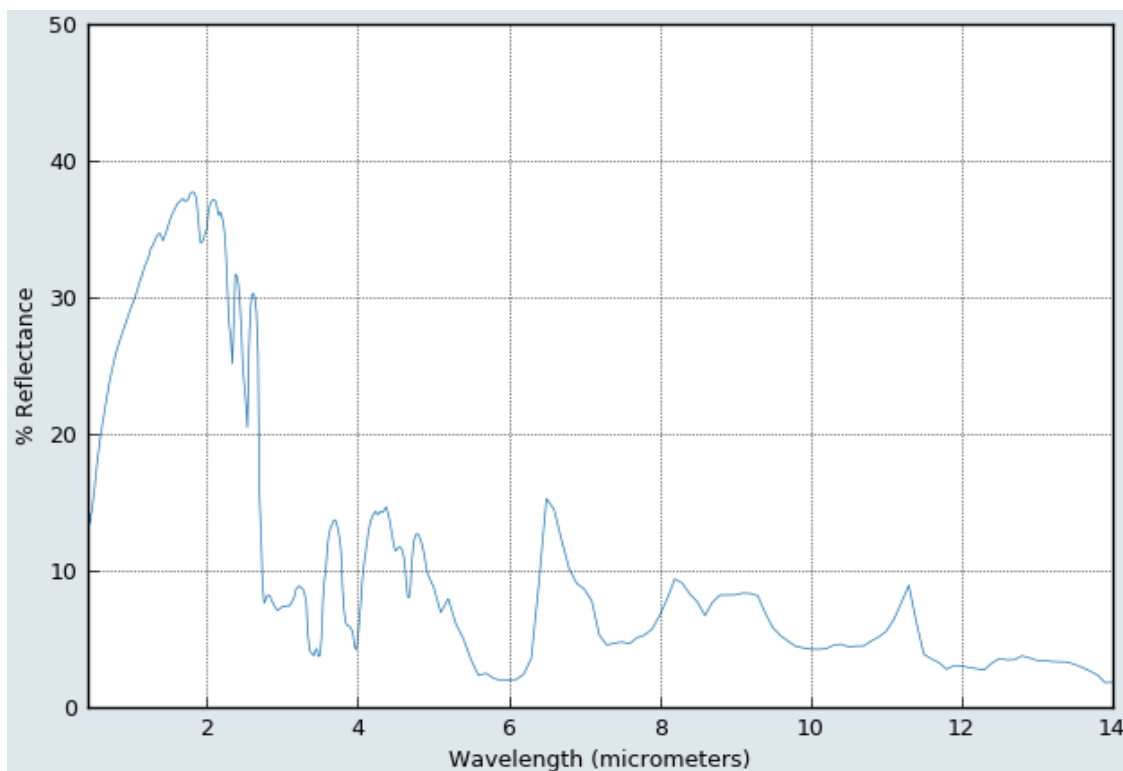
Obrázek 4. Spektrální křivka hnědé zrnité půdy.

**Voda:** V důsledku vlivu absorpce a reflexe světla mají vodní plochy relativně nižší spektrální reflexi než jiné pozemní prvky ve viditelném a infračerveném spektru. Jak ukazuje obrázek.5, spektrální reflektance klidných vodních ploch se obvykle nachází pod 5 % v porovnání s jinými prvky krajiny, jako jsou například asfaltové silnice a vegetační kryt. Proto se vodní plochy na většině snímků dálkového průzkumu Země obvykle jeví jako "tmavé" prvky, bez ohledu na spektrální vlnovou délku. Nicméně přítomnost rozpuštěných sedimentů, planktonu a vodních rostlin může výrazně změnit odrazivost jak ve viditelných, tak i v infračervených vlnových délkách. Rovněž záleží na skupenství vody, například jiné je chování sněhu, který odráží většinu dopadajícího záření ve viditelné oblasti a absorbuje v blízké infračervené oblasti.



Obrázek 5. Spektrální křivka pitné vody.

**Povrchy vytvořené člověkem:** Umělé povrchy jsou tak různé, že nejde stanovit ucelená charakteristika pro všechny dohromady.



Obrázek 6. Spektrální křivka asfaltové silnice.



## **2.3. Termální skenování**

### **2.3.1. Vznik dat**

Pro studium klimatu a životního prostředí je důležité globální monitorování teploty, jelikož má zásadní význam pro teplotu vzduchu v městské atmosféře a energetickou bilanci povrchu. Povrch a změny atmosféry způsobené urbanizací obecně vedou ke změně teplotního klimatu, které je teplejší než klima v okolních neurbanizovaných oblastech, zejména v noci. Tímto jevem je městský tepelný ostrov (UHI). Každý objekt o teplotě vyšší než  $0^\circ\text{K}$  emituje elektromagnetické záření. Množství a spektrální složení emitované energie závisí na teplotě objektu a jeho emisivitě. V případě ideálního absolutně černého tělesa je množství a spektrální distribuce záření popsána Planckovým zákonem. Většina přírodních i umělých objektů, které můžeme sledovat pomocí leteckého průzkumu, má teplotu povrchu v rozmezí 270–330 K. Podle Planckova zákona to znamená, že velikost toku tepelné radiace může být zjišťována ve dvou atmosférických oknech. V prvním atmosférickém okně je zaznamenána, jak složka emitovaná zemským povrchem, tak i část odraženého slunečního záření. Druhé zmíněné atmosférické okno je vhodnější pro získávání distančních teplotních dat z důvodů, že je zde dominantní emitovaná energie zemským povrchem a že její maximum je situováno do této části elektromagnetického záření.

Snímek získaný v tepelné části elektromagnetického spektra může představovat buď termogram, ve kterém se pro každý pixel zaznamenává pouze jedna hodnota intenzity toku tepelné radiace v daném místě, nebo je představován tzv. termální hyperspektrální kostkou. V tomto případě každý pixel obsahuje celý spektrální profil pro dané místo v daném spektrálním rozlišení.

