

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra matematiky**



**Diplomová práce**

**Geoinformatika jako nástroj pro detekci  
mezerovitosti chmele**

**Bc. Josef Kořínek**

**© 2023 ČZU v Praze**

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Josef Kořínek

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Geoinformatika jako nástroj pro detekci mezerovitosti chmele**

Název anglicky

**Geoinformatics as a tool for hop gap detection**

---

## Cíle práce

- zpracovat rešerši k problematice monitorování růstu zemědělských plodin s důrazem na speciální plodiny a detekci mezerovitosti v porostu
- vybrat a zpracovat vhodné snímky;
- vybrat vhodné metody analýzy obrazu a zpracovat podklady;
- statisticky zhodnotit zanalyzované podklady s referenčními daty;
- diskutovat výsledky analýz a určit jejich přesnost a využitelnost v praxi.

## Metodika

V rámci teoretické části práce (literární rešerše) se autor seznámí a popíše problematiku analýzy snímků z bezpilotních prostředků na příkladu speciálních plodin;

V praktické části vybere a zpracuje vhodné snímky a referenční data. Na základě porovnání dat a analýz autor popíše možné metody detekce mezerovitosti chmele.

V diskuzi autor dále zhodnotí a porovná výsledky své práce s odbornou literaturou. Autor bude také diskutovat přesnost navržených metod a jejich využitelnost v praxi.

Řešení praktické části diplomové práce počítá s využitím nástrojů geoinformatiky, především volně dostupného SW QGIS.

## **Doporučený rozsah práce**

40-80 stran

## **Klíčová slova**

Geoinformatika, chmel otáčivý, letecké snímky, analýza obrazu

---

## **Doporučené zdroje informací**

- Comba, L., Gay, P., Primicerio, J., Aimonino, D.R. (2015). Vineyard detection from unmanned aerial systems images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 114, 78- 87
- Jiménez-Brenes, F.M., López-Granados, F., Torres-Sánchez, J., Pena, J.M., Ramírez, P., Castillejo-González, I., de Castro, A.I. (2019). Automatic UAV-based detection of *Cynodon dactylon* for site-specific vineyard management. *PLoS ONE* 14(6): e0218132
- Pang, Y., Shi, Y., Gao, S., Jiang, F., Veeranampalayam-Sivakumar, A., Thompson, L., Luck, J., Liu, C. (2020). Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize stand count in UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178
- Rybáček, V. (ed.). (1991). Hop production. Elsevier
- Santoro, F., Tarantino, E., Figorito, B., Gualano, S., D'Onghia, A.M. (2011). A tree counting algorithm for precision agriculture tasks, *International Journal of Digital Earth*, 6(1), 1-10
- 

## **Předběžný termín obhajoby**

2022/2023 LS – TF

## **Vedoucí práce**

doc. RNDr. Přemysl Jedlička, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra matematiky

## **Konzultant**

doc. Mgr. Jitka Kumhálová, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2021

**doc. RNDr. Přemysl Jedlička, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 06. 01. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Geoinformatika jako nástroj pro detekci mezerovitosti chmele" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2023

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu docentovi RNDr. Přemyslu Jedličkovi, Ph.D. a paní docentce Mgr. Jitce Kumhálové, Ph.D. za odborné vedení mé práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině za poskytnutí zázemí a obzvláště pak mojí snoubence za neuvěřitelnou podporu, bez které by tato práce nevznikla.

# Geoinformatika jako nástroj pro detekci mezerovitosti chmele

## Abstrakt

Tato práce se zabývá detekcí mezerovitosti pomocí analýzy obrazu. Správná analýza obrazu je klíčovým faktorem při automatickém určení mezerovitosti porostu. Cílem práce bylo navrhnout řešení detekce mezerovitosti ze snímků pořízených bezpilotním letounem. Cíle bylo dosaženo navržením zásuvného modulu do volně dostupného programu QGIS. Výsledky zásuvného modulu byly porovnány s referenčními daty nasbíranými ve chmelnici a zhodnoceny z hlediska chybovosti. Na základě literární rešerše byla navrhována zlepšení použité metody.

**Klíčová slova:** Geoinformatika, chmel otáčivý, letecké snímky, analýza obrazu

# **Geoinformatics as a tool for hop gap detection**

## **Abstract**

This thesis deals with the detection of gaps using image analysis. Correct image analysis is a key factor in automatic determining the gap size of a stand. The aim of the thesis was to propose a solution for gap detection from images taken by a drone. The goal was achieved by designing a plug-in module for the open-source program QGIS. The results of the plug-in were compared with reference data collected in the hop garden and evaluated for error rate. Improvements to the methods were proposed based on the literature review.

**Keywords:** Geoinformatics, hops, aerial images, image analysis

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Teoretická východiska .....</b>	<b>2</b>
2.1 Geoinformatika a její význam pro zemědělství.....	2
2.2 Dálkový průzkum země.....	3
2.2.1 Platformy .....	3
2.2.2 Typy senzorů.....	4
2.3 Metody zpracování a analýzy obrazu .....	8
2.3.1 Rastrový kalkulátor.....	8
2.3.2 Prahování .....	9
2.3.3 Vyhlazování .....	11
2.3.4 Detekce hran .....	13
2.3.5 Kombinace metod .....	16
2.4 Přehled používaných metod detekce mezerovitosti .....	17
2.4.1 Mezerovitost .....	17
2.4.2 Přehled automatických metod detekce mezerovitosti v porostu.....	17
2.5 Knihovny pro zpracování a analýzu obrazu .....	18
2.5.1 Open CV .....	18
2.5.2 Geospatial Data Abstraction Library .....	19
2.5.3 Orfeo ToolBox.....	19
2.6 Dostupný software pro zpracování obrazových a geoinformatických dat .....	20
2.6.1 SAGA.....	20
2.6.2 QGIS .....	21
2.6.3 R.....	22
2.6.4 Pix4Dmapper .....	22
2.6.5 Google earth.....	23
2.6.6 Adobe Photoshop/ Lightroom.....	23
2.6.7 LabView.....	24
2.6.8 Další softwary .....	24
<b>3 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>25</b>
3.1 Cíl práce .....	25
3.2 Metodika.....	25



<b>4</b>	<b>Vlastní práce .....</b>	<b>26</b>
4.1	Vývoj zásuvného modulu .....	26
4.1.1	QGIS Plugin Builder 3.....	26
4.1.2	Tvorba uživatelského rozhraní.....	27
4.1.3	Tvorba vlastního programu.....	28
4.2	Pořízení snímků .....	35
4.3	Složení snímků .....	40
4.4	Zpracování dat .....	42
4.4.1	Detekce rostlin .....	42
4.4.2	Statistické zpracování k nalezení nejpřesnější metody.....	45
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuse .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>67</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma fungování fotodiody (přeloženo) [23].....	4
Obr. 2 Koncept získávání vizuální informace pomocí barevných filtrů a pole barevných filtrů (přeloženo) [24] .....	5
Obr. 3 Základní LiDARový systém (přeloženo)[40].....	6
Obr. 4 Vztahy mezi obrazem a daty (přeloženo) [54] .....	8
Obr. 5 Schéma rastrového kalkulátoru (přeloženo) [55] .....	8
Obr. 6 Rozdíly v optické odrazivosti (přeloženo) [16].....	9
Obr. 7 Porovnání typů prahování (přeloženo) [63].....	10
Obr. 8 Ostuova metoda – nalezení hodnoty na histogramu (přeloženo) [61] .....	11
Obr. 9 Proces konvoluce (přeloženo) [61].....	12
Obr. 10 Průběh derivací u modelové hrany (přeloženo) [61] .....	13
Obr. 11 Konvoluční neuronová síť pro klasifikaci objektů v obraze [69].....	16
Obr. 12 Graficky znázorněné typy implementovaných metod prahování [77] a interaktivní tutoriál [78] .....	18
Obr. 13 Možnosti aplikací programu SAGA (přeloženo) [92].....	20
Obr. 14 Logo nejnovější verze programu QGIS [102] .....	21
Obr. 15 Propojení QGIS a R [104] .....	22
Obr. 16 Dialogové okno zásuvného modulu Plugin Builder 3 .....	26
Obr. 17 Nainstalovaný modul.....	27
Obr. 18 Prostředí programu Qt Designer.....	27
Obr. 19 Vycentrování kartového kontejneru .....	28
Obr. 20 Nastavení minimální velikosti dialogového okna .....	28
Obr. 21 Ikona pluginu s najetím kurzoru myši .....	28
Obr. 22 Kritéria k plnění rozbalovacích seznamů .....	29
Obr. 23 Funkce Clip raster by mask layer s atributy .....	29
Obr. 24 Přepočítání pro první pásmo rastrové vrstvy .....	30
Obr. 25 Část rozhodovacího mechanismu a atributy funkce raster calculator .....	30
Obr. 26 Rovnice pro výpočet indexů připravená pro funkci raster calculator.....	30
Obr. 27 Ukázka výstupu funkce prahování a rozostření.....	31
Obr. 28 Zjištění parametrů obrazu.....	32
Obr. 29 Zjištění souřadnic rastrové vrstvy.....	32
Obr. 30 Výpočet koeficientů.....	32
Obr. 31 Výpočet těžiště kontur .....	32
Obr. 32 Přepočítání souřadnic.....	32
Obr. 33 Ukládání bodu do vrstvy.....	32
Obr. 34 Přidání sloupců do atributové tabulky linií.....	33
Obr. 35 Zjištění indexu upravovaného sloupce .....	33
Obr. 36 Vytvoření složky pro exportovaná data.....	33
Obr. 37 Vytvoření pásma okolo linie.....	33

Obr. 38 Ukládání a počítání bodů v pásmu .....	33
Obr. 39 Počítání mezerovitosti .....	34
Obr. 40 Ukládání do atributové tabulky .....	34
Obr. 41 Export atributů do formátu CSV .....	34
Obr. 42 Lokace .....	35
Obr. 43 Mapovací dron eBee X [156] .....	36
Obr. 44 Terénní stanoviště dronu s kamerovým příslušenstvím [158].....	37
Obr. 45 Kamera Duet T v lóži .....	37
Obr. 46 Kamera Parrot Sequoia a senzor slunečního svitu v lóži.....	37
Obr. 47 Kamera MicaSense RedEdge a senzor slunečního svitu v lóži .....	38
Obr. 48 Vytvoření přeletové mise v programu eMotion .....	39
Obr. 49 Vizualizace dráhy letu UAV.....	39
Obr. 50 Vytvoření nového projektu Pix4d.....	40
Obr. 51 Průběh programu Pix4d .....	41
Obr. 52 Obsah složky linie .....	43
Obr. 53 Kroky přidání polygonu.....	43
Obr. 54 Karty zásuvného modulu .....	44
Obr. 55 Zjištění cesty k listu .....	45
Obr. 56 Výsledek dotazu absolutní cesty.....	46
Obr. 57 Příklad dotazu na data exportovaná modulem.....	46
Obr. 58 Příklad: 1. graf – Ekologická chmelnice Duet T datum: 27.4.2020 .....	47
Obr. 59 Příklad: 2. graf – Ekologická chmelnice Duet T datum 27.4.2020 .....	48
Obr. 60 NDI Duet T Ekologická Chmelnice – datum: 27.4.2020 .....	49
Obr. 61 TGI Duet T Konvenční chmelnice – datum: 21.5.2020 .....	49
Obr. 62 Všechny indexy a kamery Ekologická Chmelnice – datum: 27.4.2020 .....	50
Obr. 63 NDI MicaSence Ekologická Chmelnice – datum: 21.5.2020.....	50

## Seznam tabulek

Tab. 1 Vybrané používané vegetační indexy .....	9
Tab. 2 Typické masky operátorů gradientu .....	14
Tab. 3 Spektrální pásma použitých kamer.....	38
Tab. 4 Možnost použití zvolených indexů.....	38
Tab. 5 Data pro mezerovitost z terénu .....	45
Tab. 6 Příklad: 1. tabulka – Ekologická chmelnice Duet T datum: 27.4.2020.....	47
Tab. 7 Příklad: 2. tabulka – Ekologická chmelnice Duet T datum 27.4.2020 .....	48
Tab. 8 Příklad: 3. tabulka – Ekologická chmelnice květen 2020 Duet T .....	48

# 1 Úvod

Současná doba vyžaduje vysokou schopnost přizpůsobovat se novým výzvám. Pokud jde o oblast zemědělství, pak se jedná především o potřebu zefektivnit produkci potravin. Pro zvýšení výnosnosti plodin a udržení konkurenceschopnosti je potřeba neustále aplikovat moderní technologie a poznatky.

Aplikace geoinformačních systémů umožňuje zlepšení nakládání s přírodními, lidskými i materiálními zdroji. Jednou z v praxi používaných moderních technologií je snímání porostu pomocí bezpilotních letounů.

Výsledkem takového snímání je však velké množství dat, která bez dalšího zpracování nemají potřebnou vypovídající hodnotu. Vhodně zvolený nástroj pro automatickou analýzu obrazu pak může poskytnout užitečné informace pro plánování obnovy porostu a případně i pro jiné postupy precizního zemědělství, a to výrazně snadněji a rychleji než tradiční metody.

Mezerovitost chmele se standardně určuje fyzickou kontrolou, nicméně s ohledem na rozsáhlost osázené plochy a celkový počet rostlin se tento postup vyznačuje velkou časovou náročností a nevyhnutelnou chybovostí způsobenou lidským faktorem. Jedná se tedy o vhodnou příležitost pro automatizaci procesu.

## 2 Teoretická východiska

Teoretická část práce se zaměřuje na analýzu současných poznatků týkajících se dané problematiky a členěna na šest částí:

- v první části je všeobecně popsán pojem geoinformatika,
- druhá část se pak detailněji zabývá zařízeními a technologiemi, které se používají při dálkovém průzkumu země,
- ve třetí části jsou popsány obecné metody pro zpracování a analýzu obrazových dat, metody, které se zaměřují na speciální rostliny a které se velmi podobají řešenému problému, jsou ve čtvrté části,
- v páté části jsou uvedené vybrané knihovny a
- v šesté části jsou analyzovány ucelené softwary využívané v geoinformatice.

### 2.1 Geoinformatika a její význam pro zemědělství

Geoinformatika je obor, který vznikl zkřížením oboru geografie a informatiky. První snahy tyto obory propojit se objevují již v 60. letech 20. století [1]. Geoinformatika je v současnosti široce využívána v mnoha oblastech, těmi jsou například průmysl, záchranné služby, medicína, ekologie a environmentální management, vzdělávání, vědecký výzkum a obchod [2]. Geoinformatické systémy se skládají z těchto šesti prvků: lidé, postupy, hardware, software, data a síť, která všechny prvky propojuje [3].

Geoinformatika hraje důležitou roli v precizním zemědělství [4]. Cyklus precizního zemědělství se skládá z hodnocení stavu, plánování, aplikace a sběru výsledků. V precizním zemědělství jsme svědky dvou přístupů využití geoinformatiky a jejich kombinace. Jeden přístup je založený na vytváření map a druhý je založen na přístupu k datům v reálném čase. [5]

Geoinformační systémy umožňují uživateli na základě vytvořených prostorových databází stavět tematické mapy, které odrážejí aktuální stav, studovat dynamiku změn v prostoru a čase, stimulovat vývoj situace, získávat komplexní odhady, konstruovat různé grafy, tabulky a diagramy [2].

Z technického pohledu je aplikace geoinformačních systémů v zemědělství dělena na čtyři úrovně: pro průzkum zemědělských zdrojů, jako nástroj pro analýzu zdrojů, jako nástroj pro řízení zemědělské výroby nebo jako pomocný rozhodovací nástroj pro zemědělský management [6].

V zemědělství se geoinformační systémy využívají k inventarizaci plodin, analýze a prognóze výnosu, identifikaci nutričního a vodního stresu, monitorování zaplavení, monitorování vegetačního krytu, ke sledování agro–meteorologických dat, sledování zamoření škůdci a plevely a k hospodaření s vodními zdroji [7, 8].

## 2.2 Dálkový průzkum země

Exponenciálně rostoucí zájem o využití dálkového průzkumu země (DPZ) v zemědělství, je zapříčiněn podstatným pokrokem v relevantní technologii, včetně mnoha senzorů a malých platform, jako jsou nanosatelity nebo bezpilotní letouny a zároveň zavedením cloudových výpočetních služeb a strojového učení [9].

### 2.2.1 Platformy

Platformy dálkového průzkumu jsou prostředky, jako jsou bezpilotní letouny, letadla nebo satelity, které mohou nést snímací zařízení pro provádění operací dálkového měření. Výběr vhodné platformy závisí na povaze problému. Satelity mohou s hrubým rozlišením rychle zmapovat rozsáhlou oblast, bezpilotní letecké systémy se pak dobře hodí pro malé a výzkumné aplikace a zpravidla poskytují velmi vysoké prostorové rozlišení.[10]

Výhodou satelitních snímků oproti snímkům pořízených ze vzduchu je, že jsou zpravidla dostupné i retrospektivně, snímky pořízené bezpilotními letouny jsou přístupné zpravidla již do jedné hodiny, v rámci letadel se pak jedná o řády hodin a čekání na aktuální satelitní snímky může trvat až několik dní [11].

Zatímco nižší satelitní rozlišení při snímkování řádkového porostu (např. vinic), nutně implikuje zprůměrování řadových a mezirádkových informací, vyšší rozlišení poskytované vzdušnými prostředky umožňuje provádět filtraci obrazu za účelem vyloučení informací přicházejících z mezirádku [12].

Bezpilotní letoun, pro který se v češtině také používá zkratka UAV (unmanned aerial vehicle – bezpilotní vzdušný prostředek), je letadlo bez lidské posádky, které je ovládáno na dálku nebo létá samostatně [13]. Bepilotní letouny mají tu nevýhodu, že mají menší záběr (zpravidla několik km<sup>2</sup>), a to často kvůli nízkým energetickým rezervám a legislativě potřebné k ochraně letového provozu nebo bezpečnosti a soukromí osob [14]. Obecně platí, že bezpilotní letouny pro civilní použití, jsou založeny na rotoru tzv. rotokoptéry, na pevné křídle nebo využívají hybridní řešení [15, 16] a mají vzletovou hmotnost od několika desítek gramů až po 25 a více kilogramů [17].

Nejslibnějším přístupem je pak synergie dat ze satelitu a bezpilotních letounů. Tuto synergií můžeme dělit do čtyř kategorií: porovnání dat, víceměřítkové objasnění, kalibrace modelu a fúze dat [18]. Lokalizace ve venkovním prostředí se obecně provádí pomocí GPS [19], avšak v místech s žádným nebo slabým signálem GPS se může k lokalizaci snímků z bezpilotních letounů využít již existujících snímků satelitních [20].

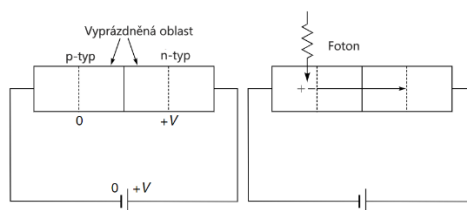
## 2.2.2 Typy senzorů

Data přijímaná senzory bezpilotních letounů mohou být spektrální, prostorová a časová. Výběr správného senzoru a dat závisí na povaze aplikace. Například teplotní data jsou vhodná pro identifikaci stavu vody, zatímco spektrální informace představují dobrou možnost pro identifikaci chorob rostlin.[21]

### RGB

Optické kamery nebo také kamery „viditelného světla“ pracují v rozsahu vlnových délek 0,4–0,7  $\mu\text{m}$  [22]. Existují dva populární druhy komerčních obrazových senzorů: senzory na principu nábojově vázaných prvků (CCD) a na principu unipolárních tranzistorů (CMOS), přičemž v obou případech je převodníkem fotodiody spřažená s kondenzátorem [23].

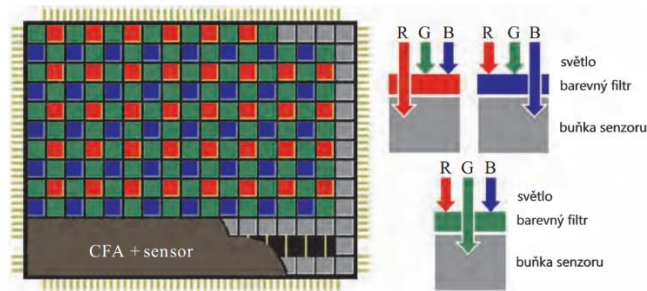
Fotodiody převádí světlo na elektrický signál. Oblast typu p (obr. 1) fotodiody je pozitivně nabitá a oblast typu n je nabitá negativně [23]. Když světlo dopadá na senzor, některé fotony jsou absorbovány křemíkem, čímž dochází k tvorbě volných elektronů a elektronových děr. Ty jsou unášeny elektrickým polem ke kladně a záporně nabitým oblastem a tvoří elektrický proud, který je úměrný intenzitě světla dopadajícího na fotodiodu [23, 24]. Výstupní napětí fotodiody je pak úměrné součinu intenzity světla obrazu a expozičního času [24].



Obr. 1 Schéma fungování fotodiody (přeloženo) [23]

Expozice fotodiody je řízena jejím resetovacím časováním. Řídící obvod periodicky vysílá resetovací impuls k odstranění náboje nahromaděného v kondenzátoru. Pro expozici, řídicí mechanismus přestane resetovat náboj v kondenzátoru a nově generovaný náboj se naakumuluje. Tento mechanismus řízení expozice se také nazývá elektronická závěrka.[24]

Fotodiody jsou jednoprvkové detektory, což znamená, že aby je bylo možné použít k vytváření obrazů, musí být buď zasazeny do velkých polí detektorů, nebo musí skenovat cíl [23]. Takto vytvořené pole sice bude vytvářet obraz, ale jelikož fotodiody reaguje na celé spektrum dohromady, výsledný obraz postrádá informaci o barvě, jinak řečeno o spektrální charakteristice světla. Proto se na buňky senzoru (diody) umísťují barevné filtry, viz obr. 2, které propustí jen danou část spektra. [24]



**Obr. 2 Koncept získávání vizuální informace pomocí barevných filtrů a pole barevných filtrů (přeloženo) [24]**

RGB senzory jsou nejčastěji používané senzory nesené UAV pro aplikace v precizním zemědělství [25]. Typicky se používají pro rozpoznávání rostlin a monitorování defektů a zelenosti rostlin [26]. Ve srovnání s ostatními typy jsou relativně levné a současně mohou získat obraz s vysokým rozlišením [25].

### **Multispektrální a hyperspektrální senzory**

Na rozdíl od RGB senzorů, které snímají 3 pásma, multispektrální senzory obecně snímají 5 až 12 pásem a hyperspektrální snímky se skládají z velmi vysokého počtu (stovky až tisíce) užších pásem (5–20 nm, každé) [27].

