

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**PÁROVÁNÍ DAT DPZ SE SENZOROVÝMI DATY
PRO OBLAST PRECIZNÍHO ZEMĚDĚLSTVÍ**

Magisterská práce

Filip FEDRZEL

Vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.

Olomouc 2016
Geoinformatika

ANOTACE

Jedním z moderních přístupů pro hospodaření na zemědělské půdě je tzv. Precizní zemědělství přináší změnu přístupu zemědělců k základní obhospodařované jednotce. Pole, jako základní obhospodařovaná jednotka, již není považován za homogenní celek, ke kterému je přístupováno jednotně, ale jako heterogenní plocha, kde řada půdních vlastností dosahuje mnohdy i vysoké prostorové variability.

Pro podporu rozhodování v precizním hospodaření se zemědělskými pozemky, pro které je nutné znát množství relevantních informací o obhospodařovaném pozemku, tak vznikla řada metod k zjišťování prostorové variability půdy i vegetace. Od klasických metod vzorkování půdy a laboratorních anorganických rozborů rostlin, které jsou nejenom časově náročné (sběr a zpracování vzorků), ale i finančně, až k nepřímým metodám určení variability půdy a vegetace, jako je použití senzorů pro měření půdních vlastností nebo spektrálního projevu vegetace.

Řada těchto metod je schopná produkovat časově i prostorově rozsáhlé datové sady, které je potřeba nějakým způsobem uchovávat ve formě vhodné k další práci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Precizní zemědělství; DPZ; bezdrátové senzorové sítě

Počet stran práce: 69

Počet příloh: 5 (z toho 2 volné)

ANOTATION

One of the modern approach to management of agricultural land is Precision farming. Precision farming brings change of farmer's approach to farmed basic unit. Field as farmed basic unit is no longer considered as homogenous area where farming is uniform. Field is now considered a heterogeneous area, where numbers of soil properties achieved considerably spatial variability.

For decision support precision farming on agricultural land, for which it is necessary to know the amount of relevant information about land management, were developed a number of methods for detecting the spatial variability of soil and vegetation. From classical methods of soil sampling and laboratory analysis of inorganic materials, which are not only time-consuming (collecting and processing of samples) but also financial-consuming. To indirect methods of determining the variability of soil and vegetation, such as the use of sensors to measure soil properties or spectral properties of vegetation.

Many of these methods is capable of producing time and spatially large datasets that need some way to store in a form suitable for further work.

KEYWORDS

Precision farming; remote sensing; wireless sensor network

Number of pages 69

Number of appendixes 5

Prohlašuji, že

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou/diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),
- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,
- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,
- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použít výsledky a výstupy mé bakalářské/diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Bc. Filip Fedrzel

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakubovi Miřijovskému, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji konzultantu Mgr. Tomáši Pohankovi za poskytnuté připomínky při práci na praktické části této práce.

Za poskytnutá obrazová a senzorová data děkuji RNDr. Jakubovi Miřijovskému, Ph.D. a Mgr. Vendule Hejlové.

Vevázaný originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisem vedoucího katedry a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

Zde je konec prvního oddílu, kde není číslování stránek. Následující strana patří již do druhého oddílu, který má nastaveno číslování stránek.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 CÍLE PRÁCE.....	10
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	11
2.1 Použitá data	11
2.1.1 Obrazová data.....	11
2.1.2 Senzorová data.....	12
2.2 Použité programy	16
2.3 Postup zpracování.....	17
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	18
3.1 Precizní zemědělství	18
3.2 Prostorová variabilita pozemků a její hodnocení.....	18
3.2.1 Příčiny variability a její význam.....	18
3.2.2 Variabilita půdy	19
3.2.3 Mapování variability vegetace	24
3.3 Využití DPZ v PZ.....	27
3.3.1 Vegetační indexy	29
3.4 Využití WSN v PZ	33
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	39
4.1 Experimentální lokalita	39
4.2 Obrazová data	40
4.2.1 Odstranění šumu	40
4.2.2 Odstranění vinětace	44
4.2.3 Spojení pásem snímku	47
4.2.4 Vytvoření panoramatických snímků.....	48
4.3 Senzorová data	51
4.4 Databáze	54
4.4.1 Obrazová část	55
4.4.2 Senzorová část	59
4.4.3 Párovací tabulka a párovací mechanismus.....	63
4.4.4 Import dat do databáze	65
5 VÝSLEDKY	66
6 DISKUZE.....	67
7 ZÁVĚR	69
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
DBMS	Database Management System
ESRI	Environmental System Research Institute
GIS	geografický informační systém
GIT	geoinformační technologie
JPEG	Joint Picture Experts Group
TIFF	Tagged Image File Format
RGB	Red Green Blue
SHP	Shapefile
SQL	Structured Query Language
SŘBD	system řízení báze dat
PZ	Precizní zemědělství
PA	Precision Agriculture

ÚVOD

Precizní zemědělství je moderním přístupem k hospodaření na zemědělské půdě. Precizní zemědělství nabízí nový pohled na zemědělskou půdu, který podle svého místa nasazení nabízí zemědělcům různé benefity. Ve vyspělém světě, kde často ubývá nejvýnosnější zemědělská půda vlivem rozrůstající se zástavby, či je půda negativně ovlivněna nevhodnými agrotechnickými zásahy, jako je například přílišné využití agrochemikálií, a provoz zemědělského podniku je v rámci vstupů do výroby neekonomický, tak precizní zemědělství nabízí kromě optimalizace vstupů a celkové zefektivnění všech agrotechnických zásahů i zvýšení výnosů plodin. V rozvojových státech, kde vzhledem k růstu počtu obyvatel nemusí být současná produkce dostačující, nabízí efektivní využívání dostupných zdrojů k zajištění dostatečné produkce.