### **2.3.2. Teplotní mapa**

Aplikace byla vytvořena ve spolupráci s Ústavem výzkumu globální změny Akademie věd ČR a je volně dostupná na internetu. Při skenování byla bezoblačná obloha, teploty na ve stínu dosahovaly a postupně se zvyšovali až na  $30^\circ\text{C}$ . Bohužel snímky byly už pořízeny 31. 8. 2019, takže nejsou až tak aktuální, ale stále se dají použít jen se musejí brát trochu s rezervou kvůli globálnímu oteplování Země.

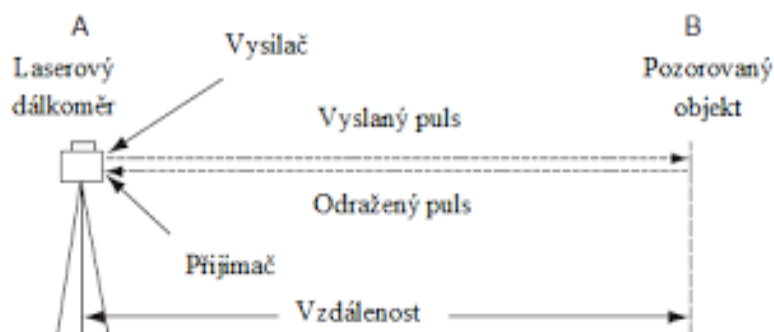
## 2.4. Laserové letecké skenování

Laserové skenování je moderní metoda využívající k zachycení měřeného prostoru laserovou technologií. Prostřednictvím laserového skenování lze tak získat velké množství dat ve velmi krátkém čase. Laser navíc umožňuje zjistit informace o objektu v úplné tmě. Provoz laserových skenerů se od těch optických výrazně liší. Jsou to systémy aktivní, takže skener sám vypouští elektromagnetické pulzy a měří čas, za který se vystřelený a od povrchu odražený signál vrátí k snímači skeneru.

Je známé už od šedesátých let minulého století, avšak do popředí se dostává až na přelomu let 80. a 90. V té době už totiž byli přesné družicové systémy a navigace. Je ale jasné, že nebyli, tak výkonné programy, jako máme v současnosti CAD nebo GIS, a to souvisí i s leteckými skenery, které dnes můžou přijmout a vyslat až 20tisíckrát více pulzů za vteřinu než v minulosti.

Systém LLS obsahuje:

1. Dálkoměrnou jednotku. Skládá se z laseru, přijímací a vysílací optiky, přijímače s detektorem a jednotku pro sběr přijatých signálů a časového čítače měřícího mezi vyslaným a vráceným pulzem. Zároveň jednotka měří šikmou vzdálenost mezi zemí a skenerem.
2. Skenovací mechanismus. Určuje vzor, s jakým lasery dopadají na zemský povrch a zajišťuje postupné bodové měření podél jedné linie.
3. Řídící a záznamová jednotka. Počítačové zařízení, jež slouží operátorovi řídit skenování a záznam dat.
4. Jednotka IMU/GNSS. Měří přesnou pozici a polohu orientace skeneru
5. Snímkovací zařízení. Souběžně s LLS sbírá obrazová data.



Obrázek 7. Základní princip LLS skeneru používajícího pulzní metodu.

Kombinace dat z dálkoměrné jednotky a skenovacího mechanismu vede k určení řady výškových hodnot ve známých polohách (s X, Y, Z souřadnicemi), které tvoří profil napříč terénem v příčném směru. Postupná řada těchto naměřených profilů, které jsou získávány paralelně při letu vzdušné platformy vpřed, tvoří pásové 3D mračna bodů snímané oblasti terénu. Skenery měří také hodnotu intenzity vráceného impulsu. Tato informace je užitečná pro mapování vegetace, protože se podle ní dá určit úroveň vegetace a struktura pokryvu. Ale může být docela zkreslená, proto se zájem a pozornost uživatelů obvykle soustředí na údaje o poloze a výšce, které jsou poskytovány laserovým skenerem.

### **2.4.1. Skenovací parametry LLS**

Při měření je důležité si pohlídat některé parametry, aby byla získaná data s požadovaným rozlišením a kvalitou. Těmito parametry jsou frekvence opakování pulzů (PRF) a míra rychlosti skenování při postupu skenerů. Tyto dva parametry společně s výškou letu a úhlem záběru neboli úhlovou šířkou skenovaného pruhu (FOV) určují hustotu bodů na povrchu. Frekvence opakování pulzů (PRF) byla v minulosti problémem, šlo totiž mít ve vzduchu pouze jeden paprsek. V dnešní době už jsou skenery vybaveny technikou vícenásobných pulzů, a díky tomu frekvence vzrostla na 200+ kHz, ale je stále závislá na výšce letu. Další významnou vlastností skeneru je velikost stopy laserového paprsku na povrchu. Je to území kruhovitého nebo eliptického tvaru na povrchu, jehož průměr závisí na výšce letu a divergenci laserového paprsku stopy.

### **2.4.2. Přesnost skenování**

Všechny naměřené údaje mají určité limity přesnosti. Celkové měření přesnosti LLS dosahu a výšky obvykle souvisí s letovou výškou (H) -5 cm od H = 500 m; 10 cm od H = 1 km. Jsou tři hlavní zdroje, které mají za následek největší chyby: měření skeneru; IMU/GNSS měření; přístrojové seřízení. S ohledem na hodnoty rozsahu, které jsou měřené laserovými dálkoměry, rozlišení jednoho rozsahu je obvykle 1 cm, zatímco úhel skenování se měří s rozlišením 0,001 stupně. Pokud jde o georeferenční složku naměřených dat, polohy a hodnoty polohy, které poskytuje GNSS/IMU, tak právě ty tvoří největší část celkových chyb systému LLS, jelikož mají určitá omezení přesnosti. Třetí bod obsahuje chyby v boresight misalignement, ale ty nezpůsobí chybu větší než 1 cm. Další chyby o velikosti 0–5 cm mohou být zapříčiněny: vlivem divergence paprsku, vlivem terénu a vlastností objektů, synchronizace času, vliv transformace souřadnicových systémů, atmosférická refrakce, správnost montáže snímače.