Multispektrální snímky se využívají např. k měření indexu pokrytí listové plochy [28] nebo k poloautomatickému mapování plevelů [29]. Hyperspektrální snímky se v zemědělství dále dají využít např. k spektrální diskriminaci plodin a jejich genotypů nebo kvantitativnímu odhadu biofyzikálních a biochemických parametrů [30]. Multispektrální a hyperspektrální senzory jsou často používány i přes vyšší pořizovací náklady. Kromě ceny je další nevýhodou, obzvláště pak u hyperspektrálních senzorů, nutnost použití složitějších metod předzpracování [25].

### **Infračervené senzory**

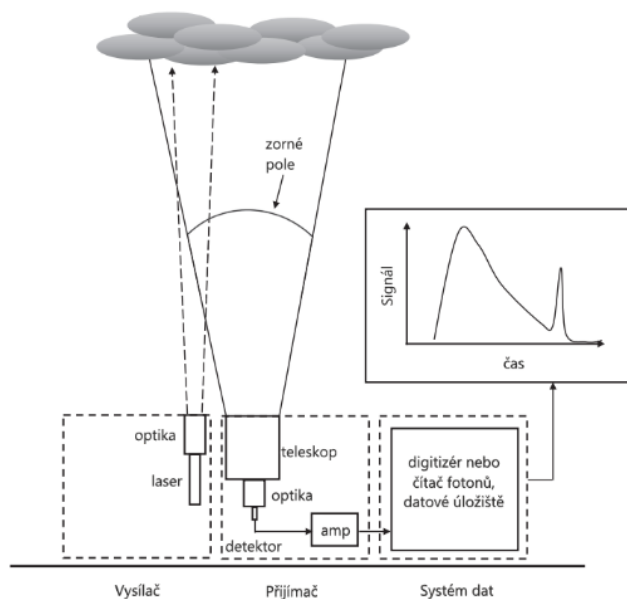
Infračervené snímky mají cenný přínos v DPZ, protože předávají informace, o teplotním chování různých zemin, hornin a stavebních materiálů, které nelze snadno odvodit z jiných forem zobrazení [31]. Za infračervenou část elektromagnetického spektra je obvykle považováno rozmezí 0,7  $\mu\text{m}$  až 1 000  $\mu\text{m}$  vlnové délky [32]. Zpravidla se teplotní senzory dělí na dvě kategorie dle nutnosti chlazení [33]. Pro snímky z bezpilotních letounů se většinou používají nechlazené senzory, zatímco chlazené senzory se hodí k použití u satelitních systémů [34].

V praxi se v zásadě používají tři typy nechlazených senzorů. Detektory na bázi feroelektrického baryum-stroncium titanátu [35, 36] a bolometry z oxidů vanadu ( $\text{VO}_x$ ) nebo amorfního křemíku (a-Si) [36, 37]. Infračervené snímky se dají použít pro odhad výnosů, fenotypizaci rostlin, detekci vodního stresu rostlin a detekci chorob rostlin [33].



## LiDAR

LiDAR, je zkratka pro "Light Detection and Ranging" (česky "Světelná detekce a měření"). Jedná se o metodu, kterou lze použít na vesmírných, vzdušných i pozemních platformách [38]. Na rozdíl od výše uvedených metod se jedná o aktivní senzor, což znamená, že vysílá elektromagnetickou vlnu (optické nebo infračervené vlnové délky) a přijímá odražený signál zpět [39]. Vysílač a systém dat (obr. 3) jsou synchronizovány, díky tomu lze z časové prodlevy, za kterou se paprsek letící rychlostí světla odrazí od objektu a přiletí zpět do detektoru, odvodit vzdálenost objektu [39].



Obr. 3 Základní LiDARový systém (přeloženo)[40]

Pro získávání 3D snímků z LiDARu se používá metoda SLAM (Simultaneous Localization and Mapping - Současná Lokalizace a Mapování), ta na základě informací o poloze a naklonění senzoru vytváří bodová mračna [41]. UAV pak mohou pořizovat velice přesné 3D snímky, které se dají použít např. pro hodnocení stavu pšenice [42], pro identifikaci stromů [43] nebo stanovení listové pokrývnosti vinic [44]. Moderní hyperspektrální LiDAR umožňuje rekonstrukci skutečné barvy snímaného objektu, která má zásadní význam pro ekologické monitorování [45].

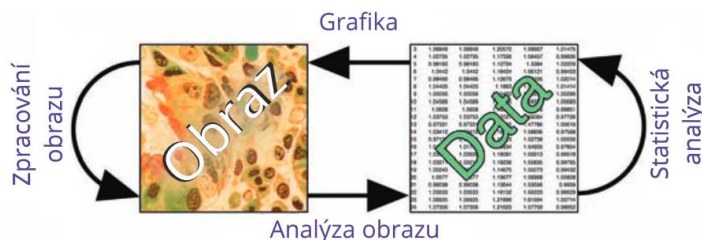
## SAR (Synthetic Aperture Radar)

Radar (Radio Detection and Ranging – Rádiová detekce a měření) je aktivním senzorem, který emituje elektromagnetické vlnění v rádiové části. Princip snímání je obdobný jako u LiDARu [46] s tím rozdílem, že konvenční radary vysílají v rozsahu od 1 mm do 1 m vlnové délky [47]. Kromě měření vzdálenosti objektu pomocí měření prodlevy signálu, dokáží radary na základě Dopplerova jevu zjistit rychlost jakou se snímaný objekt přibližuje k radaru [48].

Radar se syntetickou clonou (Synthetic aperture radar – SAR) je kombinací radarového hardwaru, zpracování signálu a relativního pohybu, který vytváří fotografické vykreslení stacionárních cílů a zájmových scén [47]. Technologie SAR se dle [26] používá pro identifikaci plodin a mapování krajinného pokryvu [49], extrakci parametrů plodin a zemědělské půdy, jako jsou obsah soli a vlhkost [50] nebo odhad výnosů plodin [51].

## 2.3 Metody zpracování a analýzy obrazu

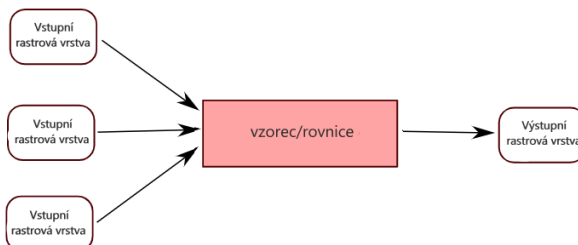
Vstupní obraz je diskretní funkcí dvou proměnných ( $f(x,y)$ ), u které hodnoty funkce udávají například jas obrazu v libovolně daném bodě [52]. Takovouto funkci můžeme často pro zjednodušení aproximovat spojitou funkcí. Digitální obraz pak je dvojrozměrné pole čísel odpovídající změřenému signálu [53]. Prvky tohoto pole se nazývají obrazové prvky (*picture elements*) nebo zjednodušeně pixely [52]. Vztahy mezi obrazem a daty je názorně vidět na obr. 4.



Obr. 4 Vztahy mezi obrazem a daty (přeloženo) [54]

### 2.3.1 Rastrový kalkulátor

Rastrový kalkulátor je základní nástroj často používaný k analýze a úpravě rastrových dat. Jednotlivá data uložená v pixelech rastrových vrstev nebo jednotlivých kanálů vrstvy mezi sebou mohou provádět různé matematické operace viz. obr. 5. Výsledkem je jedna výstupní rastrová vrstva, která umožňuje vyčtení informací, které na jednotlivých vrstvách nebyly zřejmé.



Obr. 5 Schéma rastrového kalkulátoru (přeloženo) [55]

Různé knihovny implementují výpočty odlišně, proto se liší i jejich náročnost a přesnost [55]. Pomocí rastrových kalkulátorů kromě jiného počítáme vegetační indexy. Vegetační indexy jsou jedním z nejoblíbenějších produktů aplikací dálkového průzkumu země pro precizní zemědělství.

Vegetační indexy jsou vlastně různé matematické kombinace/transformace alespoň dvou spektrálních pásem elektromagnetického spektra, navržené tak, aby maximalizovaly příspěvek charakteristik vegetace a zároveň minimalizovaly vnější rušivé faktory [25].

Vegetačních indexů je enormní množství. Vegetační indexy vychází z předpokladu, že rostliny mění svou spektrální charakteristiku na základě jejich vegetačního stavu (obr. 6). Taktéž se absorpce a odrazivost liší na základě druhu rostliny a to jak ve viditelném spektru [56] tak i mimo něj [57]. Vegetační indexy mají široké uplatnění v zemědělském sektoru [8] rovnice vybraných indexů jsou uvedeny v tab. 1.



Obr. 6 Rozdíly v optické odrazivosti (přeloženo) [16]

Index	Formule	Užití
Triangular Greenness Index	$TGI = Zelené - 0.39 \times \text{Červené} - 0.61 \times \text{Modré}$	Detekci chorob rostlin [58]
Normalised Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{NIR - \text{Červené}}{NIR + \text{Červené}}$	Měření zdravé, zelené vegetace [16]
Normalized difference index	$NDI = \frac{Zelené - \text{Červené}}{Zelené + \text{Červené}}$	Oddělení rostlin od půdy a pozadí [59]
Excess Green	$ExG = 2 \times Zelené - \text{Červené} - \text{Modré}$	Zlepšení míry segmentace vegetace na snímcích [60]

Tab. 1 Vybrané používané vegetační indexy

\*NIR – Blízké infračervené spektrum

### 2.3.2 Prahování

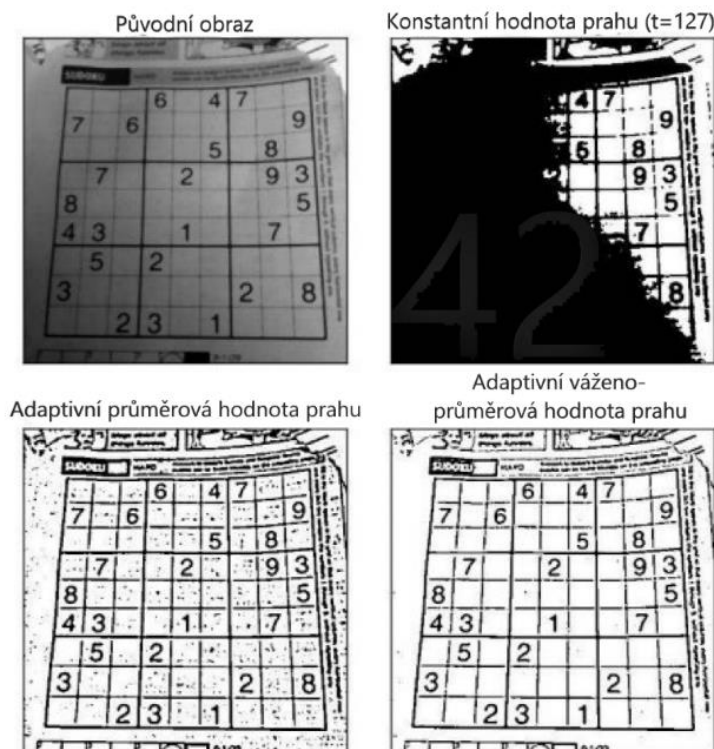
Prahování (z anglického Threshold) je metoda, která se používá k manipulaci s obrazem ve stupních šedi. Často se používá k převodu obrazu na binární obraz. Ten se pak dále dá dobře použít v automatizačních algoritmech neboť takto vytvořený obraz je dobře srozumitelný pro počítač.

V základu se jedná o jednoduché porovnávání hodnot pixelu s předem danou hodnotou, tzv. prahem. U převodu na binární obraz se nastaví všechny pixely, které mají vyšší hodnotu než práh na 1 a všechny nižší na 0. V případě že se nejedná o binární obraz může být hodnota 1 nahrazena libovolnou zvolenou hodnotou. Většinou se používá hodnota 255 [61].

Existují však i další typy metody prahování. Jedním z typů je metoda zvaná tvrdý práh, tato varianta metody prahování hodnoty vyšší než je práh nechává beze změny a hodnoty nižší shodně jako v případě základní varianty nastavuje na nulu. Tento typ se nazývá taktéž „práh k nule“ (tresh to zero). Dalším typem je měkký práh. Měkký práh od pixelů, které mají hodnotu vyšší, než je práh, odečte hodnotu prahu a hodnoty menší, než je práh, nastaví rovněž na nulu.[62]

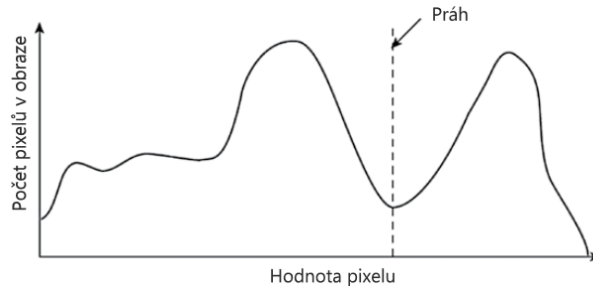
Dále existují modifikované typy metody, které invertují popsané typy metod. Ty se můžou lišit v závislosti na použité knihovně. Příkladem může být implementace knihovny OpenCV, která je zachycena v podkapitole 2.5.1 na obr. 12 vlevo.

Konstantní hodnota prahu není vždy vhodná, jelikož různé snímky nebo části snímku mohou mít odlišný jas. To je většinou způsobeno rozdílnými světelnými podmínkami scény. Aby se předešlo takto vzniklým chybám, používáme tzv. adaptivní práh. Ten nejdříve zjistí průměrnou hodnotu obrazu, kdy lze použít jak průměr prostý, tak průměr vážený a dle zjištěného údaje přizpůsobí hodnotu prahu. Při použití váženého průměru má každý pixel jinou váhu v závislosti na tom jak je vzdálený od porovnávaného pixelu. Ukázka výsledků popsaných metod je vidět na obr. 7.



Obr. 7 Porovnání typů prahování (přeloženo) [63]

I když adaptivní hodnota prahu může dobře posloužit k segmentaci obrazu, ne vždy je dopředu jasné jak bude scéna popřípadě obraz vypadat. Svou roli zde hraje i šum, který může rozhodit hodnoty váženého průměru. Často používaná Otsuova metoda najde vhodnou hodnotu prahu automaticky bez potřeby zadávat vstupní hodnotu prahu. Tato metoda analyzuje histogram obrazu a hodnotu prahu zvolí mezi dvěma největšími extrémami (viz obr. 8).

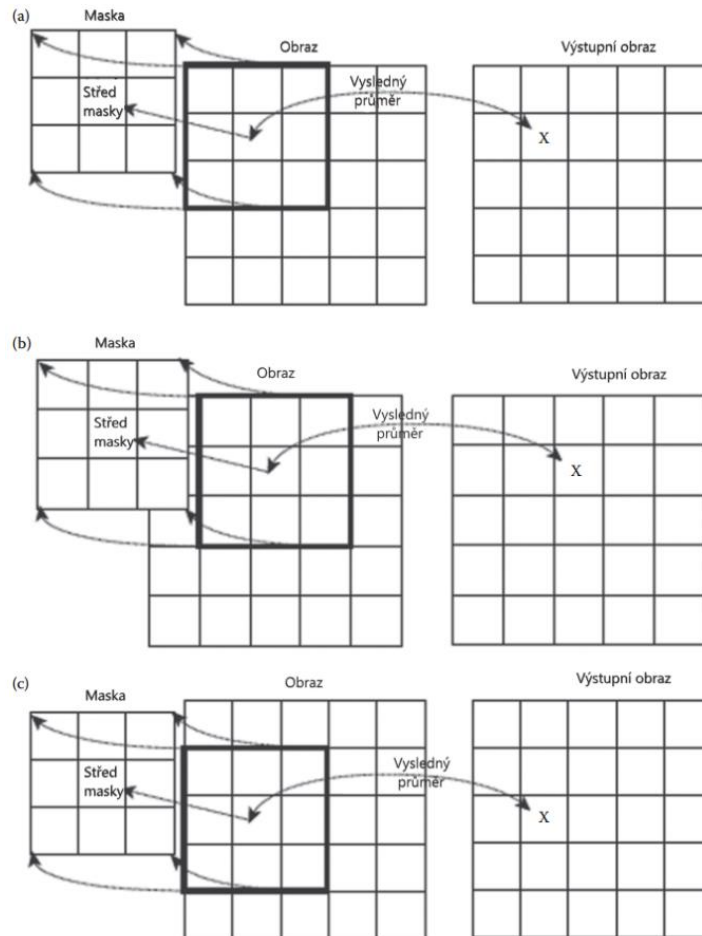


**Obr. 8 Otsuova metoda – naleznutí hodnoty na histogramu (přeloženo) [61]**

### 2.3.3 Vyhlažování

Některé pixely mohou mít vlivem šumu a nepřesností diametrálně jiné hodnoty než jsou hodnoty vstupní funkce. To může mít za následek, že prahování potlačí pixely i na místech kde je zřejmé, že k potlačení nemělo dojít. K odstranění těchto nepřesností docílíme zprůměrováním pixelu hodnotami v námi určeném okolí pixelu.

Pro porovnávání okolí je vytvořena matice, kterou nazýváme maska. Rozměry masky jsou v zásadě dvě lichá čísla (šířka a výška), tak aby byla maska symetrická. Maska obsahuje hodnoty, které určují jak moc bude záležet na pozici pixelu od středu masky. Hodnoty okolí pixelu jsou vynásobeny hodnotami masky, sečteny dohromady a vyděleny součtem násobků. Toto se opakuje pro všechny hodnoty v řádku pro každý řádek. Tento proces se nazývá konvoluce a je vidět na obr. 9.



**Obr. 9 Proces konvoluce (přeloženo) [61]**

Pokud bychom chtěli počítat prostý průměr všech hodnot masky, všechny hodnoty v daném okolí by se vynásobily jedničkou a vydělily součtem všech hodnot v matici masky. Příkladem může být rovnice výpočtu průměru pro masku o velikosti 3×3 [62] :

$$h(m, n) = \frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, m \in \{-1, 0, 1\}, n \in \{-1, 0, 1\}$$

Výsledkem takto použitého filtru je velmi rozmazaný obraz, který nemusí být vždy vhodný k použití, jelikož se z obrazu odstraní příliš mnoho detailů především pak hrany. Jakási zlatá střední cesta vyhlazování spočívá v naplnění masky hodnotami vypočtenými Gaussovou funkcí rozdělení pravděpodobnosti, které potlačí šum a zachová hrany.

Odezva Gaussovy funkce na jednotkový skok (tedy na hodnotu 1) se liší v závislosti na vzdálenosti od středu matice a zvolené směrodatné odchylce  $\sigma$  [62]. Funkční předpis funkce je:

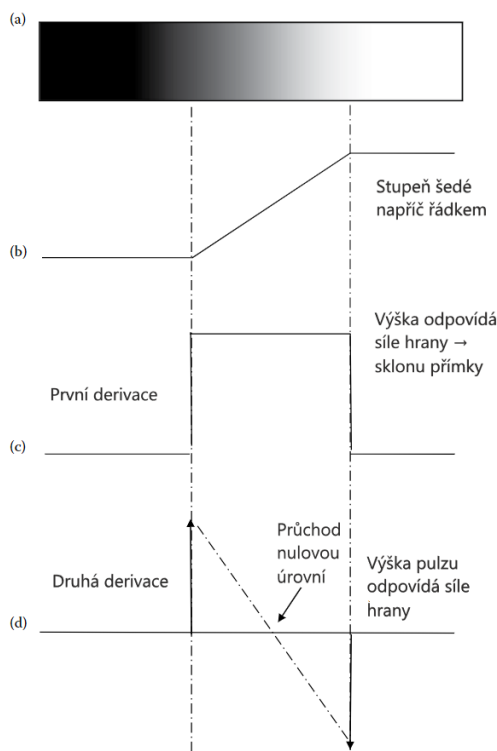
$$h(m, n) = \frac{e^{-\frac{(m^2+n^2)}{(2\sigma^2)}}}{K}, \quad K = \sum_{m=-\frac{N-1}{2}, n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} e^{-\frac{(m^2+n^2)}{(2\sigma^2)}}$$

, přičemž  $K$  je suma všech hodnot v neupravené matici, která upravuje masku tak aby při součtu všech hodnot výsledné masky vyšla hodnota rovná 1. Příkladem takto spočítané masky při použití směrodatné odchylky  $\sigma = 2$ , může být obdobná matice jako v předchozím případě o velikosti  $3 \times 3$ , tentokrát už s normalizovanými hodnotami:

$$h(m, n) = \begin{bmatrix} 0,0113 & 0,0838 & 0,0113 \\ 0,0838 & \mathbf{0,6193} & 0,0838 \\ 0,0113 & 0,0838 & 0,0113 \end{bmatrix}, m \in \{-1,0,1\}, n \in \{-1,0,1\}$$

### 2.3.4 Detekce hran

Masky se používají na rozmazávání hran, jak bylo popsáno v předchozí podkapitole, i na jejich zvýraznění a detekci. Většina z konvolučních masek pro detekci hran je založena na diskrétní aproximaci diferenciálních operátorů. Tyto masky využívají vlastností první a druhé derivace. První derivace výslednou hodnotou indikuje intenzitu přechodu a druhá průchodem nulovou úrovní pozici hrany (obr. 10).