Pro precizní zemědělství je zásadní mít dostatek relevantních informací o obdělávané půdě a vývoji vegetace, aby veškeré rozhodování o agrotechnických zásazích mohlo být prováděno rozumně ve správný čas a na správném místě. V průběhu let se v precizním zemědělství objevila řada zdrojů potřebných dat k tomuto rozhodování od původních časově a finančně náročných postupů, jako je vzorkování půdy a laboratorní rozbor vegetace, až k moderním bezkontaktním metodám, jako je multispektrální a hyperspektrální snímkování a měření různými senzory. Tato technická revoluce kromě zefektivnění sběru dat, také přinesla problém se zpracováním dat, aby se na jejich základě dalo správně rozhodovat.

Toto velké množství dat je potřeba nejen nějak skladovat, aby se k těmto datům dalo přistupovat, ale i z tohoto velkého množství dat získat relevantní data pro určité místo a čas, tak aby mohlo být správně rozhodnuto o případném agrotechnickém zásahu. Z tohoto důvodu vznikla tato práce, která se zabývá celým procesem sběru dat, jejich zpracování, uložení a výběrem.

Cílem práce bylo sestavit postup zpracování dvou rozdílných zdrojů dat, sensorových dat z WSN sítě a obrazových multispektrálních dat. Přichystat infrastrukturu k uložení těchto dat v databázi a párovat časově a prostorově tato data.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem magisterské práce je spárovat data produkovaná přístroji v oblasti DPZ se senzory v precizním zemědělství. V rámci tohoto bude připravena databáze, která bude sloužit k ukládání obrazových dat z multispektrální kamery, získaných pomocí UAV snímkování, a sensorových dat ze sítě WSN postavené na produktech firmy Libelium. Tato databáze bude kromě ukládání dat sloužit i k časovému a prostorovému párování uložených dat. Pro obrazová a sensorová data bude dále připraven postup jejich zpracování a to včetně potřebných nástrojů pro jejich zpracování a import do připravené databáze.

V rámci práce bude na experimentální lokalitě v areálu vědeckotechnického parku UP v Olomouci-Holici vybudována sensorová síť o 4 uzlech a dále bude tato lokalita snímkována pomocí multispektrální kamery ADC kamery dostupné na katedře.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Pro zpracování magisterské práce bylo nutné zajistit experimentální plochu, ze které by byla získávána data, a vybudovat na této ploše příslušnou infrastrukturu. Pro tento účel byly po dohodě s katedrou Biofyziky Univerzity Palackého vybrány jejich pokusná pole v areálu Přírodovědecké fakulty v Olomouci-Holici.

V této lokalitě byla posléze vybudovaná senzorová síť a probíhalo snímkování pomocí multispektrální kamery.

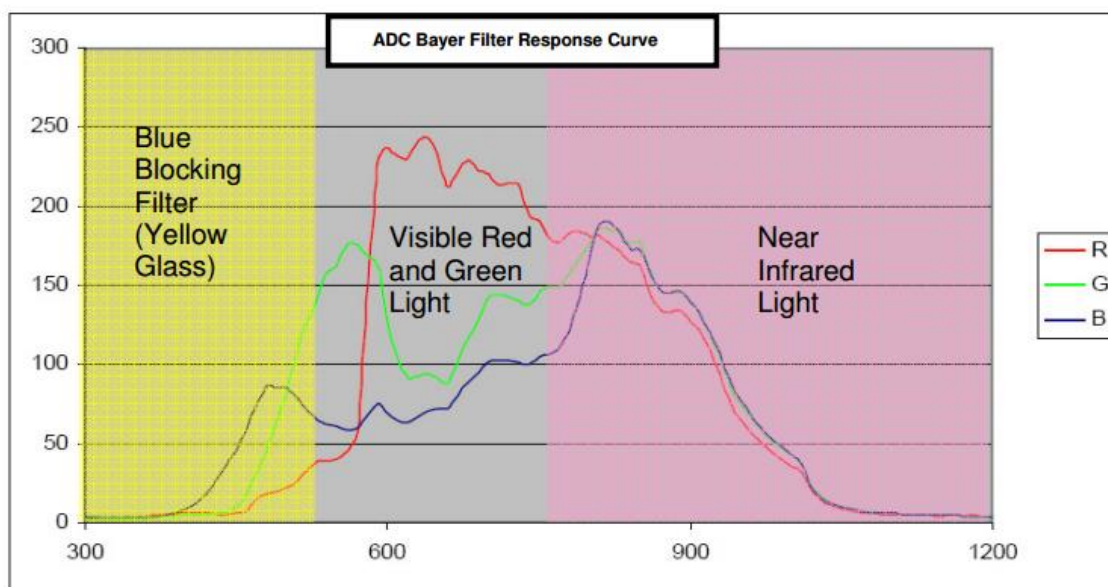
2.1 Použitá data

Jak již z cílů práce vyplývá, jsou pro zpracování diplomové práce stěžejní dva zdroje dat: Obrazová data DPZ a senzorová data z WSN.

2.1.1 Obrazová data

V experimentální lokalitě probíhalo snímkování pomocí katedrální multispektrální kamery Tetracam Agricultural Digital Camera (ADC) neseného UAV systémem Hexacopter XL.

Tetracam ADC kamera je určena k snímkování odrazivosti vegetačního krytu a díky své váze 520g včetně baterií je využitelná i pro UAV systémy. Kamera je vybavena CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) senzorem před který je osazen Bayerův RGB filtr v šachovnicovém vzoru a je uzpůsobena pro zachycování elektromagnetického záření od 520nm do 920nm (ADC User Guide, 2011). Sensor je rozdělen do malých optických filtrů, které rozdělují záření do zeleného, červeného a blízkého infračerveného pásma, které odpovídají TM2, TM3 a TM4 pásmům systému LANDSAT (Tetracam Inc.).



Obr. 2.1 Graf ukazuje reakci senzoru na záření po průchodu filtry (zdroj: ADC Users Guide)

Velmi důležitým krokem pro užití multispektrálních snímků je kalibrace kamery a následné odstranění některých zdrojů chyb, které se na snímcích mohou vyskytnout. Tyto kroky jsou zpracovány v následujících kapitolách.

2.1.2 Senzorová data

Senzorová síť v experimentální lokalitě byla vybudována na produktech firmy Libelium, která nabízí ucelený systém hardwaru a softwaru pro široké spektrum využití WSN, a jež jsou dostupné na katedře.