## **2.5. Městská část Brno Žabovřesky**

Brno-Žabovřesky je městská část severozápadně od centra statutárního města Brna, jako samosprávná městská část vznikla 24. listopadu 1990. Její katastrální území má rozlohu 4,35 km<sup>2</sup> a žije zde přes 21 000 obyvatel. Vybral jsem ji pro rozmanitost, nachází se zde jak různé typy domů od panelových a rodinných až po běžné řadové ulice, tak i zeleň, která je tu hojně zastoupena. Na území se nachází dva lesoparky, z nichž Wilsonův les tvoří nejjižnější část Žabovřesk. Naopak lesopark na Palackého vrchu tvoří nejsevernější část čtvrti.

## 3. Metodika

### 3.1. Vznik dat

Data byla pořízena leteckou laboratoří provozovanou Oddělením leteckých činností Czech Globe pomocí leteckého laserového skeneru RIEGL LMS-Q780 s dlouhým dosahem. Skener RIEGL LMS-Q780 s až 10 simultánními pulzy ve vzduchu dosahuje nejlepších vzdáleností mezi body na zemi. Tím se eliminuje potřeba sledování terénu při zachování vysoké efektivní rychlosti. Využívá výkonný laserový zdroj, vícenásobné časové zpracování (MTA) a digitální analýzu celého průběhu. Tato kombinace umožňuje provoz v různých letových výškách, a proto se používá při laserovém průzkumu Země. K jedinečným vlastnostem tohoto přístroje rovněž patří automatické řešení nejednoznačnosti dosahu, které se obvykle vyskytují při velkých měřicích vzdálenostech. Efekt nejednoznačnosti dosahu se objevuje při leteckém laserovém skenování, je známý jako "vícenásobný časový oblet" nebo "vícenásobné impulsy ve vzduchu". Letecké laserové skenery RIEGL toto omezení překonává pomocí zpracování vícenásobných časových impulsů (MTA)

### 3.2. Programy pro klasifikaci bodový mračen

Pro zpracování dat byla potřeba vhodné programy, které dokázali pracovat s soubory SHP, LAS.

#### 3.2.1. QGis

QGIS (Quantum GIS) je geografický informační systém. Jedná se o vysoce funkční softwarový nástroj, který umožňuje uživatelům vizualizovat, spravovat a analyzovat prostorová data. V práci byl použit pro: 1) tvorbu polygonů ve formátu SHP, 2) finální práci s vypočítanými rastry z LLS. SHP je formát vektorových dat, který se běžně používá právě pro geoprostorovou analýzu. Uchovává polohu, geometrii a atributy bodových, liniových a polygonových prvků.

Tvorba polygonů: Nejdříve jsem vytvořil hlavní polygon pro ohraničení celé městské části Brno-Žabovřesky podle Map.cz. Dalším krokem bylo rozdělení vzniklého polygonu do 9 příhodných polygonů dále nazývaných jako zóny. V této části bylo použito jako podklad ortofoto České republiky (mapa složená z leteckých snímků umístěných do souřadnicového), aby se v zónách nacházelo co nejvíce objektů stejných vlastností pro následnou hladkou filtraci a klasifikaci. Proto Zóna 1 obsahuje Wilsonův les, Zóna 2 zahrádkářskou oblast apod. Rovněž důležité bylo pohlídat si překrytí okolních zón, aby ve finálním výsledku nevznikla místa bez žádné klasifikace terénu.



Obrázek 8. Rozložení Žabovřeska do jednotlivých zón.

### 3.2.2. LAStools

(LIDAR Analysis Software tools) je sada nástrojů použitá pro filtraci a klasifikaci dat z leteckého laserového skenování.

#### Lasclip

Přijímá jako vstupní soubor LAS/LAZ/TXT a soubor SHP/TXT s polygonem. Důležité je, že vstupní soubor SHP musí obsahovat čisté polygony. To znamená, že nesmí obsahovat vlastní průsečíky, duplicitní body a všechny musí tvořit uzavřené smyčky (např. poslední bod a první bod jsou totožné).

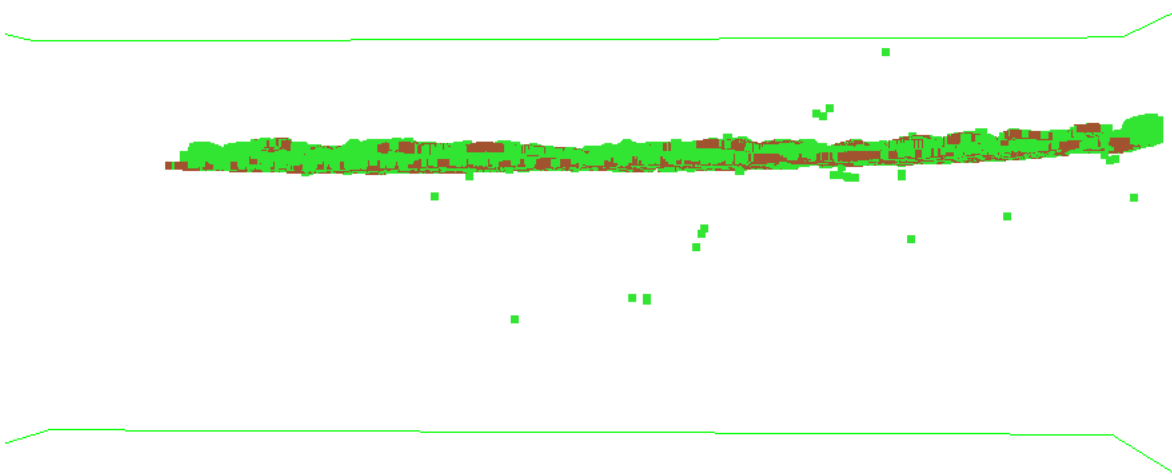
Dále odstraní všechny body, které nespádají do polygonu a zachované body uloží do výstupního souboru LAS/LAZ/TXT.