Obr. 10 Průběh derivací u modelové hrany (přeloženo) [61]



## První derivace

Nejjednodušší aproximací první derivace je tzv. Robertsův operátor. Ten nejlépe funguje na binárním obraze. Používaná forma rovnice Robertsova operátoru je součtem absolutních hodnot rozdílu diagonálně sousedících prvků masky [61]:

$$|x(m, n) - x(m - 1, n - 1)| + |x(m, n - 1) - x(m - 1, n)|$$

Dále pak mezi běžně používané gradientní operátory patří Prewittův a Sobelův. Funkční předpis pro gradient ve vodorovném směru je:

$$gm(m, n) = x(m + 1, n) - x(m - 1, n)$$

a pro svislý směr je:

$$gn(m, n) = x(m, n + 1) - x(m, n - 1)$$

Zatímco Prewittův operátor zprůměruje změny šesti intervalů, Sobelův operátor navíc přidává středovým pixelům dvojnásobnou váhu. Masky těchto operátorů jsou uvedeny v tab. 2

Operátor	Gradient, vodorovný směr	Gradient, svislý směr
Prewittův	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
Sobelův	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

Tab. 2 Typické masky operátorů gradientu

Výstupní hodnoty po použití masek vodorovného a svislého směru se dají použít pro určení síly hrany a její orientace. V případě, že prohlásíme výsledek vodorovného směru za  $v$  a výsledek svislého směru za  $s$ , rovnice pro výpočet síly hrany je:

$$\sqrt{v^2 + s^2}$$

a rovnice pro výpočet úhlu je:

$$\arctan \left[ \frac{v}{s} \right]$$

## Druhá derivace

Laplaceův operátor je lineárním derivačním operátorem, který se mimo jiné používá pro identifikaci hran pomocí druhé derivace. Laplaceův operátor je často používaný a jeho předpis vypadá následovně:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

Výpočet masky pro 4 pixely v okolí pak má tuto podobu:

$$\begin{bmatrix} & x(m-1, n) & \\ x(m, n-1) & \mathbf{x(m, n)} & x(m, n+1) \\ & x(m+1, n) & \end{bmatrix}$$

Mezi pixely  $x(m, n-1)$  a  $x(m, n)$  identifikujeme přechod. Velikost přechodu je definována jako rozdíl hodnot těchto pixelů:

$$\Delta_{\xi}x(m, n) = x(m, n-1) - x(m, n)$$

Druhým přechodem, který identifikujeme ve vodorovném směru je přechod mezi  $x(m, n)$  a  $x(m, n+1)$ . Velikost tohoto přechodu se počítá obdobně jako  $\Delta_{\xi}$  v předchozím případě:

$$\Delta_{\xi}x(m, n+1) = x(m+1, n) - x(m, n)$$

Odečtením těchto odchylek od sebe a úpravou rovnice dostaneme druhý rozdíl pro počítání intenzity přechodu ve vodorovném směru:

$$\Delta_{\xi}^2x(m, n) = x(m+1, n) + x(m-1, n) - 2x(m, n)$$

Aplikováním obdobného postupu nám vznikne rovnice pro počítání intenzity ve svislém směru:

$$\Delta_{\nu}^2x(m, n) = x(m, n+1) + x(m, n-1) - 2x(m, n)$$

Sečtením těchto dvou rozdílů dostaneme diskrétní aproximující Laplacián:

$$\nabla^2 f(x, y) = x(m, n+1) + x(m, n-1) + x(m+1, n) + x(m-1, n) - 4x(m, n)$$

Ten se taktéž jako u Gaussovy vyhlazovací masky aplikuje na jednotkový skok, čímž vznikne maska:

$$h(m, n) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, m \in \{-1, 0, 1\}, n \in \{-1, 0, 1\}$$

V případě že chceme masku která porovnává 8 sousedních pixelů přičteme k ní onu samotnou pootočenou o 45°:

$$h(m, n) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, m \in \{-1, 0, 1\}, n \in \{-1, 0, 1\}$$

V zásadě nezáleží na tom, zda jsou kladné okolní body nebo středový bod. Důležité je, aby si jednotlivé pixely masky zachovaly dané váhy a jejich vzájemnou protichůdnost. Znaménka jen změni polaritu výsledných hran, což je někdy výhodné, proto se setkáváme i s převrácenými hodnotami masky.

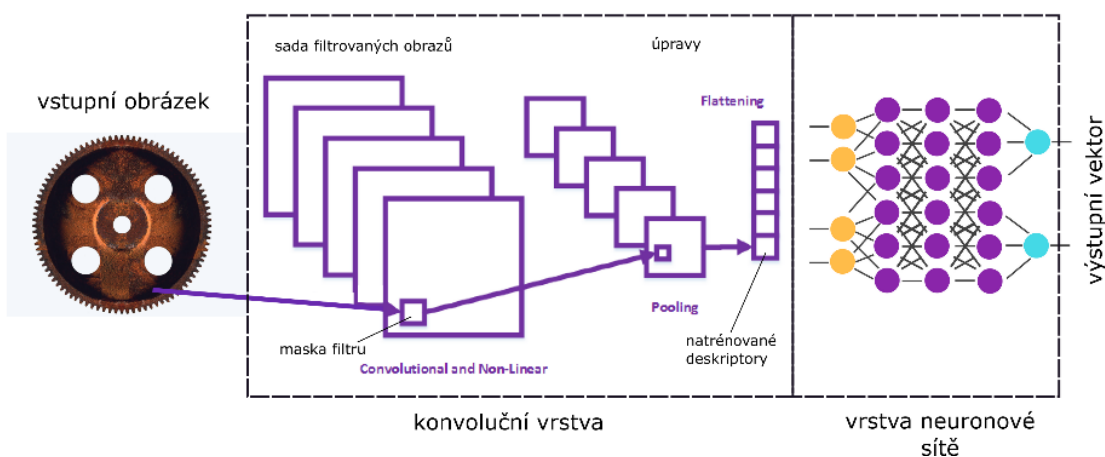
### 2.3.5 Kombinace metod

Pro optimální fungování jsou používány a vyvíjeny různé kombinace zmíněných a dalších metod. Často se pro výpočet masky místo prostého Laplaceova operátoru, jehož příklad byl zmíněn výše, počítá maska z normalizované Gaussovy masky. Tato kombinace metod se nazývá Laplacián Gausiánu (Laplacian of a Gaussian - LoG). [62]

Další, jedna z nejpoužívanějších kombinací metod pro hledání hran v obraze, je Cannyho algoritmus. Ten se skládá ze čtyř základních kroků. Prvním krokem je použití Gaussovy filtrační masky, která byla popsána v podkapitole 2.3.3, pro potlačení šumu. Druhým krokem je nalezení velikosti a směru gradientů pomocí funkcí fungujících obdobně jako bylo popsáno v předešlé podkapitole. Ve třetím kroku se potlačí všechny hodnoty, které nejsou lokálními maximy při použití malé masky, což vyústí k ztenčení detekovaných linií. Posledním krokem je aplikování techniky známé jako hysterezní prahování, které vede odstranění linií vzniklých šumem a oddělení linií s odlišnými hodnotami. [61]

Za zmínku taktéž stojí metoda ITCD (Individual Tree Crown Delineation Algorithm), tedy algoritmus pro vymezení koruny jednotlivých stromů, který mimo jiné používá Cannyho detekci hran [64]. Mezi dále používané patří Houghova transformace [65], která na obraze najde přímé linie.

Na konvolučním algoritmu staví i neuronové konvoluční sítě (CNN). Zjednodušeně řečeno výsledky konvoluční masky jsou po agregaci vyhodnocovány neuronovou sítí (obr. 11). V zásadě se masky neuronových sítí vytvářejí na testovací sadě obrázků, tomuto procesu říkáme proces učení se (training) [66]. Konvoluční neuronové sítě mají široké uplatnění při identifikaci obrazu. Například v zemědělství se CNN dají použít v kombinaci s Houghovou transformací pro identifikaci řádku rostlin [67], což se dále využívá pro detekci mezerovitosti [68].



Obr. 11 Konvoluční neuronová síť pro klasifikaci objektů v obraze [69]

## **2.4 Přehled používaných metod detekce mezerovitosti**

### **2.4.1 Mezerovitost**

Mezerovitost je poměr mezi počtem uhynulých rostlin v dané oblasti a počtem vysazených rostlin v dané oblasti. Je jedním z hlavních ukazatelů stavu plodin, který je podstatný mimo jiné pro předvídání úrody a plánování obnovy porostu. Přesné určení mezerovitosti se hodí zejména pro vytváření plánu obnovy porostu u víceletých plodin jako je vinná réva či chmel.

Nejběžnějším přístupem zjišťování mezerovitosti chmele je fyzické počítání rostlin na místě růstu, tedy časově náročné obcházení řádku po řádku. V případě chmelnic se toto provádí minimálně jednou za 7 let, při obnově porostu chmelnic [70]. V dnešní době se používá také neautomatizovaná analýza snímků z bezpilotních prostředků, která je časově méně náročná než manuální inventura, avšak stále se jedná zdlouhavý proces.

### **2.4.2 Přehled automatických metod detekce mezerovitosti v porostu**

O automatizaci procesu identifikace mezer v porostu se snaží mnoho výzkumníků a v procesu se často používají nejmodernější technologie a metody. K detekci se mezerovitosti se zpravidla pojí i detekce řádku. Metody pro detekci jak řádků a tak rostlin vychází z metody popsaných v předešlých kapitolách. Ve většině případů hrají svou nezastupitelnou roli konvoluční neuronové sítě.

Postup a aplikace metod se liší případ od případu, ale z pravidla se nejdříve pomocí vegetačního indexu z obrazu odstraní pozadí rostlin a pomocí prahování se vytvoří binární obraz. Následně se k detekci řádku používá Houghova transformace. Například výsledky dvojité Houghovy transformace aplikované na snímky porostu se následně dají použít na přesný postřik plevelu v meziřádku [71].

Variací Houghovy transformace je mnoho a pro tyto účely se používá velice často [68]. Pro identifikaci řádku se použít i další metody, jako je například lineární regrese [67] nebo metoda aktivního obrysového modelu zvaná Snake [72], která se zvláště hodí pro řídce osídlené řádky [73]. K identifikaci rostlin se taktéž využívají schopnosti umělé inteligence rozeznávat objekty v obraze, příkladem může být rozeznání stromů citrusů [74].

## 2.5 Knihovny pro zpracování a analýzu obrazu

Zmiňované metody jsou vlastně algoritmy. Implementovat každý algoritmus by zabralo neúměrné mnoho času a úsilí, proto jsou používány knihovny. Knihovny jsou softwarové komponenty, které nabízejí služby GIS softwaru a umožňují tak modulární sdílení kódu a dat [75]. Geoprostorové knihovny s otevřeným zdrojovým kódem poskytují základní funkce pro určité aspekty a úkoly, a to jak pro GIS s otevřeným kódem, tak komerčních GIS softwarů.

### 2.5.1 Open CV

Open CV (Open Source Computer Vision) je knihovna s otevřeným zdrojovým kódem, která se zaměřuje na počítačové vidění a zpracování obrazu. Poskytuje mnoho funkcí, jako jsou zpracování obrazu, strojové učení, rozpoznávání obličejů a sledování pohybu.

Open CV se vyznačuje vysokou rychlostí zpracování obrazu a je používána v mnoha oblastech. Má mnoho rozhraní pro programovací jazyky, jako jsou C++, Python a Java, což z ní činí velmi flexibilní a snadno použitelnou.

Snadno použitelná je knihovna taktéž díky návodné dokumentaci. Například fungování jednotlivých dostupných typů metody Prahování, je znázorněno v dokumentaci graficky (viz obr. 12). Zároveň její stránky obsahují tutoriály [76], které umožňují vyzkoušet si knihovnu v prohlížeči a tím zjednodušit orientaci v popisu funkce (obr. 12).

The image shows a screenshot of the OpenCV documentation for thresholding. On the left, there is a table with six rows, each showing a different thresholding method applied to a test image. The methods are: 'Value and Threshold Level', 'Threshold Binary', 'Threshold Binary, Inverted', 'Truncate', 'Threshold to Zero, Inverted', and 'Threshold to Zero'. Each row shows the original image on the left and the result of the thresholding operation on the right. On the right side of the screenshot, there is an interactive tutorial titled 'Image Threshold Example'. It includes a 'Try it' button, a code editor with the following code:

```
let src = cv.imread('canvasInput');
let dst = new cv.Mat();
// You can try more different parameters
cv.threshold(src, dst, 177, 200, cv.THRESH_BINARY);
cv.imshow('canvasOutput', dst);
src.delete();
dst.delete();
```

Below the code editor is a preview of the result, showing a woman wearing a hat. The tutorial also includes instructions on how to use the 'Try it' button and how to change the code in the text area.

Obr. 12 Graficky znázorněné typy implementovaných metod prahování [77] a interaktivní tutoriál [78]

Open CV umožňuje integraci modulů neuronových sítí jiných knihoven. Jedním z příkladů může být PyTorch, který umožňuje vytvářet a trénovat neuronové sítě. PyTorch se může využít pro tvorbu konvoluční mapy, která následně slouží k přesné detekci různých typů stromů [79]. Druhým příkladem může být často používaná a velmi rychlá knihovna YOLO (You Only Look Once – česky podíváš se pouze jednou) [80]

### 2.5.2 Geospatial Data Abstraction Library

GDAL je knihovna, která slouží ke čtení a zápisu široké škály vektorových a rastrových formátů. Knihovna představuje jeden rastrový a jeden vektorový abstraktní datový model pro volající aplikaci pro všechny podporované formáty. Zároveň obsahuje užitečnou funkci příkazového řádku pro překlad dat a jejich zpracování. [81]

Knihovna podporuje více než 200 formátů, je psaná v jazyce C++ a obsahuje rozhraní v jazycích jako jsou C, C++, Python, Perl, C# a Java. Mezi příkazy geoprostorového zpracování, které knihovna umožňuje patří: ořezávání, deformace obrazu, reprojekce a tvoření mozaik. [82]

### 2.5.3 Orfeo ToolBox

Orfeo ToolBox (OTB) je knihovna pro zpracování obrazů z družic a leteckých snímků, která poskytuje různé funkce pro analýzu a klasifikaci obrazu. Jádro knihovny je napsáno v jazyce C++ a je založeno na knihovně Insight Toolkit, což je knihovna s otevřeným kódem pro zpracování výstupů lékařských zobrazovacích metod. Kód je díky implementaci v C++ vysoce efektivní a většina softwarových problémů je odhalena už během kompilace. [83]

Při zpracování snímků dálkového průzkumu země je často potřeba rozličných metod, z různých knihoven. Funkce knihovny OTB jsou schopny velkého množství úloh od předběžného zpracování až po vysoce výkonnou analýzu. OTB totiž vytváří sjednocené rozhraní pro softwarové knihovny. Mezi tyto knihovny patří: knihovna pro podporu rastrových a vektorových dat GDAL, knihovny pro strojové učení libSVM (knihovna pro podporu vektorových strojů) [84], Open CV a Shark [85], a knihovna pro parsování matematických výrazů Muparser [86].

OTB je jedna z nejvíce používaných knihoven v oblasti geoprostorových analýz a možnosti jejího použití se stále rozšiřují. Součástí instalace OTB je grafické uživatelské prostředí Monteverdi [87]. OTB je základním modulem programu QGIS a použít se dá i v kombinaci se softwarem SAGA GIS [88]

OTB umožňuje zpracovat velmi velké objemy dat i na počítačích s velmi omezeným hardwarem a zároveň velká většina komponent dokáže rozdělit výpočetní výkon na více procesorů. OTB využívají jak uživatelé grafických a textových prostředí, tak datová centra nasazená na vysoce výkonné výpočetní infrastruktuře. OTB tak usnadňuje práci všem, od vzdělávání a vědeckého výzkumu až po širokou veřejnost. [89]

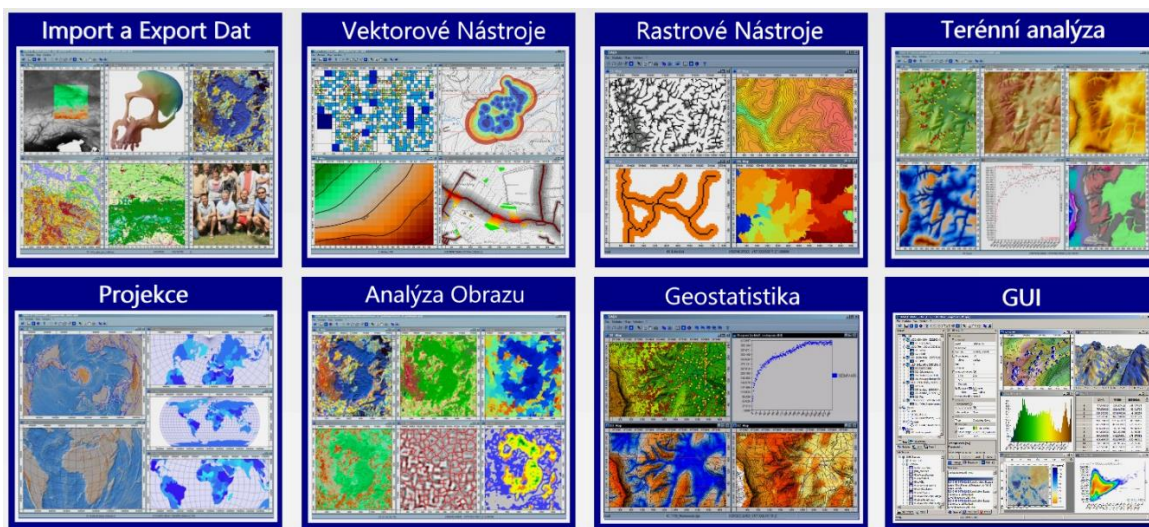
## 2.6 Dostupný software pro zpracování obrazových a geoinformatických dat

Systemů pro zpracování obrazových dat je veliké množství. V závislosti na jejich využití se liší i jejich výhody a nevýhody. Následující podkapitoly berou v potaz takové programy, které umožňují úpravu dat pomocí grafického uživatelského prostředí, jinak označovaného jako GUI.

### 2.6.1 SAGA

System for Automated Geoscientific Analyses (česky System pro automatizovanou geovědní analýzu) je volně přístupný software. SAGA byl původně vyvíjen na univerzitě v Göttingenu v Německu s cílem zjednodušit implementaci nových algoritmů pro analýzu prostorových dat [90].

SAGA obsahuje velké množství algoritmů (jejich přehled je vidět na obr. 13), a které jsou zaměřené zejména na analýzu digitálních modelů reliéfu. Díky tomu se dá dobře použít k převodu dat digitálního modelu reliéfu uložených ve formátu „xyz“, tedy jako nepravidelné bodové mračno, na lépe uchopitelné formáty jako jsou vrstevnice. Digitální model reliéfu je volně k dispozici ke stažení na portálu ČÚZK (Český úřad zeměměřický a katastrální) [91].



Obr. 13 Možnosti aplikací programu SAGA (přeloženo) [92]

SAGA je kompletním nástrojem pro mnoho praktických aplikací, který se dá užít k řadě rozmanitých účelů např. pro statistické modelování přírodních procesů nebo modelování sesuvů hornin [93]. Software se dá použít taktéž k detekci rostlin révy vinné [94] nebo k zpracování satelitních snímků [95].

## 2.6.2 QGIS

QGIS [96] (jinak známý jako Quantum GIS) je projektem organizace OSGeo (Open Source Geospatial Foundation) [97], která pod sebou zaštituje nemalé množství volně přístupných geoinformačních projektů včetně GDAL. Vizi OSGeo je umožnit každému přístup ke kvalitním geoinformačním systémům.

QGIS je díky své filozofii otevřeného kódu nejlepším volně dostupným softwarem. Díky jeho modulárnosti a přívětivému uživatelskému rozhraní může i méně zkušený uživatel využít pokročilé knihovny jiných volně přístupných programů jako je GRASS GIS [98] nebo SAGA GIS. Qgis ve svém základu obsahuje i další moduly jako je modul knihovny procesing [99] a Orfeo Toolbox.

QGIS je v základu vybaven taktéž python konzolí a editorem, které umožňují tvorbu automatických skriptů [100]. Jeho další výhodou je taktéž volný přístup ke knihovně zásuvných modulů obsahující přes 1200 různých nástrojů. Instalace zásuvných modulů je snadná. Kliknutím na Zásuvné moduly → Správa a inicializace Zásuvných modulů → *Jméno zásuvného modulu* → Instalovat modul.

Pokud uživatel nenajde potřebný modul, může si funkcionalitu programu QGIS rozšířit vytvořením vlastního modulu. Moduly jsou psány v jazyce python a díky dobré dokumentaci a návodům je i méně zkušený programátor schopný vytvořit funkční modul přizpůsobený jeho požadavkům. Při používání různých návodů pro tvorbu skriptů a modulů je potřeba kontrolovat, zda jsou použité funkce stále aktuální a případně dohledat nové alternativy.

Komunita používající QGIS je velická a většina problémů, které mohou při používání programu nastat, je vyřešena ve veřejných diskusích. QGIS je neustále aktualizován a vyvíjen. Každá verze kromě číselného označení nese i jméno nějakého města (viz obr. 14). Když porovnáme QGIS s nejpoužívanějším komerčním softwarem ArcGIS zjistíme, že již není smysluplné setrvávat u systému ArcGIS [101].



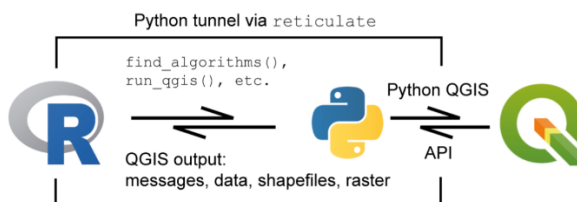
Obr. 14 Logo nejnovější verze programu QGIS [102]



### 2.6.3 R

R je jazyk a prostředí pro statistické výpočty a grafiku, který je vyvíjen jako projekt s volně přístupným kódem. R umožňuje provádět širokou škálu statistických analýz, včetně lineárního a nelineárního modelování, klasických statistických testů a klasifikace. Díky množství dostupných balíčků a rozšíření je R velmi flexibilní a přizpůsobitelný potřebám uživatele.[103]

Jednou z předností R je jednoduchost vytváření kvalitních publikovatelných grafů, matematických symbolů a vzorců. Jazyk S, na kterém je R založen, byl původně vyvinut pro použití v akademickém prostředí pro výzkum statistické metodologie. Nicméně R se dnes používá v mnoha dalších odvětvích [103]. Inovativním přístupem je propojení programu funkcí a předností jazyka R s uživatelsky přívětivým prostředím programu QGIS [104] (jak takové propojení funguje je vidět na obr. 15).



Obr. 15 Propojení QGIS a R [104]

### 2.6.4 Pix4Dmapper

Přestože k programu Pix4Dmapper existují volně přístupné alternativy, je stále jedním z nejpoužívanějších softwaru pro skládání snímků z bezpilotních prostředků [105]. Jeho výhodou je dobrá technická podpora a uživatelská přívětivost.

Oproti tomu nevýhodou jsou vysoké náklady na provoz. Cena při pořízení ročního členství převyšuje 5 000 Kč měsíčně [106], je proto na místě zvážit, zda je jeho pořízení skutečně nutné. I když by se dal nahradit jinými softwary jako je například volně stažitelný Microsoft Image Composite Editor (ICE), který má kvalitnější vizuální výsledky, použitím ICE se ztrácí informace o pozici obrazu na mapě [107]. Tento a jiné alternativní softwary taktéž obvykle poskytují horší geometrickou přesnost [108]. Jednou z alternativ, které stojí za zmínku je OpenDroneMap, který v kombinaci s Paparazzi UAV může poskytnout použitelné mozaiky snímků při nízkých nákladech [109].