V experimentální lokalitě byly nasazeny 4 uzly z řady Plug&Sense. V této řadě je nabízeno 10 tématicky různě zaměřených typů, které mohou být osazeny 80 různými senzory. Všechny typy nabízí ochranu IP65, rychlou výměnu senzorů, různé možnosti napájení a různou konektivitu (Libelium, technical overview). Pro nasazení bylo použito po dvou kusech uzlů Smart Enviroment a Smart Agriculture.

Model Smart Enviroment je zaměřen na sledování enviromentálních parametrů jako je teplota, vlhkost, tlak vzduchu a obsah některých plynů v atmosféře, proto bývá nejčastěji nasazován ke sledování kvality ovzdušší (Waspnote Plug&Sense, 2016).

Uzly Smart Enviroment byly osazeny těmito senzory (Tab. 2.1).

Tabulka 2.1 Osazení a senzory dostupné pro Smart Enviroment (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Osazení	Senzory	
	Parametr	Označení
A	Teplota	9203
B	Vlhkost	9204
C	Oxid uhličitý CO ₂	9230
D	Oxid dusičitý NO ₂	9238
E	Uhlovodíky	9201
F	Air pollutants 2: C ₆ H ₅ CH ₃ , H ₂ S, CH ₃ CH ₂ OH, NH ₃ , H ₂	9236

Sensor měření vzdušné teploty MCP9700A

Sensor MCP9700A je analogový sensor, jehož výstupem je napětí, které je převáděno na stupně celsia. Sensor pracuje v rozpětí od -40°C (100mV) do 125°C (1,75V) v rozlišení 10mV/°C.

Tabulka 2.2 Parametry senzoru MCP9700A (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Rozpětí	-40°C až 125°C
Výstup při 0°C	500mV
Citlivost	10mV/°C
Přesnost	+/- 2°C v rozpětí 0°C až 70°C +/- 4°C v rozpětí -40°C až 125°C
Reakční čas	1,65 s

Sensor měření relativní vzdušné vlhkosti 808H5V5

Sensor 808H5V5 je analogový sensor, jehož výstupem je napětí, které je převáděno na relativní vlhkost vzduchu.

Tabulka 2.3 Parametry senzoru 808H5V5 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Rozpětí	0 až 100 %RH*
Výstup při 25°C	0,8 až 3,9V
Přesnost při 25°C	+/- 4%RH v rozpětí 30 až 80%RH +/- 6%RH v rozpětí 0 až 100%RH
Reakční čas	<15 s

* *Relative Humidity*

Sensor pro měření oxidu uhličitého TGS4161

Sensor TGS4161 vykazuje na výstupu napětí odpovídající koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře. Před použitím dat je nutné sensor kalibrovat.

Tabulka 2.4 Parametry senzoru TGS4161 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Rozpětí	350 až 10 000ppm
Napětí při 350ppm	220 až 490mV
Citlivost	44 až 72 (poměr napětí při 350ppm a 3 500ppm)
Reakční čas	90 s

Sensor pro měření vzdušných znečišťovatelů TGS2600

Sensor TGS2600 ukazuje změnu koncentrace několika plynů v atmosféře, které jsou považovány za vzdušné znečištění. Před použitím dat je nutné sensor kalibrovat.

Tabulka 2.5 Parametry senzoru TGS2600 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Rozpětí	1 až 100ppm
Odpor vzduchu	10 až 90k Ω
Citlivost	0,3 až 0,6 (poměr odporu při 10ppm H ₂ a odporu vzduchu)
Reakční čas	30 s

Sensor pro měření oxidu dusičitého MiCS-2710

Sensor MiCS-2710 jehož odpor na výstupu odpovídá koncentraci oxidu dusičitého (NO₂) v atmosféře. Před použitím dat je nutné sensor kalibrovat.

Tabulka 2.6 Parametry senzoru MiCS-2710 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Rozpětí	0,05 až 5ppm
Odpor vzduchu	0,8 až 8k Ω
Citlivost	6 až 100 (poměr odporu při 0,25ppm a odporu vzduchu)
Reakční čas	30 s

Sensor pro měření koncentrace uhlovodíků MiCS-5521

Sensor MiCS-5521 je odporový sensor reagující na změnu koncentrace několika plynů v atmosféře. Před použitím dat je nutné sensor kalibrovat.

Tabulka 2.7 Parametry senzoru MiCS-5521 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Rozpětí	30 až 400ppm
Odpor vzduchu	100 až 1 000kΩ
Citlivost	1,8 až 6 (poměr odporu při 60ppm a 200ppm oxidu uhelnatého)
Reakční čas	30 s

Uzly Smart Agriculture dovoluji monitorovat několik environmentálních parametrů jako je například teplota a vlhkost půdy, solární radiace, rychlost a směr větru, srážky. Tento typ slouží primárně k použití v rámci precizního zemědělství, v zavlažovacích systémech, sklenicích a meteorologických stanicích.

Uzly Smart Agriculture byly osazeny těmito sensory (Tab. 2.8).

Tabulka 2.8 Osazení a senzory dostupné pro Smart Agriculture (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Osazení	Senzory	
	Parametr	Označení
A	Teplota a Vlhkost	9247
D	Meteorologická stanice	9256

Kombinovaný sensor pro měření vzdušné teploty a relativní vlhkosti SHT75

Sensor SHT je kombinovaný kapacitní sensor pro měření relativní vzdušné vlhkosti a teploty.