Prvně byl použit soubor SHP s polygonem celé městské části Brno-Žabovřesky na jednotlivé soubory pásů bodových mračen, aby se v dalším kroku pokračovalo jenom s daty, jež jsou v oboru zájmu. Tím vzniklo sedm LAS souborů, které byly poté v programu parametrem '-merged' spojeny do jednoho. V tomto bodě program musel vyřešit vyrovnání pásů, obvykle mají totiž mezi sebou překryv. To zabezpečuje pokrytí celého zkoumaného povrchu, ale v důsledku chyb měření nemusí mít překrývající se body stejnou výšku a polohu. Proto se vždy jeden ze sousedních pásů zvolí jako hlavní a ostatní body z druhého pásu se k němu jednoduše připojí. Nakonec byl vzniklý soubor celé zájmové oblasti pomocí polygonů vytvořených v QGisu rozdělen na devět bodových mračen (devět zón).

**Tyto mračna poté byly samostatně klasifikována a filtrována v ostatních nástrojích LAStools (Lasnoice, lasview, lasground a lasclassify).**

### Lasnoice

Tento nástroj označí nebo odstraní šumové body v LAS souborech. Nástroj se snaží najít izolované body (šumy), které mají jen několik dalších bodů v okolní mřížce buněk 3 x 3 x 3 (zkoumaný bod se nachází v prostřední buňce). Specifika hledání se dají upřesnit upravením hodnoty '-step' a '-isolated'. Parametr 'step' určuje, jak je 27 buněk v mřížce velkých, ale je i možné zadat velikosti buněk pomocí '-step\_xy 2' a '-step\_z 0,3', například tyto hodnoty by vytvořili buňky o velikosti jednotek 2 x 2 x 0,3. 'Isolated' určuje kolik dalších bodů může v mřížce, aby byl bod označován ještě jako bod izolovaný. Ale parametry jsme nechali výchozí nastavení step = 4 a pro isolated = 5, jenom jsme museli použít parametr '-remove\_noise', aby šumivé body byly odstraněny z výstupního souboru.



Obrázek 9. Ukázka šumivých bodů u zóny 4 v lasview.

### **Lasground**

Klasifikuje LIDAR. na pozemní body (třída = 2) a na body, které nejsou pozemní (třída = 1). Funguje velmi dobře v přírodním prostředí jako jsou hory, lesy, pole, kopce nebo jiný terén s malým počtem objektů vytvořených člověkem. Dá se i použít pro města nebo obce, ale problematické jsou budovy větší než velikost kroku (výchozí nastavení kroku 5 metru). Proto bylo u zón s většími budovami dáno nastavení ‚-town‘ (krok je 10 metrů). Dali se použít i větší kroky, ale ty v našem případě nebyly nutné. Zbytek funkcí zůstal na výchozím nastavením, neboť ostatní objekty v oblasti nebyli nijak speciální, ale například pro velmi strmé kopce se dá použít ‚-fine‘ nebo ‚-extra\_fine‘ pro zintenzivnění hledání počátečních terénních bodů nebo obdobně se používá ‚-coarse‘ u rovinatých terénů ke zjednodušení hledání bodů.

### **Lasheight**

Nástroj vypočítá výšku každého bodu LAS nad pozemní třídou neboli všech bodů třídy 1 (předpokládá, že body terénu již byly klasifikovány pomocí lasheight, takže je lze identifikovat a použít k sestavení trojúhelníkové nepravidelné sítě země). Samozřejmě se počítá i s tím, že osa z odpovídá nadmořské výšce.

### **Lasclassify**

Předposlední krok celé klasifikace v LAStools. Podmínkou pro správnou funkci je identifikace bodů holé země pomocí la ground a vypočtená výška každého bodu nad zemí za pomoci las height. Celá následná klasifikace probíhá tak, že se snaží najít body v mračně, které jsou alespoň 2 metry nad zemí (dá se změnit pomocí ‚-ground\_offset‘, ale výchozí nastavení je 2) a vytvoří pro ně příkaz ‚- planar‘ (= střechy budov) nebo ‚-rugged 0.4‘ (= stromy). Planar zjišťuje, jak moc jsou body v rovině, a když shluky bodů odpovídají požadavkům, tak jsou zařazeny jako budovy. V mém případě jsem zjistil, že údaj musím změnit na ‚planar 0.3‘, protože se v oblasti Žabovřesk nachází hodně různorodých domů, který by byli zařazeny za stromy. Naopak rugged dělá přesný opak, hledá body vedle sebe s velmi rozdílnými hodnotami výšky a ty klasifikuje jako vegetaci.

### **Lasview**

Slouží jako editor pro LIDAR data ve formátu LAS/LAZ/ASCII, který umí upravovat nebo mazat body. To je důvod, proč byl použit v klasifikaci mračna dvakrát. Poprvé na smazání bodů po lasnoice, protože obvykle pár šumivých bodů program není schopen smazat, a kdyby nebyli smazáni, tak by je následující krok lasground mohl klasifikovat jako pozemní body, čímž by se celá klasifikace posunula a správné pozemní body by se stali třídou = 1. Program je k tomuto úkonu dobře uzpůsoben po stisknutí klávesnice [x], kdy se dá vybrat horizontální průřez nebo menší oblast zájmu pro řádné zkontrolování vymazání všech šumů.