### **2.6.5 Google earth**

Google earth Pro [110] je volně stažitelný software. Jeho hlavní předností je 3D prostředí, které usnadňuje orientaci v mapě terénu. Uživatel tohoto programu může účinně vytvářet nejen soubory typu „shapefile“, ale také umožňuje vytvářet body v formátu .KMZ [111].

Tento formát se zejména hodí pro aplikaci BaseCamp [112], která umožňuje nahrát souřadnice do přenosného modulu GPS. Toto se může využít při potřebě přesné orientace v terénu např. při odběru vzorků půdy.

Google earth engine má více možností než Google earth Pro a ve svém trojrozměrném prostředí umožňuje vytvářet například časově satelitní snímky [113]. Mimo to se dá použít pro identifikaci plevelů na snímkách pořízených z bezpilotních letounů [114].

### **2.6.6 Adobe Photoshop/ Lightroom**

Adobe Photoshop je často používaný software pro práci s obrazovými daty, a to zejména pro jejich úpravu. Současně společnost Adobe nabízí další aplikace, jejichž využití se vzájemně překrývá, přičemž pro zpracování fotografií je z nich nejčastěji používán Adobe Lightroom.

Adobe Lightroom je pak obvykle využíván pro jednodušší úpravy, jako je ořez snímku, posun expozice, vyvážení bílé, úprava světla a stínů, redukce šumu, popřípadě spojení snímků s různými hodnotami expozice za účelem dosažení co nejvyššího dynamického rozsahu.

Program Adobe Lightroom umožňuje aplikovat shodnou sérii kroků jednotlivých úprav na skupinu označených snímků. Díky této možnosti se je praktický pro předběžné zpracování leteckých snímků [115]. Dále se dá Lightroom také použít pro eliminaci geometrického zkreslení [116]. Avšak měsíční předplatné se pohybuje okolo 600 Kč a časově neomezenou licenci již získat nelze [117]. Volně přístupnou alternativou pro eliminaci zkreslení [118] a skládání snímků [119] je program GIMP [120].

### **2.6.7 LabView**

Do softwaru LabView může být nainstalován modul NI Vision Development, který obsahuje komponentu Vision Assistant, která se velmi snadno používá a dokáže vytvořit LabView kód nebo kód v programovacím jazyce C [121]. Pro základní práci s obrazem můžeme využít i subpaletu funkcí obecnějšího zpracování signálu, která je v základu LabView [122]. LabView umožňuje vytvořit libovolné algoritmy například algoritmus pro hledání úseček a kružnic [123].

LabView je vizuální programovací nástroj, který má potenciál pro využití i v geoinformatické oblasti. Například může být využit k navržení dálkově ovládaného systému UAV, který pomocí senzorů získává v reálném čase údaje o stavu letu a zobrazuje je na rozhraní [124], k navržení systému sloužícího k lokalizaci [125] nebo systému pro sběr dat [126].

### **2.6.8 Další softwary**

Softwarů nepřeberné množství a jejich použití může být různě modifikováno, například program BioLeaf [127], který byl původně vyvinut k identifikaci poškození jednotlivých listů byl použit pro určení hodnot indexu pokrytí listové plochy [28].

Dalším příkladem může být GNU Octave [128], který je alternativa s otevřeným kódem k MATLABu a má s ním z hlediska programování velmi vysokou míru kompatibility. GNU Octave se používá k řešení různých vědeckých a numerických výpočetních problémů. Lze jej použít pro lineární programování a po instalaci specifického balíčku dokáže zpracovávat digitální obrázky [129].

## **3 Cíl práce a metodika**

### **3.1 Cíl práce**

Cílem práce bylo na základě teoretické rešerše zpracovat a analyzovat snímky pořízené bezpilotním letounem. Výsledky analýz posléze porovnat s referenčními daty a diskutovat využití použitých metod v praxi.

### **3.2 Metodika**

Cíle bylo dosaženo realizací zásuvného modulu do programu s otevřeným kódem QGIS. Použité metody pro zpracování obrazu vycházely z poznatků prozkoumaných v literární rešerši. Bylo prokázáno všestranné využití programu QGIS a jeho veliký potenciál ve využívání externích knihoven pro zpracování a analýzu obrazu.

Použitou externí knihovnou byla knihovna Open CV. Knihovna byla vybrána s ohledem na její rozmanitost a možnou budoucí realizaci detekce pomocí konvolučních neuronových sítí.

Pro geometricky velice přesné složení pořízených snímků byl použit program Pix4D. Pix4D byl mimo jiné vybrán, jelikož má technická fakulta licenci k jeho používání. Nástrojem použitým ke zpracování statistických dat byl program Excel, jehož používání je velmi rozšířené a jehož licenci mají k dispozici všichni studenti ČZU.

## 4 Vlastní práce

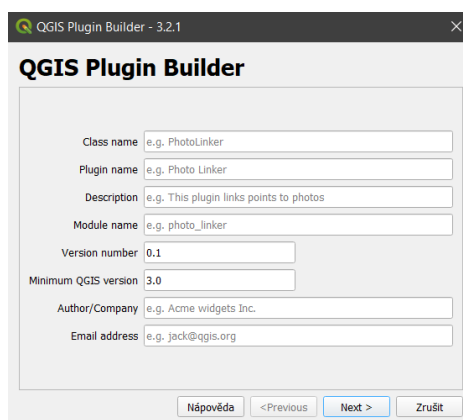
V této kapitole jsou popsány použité metody analýzy obrazu a postup při vývoji zásuvného modulu do softwaru QGIS. Vývoj zásuvného modulu je ústředním bodem celé analýzy. Vedle samotných zpracovaných dat jsou výsledkem i nástroje a postup, které může uživatel použít při vyhodnocování vlastních dat.

### 4.1 Vývoj zásuvného modulu

K vývoji vlastního zásuvného modulu bylo přistoupeno, jelikož žádný z momentálně existujících programů neposkytoval dostatečně automatické řešení problému. V následujících kapitolách je popsán proces tvorby programu a způsob jakým program zpracovává obrazová data, a to tak, aby ho čtenář mohl replikovat a tím ušetřit čas strávený hledáním dokumentace. Výsledný zásuvný modul je k dispozici v digitální příloze.

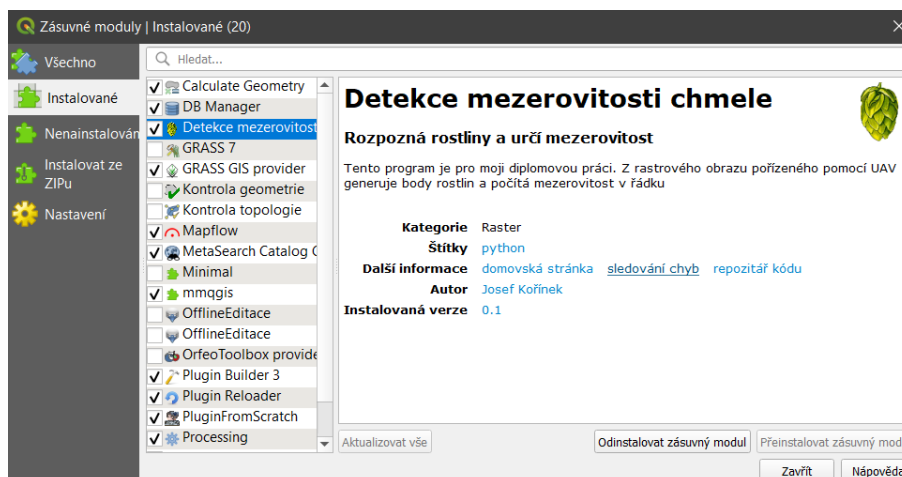
#### 4.1.1 QGIS Plugin Builder 3

Do programu QGIS byl nainstalován zásuvný modul Plugin Builder 3 [130], instalace zásuvných modulů do QGIS je rozvedena v kapitole 2.6.2. Po vyplnění názvu a dalších informací (viz obr. 16) v dialogovém okně, modul vytvořil strukturu, kterou musí mít každý zásuvný modul [131] a dialogové okno, které bylo následně využito pro zadání vstupních parametrů.



Obr. 16 Dialogové okno zásuvného modulu Plugin Builder 3

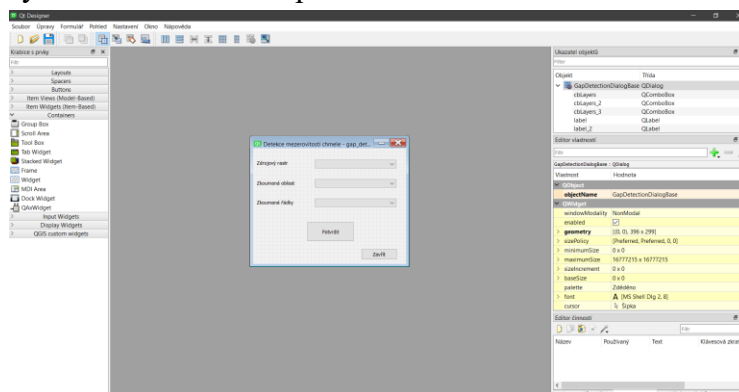
Toto řešení bylo porovnáno s možností stavění zásuvného modulu z minimální kostry [132]. Plugin Builder 3 byl zvolen pro jeho jednoduchost a robustnost. Vytvořený zásuvný modul je pak nutné vložit do příslušné složky zásuvných modulů. Jelikož byl plugin vyvíjen, bylo do složky zásuvných modulů vloženo pouze spojení se složkou pomocí programu Link Shell Extension [133], které zpřehlednilo následný vývoj. Po vytvoření spojení je nový zásuvný modul již vidět mezi ostatními nainstalovanými zásuvnými moduly (viz obr. 17).



Obr. 17 Nainstalovaný modul

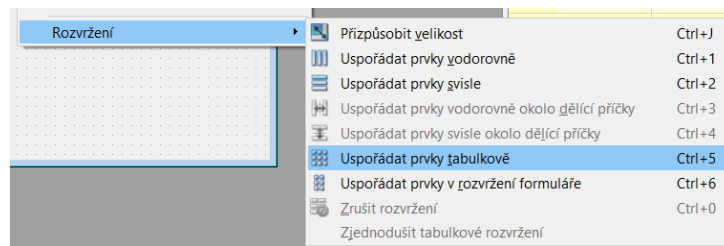
#### 4.1.2 Tvorba uživatelského rozhraní

Součástí instalace programu QGIS je i program „*Qt designer with QGIS 3.22.0 custom widgets*“. Jedná se o program sloužící k tvorbě grafického uživatelského rozhraní [134] s úpravami na míru pro program QGIS [135]. Pomocí tohoto programu (prostředí lze vidět na obr. 18) bylo vytvořeno uživatelské prostředí zásuvného modulu.

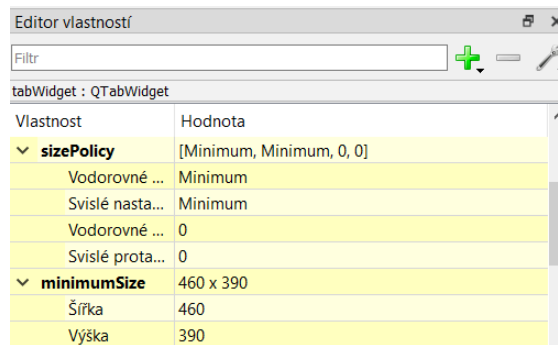


Obr. 18 Prostředí programu Qt Designer

Prostředí programu je intuitivní a pro úpravu již fungujícího dialogového okna stačilo otevřít soubor ve formátu UI [136], který byl vytvořen zásuvným modulem Plugin Bulder 3 v předchozím kroku. Z krabice s prvky v levé části programu byl přidán kartový kontejner, který byl vycentrován v dialogovém okně. Toto bylo provedeno stiskem pravého tlačítka myši v dialogovém okně a vybráním možnosti „uspořádat prvky tabulkově“ (viz obr. 19). Následně byla nastavena minimální velikost dialogového okna v editoru vlastností (viz. obr. 20).



Obr. 19 Vycentrování kartového kontejneru



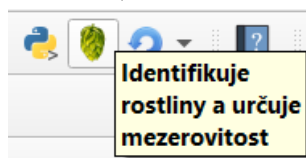
Obr. 20 Nastavení minimální velikosti dialogového okna

V kartovém kontejneru byly vytvořeny 3 karty, do každé byly vloženy potřebné prvky. Použitými prvky byly rozbalovací seznamy, tlačítka, zaškrťovací políčka, roztáčecí seznamy a popisky. Všechny jmenované prvky bylo potřeba umístit do rozložení, změnit jejich velikost a případně vložit rozpínavé mezery, tak aby bylo dosaženo k uživatelsky přívětivého dialogu. Následně stačilo rozhraní uložit a obnovit zásuvným modulem programu QGIS Plugin Reloader [137].

#### 4.1.3 Tvorba vlastního programu

Program je napsán v jazyce python [138] a k tvorbě programu byl použit editor Visual studio code [139]. Pro lepší orientaci v kódu byl nainstalován Cookiecutter QGIS Plugin [140], jehož interpret byl nastaven jako výchozí v rozšíření Python [141] v editoru Visual studio code.

Ve složce pluginu se nachází soubor „\_\_init\_\_.py“, který umožňuje programu QGIS inicializovat plugin. Po inicializaci se vyvolá objekt třídy „GapDetection“, který vytvoří ikonu na liště programu QGIS (viz obr. 21).



Obr. 21 Ikona pluginu s najetím kurzoru myši

## Definice použitých vrstev

Objekt třídy „GapDetection“, po stisknutí ikony vyčistí a vyplní rozbalovací seznam dialogu vrstvami, které jsou momentálně přítomné v rozhraní programu QGIS. Seznam je plněn na základě kritérií (viz obr. 22), která zabraňují uživateli zvolit nevhodné vrstvy. Po naplnění rozbalovacích seznamů dialogu vrstvami se objeví okno dialogu. Součástí dialogového okna je tlačítko, které volá hlavní funkci.

```
for layer in QgsProject.instance().mapLayers().values():
    if layer.type()==QgsMapLayer.VectorLayer:
        if int(layer.geometryType())==1:
            self.line_layer_names.append(layer.name())
            self.line_all_layers.append(layer)

        elif int(layer.geometryType())==2:
            self.polygon_layer_names.append(layer.name())
            self.polygon_all_layers.append(layer)

    elif layer.type()==QgsMapLayerType.RasterLayer:
        self.raster_layer_names.append(layer.name())
        self.raster_all_layers.append(layer)
```

Obr. 22 Kritéria k plnění rozbalovacích seznamů

## Oříznutí rastru

Hlavní funkce v závislosti na zaškrtnutých indexech zavolá podproceduru a poté, co tato podprocedura proběhne, zruší označení příslušného políčka. Podprocedura, na základě vybraných vrstev v dialogu, načte vrstvy do proměnných, s kterými dále pracuje. Rastrová vrstva je následně oříznuta polygonem vybrané vektorové vrstvy. K tomuto byla použita funkce z knihovny GDAL, konkrétně funkce Clip raster by mask layer [142], jejíž konkrétní syntaxe je vidět na obr. 23.

```
qgis.processing.run("gdal:cliprasterbymasklayer", {'INPUT': input_raster, 'MASK': input_vector,
                                                    'OUTPUT': complete_path_of_clipped_raster})
```

Obr. 23 Funkce Clip raster by mask layer s atributy



## Výpočet rastru

Po oříznutí rastru se na základě zvoleného indexu z jednotlivých pásem vypočítá příslušná rovnice. Jelikož data uložená v rastrové vrstvě mohou nabývat libovolných hodnot, bylo potřeba provést přepočet, a to nejen proto, aby se dala jednotlivá pásma mezi sebou korektně počítat, ale i proto aby následný výsledek měl předem vymezené parametry.

Počátek každého pásma musel být nejdříve posunut do nuly. Tato operace se provádí, tak, že se zjistí nejmenší hodnota daného pásma a ta se odečte od všech hodnot obrazu příslušného pásma. Posunutá hodnota se následně vydělí koeficientem, který přísluší danému pásmu. Hodnota koeficientu je hodnota rozsahu pásma vydělená požadovaným rozsahem. Tento přepočet je vidět na obr. 24.

```
maxValue=255
band_1_min=clipped_raster.dataProvider().bandStatistics(1).minimumValue
band_1_max=clipped_raster.dataProvider().bandStatistics(1).maximumValue
k1=str(band_1_max-band_1_min/maxValue)
raster_layer_band1=str('((RasterCroppedLayer@1-' +str(band_1_min)+')/'+k1+')')
```

Obr. 24 Přepočet pro první pásmo rastrové vrstvy

Jelikož knihovny použité dále v kódu pracují s běžným rozsahem rastrového obrazu, byla maximální hodnota nastavena na 255. Výsledný obraz bylo potřeba vynásobit polovinou této hodnoty a k výsledku ještě přičíst tuto polovinu přičíst (viz. obr. 26). K výpočtu byla použita funkce raster calculator z knihovny QGIS Raster analysis [143]. Část rozhodovacího mechanismu a funkce s jejími atributy je patrná na obr. 25.

```
if self.checkBoxUseNDI.isChecked():
    usedIndex="NDI"
    qgis.processing.run("qgis:rastercalculator", {'INPUT': clipped_raster, 'LAYERS': clipped_raster, 'EXPRESSION': ndi,
                                                'CRS': coordinates, 'OUTPUT': complete_path_of_raster_calculator_result})
elif self.checkBoxUseExG.isChecked():
    usedIndex="ExG"
    qgis.processing.run("qgis:rastercalculator", {'INPUT': clipped_raster, 'LAYERS': clipped_raster, 'EXPRESSION': exg,
                                                'CRS': coordinates, 'OUTPUT': complete_path_of_raster_calculator_result})
```

Obr. 25 Část rozhodovacího mechanismu a atributy funkce raster calculator

```
ndi='((' +raster_layer_band2+ ' - '+raster_layer_band1+') / ( ' +raster_layer_band2+'+' +raster_layer_band1+') * 127.5) + 127.5'
exg='(((2 *'+raster_layer_band2+')-'+raster_layer_band1+ ' - '+raster_layer_band3+')*127.5) + 127.5'
tgi='((' +raster_layer_band2+ ' - (0.39*'+raster_layer_band1+ ' - (0.61*'+raster_layer_band3+') * 127.5) + 127.5'
ndvi='((' +raster_layer_band4+ ' - '+raster_layer_band1+') / ( '+raster_layer_band4+ ' + '+raster_layer_band1+') * 127.5) + 127.7'
```

Obr. 26 Rovnice pro výpočet indexů připravená pro funkci raster calculator

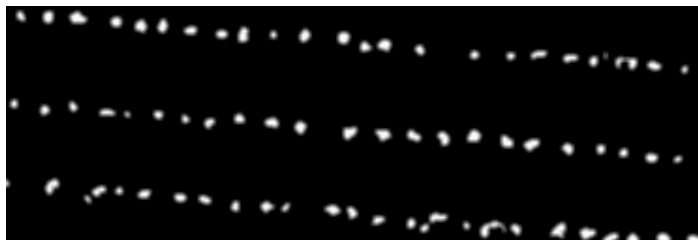
Původní rovnice indexů a jejich použití se nachází v kapitole 2.3.1 Rastrový kalkulátor. Technické omezení funkce výpočtů indexů bude analyzováno v kapitole 5. Výsledky a diskuse.

### **Prahování obrazu**

Pro bezproblémové fungování, bylo potřeba výstup funkce raster calculator otevřít pomocí knihovny Pillow [144] a uložit do pole knihovny Numpy [145]. Následně byl pomocí funkce knihovny OpenCV [146] dekodovaný obraz převeden do obrazu ve stupních šedi.

Opakovanými pokusy bylo zjištěno, že pro každý výsledný indexovaný obraz je vhodné použít jiné nastavení prahových hodnot. Byly prováděny rozličné experimenty s různými funkcemi, které poskytuje knihovna. Dále bylo zjištěno, že by se pro zajištění optimálních výsledků je vhodné mít pro jednotlivé snímky mít různá nastavení. Nicméně by se tím proces vyhodnocení zkomplikoval a zásuvný modul by ztratil univerzálnost.

U většiny indexů byl před funkcí adaptivního prahování [147] zařazen rozmazávací filtr (Gaussian blur) [148] u indexu ExG byla na jeho místo dosazena funkce prostého prahování v nastavení práh k nule [77]. Následný výstup byl ještě jednou rozostřen a jeho znázornění je vidět na obr. 27.



**Obr. 27 Ukázka výstupu funkce prahování a rozostření**

## Vytvoření a nalezení kontur

Poté byly detekovány hrany jednotlivých rostlin pomocí Cannyho algoritmu [149]. Algoritmus vytvořil kontury a k jejich identifikaci byla následně použita funkce `findContours` z knihovny Open CV [150]. Nalezené kontury byly uloženy do uspořádaného pole pomocí funkce knihovny `Imutils` [151].