Tabulka 2.9 Parametry senzoru SHT75 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Teplota	
Rozpětí	-40°C až 123,8°C
Citlivost	0,04°C
Přesnost	+/-0,4°C v rozsahu 0°C až 70°C +/- 4°C v rozsahu -40°C až 125°C
Reakční čas	5 až 30 s
Vlhkost	
Rozpětí	0 až 100 %RH*
Citlivost	0,4%RH
Přesnost	+/-1,8%RH
Reakční čas	8 s

Meteorologická stanice WS-3000

Meteorologická stanice WS-3000 slouží ke sledování rychlosti a směru větru a velikosti srážek. Rychlost větru je měřena pomocí jazýčkového kontaktu (Reed switch), jehož frekvence spínání je převáděna na rychlost větru. Měření směru větru je založeno na podobném systému, kdy podle směru větru je spínán obvod s příslušným odporem a výstupní napětí je pak převáděno na směr větru. Směr větru je měřen v rozlišení 22,5°. Srážky jsou měřeny pomocí elektronického klapkového srážkoměru a výstup je přepočítáván na intenzitu srážek.

Tabulka 2.10 Parametry stanice WS-3000 (zdroj: Waspnote Plug & Sense! Sensor Guide)

Anemometr	
Rozpětí	0 až 240km/h
Citlivost	2,4km/h
Směr větru	
Přesnost	22,5°
Srážkoměr	
Objem klapky	0,28mm

Ke komunikaci s uzly byl použit jako brána linuxový router Meshlium od firmy Libelium. Meshlium stejně jako uzly Plug&Sense! nabízí modulární konstrukci a stupeň krytí IP65, takže může být umístěn ve venkovních prostorách (Meshlium Extreme Technical Guide, 2016). Konkrétně byl použit model Meshlium 802.15.4-PRO-3G-AP, který pro komunikaci s uzly používá standart 802.15.4 a dále je vybaven Wi-Fi a 3G modulem.

Tabulka 2.10 Parametry brány Meshlium (zdroj: Meshlium Xtreme Technical Guide)

Procesor	500MHz (x86)
Operační paměť	256MB
Pevný disk	8GB (5,5GB dostupné)
Zdroj	5W (18V) POE (Power Over Ethernet)
Krytí	IP65
Pracovní teploty	-20°C až 50°C
Systém	Linux, Debian OLSR Mesh communication protocol Madwifi Drivers
Managment software	Meshlium Manager Systém (open source)
Zabezpečení	WEP, WPA-PSK, HTTPS a SSH
Wi-Fi modul	Atheros AR5213A – IEEE 802.11b/g 2,4GHz
RF modul	XBee – PRO – 802.15.4 2,4GHz

2.2 Použité programy

PixelWrench2

PixelWrench2 je editační softwarový nástroj pro práci s multispektrálními snímky dodávaný firmou Tetracam pro jejich kamery z rodiny ADC a MCA. PixelWrench2 nabízí i řadu specializovaných nástrojů, včetně nástrojů pro převod nativních formátů ADC kamery RAW8, RAW10 a DCM10 do mnoha běžných obrazových formátů jako je TIF, BMP, JPEG, atd. (Tetracam PixelWrench2, 2015).

Software PixelWrench2 byl v práci použit především pro prvotní práci s obrazovými daty, kdy bylo pro aplikaci korekcí nutné transformovat snímky z formátu RAW10 do TIF a rozdělit obraz na jednotlivá pásma.

ArcGIS

ArcGIS je geografický informační systém od firmy Esri, který se široce používá od správy a tvorby dat až k jejich analýze a vizualizaci (ArcData Praha). K analýze slouží široké spektrum tzv. geoprocessingových nástrojů, ke kterým lze mimo grafického rozhraní (GUI) přistupovat i jako k funkcím skriptovacího jazyka Python (ArcData Praha), čehož bylo využito při automatizaci zpracování obrazových dat. ArcGIS, ve verzi 10.1 a později 10.4, byl použit k práci s obrazovými daty.

PythonWin

PythonWin je jednoduchý editor pro práci se skriptovacím jazykem Python. V rámci práce byl použit PythonWin v sestavení 220 pro Python 2.7 a sloužil především pro automatizaci řady úkonů při zpracování dat a dávkový import dat do databáze.

PostgreSQL

PostgreSQL je výkonný open source objektově-relační databázový systém dostupný na řadě platform. PostgreSQL má za sebou více než 15 let aktivního vývoje a vysoce hodnocen pro svou spolehlivost. Plně podporuje standart SQL 2008 a nabízí vysokou funkcionalitu díky řadě zabudovaných funkcí (PostgreSQL, 2016). Díky otevřenému kódu je pro PostgreSQL dostupná i řada rozšíření, včetně rozšíření pro práci s prostorovými daty PostGIS. Pro tuto práci byl použit PostgreSQL ve verzi 9.4 s rozšířením PostGIS ve verzi 2.2.2.

PostgreSQL byl použit pro vytvoření struktury pro ukládání a párování dat využitelných v rámci precizního zemědělství.

Image Composite Editor

Image Composite Editor je pokročilý nástroj pro tvorbu panoramatických snímků vyvinutý Microsoft Research Computational Photography Group. Kromě vytváření panoramatických snímků z fotek nabízí vytvoření panoramatických snímků i z videa. Image Composite Editor nemá omezení na velikost vstupních snímků a je schopen pracovat se snímky o různé bitové hloubce (8 nebo 16-bitů). Výsledný panoramatický snímek lze uložit v široké škále formátů včetně JPEG a TIFF (Image Composite Editor, 2015).