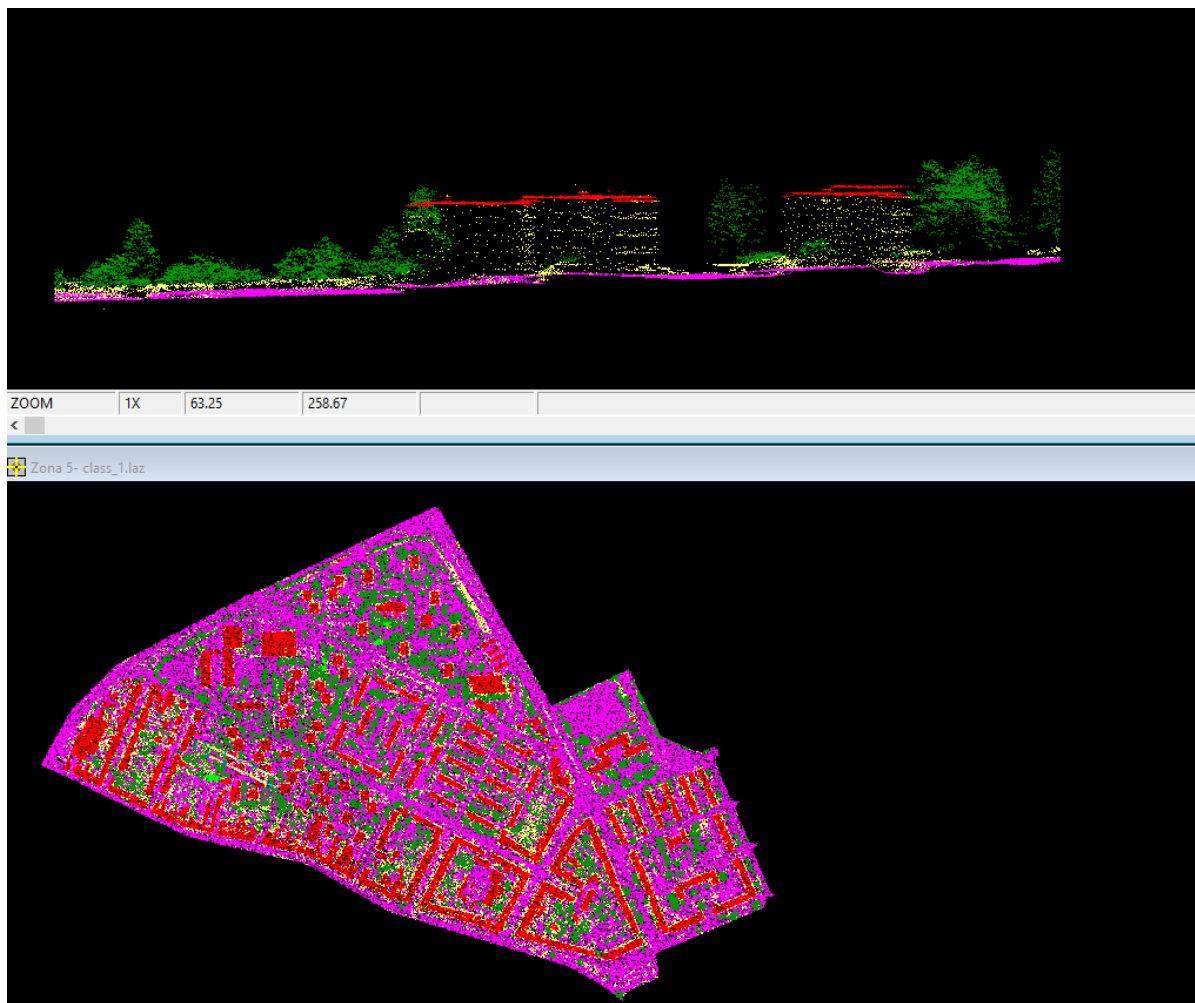


Podruhé byl použit úplně na samém konci. Někdy totiž lasclassify může body zařadit do špatné třídy, a proto musí dojít k re-klasifikaci do správných tříd. Obvyklým případem jsou mosty, jelikož jsou vysoko i rovné, a tak dojde ke klasifikaci na třídu budov, i když se jedná o silnici.