## Definice přepočtového koeficientu

Jelikož při dekódování obraz ztratil geolokační informaci, bylo nutno definovat přepočtový koeficient, který zajišťuje, aby nalezené body rostlin seděli s rostlinami na georeferencované rastrové vrstvě. Nejdříve byla zjištěna velikost dekódovaného obrazu (definice lze vidět na obr. 28) a koordinační údaje oříznuté rastrové vrstvy (obr. 29). Následně byl spočítán koeficient pro x-ovou a y-ovou osu (obr. 30).

```
height, width, channels = img_decoded.shape
max_x = width
max_y = height
```

Obr. 28 Zjištění parametrů obrazu

```
xmin=clipped_raster.extent().xMinimum()
ymin=clipped_raster.extent().yMinimum()
xmax=clipped_raster.extent().xMaximum()
ymax=clipped_raster.extent().yMaximum()
```

Obr. 29 Zjištění souřadnic rastrové vrstvy

```
kx=max_x/(xmax-xmin)
ky=max_y/(ymax-ymin)
```

Obr. 30 Výpočet koeficientů

## Nalezení těžiště kontur

Pro definici těžiště kontury, tedy souřadnice rostliny, byly pro konturu pomocí funkce `Moments` knihovny OpenCV [152] definovány momenty, z kterých byla přepočtem získána x-ová a y-ová souřadnice bodu na analyzovaném obrazu (viz obr. 31). Naleznuté těžiště bylo potřeba přepočítat (obr. 32) a ukládat do dočasně vytvořené bodové vrstvy (obr. 33), která byla definována ještě před průběhem algoritmu. Proces byl opakován pro každou nalezenou konturu.

```
cX = int(M["m10"] / M["m00"])
cY = int(M["m01"] / M["m00"])
```

Obr. 31 Výpočet těžiště kontur

```
recalculation_x=xmin+(cX/kx)
recalculation_y=ymax-(cY/ky)
```

Obr. 32 Přepočet souřadnic

```
point3 = QgsPointXY(recalculation_x,recalculation_y)
pt3.setGeometry(QgsGeometry.fromPointXY(point3))
pr.addFeatures([pt3])
```

Obr. 33 Ukládání bodu do vrstvy

## Vytvoření sloupce atributové tabulky

Následně byla pro výsledky připravena atributová tabulka analyzovaných linií. Tabulka obsahuje celkový počet detekovaných rostlin a mezerovitost pro každý počítaný index. Nejdříve bylo potřeba zjistit, zda daný sloupec již v atributové tabulce existoval a v případě, že nebyl naleznut, byl vytvořen na konci tabulky (obr. 34). Poté byly zjištěny hodnoty indexů sloupců pro počet rostlin (obr. 35) a mezerovitost a vytvořena složka pro uložení exportovaných tabulek (obr. 36).

```
pocet_row_name="POCT "+usedIndex
# Add row pocet_row_name to atributs in input_vector_line, id does not exist yet
if pocet_row_name not in input_vector_line.fields().names():
    input_vector_line.dataProvider().addAttributes([[QgsField(pocet_row_name, QVariant.Int)])
    input_vector_line.updateFields()
mezerovost_row_name="MEZV "+usedIndex
# Add row mezerovost_row_name to atributs in input_vector_line, id does not exist yet
if mezerovost_row_name not in input_vector_line.fields().names():
    input_vector_line.dataProvider().addAttributes([[QgsField(mezerovost_row_name, QVariant.Double)])
    input_vector_line.updateFields()
```

Obr. 34 Přidání sloupců do atributové tabulky linií

```
# Find row with pocet_row_name
pocet_index = input_vector_line.fields().indexFromName(pocet_row_name)
# Find row with mezerovost_row_name
mezerovitost_index = input_vector_line.fields().indexFromName(mezerovost_row_name)
```

Obr. 35 Zjištění indexu upravovaného sloupce

```
if not os.path.exists(path_of_project+"/Exeldata"):
    os.makedirs(path_of_project+"/Exeldata")
```

Obr. 36 Vytvoření složky pro exportovaná data

## Filtrování meziřádkové informace

V nastavené vzdálenosti od každé linie bylo vytvořeno pásmo, ve kterém se zjištěné body započítávají jako rostliny v řádku (obr. 37). Pokud skutečná vzdálenost bodu od linie byla menší než nastavená hodnota, byl bod uložen do bodové vrstvy a proměnná počet navýšena o jedna (obr. 38).

```
buffer_distance = self.spinBoxVelikostBuferu.value() # Radius of the area in meter
buffered_line = linie.geometry().buffer(buffer_distance,0)
buffered_geometry_wkt = buffered_line.asWkt()
expression = f"within($geometry, geom_from_wkt('{buffered_geometry_wkt}'))"
request = QgsFeatureRequest().setFilterExpression(expression)
```

Obr. 37 Vytvoření pásma okolo linie

```
for point_feat in point_layer_with_all_detected_plants.getFeatures(request):
    # Discriminate points farther than bufer_distance
    if buffered_line.distance(point_feat.geometry()) <= buffer_distance:
        # Create point and add it to point_layer_with_detected_plants_in_row
        pt4.setGeometry(point_feat.geometry())
        pr2.addFeatures([pt4])
        # Count every point
        point_count += 1
```

Obr. 38 Ukládání a počítání bodů v pásmu

## Výpočet mezerovitosti

Ze zjištěných dat byla spočítána mezerovitost v procentech zaokrouhlená na tři desetinná místa (obr. 39). Následně byly počet a mezerovitost přidány do příslušných sloupců (obr. 40).

```
section_count=lineie.geometry().length()/self.spinBoxDelkaUseku.value()
planted_count=(int(section_count)*self.spinBoxPocetNaUsek.value())
spacing = (planted_count - point_count)/planted_count
# Transfer to % and round "spacing"
spacingR=float(round((100*spacing),3))
```

Obr. 39 Počítání mezerovitosti

```
input_vector_line.changeAttributeValue(lineie.id(), pocet_index, point_count)
input_vector_line.changeAttributeValue(lineie.id(), mezerovitost_index, spacingR)
```

Obr. 40 Ukládání do atributové tabulky

## Správa vrstev a export atributů.

Po přidání atributů liniím bylo potřeba vektorovou vrstvu znovu načíst do projektu. Do projektu byla taktéž přidána bodová vrstva identifikovaných rostlin. Posléze bylo potřeba do předem připravené složky exportovat data z atributové tabulky tak, aby se mohla dále statisticky zpracovávat (obr. 41).

```
name_of_table="PocetRostlinVRadkuSouborProExcel"+input_vector_line.name()
complete_path_to_table= path_of_project+"/Exeldata/"+name_of_table+".csv"
QgsVectorFileWriter.writeAsVectorFormat(input_vector_line,complete_path_to_table,"utf-8",coordinates,'CSV')
```

Obr. 41 Export atributů do formátu CSV

## Zobrazení náhledových oken

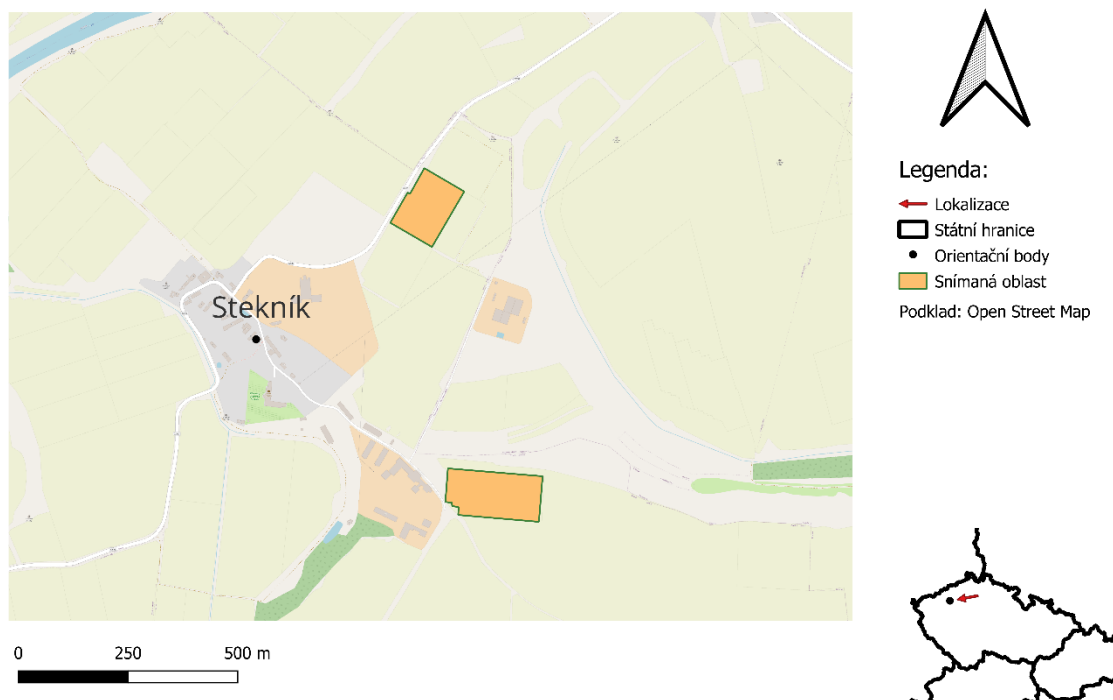
V případě, že uživatel zaškrtl políčko pro zobrazení názorného okna, byla zavolána funkce `Imshow` z knihovny `OpenCV` [153]. Pokud bylo zaškrtnuto políčko zobrazit znázorněné kontury, bylo nutno je nejdříve potřeba prokreslit do obrazu pomocí funkce `Draw Contours` knihovny `OpenCV` [154].

## 4.2 Pořízení snímků

Snímky byly pořízeny v rámci projektu ministerstva zemědělství NAZV č. ev. QK1910170. Projekt se zaměřuje na konkurenceschopnost českých chmelnic. Na řešení projektu se podílí i Česká zemědělská univerzita.

### Umístění

Snímané chmelnice se nachází v lokalitě Stekník okr. Louny a jsou pod správou společnosti Chmelařský institut, s.r.o., která sídlí v Žatci. Jedná se o ukázkové chmelnice, kde pěstují několik odrůd, a to jak v normálním tak v ekologickém režimu. Ekologická chmelnice je na mapě (obr. 42) položena jižněji. Jak v ekologické tak v konvenční chmelnici byly předem fyzicky zjištěny hodnoty skutečné mezerovitosti. Jelikož je však metoda obcházení chmelnice zdlouhavá, byly v každé z chmelnic analyzovány pouze 4 řádky.



Obr. 42 Lokace

### Období

Snímky chmelnice byly pořízeny v roce 2020 a 2021. Ačkoliv byla chmelnice v těchto letech snímána v průběhu celého vegetačního období, pro detekci mezerovitosti byly zkoumány snímky z dubna a května, jelikož na snímcích z pozdějšího období není již možné zřetelně určit obrysy jednotlivých rostlin.

## Rostlina

Chmel otáčivý je specifickou plodinou pro český region, zejména pak pro oblast Žatecka, a to již od 10.století [155]. Podle barvy révy a stavby rostliny se odrůdy dělí na červeňáky a zeleňáky. Zvláště na jaře jsou vrcholy výhonu červeňáků zbarveny sytě červeně, jedná se obvykle o ranné a polorané odrůdy, zatímco mezi zeleňáky, jejichž výhony jsou zelené stejně jako réva, spadají především pozdější odrůdy [157].

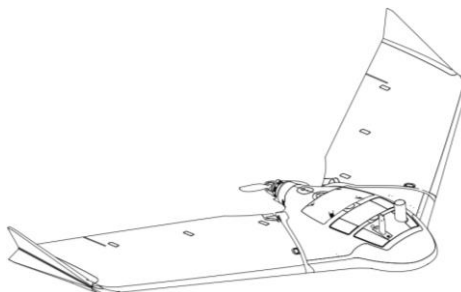
Hlavní odrůda používaná pro křížení je Žatecký poloraný červeňák, která byla v roce 2007 zapsána do Rejstříku chráněných označení původu [159]. Chmel je víceletou plodinou, rostliny dosahují plné plodnosti zhruba ve 4.-5. roce stáří a uchovávají si ji zhruba do 15. roku, následně výnosy začínají klesat z důvodu přirozeného stárnutí a vyčerpání rostlin, kdy ve 20. roce dosahují 90 % a ve 25 letech už jen 70 %. U hybridních odrůd je předpokládané trvání porostů kratší. Prázdná místa v řádku se pak doplňují ročními rostlinami. [70]

Podzemní část chmelové rostliny se skládá z babky (víceletý základ rostliny) a kořenového systému. V horní části babky jsou založena očka (pupeny), z nichž vyrůstají výhony. Pokračováním růstu vzešlých výhonů vzniká réva, která tvoří základ nadzemní části rostliny. Réva dosahuje šířky asi 0,7-1,3 cm a výšky 8-9 metrů, z její pokožky vyrůstají přichytné křemičité háčky, trichomy, které umožňují přichycení révy na chmelovod. [161]

Z jedné babky vyrůstá více výhonů, jsou zpravidla navedeny na dva chmelovody, což ztěžuje automatizaci počítání chmele v pozdějších růstových fázích. Jako nejvhodnější období pro pořízení snímků se proto jeví první dvě růstové fáze, a to doba počátku rašení, kdy se nad povrchem objevují první klíčky (v Žatecké oblasti u odrůdy Žateckého poloraného červeňáku tato fáze nastává v období 25.-30.4.), popřípadě fáze vytvoření tří článků révy, kdy se objevují první příznaky ovíjení rév (ta nastává v období 10.-15.5.).[163]

## Bezpilotní letoun

Použit byl bezpilotní letoun eBee X s pevným křídlem. Dron byl pořízen v rámci projektu: „Výzkumná a vzdělávací infrastruktura pro podporu národní iniciativy Průmysl 4.0.“ Výhodou tohoto letounu je snadná vyměnitelnost snímačů a větší dolet na baterii než je tomu u rotokoptér.



Obr. 43 Mapovací dron eBee X [156]



**Obr. 44 Terénní stanoviště dronu s kamerovým příslušenstvím [158]**

### **Použité kamery**

Základním vybavením bezpilotního systému eBee X byly kamery Duet T (obr. 45) a Parrot Sequoia (obr. 46). Duet T je firemní označení dvojice kamer. Tato dvojice se skládá z teplotní infračervené kamery a kamery S.O.D.A. RGB. Infračervené pásmo snímané teplotní kamerou pro účely detekce mezerovitosti nebylo použito, protože žádný z použitých indexů s teplotními daty nepracoval.



**Obr. 45 Kamera Duet T v lóži**

Ačkoliv je kamera Parrot Sequoia taktěž vybavená RGB senzorem, rozlišení RGB senzoru nevyhovuje analytickým účelům. Zdrojem dat u této kamery jsou ostatní čtyři senzory, které samostatně zachycují čtyři pásma spektra viz tab. 3. Parrot Sequoia je v základu vybavená slunečním senzorem.



**Obr. 46 Kamera Parrot Sequoia a senzor slunečního svitu v lóži**



K tomuto základnímu vybavení byla později přikoupena kamera MicaSense RedEdge MX, která poskytuje snímky ze všech potřebných pásem pro detekci mezerovitosti. Po prvotním porovnání snímků z kamery MicaSense se snímky z kamery Sequoia, byla z dalších misí kamera Sequoia vyřazena. Před každým přeletem se musela kamera umístit do těla dronu eBee X. Díky tomu že je každá z kamer umístěna v tzv. lóži, výměna kamer není náročná.



**Obr. 47 Kamera MicaSense RedEdge a senzor slunečního svitu v lóži**

Název kamery	Pásma využitá				Pásma nevyužitá	
	Modré	Zelené	Červené	NIR	Red Edge	Termální
Duet T (S.O.D.A.) [158]	450 nm ŠP 100 nm	520 nm ŠP 250 nm	660 nm ŠP 130 nm			10.5 $\mu$ m ŠP 6 $\mu$ m
Parrot Sequoia [160]		550 nm ŠP 40nm	660 nm ŠP 40nm	790 nm ŠP 40 nm	735nm ŠP10nm	
MicaSense RedEdge MX [162]	475 nm ŠP 20 nm	560 nm ŠP 20 nm	668 nm ŠP 10 nm	840 nm ŠP 40 nm	717 nm ŠP 10 nm	

**Tab. 3 Spektrální pásma použitých kamer**

\*NIR – Blízké infračervené spektrum

Na základě použitých senzorů byly pro detekci rostlin zvoleny čtyři vhodné indexy. Avšak ne každá kamera poskytuje pásma pro všechny čtyři indexy. Možné užití indexů pro jednotlivé kamery je vyznačeno v tab. 4.

Název kamery	Zvolené indexy			
	NDI	ExG	TGI	NDVI
Duet T (S.O.D.A.)	✓	✓	✓	×
Parrot Sequoia	✓	×	×	✓
MicaSense RedEdge MX	✓	✓	✓	✓

**Tab. 4 Možnost použití zvolených indexů**

## Řízení bezpilotního letounu

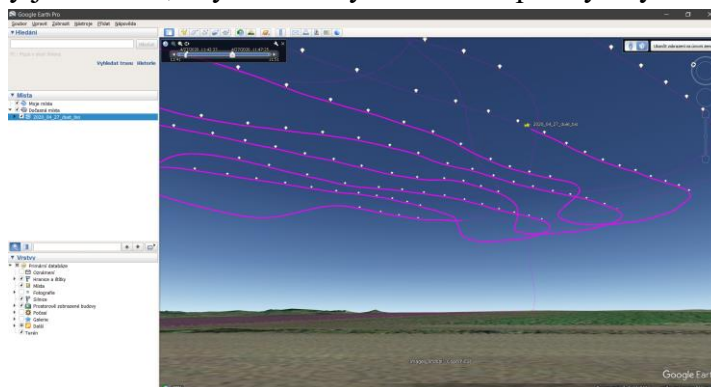
Ovládacím softwarem bezpilotního letounu je program eMotion. Zprvu byla vytvořena nová mise, v níž byly zvoleny i použité kamery při přeletu (obr. 48 a). Následně byla přidána omezující oblast s poloměrem 621 m a maximální výškou 150 m (obr. 48 b) ve které se mohl bezpilotní letoun pohybovat. Po přidání vzletových a přistávacích bodů (obr. 48 c), byla přidána snímkaná plocha.

Vizualizace bodů a snímkané plochy je vidět na obr. 48 d. V bezvětří může být dráha přeletu rovnoběžná s řádky chmelnice, zatímco při slabém větru je potřeba v rámci stabilizace obrazu dráhu letu nastavit kolmo na směr větru.



Obr. 48 Vytvoření přeletové mise v programu eMotion

Výstupem programu eMotion je kromě samotných snímků i záznam dráhy letu bezpilotního letounu včetně souřadnic, ve kterých byly jednotlivé snímky pořízeny. Záznam se dá pro kontrolu otevřít v programu Google Earth Pro [110] (obr. 49). Ze záznamu dráhy je patrné, že povětrnostní podmínky hrají důležitou roli a je potřeba je brát v úvahu. Kvůli možnému odchýlení od dráhy je důležité, aby se snímky dostatečně překrývaly.



Obr. 49 Vizualizace dráhy letu UAV

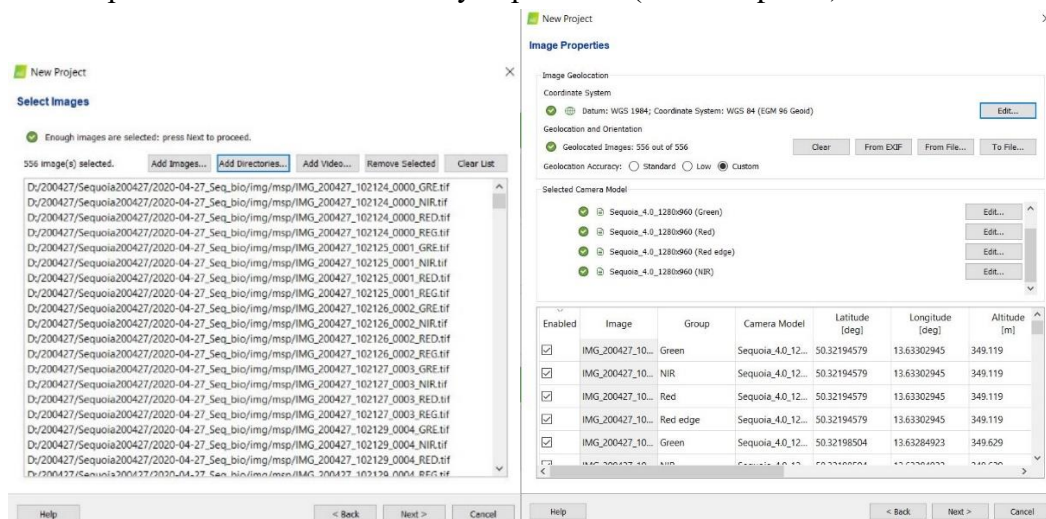
## 4.3 Složení snímků

### Vytvoření mozaiky

Po dokončení snímkování je k dispozici složka souborů obsahující jednotlivé snímky pořízené při přeletu bezpilotního letounu. Složka souborů obsahuje všechna snímaná pásma a zpravidla má velikost 1–5 GB.

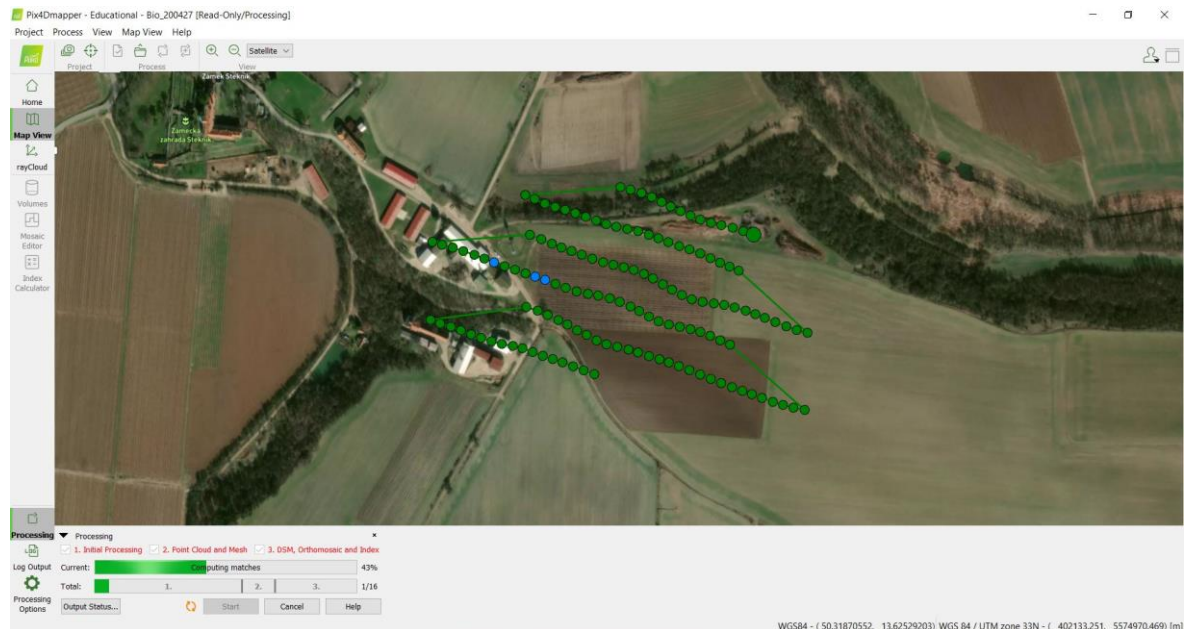
Aby se se snímky dalo dále pracovat, bylo potřeba jednotlivé snímky uspořádat do jedné mozaiky. K vytvoření mozaiky byl použit program Pix4d mapper jehož licenci má Technická fakulta ČZU zakoupenou.

Po otevření nového projektu stačilo otevřít adresář s obrazovými daty. Program automaticky vyhodnotil data uložená ve složce (obr. 50 vlevo). Program taktéž detekoval informace o použitém senzoru a snímaných pásmech (obr. 50 vpravo).



Obr. 50 Vytvoření nového projektu Pix4d

Po nastavení výstupního koordinačního systému, složitosti výpočtů a způsobu zpracování, program načte dráhu letu a následně spojí všechny snímky daného pásma do jedné mozaiky (vizualizace průběhu je vidět na obr. 51). Program taktéž umožňuje počítání indexů. Vyvinutý zásuvný modul programu QGIS umožňuje pracovat i s již vypočítanými indexy pro případ, že chceme počítat index pomocí programu Pix4d.