2.3 Postup zpracování

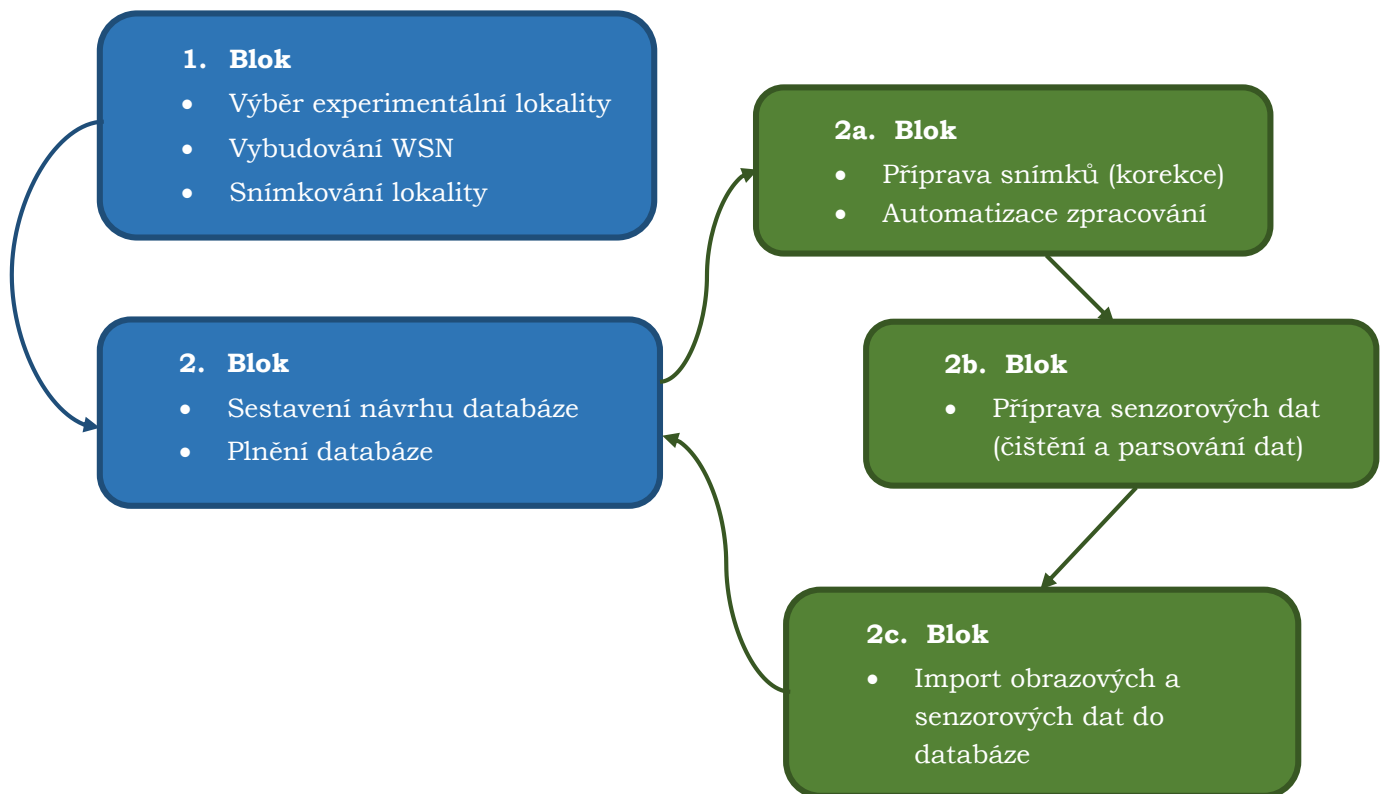
Zpracování samotné práce se dá rozdělit do několika fází. První fází byla teoretická příprava zaměřující se na celou problematiku precizního zemědělství, včetně využití senzorových sítí a metod DPZ, následně i na dostupné technologie pro práci s daty potřebnými pro precizní zemědělství. Výsledkem první fáze byla rešerše, souhrn nároků na konečné řešení a návrh využitelných technologií.

V rámci druhé fáze probíhalo již vlastní praktické řešení práce. Druhá fáze práce se dá rozdělit na několik dílčích bloků a pod bloků.

V rámci prvního pod bloku (2a) byl navržen postup pro zpracování obrazových dat, zejména se jedná o potřebné korekce obrazu, a připraveny nástroje pro dávkové zpracování snímků, včetně přípravy korekčních dat.

Druhý pod blok (2b) se zaměřil na zpracování senzorových dat. Zejména se jednalo o vyčištění dat od chybných a neúplných záznamů. Dalším krokem byla úprava dat do podoby vhodné pro import a práci s daty v databázi.

Poslední pod blok se věnoval dávkovému importu dat do připravené databáze.



Obr. 2.2 Schéma zpracování

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Precizní zemědělství

Různé české pojmy, se kterými se v praxi můžeme setkat, jako Precizní zemědělství (dále jen PZ), precizní hospodaření a přesně zemědělství, které vychází z anglických termínů Precision Farming či Precision agriculture, mají stejný význam. Za těmito pojmy si můžeme představit zvyšování efektivity všech zemědělských vstupů za účel dosažení vyšší rentability pěstovaných plodin a zároveň budou co nejvíce šetrné k životnímu prostředí (Smutný, 2015).

Zavedení PZ si tak vyžádalo změnu přístupů k hospodaření, bylo nutné se zamyslet, proč je výnos variabilní na různých částech pozemku. Naši předci si uvědomovali, že výnos se podle místa různí a podle toho vedli své hospodaření. Tento diferenciovaný přístup hospodaření se s mechanizací a zvětšováním zemědělských podniků vytratil a v rámci klasických metod na něj bylo velmi náročné navázat (Lukáš, Neudert a Křen, 2011). Přesun od hospodaření na celém pozemku jako na homogenní ploše, která je obhospodařovaná jednotným způsobem, k rozdělení pozemku na menší celky s rozdílným způsobem hospodaření (Shirish a Bhalerao, 2013), ale bez spolehlivé metody jak lokalizovat rozdíly v rámci pozemků, byl náročný. Tuto změnu dovolil až rozvoj moderních výpočetních technologií, jmenovitě pak rozvoj GNSS (ARECA, 2010).

PZ pak lze chápat jako přizpůsobení hospodaření na pozemku aktuálním podmínkám, přičemž zásadou je provádět tyto zásahy na správném místě se správnou intenzitou a ve správný čas (Lukáš, Neudert a Křen, 2011). V praxi se jedná o ucelený komplexní systém zjišťování variability půdy (odběry a zpracování půdy, atp.), tvorba map fyzikálních vlastností půdy, obsahu dostupných živin, pH půdy, obsahu organické hmoty nebo vlhkosti půdy a výnosových map, GIS nástrojů pro zpracování dostupných dat, agronomickou interpretaci těchto dat a z nich odvozených aplikačních map hnojiv, pesticidů nebo dalších agrotechnických zásahů na pozemku (Lipavský, 2000).