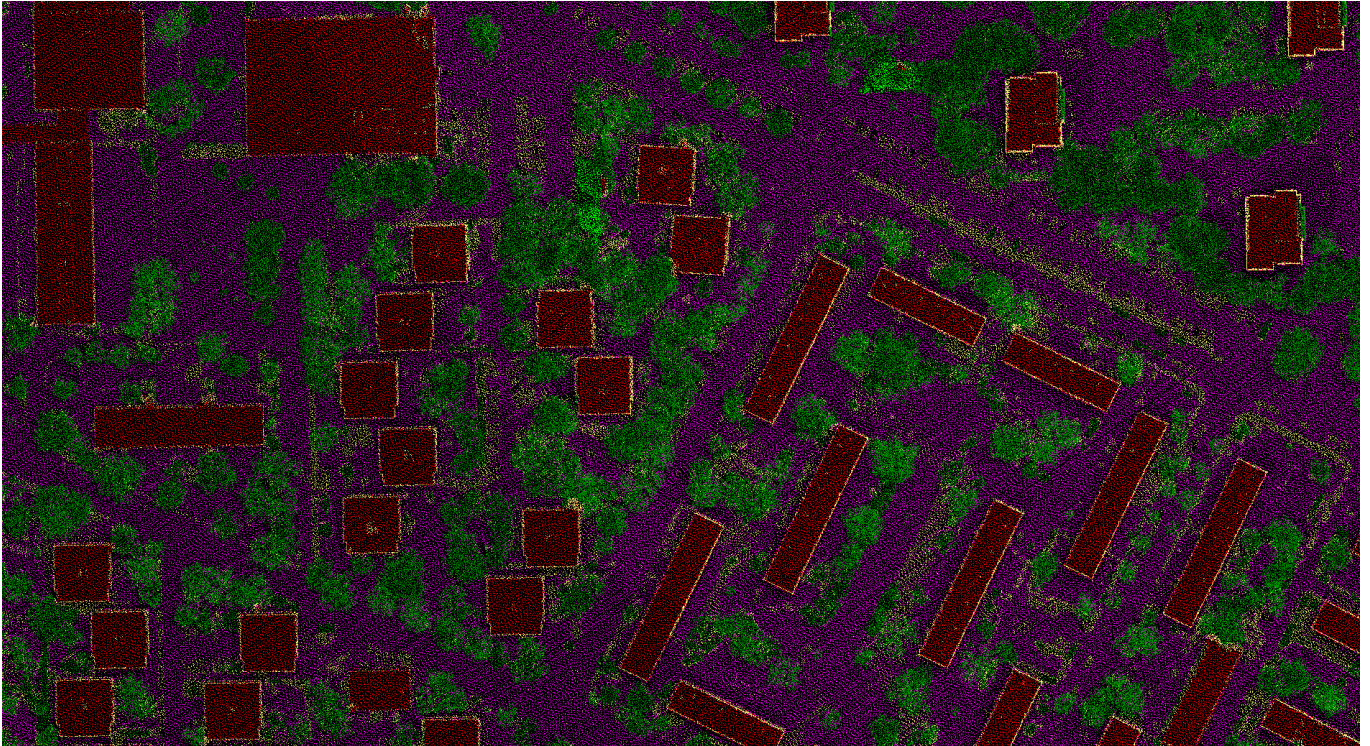
### 3.3. Fugroviewer

Slouží pro prohlížení souborů LAS. Tím že má tolik funkcí pro bodová mračna, například v něm jde vidět samotná klasifikace bodů nebo profilový obraz dat, tak jsem ho v práci používal po celou dobu filtrace a klasifikace, aby byla zajištěna správnost výsledných souborů a nemusela se celá operace dělat znovu. Občas se totiž stalo, že bylo potřeba změnit parametr u některého z kroků v LAStools například ‚-planarity‘ u lasclassify.

Ale nejdůležitější roli hrál právě po zmíněném lasclassify, kdy jsem pomocí něho zkontroloval správnost klasifikace bodů (popsáno u lasview).



Obrázek 10. Už klasifikované bodové mračno zóny 5 a jeho profil ve Fugrovieweru.



Obrázek 11. Přibližné bodové mračno ve Fugrovieweru.

### 3.4. Příprava rastrů

Aby se dali data klasifikovat do tříd v QGISu bylo nutné je převést do rastrových čtverců. Tím bylo dosaženo pravidelným krokem 0,5 metru podél os X i Y. Tento úkon také určil veličiny:

**HEIG** – výška vypočtená ve vzdálenosti max 1 metr od daného uzlu z bodového mračna díky analýze lasheight

**CLMJ** – převažující klasifikace bodů mračna ve vzdálenosti max 1 metr od daného uzlu zastoupená hodnotami (1 – země /2 – vegetace/5 – vysoká vegetace/6 – domy)

**AMPL a PLSW** – amplituda a šířka odraženého pulzu z bodového mračna

**NDVI** – vegetační index vzorkován v místě každého uzlu. Byl napočítán z hyperspektrálních dat jako poměr mezi hodnotami červené (R) a blízké infračervené (NIR) oblasti. Pro pozdější klasifikaci byl důležitým, jelikož se podle něj dá určit, jestli se jedná o zeleň (vegetace má hodnotu NDVI větší než 0,3 a ostatní prvky krajiny ji mají obvykle menší).

### 3.5. Tvorba cílové mapy

Podle vypočítaných hodnot veličin, hlavně HEIGH, NDVI a CLMJ, jsem v QGISu rastrovým kalkulátorem rozřadil prvky krajiny do tříd. V něm jsem vytvořil skripta pro jednotlivé třídy a vznikla

cílová mapa, Skript pro vysoké domy vypadá následovně , "klasifikace krok 10@1" if ((„Zabiny\_CLMJ@1" = 6) AND („Zabiny\_HEIG@1"> 10)). Když rozeberu jeho podstatu znění, tak hodnota klasifikace musí být v CIMJ rovná šesti neboli spadat do třídy domů a zároveň musí být výška více jak 10 metrů nad zemí, aby skript vyhodnotil objekt jako ,vysoký dům‘.

### **3.6. Vypočtení procentuality**

Už klasifikovaná data se poté analyzovala zonálním histogramem. Ten zjistil převažující třídu terénu v každém malém rastrovém čtverci a pomocí nich určil v procentech zastoupení jednotlivých tříd v devíti zónách a v celé městské části.



Obrázek 12. Cílová rastrová mapa

## 4. Výsledky

### 4.1. Vysvětlení legendy rastrové mapy



Obrázek 13. Legenda výsledné rastrové mapy

**Trávníky** – označení pro nejnižší třídu vegetace, rozdíl mezi silnicemi je v tom, že trávníky nejsou holé, a proto mají větší NDVI. Tedy například sem patří pole s vegetací, trávníky na břehu řeky, kolem domů a mnoho dalších prvků.

**Silnice a cesty** – souhrnné označení pro všechny zpevněné a obecně ploché terény, ale na rozdíl od budov nízké. Jedinou výjimkou jsou mosty, které byly klasifikovány taktéž do třídy silnic. Dále tu patří parkoviště, hřiště, ale také holá pole.

**Vegetace** – vegetace byla rozdělena do tří různých tříd podle výšky. 1. vysoké stromy – stromy s větší výškou než 10 metrů. Tato třída má největší hustotu ve Wilsonově lese a pak i v lesoparku Palacký vrch, najdeme ji i v parcích kolem panelových domů a občas se nachází ve stromořadích kolem silnic. 2. vegetace (10–2 m) – coby souhrnné označení pro vegetaci v rozmezí uvedených výšek. Do této třídy tak patří směs různých stromů od mladých stromů, které časem dorostou do vyšší třídy až po staré stromy s malou maximální výškou vzrůstu. Tato vegetace se obvykle nachází poblíž vyšších stromů, jak jde vidět z Obrázku.12. 3. keře – vegetace do 2 metrů. Na rozdíl od ostatních tříd se tato vegetace nachází na celém zkoumaném území, nejvíce pak ve vnitroblocích domů a zahrádkářských koloniích.

**Budovy** – podobně jako vegetace muselo dojít k rozdělení na více částí, a to konkrétně na dvě. 1. vyšší budovy a paneláky – budovy přesahující výšku 12 metrů. Jak už bylo uvedeno třída se jmenuje ‚vyšší domy a paneláky‘, patří sem sice nejvíce paneláky, ale jsou tu i výjimky příkladem je budova Kounicovy koleje, jež dokonce dosahuje výšky až 22 m. 2. domy – všechny budovy s výškou pod 12 metrů. Proto je tato skupina hodně různorodá, spadají sem rodinné, řadové domy, zahradní domy,

garáže a další nadzemní objekty umělého charakteru (haly, sklady, ...)