Obr. 51 Průběh programu Pix4d

### Sloučení do multikanálového rastru

Zásuvný modul byl navržen tak, aby pracoval s jednou multikanálovou rastrovou vrstvou. Výstupem programu Pix4d je však několik rastrových souborů. Každý soubor představuje danou část spektra a tyto soubory bylo potřeba sloučit do jedné vrstvy. K tomu byl použit nástroj Merge (česky Sloučit) knihovny GDAL [164], který je v základní instalaci programu QGIS.

## 4.4 Zpracování dat

Data byla zpracována pomocí již avizovaného zásuvného modulu programu QGIS a pomocí programu Excel. Nejprve byly z rastrových vrstev zjištěny počty rostlin a mezerovitost. Posléze byly zjištěné data zjištěná zásuvným modulem porovnány s daty zjištěnými fyzicky v terénu, čímž byla určena nejlepší metoda.

### 4.4.1 Detekce rostlin

Nejdříve byl stažen a nainstalován QGIS z oficiálních stránek [96], který byl následně dovybaven o knihovnu Open CV. Tento krok byl proveden pomocí příkazu (*pip install opencv-python* [165]) v OSGeo4W shellu, který je součástí instalace. Pro načtení zásuvného modulu do programu QGIS lze použít soubor komprimované složky modulu s příponou ZIP, který je součástí příloh této práce.

#### Nahrání rastrových vrstev do projektu

Nahrávání vrstev do projektu není složité. Vrstvy se dají importovat i jejich přetažením do projektu z průzkumníku souborů. Bohužel při tomto způsobu importu se používá absolutní cesta. Použití absolutní cesty k souborům není chybou, avšak v případě následného sdílení nebo přesunutí složky s projektem dochází k změně absolutní cesty v, důsledku toho pak soubor nemůže být programem nalezen

Proto, aby se zlepšilo případné sdílení souborů, byla v tomto případě použita relativní cesta k souborům. V programu byl vytvořen nový projekt. Jak pro ekologickou, tak pro konvenční chmelnici byla pro každé datum snímkování vytvořena vlastní složka a v ní umístěn projekt, tak aby se k datům dalo přistupovat separátně. Rastrová sloučená data byla nejdříve nahrána do složky „DataProjektu“ a následně otevřena s relativní cestou v programu QGIS.

#### Vytvoření vektorových vrstev

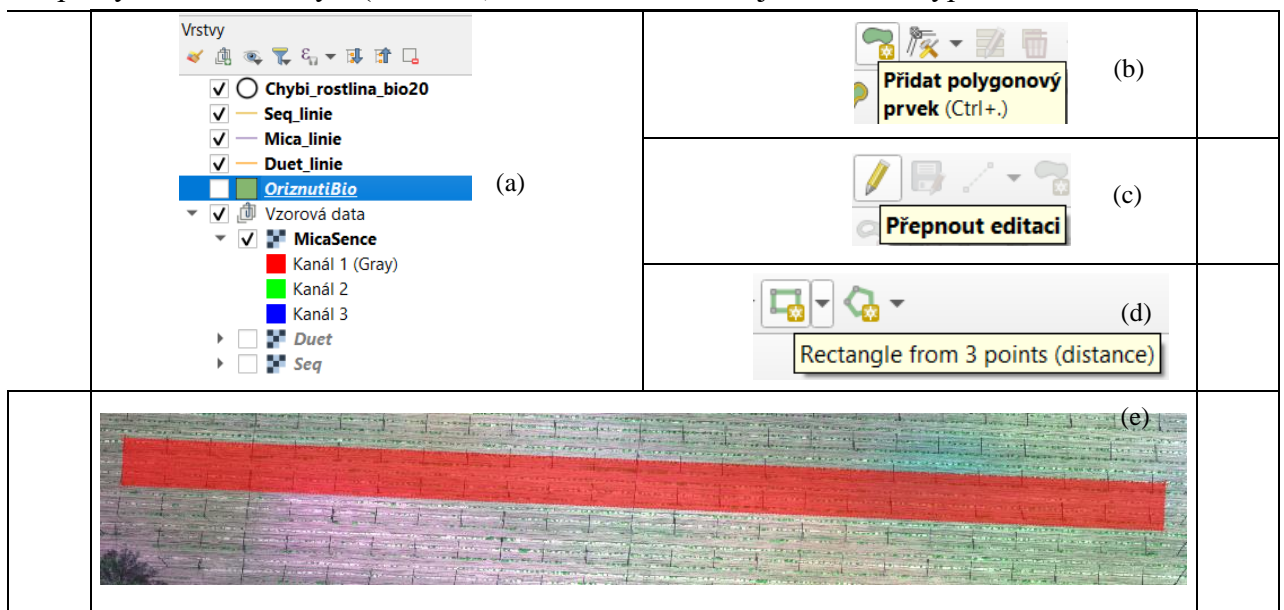
Dalším krokem bylo vytvoření jedné vrstvy pro polygon a dalších pro linie. Vrstvy byly vytvořeny v prostředí QGIS. Po kliknutí na „Nová vrstva Shapefile“ se zobrazí dialogové okno ve které je potřeba určit umístění, zde byla zvolena složka ve složce „DataProjektu“.

Linie byly uloženy do vlastní složky „Linie“ a polygon do složky „Oriznuti“. Názvy jednotlivých vrstev linií se odvíjejí od názvů kamer, kterými byly snímky pořízeny. Dále byl zvolen příslušný typ geometrie a souřadnicový systém. Příkladný obsah složky linie je vidět na obr. 52. Stejně jako u rastrové vrstvy byla při vytvoření souboru použita nejdříve absolutní cesta, která byla následně změněna na relativní, protože pokud by byla zvolena cesta relativní už při vytvoření souboru, tak by vytvoření souboru selhalo.

```
Duet_linie.dbf
Duet_linie.prj
Duet_linie.shp
Duet_linie.shx
Mica_linie.dbf
Mica_linie.prj
Mica_linie.shp
Mica_linie.shx
Seq_linie.dbf
Seq_linie.prj
Seq_linie.shp
Seq_linie.shx
```

Obr. 52 Obsah složky linie

Následně byly v každé vrstvě vytvořeny příslušné vektory. Nejdříve byla označena vrstva k úpravě (obr. 53 a) a přepnuta do režimu editace (Obr. 38 b). Následně byl vytvořen polygonový prvek (Obr. 38 c). Konkrétně obdélník ze tří bodů, který označuje plochu analyzované rastrové vrstvy (Obr. 38 d). Třetí (ukončovací) bod obdélníku se potvrzuje pravým tlačítkem myši (obr. 53 e). Posledním krokem je uložení a vypnutí editace.



Obr. 53 Kroky přidání polygonu

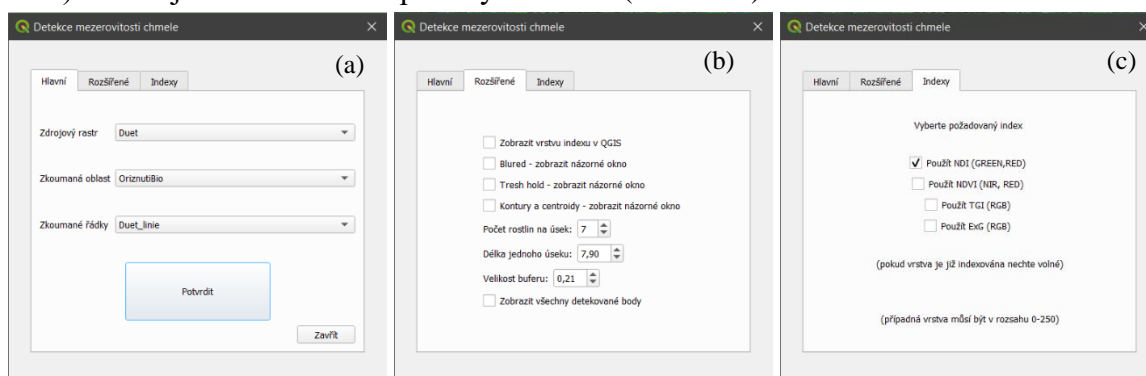
## Užití vlastního zásuvného modulu

Po stisknutí ikony zásuvného modulu se zobrazil obslužný dialog. Součástí dialogu jsou tři karty. Na první kartě byl vybrán název zdrojové rastrové vrstvy, polygon zkoumané oblasti a linie zkoumaných řádků (obr. 54 a).

Hodnota buferu byla dle potřeby změněna v druhé kartě zásuvného modulu (obr. 54 b). Zjištěnou vyhovující hodnotou bylo 0,42 u obou chmelnic. Navíc v případě ekologické chmelnice mohla být díky její orientaci nastavena až na poloviční hodnotu.

Karta „Rozšířené“ dále nabízí možnost upravit hodnoty použité pro výpočet mezerovitosti. Je zde také možnost nahrát do projektu rastr spočítaného indexu nebo všechny body detekované zásuvným modulem. Další z možností je zobrazení názorných oken.

Použití jednotlivých indexů, jejichž volba je k dispozici na třetí kartě modulu (obr. 54 c) se odvíjelo od vlastností použitých kamer (viz tab. 4).



Obr. 54 Karty zásuvného modulu

Po stisknutí tlačítka potvrdit a proběhnutí algoritmu se do projektu nahrály body detekovaných rostlin a změnil se obsah atributové tabulky vybraných linií. Souřadnice bodů jsou uloženy ve vektorové vrstvě ve složce DataProjektu. Postup byl opakován pro každou z kamer. Bylo potřeba dbát na to aby u každé kamery byly vybrány správné linie.

#### 4.4.2 Statistické zpracování k nalezení nejpřesnější metody

Data uložená v atributových tabulkách jednotlivých linií se dají již použít pro interpretaci mezerovitosti. V této části byly porovnány výsledky zásuvného modulu s daty získanými v terénu. Výsledky statistické analýzy včetně ukázkových vstupních dat jsou k dispozici v digitální příloze.

##### Import dat do excelu

Ve složce s projektem byl vytvořen sešit programu Excel, který sloužil k zpracování dat mezerovitosti a počtu rostlin. Jak bylo zmíněno v kapitole 4.1.3 na straně 34, modul ukládá data z atributových tabulek do složky „Exeldata“. Data vygenerovaná modulem byla porovnána s daty, která byla zjištěna v terénu (data zjištěná v terénu jsou v tab. 5). Vstupní data z terénního průzkumu byla vložena do karty programu excel pojmenované „Nastavení“.

	Ekologická			Konvenční		
	Počet chybějících rostlin	Počet úseků	Počet rostlin na úsek	Počet chybějících rostlin	Počet úseků	Počet rostlin na úsek
1. řádek	10	24	7	9	17	7
2. řádek	6			3		
3. řádek	2			2		
4. řádek	5			2		

Tab. 5 Data pro mezerovitost z terénu

Data vygenerovaná modulem byla čtena dynamicky, aby v případě jejich pozměnění byla změna automaticky promítnuta do výsledných grafů a tabulek. Aby program Excel byl schopen načítat data i při změně absolutní cesty, musela být nejdříve zjištěna cesta k sešitu programu Excel.

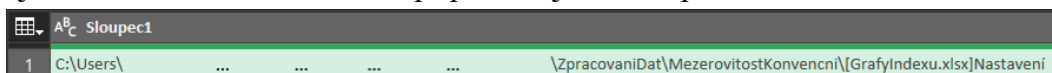
V listu „Nastavení“ byl do jedné buňky nahrán příkaz, jehož výsledkem je absolutní cesta k danému listu. Jelikož byla používána česká verze programu, byly potřeba psát v češtině i příkazy a vzorce. Zápis příkazu je vidět na obr. 55.

The image shows a close-up of an Excel formula bar. On the left, there is a small icon of a function (fx). To its right, the text "=POLÍČKO("názevsouboru";A1)" is displayed in a dark font against a light background.

Obr. 55 Zjištění cesty k listu



Následně byl vytvořen dotaz na dané políčko sešitu. V záložce „Data“ byla zvolena možnost „Načíst data → Z jiných zdrojů → Z tabulky nebo oblasti“ a vybráno políčko s absolutní cestou k sešitu. Poté se otevřel podprogram programu Excel: Editor Power Query a dotaz na absolutní cestu se pojmenoval „Tabulka1“. Výsledek dotazu se uložil do Sloupce s názvem „Sloupec1“. Takto získaná absolutní cesta je patrná na obr. 56. Začátek cesty závisí na pojmenování složek a mění se, v případě že je soubor přesunut.



**Obr. 56 Výsledek dotazu absolutní cesty**

Na tento sloupec a řádek se odkazovaly následné importy atributů linií řádků pro jednotlivé kamery. Výsledek dotazu bylo potřeba upravit tak aby neodkazoval na aktuální sešit a list, ale na potřebný soubor ve formátu CSV ve složce „Exeldata“, která je umístěna paralelně se sešitem. Příklad výsledného dotazu pro řádky kamery MicaSence je na obr. 57.

```
= Csv.Document(File.Contents(Text.Split(Table.TransformColumnTypes(Excel.CurrentWorkbook()
{[Name="Tabulka1"]}[Content],{{"Sloupec1", type text}})[Sloupec1]{0}, "{0}"&
"Exeldata\PocetRostlinVRadkuSouborProExcelMica_linie.csv"),[Delimiter=";", Columns=8,
Encoding=1250, QuoteStyle=QuoteStyle.None])
```

**Obr. 57 Příklad dotazu na data exportovaná modulem**

Výsledkem dotazu je tabulka, která potřebuje několik úprav. Nejdříve bylo potřeba povýšit první řádek na úroveň nadpisů funkcí Promote Header [166]. Poté pomocí funkce Select Columns [167] byly vybrány jen takové sloupce, které odpovídaly zvoleným indexům. Použitím funkce Select Columns bylo zamezeno importu špatných dat. Následně pomocí funkce Replace Value [168] byla desetinná tečka nahrazená čárkou a funkcí Transform Column Types [169] změněný typ na desetinné číslo. Výsledek dotazu byl načten do listu s názvem Data.

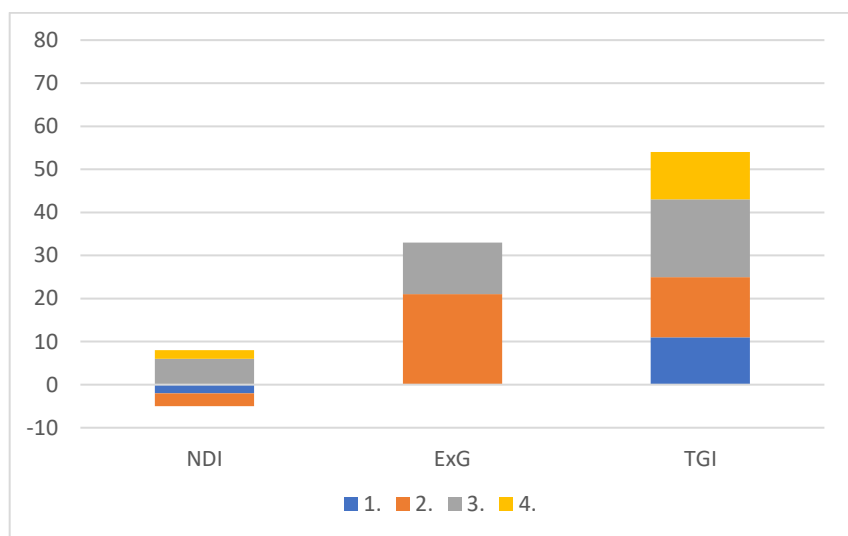
## Rozbor jednotlivých metod

Následně pomocí grafů a podmíněného formátování byla data vizualizována. Pro každou kameru byly vytvořeny jednotlivé listy s názvy kamer. Na každém listu se nachází 3 názorné tabulky a 2 grafy. První tabulka (tab. 6) nás informuje o odchylkách od dat zjištěných ve chmelnici a slouží jako datové podklady pro první graf (obr. 58).

Taktéž se v první tabulce dají identifikovat extrémní a stanovit zda použitá metoda správně identifikovala extrém. Porovnáním jednotlivých grafů odchylek byla vybrána nejlepší kombinace metody a analyzovaných snímků. Nulová hladina u grafu značí stav zjištěný ve chmelnici. Čím větší je absolutní hodnota součtu odchylek tím je metoda nepřesnější.

Znázornění odchylek a extrémů							
Řádek	Terén	NDI		ExG		TGI	
	Počet	Počet	Odchylka	Počet	Odchylka	Počet	Odchylka
1.	158	156	-2	158	0	169	11
2.	162	159	-3	183	21	176	14
3.	166	172	6	178	12	184	18
4.	163	165	2	163	0	174	11

Tab. 6 Příklad: 1. tabulka – Ekologická chmelnice Duet T datum: 27.4.2020

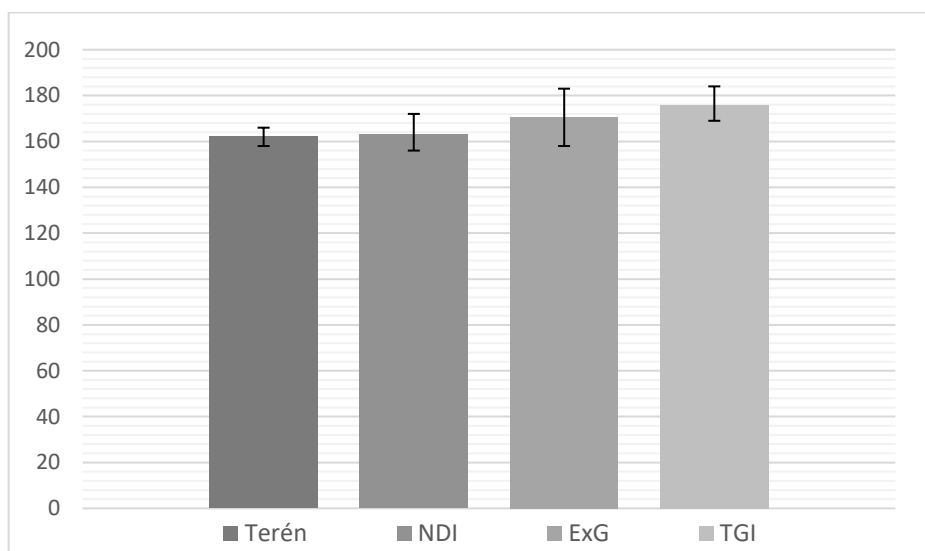


Obr. 58 Příklad: 1. graf – Ekologická chmelnice Duet T datum: 27.4.2020

V druhé tabulce (tab. 7) a druhém grafu (obr. 59) byly použité metody znázorněny z hlediska přesnosti průměrných hodnot. Z hodnot použité metody byl vytvořen aritmetický průměr a porovnán s průměrným počtem rostlin na řádku fyzicky zjištěným ve chmelnici. V případě, že se průměry lišili o více než bylo definováno v nastavení, políčko se zbarvilo červeně. Hodnota povolené odchylky byla nastavena na 5 % jakožto standardní hodnota nejistoty. Z tabulky se taktéž dá vyčíst nejmenší a největší odchylky pro použitou metodu. Spočítaná data jsou následně pro lepší pochopení kontextu znázorněna v druhém grafu.

Průměr a odchylky od něj				
Počet	162,25	163	170,5	175,75
max	3,75	9	12,5	8,25
min	4,25	7	12,5	6,75

Tab. 7 Příklad: 2. tabulka – Ekologická chmelnice Duet T datum 27.4.2020



Obr. 59 Příklad: 2. graf – Ekologická chmelnice Duet T datum 27.4.2020

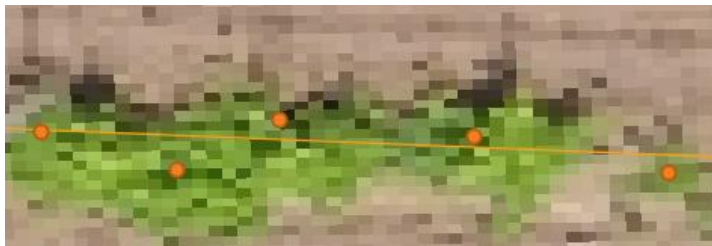
Poslední tabulkou na listu pro příslušnou kameru je tabulka sloužící pro hodnocení přesnosti počítání mezerovitosti (tab. 8). Tabulka kromě mezerovitosti taktéž hodnotí počty rostlin. V případě, že se mezerovitost či počty nachází v toleranci je dané políčko zbarveno do zelena a označeno symbolem pomlčky. Jestliže jsou výsledky programu mimo povolenou toleranci, šipka ukáže směr, kterým se nepovolená odchylka nachází.

Vyhodnocení mezerovitosti								
	Počet terén	MZV terén	POCT NDI	MEZV NDI	POCT ExG	MEZV ExG	POCT TGI	MEZV TGI
1.	158	▼ 6,0	▶ 156	▶ 7,1	▶ 158	▶ 6,0	▲ 169	▼ -0,6
2.	162	▼ 3,6	▶ 159	▶ 5,4	▲ 183	▼ -8,9	▲ 176	▼ -4,8
3.	166	▼ 1,2	▶ 172	▶ -2,4	▲ 178	▼ -6,0	▲ 184	▼ -9,5
4.	163	▼ 3,0	▶ 165	▶ 1,8	▶ 163	▶ 3,0	▲ 174	▼ -3,6

Tab. 8 Příklad: 3. tabulka – Ekologická chmelnice květen 2020 Duet T

## 5 Výsledky a diskuse

Vizuální kontrolou výsledků bylo zjištěno, že se modul potýká s různými typy vznikajících chyb. Velice často docházelo k identifikaci více rostlin tam, kde je porost v pokročilejší fázi růstu (obr. 60). To bylo zapříčiněno povahou chmele, kdy k chybě většinou došlo tak, že v místě, kde se nachází jedna rostlina, byly identifikovány dvě révy (viz obr. 60).



Obr. 60 NDI Duet T Ekologická Chmelnice – datum: 27.4.2020



Obr. 61 TGI Duet T Konvenční chmelnice – datum: 21.5.2020

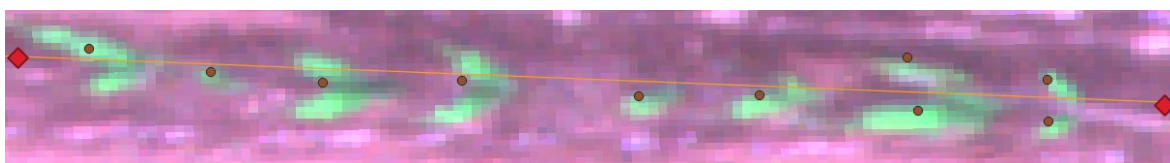
Tento typ chyby umocnily stíny, které data zkreslila. Například na snímcích z konvenční chmelnice (obr. 61) byly stíny velmi patrné. Dalším faktorem je to, že vizuální interpretace výsledků je náročná i pro člověka. Například při pohledu na obr. 60 nelze jednoznačně určit o kolik rostlin se přesně jedná. Výskyt tohoto typu chyb je do jisté míry ovlivněn i použitým vegetačním indexem.