Samotný koncept PZ se objevil ve Spojených státech amerických na počátku 80. let 20. století, kdy se začalo rozvíjet mapování dopadů variabilních vstupů na produkci. Později došlo k rozvoji v Kanadě, Austrálii a během 90. let 20. století i v západní Evropě, především v Británii a Francii (Malý, 2012).

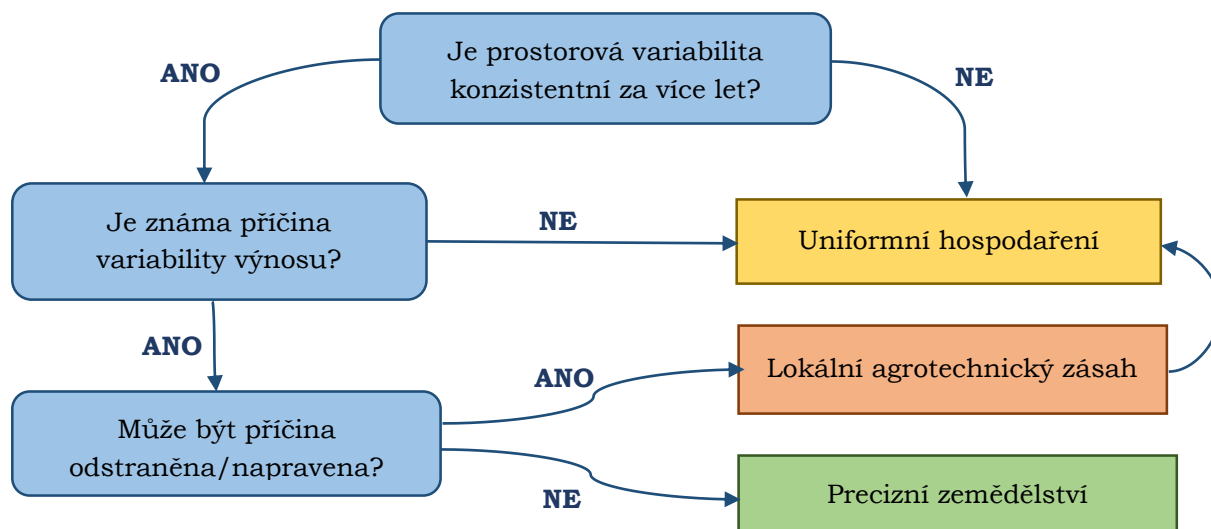
3.2 Prostorová variabilita pozemků a její hodnocení

Prostorová variabilita pozemku je základním předpokladem existence PZ. Jak již bylo zmíněno, naši předci si rozdílnost produkčních možností své půdy uvědomovali a vzhledem k velikosti svých pozemků, podle toho mohli hospodařit, ale současný velkoformátový způsob hospodaření toto již neumožňoval. Bylo nutné přijít s novými způsoby nejen zjišťování variability, ale i prostředky, které by umožnili přenést poznatky o této variabilitě do samotného obhospodařování pozemků.

3.2.1 Příčiny variability a její význam

Zjišťování variability je základním pilířem PZ a jako takovou jí lze chápat ve dvou rovinách: prostorovou a časovou. Zatímco prostorová variabilita popisuje změnu sledovaného jevu v rámci sledovaného pozemků a typickým příkladem může být rozdílný výnos, což bývá důsledkem heterogenity půdních vlastností pozemku, tak časová popisuje změnu sledovaného pozemku v čase. Změny variability v čase jsou nejčastěji způsobeny povětrnostními podmínkami. Vliv obou typů se výrazně prolíná, přičemž některé

vlastnosti, lze považovat za prostorově i časově stabilní. Za stabilní lze považovat například zrnitost půdy, tak i potřebu vápnění a hnojení fosforem (P) a draslíkem (K). Ty mají velmi malou časovou variabilitu a proto je jejich provádění snadné. Za dynamické pak lze považovat například obsah mineralizovaného dusíku v půdě, který dosahuje vysoké časové variability během vývoje porostu (Lukáš, Neudert a Křen, 2011). Heterogenita půdy a porostu má velký vliv na efektivnost nasazení PZ (Pierce, Nowak a Donald, 1999). Čím vyšší je prostorová variabilita, tím vyšší efekt na hospodaření bude mít nasazení PZ.



Obr. 3.1 Schéma rozhodování o nasazení PZ (zdroj: Adamchuk a spol., 2010, upraveno)

Variabilita půdy je způsobena řadou půdotvorných faktorů, jako je matečná hornina, klima, topografie, organismy, včetně vegetace a čas (Jenny, 1994). V regionálním měřítku pak převládá hlavně vliv klima, způsob využití půdy, vegetační pokryv a topologie. Na úrovni pole, pak roste význam reliéf, předplodina a historie způsobu hospodaření (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

3.2.2 Variabilita půdy

Mapování prostorové variability půdy je prvotním úkolem PZ, kdy dochází k získání základních informací nutných pro správné agrotechnické zásahy na pozemku.

Největší vliv na výsledné výnosy má obsah živin v půdě a to především makro prvků jako je dusík, draslík, hořčík, vápník a dále i pH půdy, ale i řada dalších prvků jako je bór, zinek, mangan, atp. (Malý, 2012). Tyto parametry variability jsou důležité pro správné nastavení hnojení pozemků (úspora hnojiv, kdy se hnojí jen v potřebných místech), vápnění půdy pro úpravu pH půdy, případně i zpracování půdy, jako je utužení půdy a reliéf pozemku (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

Prvotním zdrojem dat o variabilitě půdy mohou být půdní mapy, jejichž využitelnost je dána jejich aktuálností, podrobností (měřítkem vzniku) a dostupností v digitální formě, potřebné pro implementaci do GIS. V ČR takovým zdrojem dat je Komplexní průzkum půd ČSSR, které vznikly v letech 1961 až 1971 v měřítku 1:10 000. Spolu s mapami vznikly i zprávy o půdních podmínkách a zúrodnovacích opatřeních (Lukáš, Neudert a Křen, 2011). Dalším zdrojem jsou údaje vedené v databázi LPIS, který obsahuje informace o použitých hnojivech, přípravcích pro ochranu rostlin, způsobu využití (pastva, atd.), nitratovou směrnicí a erozním ohrožením (eAgri, 2015).