**Voda** – v lasview jsem ručně přidal řeku Svratku, aby se v klasifikaci nacházel nějaký zástupce vodních ploch, a taky to není žádná zanedbatelná řeka, která se dá jen tak vynechat.

## 4.2. Vyhodnocení procentuálního zastoupení jednotlivých tříd

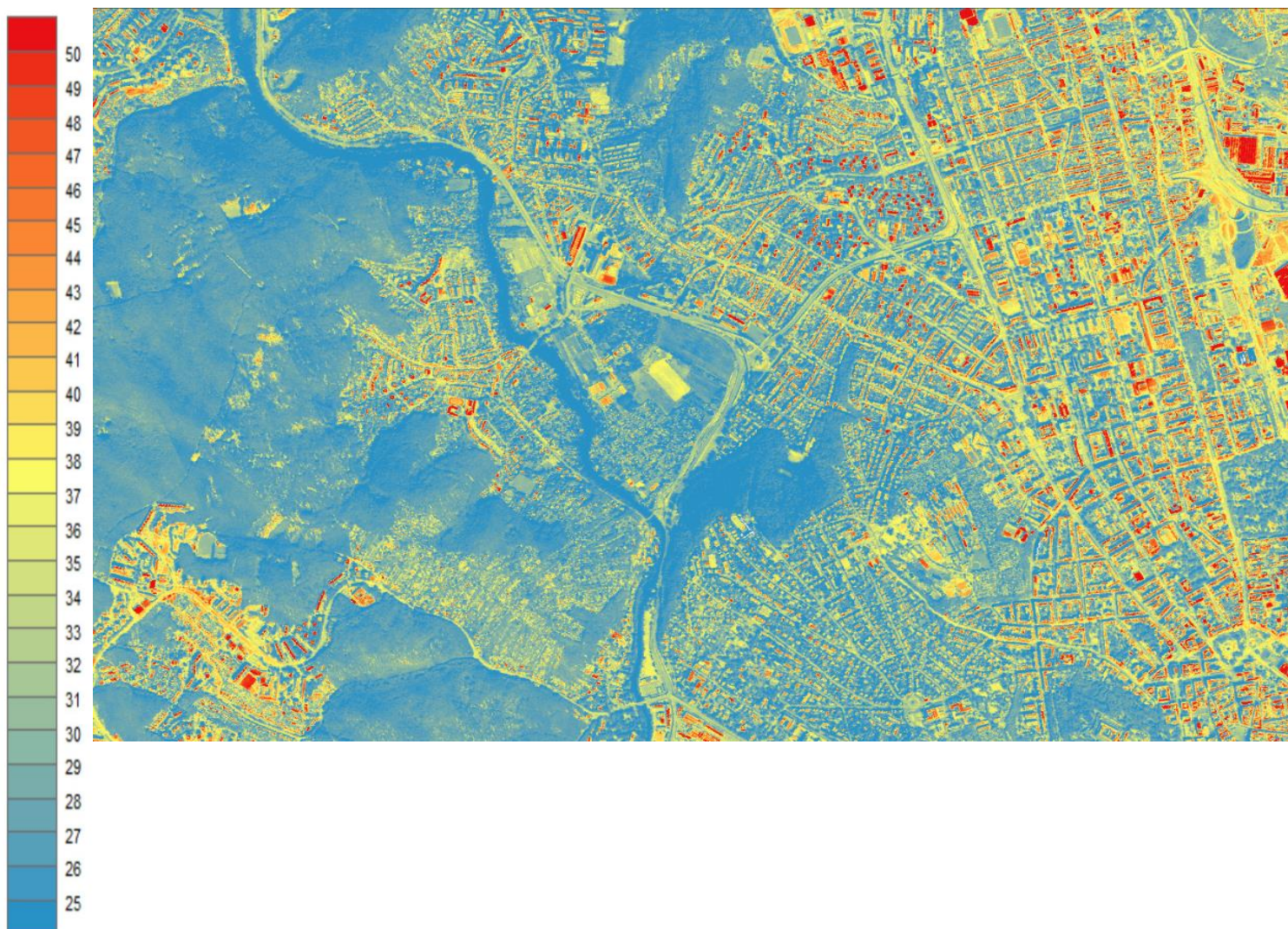
Tabulka 1. Procentní zastoupení tříd v zónách

	trávníky	keře	Vegetace Vyšší (10–2 m) stromy	voda	silnice	domy	Vysoké domy	
Zona 1	14 %	1 %	6 %	77 %		1 %	1 %	0 %
Zona 2	56 %	5 %	9 %	8 %	1 %	16 %	5 %	1 %
Zona 3	41 %	6 %	7 %	5 %		16 %	17 %	8 %
Zona 4	42 %	5 %	7 %	9 %		16 %	14 %	7 %
Zona 5	35 %	2 %	5 %	11 %		27 %	8 %	12 %
Zona 6	36 %	4 %	7 %	6 %		20 %	21 %	5 %
Zona 7	40 %	2 %	7 %	17 %		20 %	6 %	9 %
Zona 8	21 %	5 %	22 %	50 %		1 %	1 %	0 %
Zona 9	44 %	5 %	10 %	9 %		15 %	13 %	4 %
celá oblast	38 %	4 %	10 %	20 %		14 %	9 %	5 %

Podle dat se dá vyřknout závěrečné vyhodnocení dat oblasti, a taky v jakých zónách se nejvíce vyskytují dané třídy. Na první pohled je jasné, že největší roli v zónách hrají trávníky. Ale já se chci zaměřit konkrétně na každou z nich a vyslovit z dat nějaký závěr. V zóně 1 má největší procento vyšší zeleň, což koresponduje s výskytem Wilsonova lesa, proto můžeme říci, že se v něm nachází hodně stromů nad 10 metrů. Stejná data vyplývají i ze zóny 8, ve které se nachází lesopark Palacký vrch. Ostatní zóny jsou naopak zajímavé druhem budov. Například uvedeme zónu 6, v níž se spíše vyskytují menší budovy, jako obytné domy, garáže, ale zato jsou hodně u sebe a zabírají velkou plochu, a tak se zóna 6 řadí mezi zóny s největším podílem budov. Jako poslední příklad bych uvedl zónu 5, která má ze všech zón největší přítomnost vyšších budov, za co vděčí obrovskému množství paneláků.