Klíčovým prvkem se tedy pro použitou metodu jeví načasování přeletu na vhodné období. Problém přesné detekce však může i přes správné načasování přetrvat vlivem nerovnoměrnosti růstu v jedné chmelnici. Zatímco některé rostliny jsou v daném období již v pokročilé fázi růstu, jiné mohou jevit nulovou aktivitu a být tak vyhodnoceny jako mezera. Příklad je vidět na obr. 62, kde žádný z použitých indexů neidentifikoval rostlinu.

Nerozpoznání rostlin na místech, kde z pozdějších snímků (obr. 63) je patrné, že se na daném místě rostlina fakticky nachází, bylo nejčastějším typem chyb. Tato chyba se nedá efektivně řešit, jelikož rostlina nejeví spektrální charakter rostliny a k potlačení rostliny z principu musí dojít.



**Obr. 62 Všechny indexy a kamery Ekologická Chmelnice – datum: 27.4.2020**



**Obr. 63 NDI MicaSense Ekologická Chmelnice – datum: 21.5.2020**

Dále vlivem rozdílných odrůd v ekologické a konvenční chmelnici vznikaly rozdílné výsledky přesnosti detekce. Výsledky analýz snímků chmelnic, které byly pořízeny ve stejný den stejnými senzory, vykazovaly různou přesnost.

Například zatímco snímky ekologické chmelnice pořízené kamerou Duet T dne 27.4.2020 při použití indexu NDI vychází výsledky v povolené odchylce  $\pm 5\%$ , výsledky ze snímků konvenční chmelnice nevychází v povolené odchylce ani při jednom z použitých indexů. To bylo pravděpodobně způsobeno opožděním vegetačního růstu konvenční chmelnice oproti ekologické.

Rozborem výsledků statistického zpracování bylo zjištěno, že při porovnání výsledků mezerovitosti s referenčními daty, je účinnost metody velmi nízká a jen v jenom případě dosahuje dostatečně přesných hodnot mezerovitosti. Bylo usouzeno, že v tomto případě se jedná o souhrn světelných podmínek s fází vegetačního růstu.

Vlivem počasí a praktičnosti přelety nebyly prováděny denně, proto nebyly pořízeny stejně vhodné snímky konvenční chmelnice jako u chmelnice ekologické. Z toho vyplývá, že se metoda a akvizice dat potýká s hrubými nedostatky. Heterogenita scény, která zapříčiňuje velké odchylky použité metody, vzniká mimo zmíněný nerovnoměrný růst také kolísajícím jasem způsobeným oblačností.

Koncept algoritmu však při vizuálním hodnocení výsledků nebyl zavrženíhodný a při implementaci dalších funkcí by se mohl lépe přizpůsobovat a poskytovat tak lepší výsledky bez ohledu na proměnlivost jasu. Při porovnání výsledků statistických analýz bylo zjištěno, že pro použití navrhovaného postupu jsou nejvhodnější snímky z kamery Duet T, konkrétně snímky z nízkonákladové S.O.D.A. To mohla zapříčinit úzká šířka pásem ostatních kamer, které se hodí spíše na vyhodnocování charakteristiky rostlin.

Navrhovaným vylepšením metody do budoucna je použití konvolučních neuronových sítí. Tento přístup je hojně aplikován na obdobné problémy. Například při detekci plevele v řádku rostlin [67, 170], pro zjišťování počtu rostlin kukuřice [68], k přesné fenotypizaci citrusů [74], nebo k automatické klasifikaci a identifikaci stromů [79, 171].

Využití neuronových sítí má vysokou přesnost, nicméně aplikace je implementačně náročná a proto nebyla v této práci implementována. Zásuvný modul však byl navržen tak, aby se mohl o tuto funkcionalitu rozšířit, a to použitím knihovny Open CV.

Třetí navrhovanou variantou je pak snímání porostu v pokročilém vegetačním růstu pomocí LiDARu. Ten lze například účinně použít k detekci individuálních stromů mnohopatrovém jehličnatém lese [43]. Přístup by zde pak byl diametrálně odlišný. Výhodou tohoto řešení by bylo zachycení skutečného stavu vegetace.

## 6 Závěr

Cílem práce bylo vhodnou metodou zpracovat a analyzovat snímky pořízené bezpilotními prostředky a výsledky analýz následně porovnat s referenčními údaji o mezerovitosti. Data byla mimo jiné zpracována použitím volně dostupného software QGIS a knihovnou Open CV.

V první části byla popsána teoretická východiska z oblasti geoinformatiky se zaměřením na speciální plodiny a detekci mezerovitosti. Vybrané nástroje byly popsány z hlediska volné dostupnosti a otevřenosti kódu.

Bylo zjištěno, že dostupných nástrojů pro zpracování a analýzu obrazu je velké množství. Taktéž bylo zjištěno že filozofie otevřeného kódu je velice populární a díky tomu je k dispozici mnoho volně přístupných geoinformačních nástrojů, které jsou spolu úzce provázané.

V praktické části byla vytvořena metoda detekce mezerovitosti chmele. Ta byla realizována vytvořením zásuvného modulu do programu QGIS a je k dispozici v digitální příloze. Výsledky, které vznikly použitím zásuvného modulu, byly pomocí programu Excel statisticky porovnány s referenčními daty. Výsledky statistického zpracování jsou včetně vzorových dat součástí digitálních příloh. Následně byly výsledky analýz zhodnoceny a byla navrhována možná zlepšení metody.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] GOODCHILD, Michael F. Spatial analysts and GIS practitioners. *Journal of Geographical Systems* [online]. 2000, **2**(1), 5–10. ISSN 1435-5930. Dostupné z: doi:10.1007/s101090050022
- [2] ANDREEV, D v. The use of GIS technology in modern conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. 2020, **421**(4), 042001. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/421/4/042001
- [3] LONGLEY, P.A., M.F. GOODCHILD, D.J. MAGUIRE a D.W. RHIND. *Geographic Information Science and Systems*. 4. vyd. B.m.: Wiley, 2015. ISBN 978-1-119-03130-7.
- [4] RILWANI, M L a Isi A IKHUORIA. Precision Farming with Geoinformatics: A New Paradigm for Agricultural Production in a Developing Country. *Transactions in GIS* [online]. 2006, **10**(2), 177–197. ISSN 1361-1682. Dostupné z: doi:10.1111/j.1467-9671.2006.00252.x
- [5] BILL, Ralf, Edward NASH a Görres GRENZDÖRFFER. GIS in Agriculture. In: *Springer Handbook of Geographic Information* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 461–476. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-72680-7\_24
- [6] ZHANG, Fei a Nengxiu CAO. Application and Research Progress of Geographic Information System (GIS) in Agriculture. In: *2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)* [online]. B.m.: IEEE, 2019, s. 1–5. ISBN 978-1-7281-2116-1. Dostupné z: doi:10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820476
- [7] GEBEYEHU, Marshet Nigatu. Remote Sensing and GIS Application in Agriculture and Natural Resource Management. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* [online]. 2019, **19**(2). ISSN 25721119. Dostupné z: doi:10.19080/IJESNR.2019.19.556009
- [8] SHANMUGAPRIYA, P., S. RATHIKA, T. RAMESH a P. JANAKI. Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* [online]. 2019, **8**(01), 2270–2283. ISSN 23197692. Dostupné z: doi:10.20546/ijcmas.2019.801.238
- [9] WEISS, M., F. JACOB a G. DUVEILLER. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2020, **236**, 111402. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2019.111402
- [10] JAFARBIGLU, Hamid a Alireza POURREZA. A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2022, **197**, 106844. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2022.106844



- [11] KAKOOEI, Mohammad a Yasser BALEGHI. Fusion of satellite, aircraft, and UAV data for automatic disaster damage assessment. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2017, **38**(8–10), 2511–2534. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2017.1294780
- [12] MATESE, Alessandro, Piero TOSCANO, Salvatore DI GENNARO, Lorenzo GENESIO, Francesco VACCARI, Jacopo PRIMICERIO, Claudio BELLI, Alessandro ZALDEI, Roberto BIANCONI a Beniamino GIOLI. Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture. *Remote Sensing* [online]. 2015, **7**(3), 2971–2990. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs70302971
- [13] HAMAN, Tomáš. *Přehled bezpilotních letounů*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [14] CRACKNELL, Arthur P. UAVs: regulations and law enforcement. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2017, **38**(8–10), 3054–3067. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2017.1302115
- [15] DAINELLI, Riccardo, Piero TOSCANO, Salvatore Filippo DI GENNARO a Alessandro MATESE. Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicle Forest Remote Sensing—A Systematic Review. Part I: A General Framework. *Forests* [online]. 2021, **12**(3), 327. ISSN 1999-4907. Dostupné z: doi:10.3390/f12030327
- [16] OLSON, Daniel a James ANDERSON. Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture. *Agronomy Journal* [online]. 2021, **113**(2), 971–992. ISSN 0002-1962. Dostupné z: doi:10.1002/agj2.20595
- [17] RAPARELLI, Elisabetta a Sofia BAJOCOCO. A bibliometric analysis on the use of unmanned aerial vehicles in agricultural and forestry studies. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2019, **40**(24), 9070–9083. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2019.1569793
- [18] ALVAREZ-VANHARD, Emilien, Thomas CORPETTI a Thomas HOUET. UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote Sensing* [online]. 2021, **3**, 100019. ISSN 26660172. Dostupné z: doi:10.1016/j.srs.2021.100019
- [19] ASLAN, Muhammet Fatih, Akif DURDU, Kadir SABANCI, Ewa ROPELEWSKA a Seyfettin Sinan GÜLTEKIN. A Comprehensive Survey of the Recent Studies with UAV for Precision Agriculture in Open Fields and Greenhouses. *Applied Sciences* [online]. 2022, **12**(3), 1047. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app12031047
- [20] GOFORTH, Hunter a Simon LUCEY. GPS-Denied UAV Localization using Pre-existing Satellite Imagery. In: *2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* [online]. B.m.: IEEE, 2019, s. 2974–2980. ISBN 978-1-5386-6027-0. Dostupné z: doi:10.1109/ICRA.2019.8793558

- [21] RADOGLUO-GRAMMATIKIS, Panagiotis, Panagiotis SARIGIANNIDIS, Thomas LAGKAS a Ioannis MOSCHOLIOS. A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks* [online]. 2020, **172**, 107148. ISSN 13891286. Dostupné z: doi:10.1016/j.comnet.2020.107148
- [22] AUSTIN, Reg. *Unmanned Aircraft Systems* [online]. B.m.: Wiley, 2010. ISBN 9780470058190. Dostupné z: doi:10.1002/9780470664797
- [23] REES, W G. *Physical Principles of Remote Sensing*. B.m.: Cambridge University Press, 2013. ISBN 9781107004733.
- [24] LUKAC, R. *Single-Sensor Imaging: Methods and Applications for Digital Cameras*. B.m.: CRC Press, 2018. ISBN 9781420054538.
- [25] TSOUROS, Dimosthenis C., Stamatia BIBI a Panagiotis G. SARIGIANNIDIS. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information* [online]. 2019, **10**(11), 349. ISSN 2078-2489. Dostupné z: doi:10.3390/info10110349
- [26] LIU, Jia, Jianjian XIANG, Yongjun JIN, Renhua LIU, Jining YAN a Lizhe WANG. Boost Precision Agriculture with Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Edge Intelligence: A Survey. *Remote Sensing 2021, Vol. 13, Page 4387* [online]. 2021, **13**(21), 4387 [vid. 2023-02-09]. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/RS13214387
- [27] ADÃO, Telmo, Jonáš HRUŠKA, Luís PÁDUA, José BESSA, Emanuel PERES, Raul MORAIS a Joaquim SOUSA. Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. *Remote Sensing* [online]. 2017, **9**(11), 1110. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs9111110
- [28] NAVEED TAHIR, Muhammad, Yubin LAN, Yali ZHANG, Yingkuan WANG, Faisal NAWAZ, Muhammad ARSLAN AHMED SHAH, Asim GULZAR, Waqar SHAHID QURESHI, Syed MANSHOOR NAQVI a Syed ZAIGHAM ABBAS NAQVI. Real time estimation of leaf area index and groundnut yield using multispectral UAV. *International Journal of Precision Agricultural Aviation* [online]. 2018, **1**(1), 1–6. ISSN 2576-3628. Dostupné z: doi:10.33440/j.ijpaa.20200301.70
- [29] STROPPIANA, Daniela, Paolo VILLA, Giovanna SONA, Giulia RONCHETTI, Gabriele CANDIANI, Monica PEPE, Lorenzo Busetto, Mauro MIGLIAZZI a Mirco BOSCHETTI. Early season weed mapping in rice crops using multi-spectral UAV data. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2018, **39**(15–16), 5432–5452. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2018.1441569
- [30] SAHOO, Rabi, Shibendu RAY a Manjunath R. Hyperspectral remote sensing of agriculture. *Current science*. 2015, **108**, 848–859.
- [31] CAMPBELL, J B, R H WYNNE a V A THOMAS. *Introduction to Remote Sensing*. B.m.: Guilford Publications, 2022. ISBN 9781462549405.

- [32] PRAKASH, Anupma. Thermal remote sensing: concepts, issues and applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2000, **33**(B1; PART 1), 239–243. ISSN 0256-1840.
- [33] MESSINA, Gaetano a Giuseppe MODICA. Applications of UAV Thermal Imagery in Precision Agriculture: State of the Art and Future Research Outlook. *Remote Sensing* [online]. 2020, **12**(9), 1491. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs12091491
- [34] SHENG, Hu, Haiyang CHAO, Cal COOPMANS, Jinlu HAN, Mac MCKEE a YangQuan CHEN. Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform, calibration and applications. In: *Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications* [online]. B.m.: IEEE, 2010, s. 38–43. ISBN 978-1-4244-7101-0. Dostupné z: doi:10.1109/MESA.2010.5552031
- [35] BERATAN, Howard R., Charles M. HANSON a Edward G. MEISSNER. Low-cost uncooled ferroelectric detector. In: Randolph E. LONGSHORE, ed. [online]. 1994, s. 147. Dostupné z: doi:10.1117/12.189240
- [36] SIZOV, F. F. IR region challenges: Photon or thermal detectors? Outlook and means. *Semiconductor Physics Quantum Electronics and Optoelectronics* [online]. 2012, **15**(3), 193–199. ISSN 15608034. Dostupné z: doi:10.15407/spqeo15.03.193
- [37] ROGALSKI, Antoni. *Infrared and Terahertz Detectors, Third Edition* [online]. B.m.: CRC Press, 2019. ISBN 9781315271330. Dostupné z: doi:10.1201/b21951
- [38] DONG, Pinliang a Qi CHEN. *LiDAR Remote Sensing and Applications* [online]. Boca Raton, FL : Taylor & Francis, 2018.: CRC Press, 2017. ISBN 9781351233354. Dostupné z: doi:10.4324/9781351233354
- [39] MCMANAMON, P F. *LiDAR Technologies and Systems* [online]. B.m.: SPIE Press, 2019. ISBN 9781510625396. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=cIIIwAEACAAJ>
- [40] GIMMESTAD, Gary G. a David W. ROBERTS. *Lidar Engineering* [online]. B.m.: Cambridge University Press, 2023. ISBN 9781139014106. Dostupné z: doi:10.1017/9781139014106
- [41] NÜCHTER, Andreas. *3D Robotic Mapping* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-89883-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-89884-9
- [42] CHRISTIANSEN, Martin Peter, Morten Stigaard LAURSEN, Rasmus Nyholm JØRGENSEN, Søren SKOVSEN a René GISLUM. Designing and Testing a UAV Mapping System for Agricultural Field Surveying. *Sensors 2017, Vol. 17, Page 2703* [online]. 2017, **17**(12), 2703 [vid. 2023-02-09]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/S17122703
- [43] HARIKUMAR, Aravind, Francesca BOVOLO a Lorenzo BRUZZONE. A Local Projection-Based Approach to Individual Tree Detection and 3-D Crown Delineation in Multistoried Coniferous Forests Using High-Density Airborne LiDAR Data. *IEEE*

- Transactions on Geoscience and Remote Sensing* [online]. 2019, **57**(2), 1168–1182. ISSN 0196-2892. Dostupné z: doi:10.1109/TGRS.2018.2865014
- [44] COMBA, L., A. BIGLIA, D. RICAUDA AIMONINO, C. TORTIA, E. MANIA, S. GUIDONI a P. GAY. Leaf Area Index evaluation in vineyards using 3D point clouds from UAV imagery. *Precision Agriculture* [online]. 2020, **21**(4), 881–896. ISSN 1385-2256. Dostupné z: doi:10.1007/s11119-019-09699-x
- [45] WANG, Tengfeng, Xiaoxia WAN, Bowen CHEN a Shuo SHI. True-Color Reconstruction Based on Hyperspectral LiDAR Echo Energy. *Remote Sensing* [online]. 2021, **13**(15), 2854. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs13152854
- [46] PEEBLES, P Z. *Radar Principles* [online]. B.m.: Wiley, 1998. ISBN 9780471252054. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=PVSzQgAACAAJ>
- [47] RICHARDS, Mark A., James A. SCHEER a William A. HOLM. *Principles of modern radar: Basic principles* [online]. B.m.: Institution of Engineering and Technology, 2010. ISBN 9781613531488. Dostupné z: doi:10.1049/sbra021e
- [48] LEVANON, Nadav a Eli MOZESON. *Radar Signals* [online]. 2004. Dostupné z: doi:10.1002/0471663085
- [49] NDIKUMANA, Emile, Dinh HO TONG MINH, Nicolas BAGHDADI, Dominique COURAULT a Laure HOSSARD. Deep Recurrent Neural Network for Agricultural Classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France. *Remote Sensing* [online]. 2018, **10**(8), 1217. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10081217
- [50] LYALIN, Konstantin S., Alexey A. BIRYUK, Alexey Y. SHEREMET, Vadim K. TSVETKOV a Dmitry v. PRIKHODKO. UAV synthetic aperture radar system for control of vegetation and soil moisture. In: *2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* [online]. B.m.: IEEE, 2018, s. 1673–1675. ISBN 978-1-5386-4339-6. Dostupné z: doi:10.1109/EIConRus.2018.8317425
- [51] LIU, Chang-an, Zhong-xin CHEN, Yun SHAO, Jin-song CHEN, Tuya HASI a Hai-zhu PAN. Research advances of SAR remote sensing for agriculture applications: A review. *Journal of Integrative Agriculture* [online]. 2019, **18**(3), 506–525. ISSN 20953119. Dostupné z: doi:10.1016/S2095-3119(18)62016-7
- [52] MCANDREW, Alasdair. *An Introduction to Digital Image Processing with Matlab Notes for SCM2511 Image Processing 1 Semester 1, 2004.* 2004.
- [53] LIU, J G a P J MASON. *Image Processing and GIS for Remote Sensing: Techniques and Applications.* B.m.: Wiley, 2016. ISBN 9781118724187.
- [54] RUSS, John C. a F. Brent NEAL. *The image processing handbook: Seventh edition.* 2016.
- [55] NETZEL, P. a J. SLOPEK. Comparison of different implementations of a raster map calculator. *Computers & Geosciences* [online]. 2021, **154**, 104824. ISSN 00983004. Dostupné z: doi:10.1016/j.cageo.2021.104824

- [56] MOSS, R. A. a W. E. LOOMIS. Absorption Spectra of Leaves. I. The Visible Spectrum. *Plant Physiology* [online]. 1952, **27**(2), 370–391. ISSN 0032-0889. Dostupné z: doi:10.1104/pp.27.2.370
- [57] USTIN, Susan L. a Stéphane JACQUEMOUD. How the optical properties of leaves modify the absorption and scattering of energy and enhance leaf functionality. In: *Remote Sensing of Plant Biodiversity* [online]. 2020. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-33157-3\_14
- [58] SCHIRRMANN, Michael, Niels LANDWEHR, Antje GIEBEL, Andreas GARZ a Karl-Heinz DAMMER. Early Detection of Stripe Rust in Winter Wheat Using Deep Residual Neural Networks. *Frontiers in Plant Science* [online]. 2021, **12**. ISSN 1664-462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2021.469689
- [59] PÉREZ, A.J., F. LÓPEZ, J.V. BENLLOCH a S. CHRISTENSEN. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2000, **25**(3), 197–212. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/S0168-1699(99)00068-X
- [60] ABDULLAH, W M a S N YAAKOB. Modified excess green vegetation index for uneven illumination. *International Journal of Current Research*. 2017, **9**(4).
- [61] UMBAUGH, Scott E. *Digital image processing and analysis: Applications with MATLAB® and CVIPtools: Third edition* [online]. 2017. Dostupné z: doi:10.1201/9781351228374
- [62] SUNDARARAJAN, D. *Digital image processing: A signal processing and algorithmic approach* [online]. 2017. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-10-6113-4
- [63] *OpenCV: Image Thresholding* [online]. [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/d7/d4d/tutorial\\_py\\_thresholding.html](https://docs.opencv.org/3.4/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html)
- [64] SAFONOVA, Anastasiia, Yousif HAMAD, Egor DMITRIEV, Georgi GEORGIEV, Vladislav TRENKIN, Margarita GEORGIEVA, Stelian DIMITROV a Martin ILIEV. Individual Tree Crown Delineation for the Species Classification and Assessment of Vital Status of Forest Stands from UAV Images. *Drones* [online]. 2021, **5**(3), 77. ISSN 2504-446X. Dostupné z: doi:10.3390/drones5030077
- [65] DUDA, Richard O. a Peter E. HART. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM* [online]. 1972, **15**(1), 11–15. ISSN 0001-0782. Dostupné z: doi:10.1145/361237.361242
- [66] MICHELUCCI, Umberto. *Applied Deep Learning* [online]. Berkeley, CA: Apress, 2018. ISBN 978-1-4842-3789-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4842-3790-8
- [67] BAH, Mamadou Dian, Adel HAFIANE a Raphael CANALS. CRoWNet: Deep Network for Crop Row Detection in UAV Images. *IEEE Access* [online]. 2020, **8**, 5189–5200. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2019.2960873
- [68] PANG, Yan, Yeyin SHI, Shancheng GAO, Feng JIANG, Arun-Narenthiran VEERANAMPALAYAM-SIVAKUMAR, Laura THOMPSON, Joe LUCK a Chao LIU. Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize

- stand count in UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2020, **178**, 105766. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2020.105766
- [69] *Strojové učení strojového vidění | FCC průmyslové systémy* [online]. [vid. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.fccps.cz/strojove-uceni-strojoveho-videni>
- [70] ŠNOBL, Josef. *SMEP: Chmel - Doplnování chybějících rostlin ve chmelnici*. 2004.
- [71] GÉE, Ch., J. BOSSU, G. JONES a F. TRUCHETET. Crop/weed discrimination in perspective agronomic images. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2008, **60**(1), 49–59. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2007.06.003
- [72] KASS, Michael, Andrew WITKIN a Demetri TERZOPOULOS. Snakes: Active contour models. *International Journal of Computer Vision* [online]. 1988, **1**(4), 321–331. ISSN 0920-5691. Dostupné z: doi:10.1007/BF00133570
- [73] BOBILLET, W., J.-P. Da COSTA, C. GERMAIN, O. LAVIALLE, G. GRENIER, J. STAFFORD a A. WERNER. Row detection in high resolution remote sensing images of vine fields. In: *Precision Agriculture*. 2003.
- [74] AMPATZIDIS, Yiannis a Victor PARTEL. UAV-Based High Throughput Phenotyping in Citrus Utilizing Multispectral Imaging and Artificial Intelligence. *Remote Sensing* [online]. 2019, **11**(4), 410. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs11040410
- [75] VATSAVAI, Ranga R., Thomas E. BURK, Steve LIME, Marco HUGENTOBLE, Andreas NEUMANN a Christian STROBL. Open-Source GIS. In: *Springer Handbook of Geographic Information* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 579–595. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-72680-7\_30
- [76] *OpenCV: OpenCV Tutorials* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/4.x/d9/df8/tutorial\\_root.html](https://docs.opencv.org/4.x/d9/df8/tutorial_root.html)
- [77] *OpenCV: Miscellaneous Image Transformations - THRESH\_TOZERO Type* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/d7/d1b/group\\_\\_imgproc\\_\\_misc.html#gga9e58d2860d4afa658ef70a9b1115576a0e50a338a4b711a8c48f06a6b105dd98](https://docs.opencv.org/3.4/d7/d1b/group__imgproc__misc.html#gga9e58d2860d4afa658ef70a9b1115576a0e50a338a4b711a8c48f06a6b105dd98)
- [78] *OpenCV: Image Thresholding* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/d7/dd0/tutorial\\_js\\_thresholding.html](https://docs.opencv.org/3.4/d7/dd0/tutorial_js_thresholding.html)
- [79] ONISHI, Masanori, Shuntaro WATANABE, Tadashi NAKASHIMA a Takeshi ISE. Practicality and Robustness of Tree Species Identification Using UAV RGB Image and Deep Learning in Temperate Forest in Japan. *Remote Sensing* [online]. 2022, **14**(7), 1710. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs14071710
- [80] LI, Jie, Yi LI, Jiangwei QIAO, Li LI, Xinfu WANG, Jian YAO a Guisheng LIAO. Automatic counting of rapeseed inflorescences using deep learning method and UAV RGB imagery. *Frontiers in Plant Science* [online]. 2023, **14**. ISSN 1664-462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2023.1101143

- [81] WARMERDAM, Frank. The Geospatial Data Abstraction Library. In: *Open Source Approaches in Spatial Data Handling* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, s. 87–104. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-74831-1\_5
- [82] GDAL/OGRE - OSGeo [online]. [vid. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.osgeo.org/projects/gdal/>
- [83] GRIZONNET, Manuel, Julien MICHEL, Victor PUGHON, Jordi INGLADA, Mickaël SAVINAUD a Rémi CRESSON. Orfeo ToolBox: open source processing of remote sensing images. *Open Geospatial Data, Software and Standards* [online]. 2017, 2(1), 15. ISSN 2363-7501. Dostupné z: doi:10.1186/s40965-017-0031-6
- [84] LIBSVM -- A Library for Support Vector Machines [online]. [vid. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>
- [85] IGEL, Christian, Verena HEIDRICH-MEISNER a Tobias GLASMACHERS. Shark. *Journal of Machine Learning Research*. 2008, 9, 993–996.
- [86] Muparser - fast math parser library [online]. [vid. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://beltoforion.de/en/muparser/>
- [87] Orfeo ToolBox: Monteverdi [online]. [vid. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Monteverdi.html>
- [88] GAŠPAROVIĆ, Mateo, Mladen ZRINJSKI, Đuro BARKOVIĆ a Dorijan RADOČAJ. An automatic method for weed mapping in oat fields based on UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2020, 173, 105385. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2020.105385
- [89] CRESSON, Rémi, Manuel GRIZONNET a Julien MICHEL. Orfeo ToolBox Applications. In: *QGIS and Generic Tools* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2018, s. 151–242. Dostupné z: doi:10.1002/9781119457091.ch5
- [90] OLAYA, V. a O. CONRAD. Chapter 12 Geomorphometry in SAGA. In: [online]. 2009, s. 293–308. Dostupné z: doi:10.1016/S0166-2481(08)00012-3
- [91] ČÚZK: Geoportál DMR 5G [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(kwdainaytsofzfz3c05tcjz\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head\\_tab=sekce-02-gp&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(kwdainaytsofzfz3c05tcjz))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302)
- [92] CONRAD, O., B. BECHTEL, M. BOCK, H. DIETRICH, E. FISCHER, L. GERLITZ, J. WEHBERG, V. WICHMANN a J. BÖHNER. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development* [online]. 2015, 8(7), 1991–2007. ISSN 1991-9603. Dostupné z: doi:10.5194/gmd-8-1991-2015
- [93] BÖHNER, Jürgen, Keith MCCLOY a Josef STROBL. *SAGA - Analysis and Modelling Applications*. 2006.
- [94] SANTAGA, Francesco a Marco VIZZARI. Detection and analysis of vine trees from UAV images using open-source and free GIS software. In: *26th Geographic Information Systems Conference and Exhibition "GIS ODYSSEY 2019"*. 2019, s. 266.

- [95] LEMENKOVA, Polina. SAGA GIS for Computing Multispectral Vegetation Indices by Landsat TM for Mapping Vegetation Greenness. *Contemporary Agriculture* [online]. 2021, **70**(1–2), 67–75. ISSN 2466-4774. Dostupné z: doi:10.2478/contagri-2021-0011
- [96] *Welcome to the QGIS project!* [online]. [vid. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://qgis.org/en/site/>
- [97] *About OSGeo - OSGeo* [online]. [vid. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.osgeo.org/about/>
- [98] LACAZE, Bernard, Julita DUDEK a Jérôme PICARD. GRASS GIS Software with QGIS. In: *QGIS and Generic Tools* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2018, s. 67–106. Dostupné z: doi:10.1002/9781119457091.ch3
- [99] GRASER, Anita a Victor OLAYA. Processing: A Python Framework for the Seamless Integration of Geoprocessing Tools in QGIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. 2015, **4**(4), 2219–2245. ISSN 2220-9964. Dostupné z: doi:10.3390/ijgi4042219
- [100] *QGIS: Python console* [online]. [vid. 2023-03-22]. Dostupné z: [https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user\\_manual/plugins/python\\_console.html#console](https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/plugins/python_console.html#console)
- [101] KHAN, Shafat a Khalid MOHIUDDIN. Evaluating the parameters of ArcGIS and QGIS for GIS Applications. nedatováno.
- [102] *QGIS: Changelog for version 3.30* [online]. [vid. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://qgis.org/en/site/forusers/visualchangelog330/index.html>
- [103] *R: What is R?* [online]. [vid. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.r-project.org/about.html>
- [104] MUENCHOW, Jannes, Patrick SCHRATZ a Alexander BRENNING. RQGIS: Integrating R with QGIS for Statistical Geocomputing. *The R Journal* [online]. 2017, **9**(2), 409. ISSN 2073-4859. Dostupné z: doi:10.32614/RJ-2017-067
- [105] GUIMARÃES, Nathalie, Luís PÁDUA, Telmo ADÃO, Jonáš HRUŠKA, Emanuel PERES a Joaquim J. SOUSA. VisWebDrone: A Web Application for UAV Photogrammetry Based on Open-Source Software. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. 2020, **9**(11), 679. ISSN 2220-9964. Dostupné z: doi:10.3390/ijgi9110679
- [106] *Pix4D: software and hardware pricing plans* [online]. [vid. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.pix4d.com/pricing/>
- [107] GROSS, John W. a Benjamin W. HEUMANN. A Statistical Examination of Image Stitching Software Packages For Use With Unmanned Aerial Systems. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* [online]. 2016, **82**(6), 419–425 [vid. 2023-03-22]. ISSN 0099-1112. Dostupné z: doi:10.1016/S0099-1112(16)82035-2



- [108] LAU, Bik Sing, Mohd Farid Mohd ARIFF a Ahmad Firdaus RAZALI. Comparison Between AliceVision Meshroom and Pix4Dmapper Software in Generating Three-Dimensional (3D) Photogrammetry. *Journal of Advanced Geospatial Science & Technology* [online]. 2022, **2**(2), 117–138 [vid. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://jagst.utm.my/index.php/jagst/article/view/49>
- [109] GROOS, Alexander R., Thalia J. BERTSCHINGER, Céline M. KUMMER, Sabrina ERLWEIN, Lukas MUNZ a Andreas PHILIPP. The Potential of Low-Cost UAVs and Open-Source Photogrammetry Software for High-Resolution Monitoring of Alpine Glaciers: A Case Study from the Kanderfirn (Swiss Alps). *Geosciences* [online]. 2019, **9**(8), 356. ISSN 2076-3263. Dostupné z: doi:10.3390/geosciences9080356
- [110] *Google Earth Pro* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.google.com/earth/about/versions/#earth-pro>
- [111] *KMZ File Extension - What is a .kmz file and how do I open it?* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://fileinfo.com/extension/kmz>
- [112] *Garmin BaseCamp: Download* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.garmin.com/en-US/software/basecamp/>
- [113] *Google Earth Engine: Timelapse* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://earthengine.google.com/timelapse/>
- [114] SAAD EL IMANNI, Hajar, Abderrazak EL HARTI, El Mostafa BACHAOUI, Hicham MOUNCIF, Fatine EDDASSOUQUI, Mohamed Achraf HASNAI a Moulay Ismail ZINELABIDINE. Multispectral UAV data for detection of weeds in a citrus farm using machine learning and Google Earth Engine: Case study of Morocco. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* [online]. 2023, **30**, 100941. ISSN 23529385. Dostupné z: doi:10.1016/j.rsase.2023.100941
- [115] FILKIN, Timofey, Natalia SLIUSAR, Marco RITZKOWSKI a Marion HUBER-HUMER. Unmanned Aerial Vehicles for Operational Monitoring of Landfills. *Drones* [online]. 2021, **5**(4), 125. ISSN 2504-446X. Dostupné z: doi:10.3390/drones5040125
- [116] STUČHLÍK, Radim, Zdeněk STACHOŇ, Kamil LÁSKA a Petr KUBÍČEK. Unmanned Aerial Vehicle – Efficient mapping tool available for recent research in polar regions. *Czech Polar Reports* [online]. 2015, **5**(2), 210–221. ISSN 1805-0697. Dostupné z: doi:10.5817/CPR2015-2-18
- [117] *Adobe Photoshop: Plány členství a ceny aplikace* [online]. [vid. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.adobe.com/cz/products/photoshop/compare-plans.html>
- [118] HSIAO, Han Wei. Using Open Source to Construct a UAV-Based Photogrammetric Data Acquisition System. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2013, **457–458**, 1172–1175. ISSN 1662-7482. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.457-458.1172
- [119] ESCOBAR, Javier E. Canahuati, Mark ROLLINS a Shem UNGER. Preliminary data on an affordable UAV system to survey for freshwater turtles: advantages and

- disadvantages of low-cost drones. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* [online]. 2021, **9**(1), 67–74. ISSN 2291-3467. Dostupné z: doi:10.1139/juvs-2018-0037
- [120] *GIMP - GNU Image Manipulation Program* [online]. [vid. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.gimp.org/>
- [121] KWON, K S a S READY. *Practical Guide to Machine Vision Software: An Introduction with LabVIEW*. B.m.: Wiley, 2014. ISBN 9783527684120.
- [122] VLACH, J. Základy zpracování obrazu v prostředí LabView. *Automatizace*. 2009, **52**, 40–41.
- [123] VLACH, Jaroslav. Hledání úseček a kružnic s využitím Houghovy transformace při zpracování obrazu v LabView. *Automa*. 2011.
- [124] ZHANG, Kun, Tiemin ZHANG, Yiyong LIAO, Xiaolin ZHUANG, Shenghua LI a Yubin LAN. Remote control unmanned aerial vehicle test system based on Labview. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* [online]. 2015, **31**, 11–16 [vid. 2023-02-26]. ISSN 10026819. Dostupné z: doi:10.11975/J.ISSN.1002-6819.2015.Z2.002
- [125] HUIQIN, Jia a Shi JIANWEN. Application of GIS in the personnel positioning software. In: *2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)* [online]. B.m.: IEEE, 2012, s. 661–664. ISBN 978-1-4673-0089-6. Dostupné z: doi:10.1109/CSAE.2012.6273038
- [126] YUAN, Wenan, Jiating LI, Madhav BHATTA, Yeyin SHI, P. BAENZIGER a Yufeng GE. Wheat Height Estimation Using LiDAR in Comparison to Ultrasonic Sensor and UAS. *Sensors* [online]. 2018, **18**(11), 3731. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s18113731
- [127] MACHADO, Bruno Brandoli, Jonatan P M ORUE, Mauro S ARRUDA, Cleidimar v SANTOS, Diogo S SARATH, Wesley N GONCALVES, Gercina G SILVA, Hemerson PISTORI, Antonia Railda ROEL a Jose F RODRIGUES-JR. BioLeaf: A professional mobile application to measure foliar damage caused by insect herbivory. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2016, **129**, 44–55. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2016.09.007
- [128] *GNU Octave: About* [online]. [vid. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://octave.org/about>
- [129] PAJANKAR, Ashwin a Sharvani CHANDU. *GNU Octave by Example* [online]. 2020. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4842-6086-9
- [130] *QGIS Python Plugins Repository: Plugin Builder 3* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://plugins.qgis.org/plugins/pluginbuilder3/>
- [131] *QGIS: Structuring Python Plugins* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://docs.qgis.org/testing/en/docs/pyqgis\\_developer\\_cookbook/plugins/plugins.html#getting-started](https://docs.qgis.org/testing/en/docs/pyqgis_developer_cookbook/plugins/plugins.html#getting-started)
- [132] *Minimalist plugin skeleton* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://github.com/wonder-sk/qgis-minimal-plugin>

- [133] *Link Shell Extension* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://schinagl.priv.at/nt/hardlinkshellex/linkshellex.html>
- [134] *Qt Designer Manual* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://doc.qt.io/qt-6/qtdesigner-manual.html>
- [135] *Qt Designer Manual: Using Custom Widgets with Qt Designer* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://doc.qt.io/qt-6/designer-using-custom-widgets.html>
- [136] *UI File Extension* [online]. [vid. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://fileinfo.com/extension/ui>
- [137] *QGIS Python Plugins Repository: Plugin Reloader* [online]. [vid. 2023-03-11]. Dostupné z: [https://plugins.qgis.org/plugins/plugin\\_reloader/](https://plugins.qgis.org/plugins/plugin_reloader/)
- [138] *Welcome to Python* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.python.org/>
- [139] *Visual Studio Code* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://code.visualstudio.com/>
- [140] *GispoCoding: Cookiecutter Qgis plugin* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://github.com/GispoCoding/cookiecutter-qgis-plugin>
- [141] *Python - Visual Studio Marketplace* [online]. [vid. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ms-python.python>
- [142] *QGIS: Raster extraction* [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: [https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user\\_manual/processing\\_algs/gdal/rasterextraction.html#clip-raster-by-mask-layer](https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user_manual/processing_algs/gdal/rasterextraction.html#clip-raster-by-mask-layer)
- [143] *QGIS: Raster analysis* [online]. [vid. 2023-03-03]. Dostupné z: [https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user\\_manual/processing\\_algs/qgis/rasteranalysis.html?highlight=qgis%20rastercalculator#raster-calculator](https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/rasteranalysis.html?highlight=qgis%20rastercalculator#raster-calculator)
- [144] *Pillow: Python Imaging Library* [online]. [vid. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://github.com/python-pillow/Pillow/>
- [145] *NumPy: Mumpy array* [online]. [vid. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.array.html>
- [146] *OpenCV: Color Space Conversions* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/d8/d01/group\\_\\_imgproc\\_\\_color\\_\\_conversions.html](https://docs.opencv.org/3.4/d8/d01/group__imgproc__color__conversions.html)
- [147] *OpenCV: Miscellaneous Image Transformations - Adaptive Threshold* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/d7/d1b/group\\_\\_imgproc\\_\\_misc.html#ga72b913f352e4a1b1b397736707afcde3](https://docs.opencv.org/3.4/d7/d1b/group__imgproc__misc.html#ga72b913f352e4a1b1b397736707afcde3)
- [148] *OpenCV: Image Filtering - Gaussian Blur* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d86/group\\_\\_imgproc\\_\\_filter.html#gaabe8c836e97159a9193fb0b11ac52cf1](https://docs.opencv.org/3.1.0/d4/d86/group__imgproc__filter.html#gaabe8c836e97159a9193fb0b11ac52cf1)
- [149] *OpenCV: Feature Detection - Canny* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/dd/d1a/group\\_\\_imgproc\\_\\_feature.html#ga04723e007ed888ddf11d9ba04e2232de](https://docs.opencv.org/3.4/dd/d1a/group__imgproc__feature.html#ga04723e007ed888ddf11d9ba04e2232de)

- [150] *OpenCV: Structural Analysis and Shape Descriptors - Find Contours* [online]. [vid. 2023-03-03]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/d3/dc0/group\\_\\_imgproc\\_\\_shape.html#ga17ed9f5d79ae97bd4c7cf18403e1689a](https://docs.opencv.org/3.4/d3/dc0/group__imgproc__shape.html#ga17ed9f5d79ae97bd4c7cf18403e1689a)
- [151] *Imutils: Sorting Contours* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://github.com/PyImageSearch/imutils#sorting-contours>
- [152] *OpenCV: Moments* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/4.x/d8/d23/classcv\\_1\\_1Moments.html](https://docs.opencv.org/4.x/d8/d23/classcv_1_1Moments.html)
- [153] *OpenCV: High-level GUI - Imshow* [online]. [vid. 2023-03-13]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/4.x/d7/dfc/group\\_\\_highgui.html#ga453d42fe4cb60e5723281a89973ee563](https://docs.opencv.org/4.x/d7/dfc/group__highgui.html#ga453d42fe4cb60e5723281a89973ee563)
- [154] *OpenCV: Drawing Functions - Draw Contours* [online]. [vid. 2023-03-13]. Dostupné z: [https://docs.opencv.org/3.4/d6/d6e/group\\_\\_imgproc\\_\\_draw.html#ga746c0625f1781f1ffc9056259103edbc](https://docs.opencv.org/3.4/d6/d6e/group__imgproc__draw.html#ga746c0625f1781f1ffc9056259103edbc)
- [155] *Chmelařské muzeum Žatec* [online]. [vid. 2023-03-31]. Dostupné z: <http://www.chmelarskemuzeum.cz/cz/historie-pestovani.htm>
- [156] *eBee X Drone User Manual* [online]. 2019 [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://geomatika-smolcak.hr/wp-content/uploads/2018/10/eBee-X-Drone-User-Manual.pdf>
- [157] *Atlas českých odrůd chmele* [online]. [vid. 2023-03-31]. Dostupné z: <http://www.chizatec.cz/download/page5021.pdf>
- [158] KUMHÁLOVÁ, Jitka. *Výroční zpráva projektu*. 2020.
- [159] ŠRÉDL, Karel, Marie PRÁŠILOVÁ, Roman SVOBODA a Lucie SEVEROVÁ. Hop production in the Czech Republic and its international aspects. *Heliyon* [online]. 2020, 6(7), e04371. ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04371
- [160] *Parrot SEQUOIA+ Multispectral Sensor - AEROMOTUS* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.aeromotus.com/product/parrot-sequoia-multispectral-sensor/>
- [161] ŠNOBL, Josef. *SMEP: Chmel - Podzemní část chmelové rostliny* [online]. [vid. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://agrobiologie.cz/SMEP3/Chmel/chmel/php/skripta/kapitola886e.html?titul\\_key=17&idkapitola=4](https://agrobiologie.cz/SMEP3/Chmel/chmel/php/skripta/kapitola886e.html?titul_key=17&idkapitola=4)
- [162] *RedEdge-MX Integration Guide – MicaSense Knowledge Base* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360011389334-RedEdge-MX-Integration-Guide>
- [163] ŠNOBL, Josef. *SMEP: Chmel - Nadzemní část rostliny* [online]. [vid. 2023-03-31]. Dostupné z: [https://agrobiologie.cz/SMEP3/Chmel/chmel/php/skripta/kapitola38de.html?titul\\_key=17&idkapitola=5](https://agrobiologie.cz/SMEP3/Chmel/chmel/php/skripta/kapitola38de.html?titul_key=17&idkapitola=5)

- [164] *GDAL: Merge.py* [online]. [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: [https://gdal.org/programs/gdal\\_merge.html](https://gdal.org/programs/gdal_merge.html)
- [165] *PyPI: OpenCV-python* [online]. [vid. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://pypi.org/project/opencv-python/>
- [166] *PowerQuery: Table.PromoteHeaders* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/powerquery-m/table-promoteheaders>
- [167] *PowerQuery: Table.SelectColumns* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/powerquery-m/table-selectcolumns>
- [168] *PowerQuery: Table.ReplaceValue* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/powerquery-m/table-replacevalue>
- [169] *PowerQuery: Table.TransformColumnTypes* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/powerquery-m/table-transformcolumnntypes>
- [170] BAH, M, Adel HAFIANE a Raphael CANALS. Deep Learning with Unsupervised Data Labeling for Weed Detection in Line Crops in UAV Images. *Remote Sensing* [online]. 2018, **10**(11), 1690. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10111690
- [171] ONISHI, Masanori a Takeshi ISE. Automatic classification of trees using a UAV onboard camera and deep learning. *arXiv preprint arXiv:1804.10390*. 2018.

## 8 Přílohy

Součástí digitálních příloh jsou:

- Zásuvný modul do programu QGIS:  
gap\_detection.zip
- Výsledky zpracování a analýzy, včetně vzorových vstupních dat:  
vysledky\_analyz\_a\_vzorova\_data.zip