Obr. 3.2 Mapová aplikace pLPIS veřejné části LPIS (zdroj: Veřejný registr půdy – LPIS, 2016)



Obr. 3.3 Mapová aplikace iLPIS, určená pro zemědělce (Zdroj: Lukáš, Neudert a Křen, 2011)

Tyto mapové podklady mohou také sloužit jako podklad v přípravné fázi dalších metod zjišťování půdní variability jako je půdní vzorkování.

Půdní vzorkování

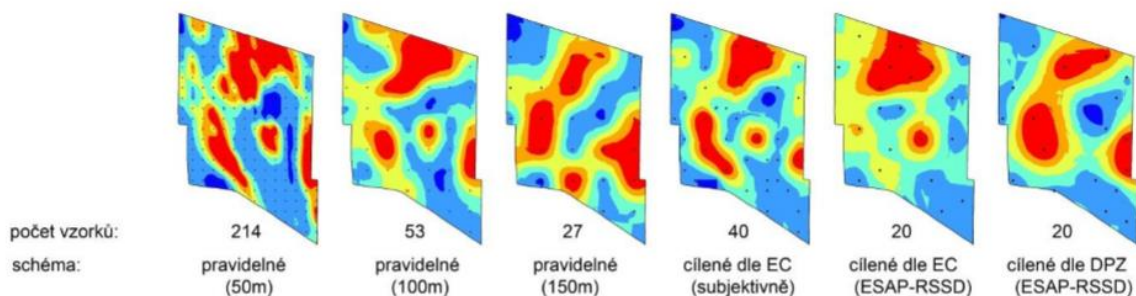
Půdní vzorkování je obecně považováno za nejpřesnější způsob mapování půdních vlastností (Serrano, Shahidian a Marques da Silva, 2013). Půdní vzorkování je tradiční metoda mapování půdní variability, která se pro soustavné agrotechnické zkoušení půd používá od 60. let 20. století (Brodský, 2004). Pro správný popis sledovaného pozemku pomocí půdního vzorkování je zásadní hustota a umístění odběrových bodů, kdy nedostatečné pokrytí nemusí zaevidovat některé lokální výkyvy v půdní variabilitě, ale vysoká hustota je nejen časově, ale i finančně náročná (Lukáš, Neudert a Křen, 2011). Důležitým faktorem pro určení hustoty vzorkování půdy je i přesný účel samotného vzorkování. Například pro určení množství hnojiv pro variabilní hnojení sledovaného pozemku dostačuje 1-3 vzorky na hektar (Sobota, 2009).

Kromě hustoty vzorkování je také nutné určit odpovídající rozmístění odběrových bodů na sledovaném pozemku. Pokud neexistují žádné doplňkové zdroje informací, tak se volí rozmístění vzorků v pravidelné síti nebo náhodné. Pokud existují doplňkové informace ať už z mapových zdrojů (půdní mapy, LPIS, atd.) nebo na základě snímkování dané lokality, měření elektrické vodivosti půdy, topografie pozemku můžeme použít tzv. cílené vzorkování (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

Použitím doplňkových informací, lze dosáhnout snížení počtu potřebných půdních vzorků, při zachování dostatečné přesnosti výsledných půdních map daného pozemku. Na základě těchto informací je sledovaný pozemek rozdělen na homogenní oblasti, ve kterých je realizované samotné půdní vzorkování, půdní vlastnosti jsou tak zjišťovány jako průměr uvnitř těchto oblastí. Obecně lze říct, že cílené vzorkování je výhodné u oblastí s vysokou mírou variability a náhodné nebo pravidelné vzorkování, pak v oblastech, kde nedochází k vysoké variabilitě (Dinkins a Jones, 2008).

Pro zvolení vhodné strategie vzorkování je nutné zvážit několik faktorů, předně variační koeficient daného faktoru, základní informace o pozemku, předpokládaný počet homogenních oblastí, proveditelnost různých typů vzorkování z pohledu časové, pracovní a ekonomické náročnosti (Wollenhaupt, Mulla, Gotway a Crawford, 1995).

V rámci výzkumu Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně bylo testované pravidelné a cílené vzorkování pH půdy. Jako podklad pro cílené vzorkování byly použity údaje z dálkového průzkumu země (DPZ) a měření elektrické vodivosti půdy (EC). Díky algoritmům volně dostupného programu ESAP-RSSD bylo dosaženo 48% redukce potřebných půdních vzorků a 25% redukce u subjektivní optimalizace. Principem optimalizace je výběr bodů, které pokrývají celé rozpětí hodnot a jsou zároveň nejvíce prostorově vzdáleny (Minasny, McBratney a Walvoort, 2007).



Obr. 3.4 Porovnání rozdílné hustoty a typu vzorkování pH půdy (zdroj: Lukáš, Neudert a Křen, 2011)

Měření elektrické vodivosti půdy

Měření elektrické vodivosti půdy využívá geofyzikálních vlastností půdy a jedná se o rychle a relativně přesně stanovení půdní variability. Kombinace měření elektrické vodivosti půdy, GNSS přístrojů a GIS nástrojů je jedna nejvíce spolehlivých postupů pro určení prostorových vzorů (Bronson a spol., 2005). Používají se 3 základní typy zařízení měřících elektrickou vodivost půdy (Corwin a Lesch, 2005):

Invazivní elektrodové senzory měřící elektrickou rezistivitu,

Neinvazivní senzory elektromagnetické indukce,

Senzory TDR (Time Domain Reflectometry).

Příčemž v praxi jsou nejrozšířenější přístroje na bázi invazivních elektrodových senzorů a neinvazivní senzory elektromagnetické indukce (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).