### 4.3. Srovnání s teplotní mapou Brna

LETNÍ TEPLOTA VE °C 2019



Obrázek 14. Teplotní mapa Brna.

Zeleň má jasný vliv na klima povrchu, to je i patrné z teplotní mapy. Na územích s vysokou zelení jsou teploty nejmenší a ani nedosáhnou 29 °C, protože stromy vstřebají světlo a vytváří stín. Kdežto na panelácích na severu čtvrti se v extrémních podmínkách teploty mohou vyšplhat až na 50 °C. Výjimečností je golfové hřiště uprostřed mapy, na kterém je naprosto rovná tráva, a tak se teplota dostala až na 38 °C. Ještě větší kuriozitou je hřiště malé kopané kousek nad golfovým hřištěm, což byla paradoxně největší plocha v Žabovřeskách s teplotou nad 47 °C.

## 5. Diskuze

Cílem práce bylo vytvoření rastrové mapy z bodových mračen. Výsledná mapa se povedla a zjistili jsme cílové požadované hodnoty, ale v některých bodech klasifikace vznikly malé chyby, které je potřeba rovněž zohlednit ve výsledku práce.

Největším problémem jsou vodní plochy, které jak už bylo zmíněné v teorii absorbují vypuštěné lasery. Z toho důvodu se voda nedá dobře klasifikovat a musí se maximálně přidávat ručně, jako jsem udělal já se Svratkou, což u jasných velkých ploch určitě jde, ale něco jiného jsou ve městech zahradní bazény, u kterých moc není žádná šance je všechny vyhledat a po upravit, proto vznikají v datech prázdná místa.

Dalším problémem bylo určit rozdělovací výšku mezi třídami domů. Neboť všechny budovy nejsou naprosto rovné a tím vzniká problém jejich rozdělení. Nakonec jsem je sice podle určité výšky rozdělil, která mi přišla za nejvhodnější, ale i tak vzniklo na území docela dost budov s dvěma různými třídami (tyto budovy mají obvykle uprostřed třídu, vyšších domů a paneláků‘ kvůli střeše a na okrajích obecnou klasifikaci ‚domů‘).

Tyto dva parametry ovlivnily cílovou procentualitu zón, ale tím že to jsou pouze drobné odchylky od reality, tak jsme je zanedbali.



## 6. Závěr

Do nedávna byl letecký dálkový průzkum zcela neznámý, ale v dnešní době se už používá pro nejrůznější charakteristiky krajiny. Asi takovým hlavním je výškový profil na základě, něhož vznikla tato klasifikovaná mapa. Proto vidím v LLS veliký potenciál do budoucna, i když v diskuzi jsem uvedl některé nedostatky klasifikace, na které si je potřeba dát pozor.

Výsledná mapa nám poskytla barevnou vizualizaci prvků terénu městské části Brno-Žabovřesky. Mapa byla i využita na porovnání s teplotní mapou Brna, kde jsme zjistili, že teplota záleží na udržování trávníku, proto golfové i fotbalové hřiště mají tak vysoké hodnoty.

Závěrečným cílem práce bylo zjištění zastoupení jednotlivých klasifikovaných tříd v devíti zónách. Díky tomu jsme například zjistili, že jsou docela výrazné třídní rozdíly složení zeleně mezi Wilsonovým lesem a lesoparkem Palacký vrch. Sice totiž oba obsahují stejné procento skladby zeleně, ale Wilsonův les obsahuje o 20 % více vyšší zeleně než lesopark.

## 7. Citovaná literatura

Mallet, C. and Bretar, F. (2009) Full-Waveform Topographic Lidar: State-of-the-Art. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

Petrie, G. 2011. Airborne topographic laser scanners. GEO Informatics 14: 34—44.

Hug, C & Krzystek, Peter & Fuchs, W. (2004). Advanced lidar data processing with LasTools

Yan, Wai Yeung & Shaker, Ahmed & LaRocque, Paul. (2019). Scan Line Intensity-Elevation Ratio (SLIER): An Airborne LiDAR Ratio Index for Automatic Water Surface Mapping. Remote Sensing. DOI: 11. 814. 10.3390/rs11070814.

Quattrochi, D.A. & Goel, N.S. 1995. Spatial and Temporal Scaling of Infrared Remote Sensing Data. Remote Sensing Reviews 12: 256–286

Payan, Véronique & Royer, Alain. (2004). Analysis of Temperature Emissivity Separation (TES) algorithm applicability and sensitivity. International Journal of Remote Sensing – INT J REMOTE SENS. 25. 10.1080/014311603100011527

PhDr. Hana Svatoňová, Ph.D. prof. Ing. Lubomír Lauermann, CSc., Dálkový průzkum Země, 2010, Masarykova univerzita Pedagogická fakulta ISBN: 978-80-210-5162-1

Letecký dálkový průzkum Země, František Zemek a kol., ISBN: 978-80-87902-07-3

Riegl: Technická dokumentace laserového skeneru Riegl LMS-Q780

[http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/30\\_SystemConfiguration\\_LMS-Q780\\_03-13\\_18-03-2013\\_PRELIMINARY.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/30_SystemConfiguration_LMS-Q780_03-13_18-03-2013_PRELIMINARY.pdf)

Ortofotomapa odkaz:

[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(5inntw4zr0eouexjtibjmmui\)\)/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba](https://geoportal.cuzk.cz/(S(5inntw4zr0eouexjtibjmmui))/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba)

Teplotní mapa odkaz: [https://gis.brno.cz/mapa/teplotni-mapa/?c=-600212.5%3A-1158564.6&z=6&lb=of-brno\\_akt&ly=tepmap02019&lbo=1&lyo=](https://gis.brno.cz/mapa/teplotni-mapa/?c=-600212.5%3A-1158564.6&z=6&lb=of-brno_akt&ly=tepmap02019&lbo=1&lyo=)