Obr. 3.5 Invazivní elektrodový senzor Veris-3100 (vlevo) a Neinvazivní senzor pro měření elektromagnetické indukce Geonics EM-38 (zdroj: Lukáš, Neudert a Křen, 2011)

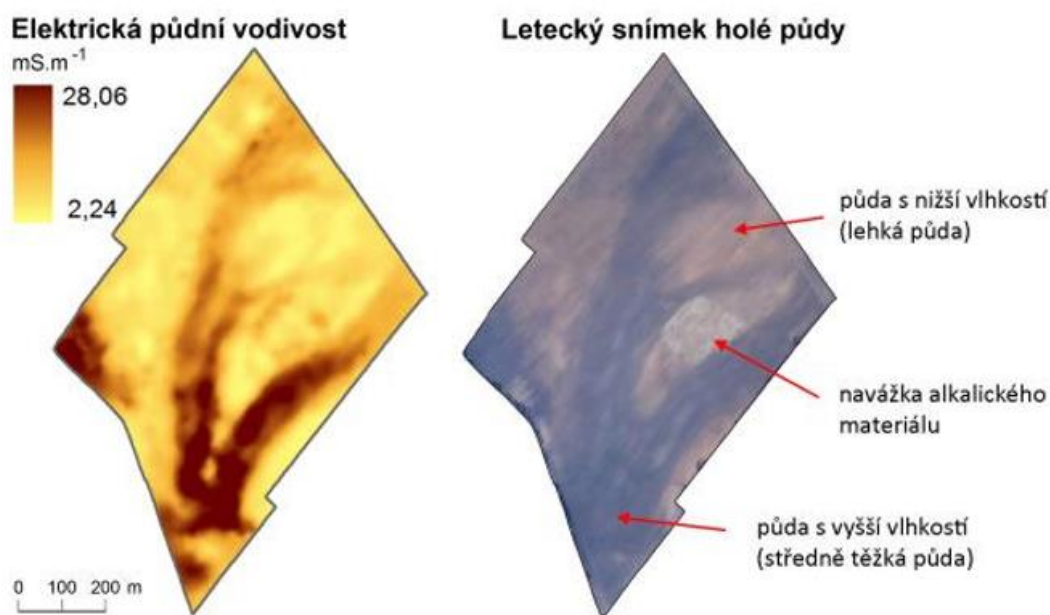
Elektrická vodivost půdy je ovlivňována řadou faktorů, nejvíce pak vlhkostí půdy, zrnitostí půdy a zasolení půdy. Na výsledcích se malou měrou může také podílet objemová hmotnost (pórovitost půdy), obsah organické hmoty, atd. (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

Tab. 3.1 Hodnoty korelačního koeficientu mezi výsledky EC půdy, DPZ a vybranými půdními charakteristikami (zdroj: Lukáš, Neudert a Křen, 2011)

	pH	Fosfor	Draslík	Mangan	Vápník	Humus	Jíl
EC	0,536	-0,565	-0,487	0,516	0,215	0,502	0,482
DPZ*	0,564	-0,563	-0,521	0,525	0,284	0,556	0,505

*letecký snímek ve viditelném spektru po analýze hlavních komponent (PCA)

Komplexní působení mnoha faktorů na výstup měření elektrické vodivosti půdy znesnadňuje širší rozšíření tohoto způsobu zjišťování variability půdy v praxi. Tento způsob lze však úspěšně použít pro tvorbu podkladů pro plánování půdního vzorkování, kdy vzájemné působení mnoha faktorů není na škodu (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).



Obr. 3.6 Mapa elektrické vodivosti půdy a letecký snímek vykazují podobné rozložení (zdroj: Lukáš, Neudert a Křen, 2011)

Mapování zhutnění půdy

Zhutnění půdy může v mnoha případech vést ke snížení výnosů z daného pozemku. Zhutnění se v půdních rozbořech projevuje zvýšením objemové hmotnosti, snížením pórovitosti půdy a změnou poměru velikosti pórů v půdě. Zhutnění půdy se dá zjistit už pozorováním pozemku, kdy se na neúměrně zhutněných místech po deštích zdržuje voda, za sucha mývá povrch trhliny a škraloupky, na vegetaci lze pozorovat zažloutnutí listů a deformace kořenového systému (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).



Obr. 3.7 Zpomalení infiltrace vody na zhutněných částech pozemku (zdroj: Lukáš, Neudert a Křen, 2011)

Spolehlivým způsobem zjištění zhutnění je odběr neporušených půdních vzorků (Kopeckého fyzikální válečky) pro laboratorní zjištění objemové hmotnosti a dalších parametrů. Tato metoda je ale pracná a časově náročná a v praxi je nahrazena penetrometrií. Touto metodou je zjišťována hloubka a stupeň zhutnění jako přímá závislost na odporu, jaký klade půda kuželu penetrometrické sondy. Pro umístění bodů měření se používají podobné metody jako pro vzorkování půdy, přičemž vzdálenost mezi měřeními by neměla přesáhnout 100m (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

Dálkový průzkum země v mapování půdní variability

Mapování půdy pomocí metod DPZ využívá spektrálních vlastností půdy (Lukáš, Neudert a Křen, 2011). DPZ se v precizním zemědělství pracuje více s odrazivostí, než s vyzařovaným či pohlceným elektromagnetickým zářením (Mulla, 2012). Odrazivost půdy klesá se zvyšující se vlhkostí a vyšším podílem jílových částic a obsahu organické hmoty v půdě (Lukáš, Neudert a Křen, 2011). Každá složka půdy má specifickou část vlnového spektra, kde jeho odrazivost je nejvyšší a specifickou spektrální křivku odrazivosti (Ben-Dor, 2010).

Neocenitelnou výhodou využití DPZ je jeho vysoké plošné pokrytí a rychlost takového mapování. Výsledný snímek navíc obsahuje celou vymezenou oblast a tak není nutné využívat interpolačních metod jako u vzorkování půdy (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

Nevýhodou je podobně jako u měření elektrické vodivosti půdy působení několika faktorů na výslednou odrazivost, nutná je také absence vegetačního krytu na daném pozemku. Na rozdíl od měření elektrické vodivosti půdy také snímkování reflektuje pouze povrchový stav nebo stav v pouze minimální hloubce (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

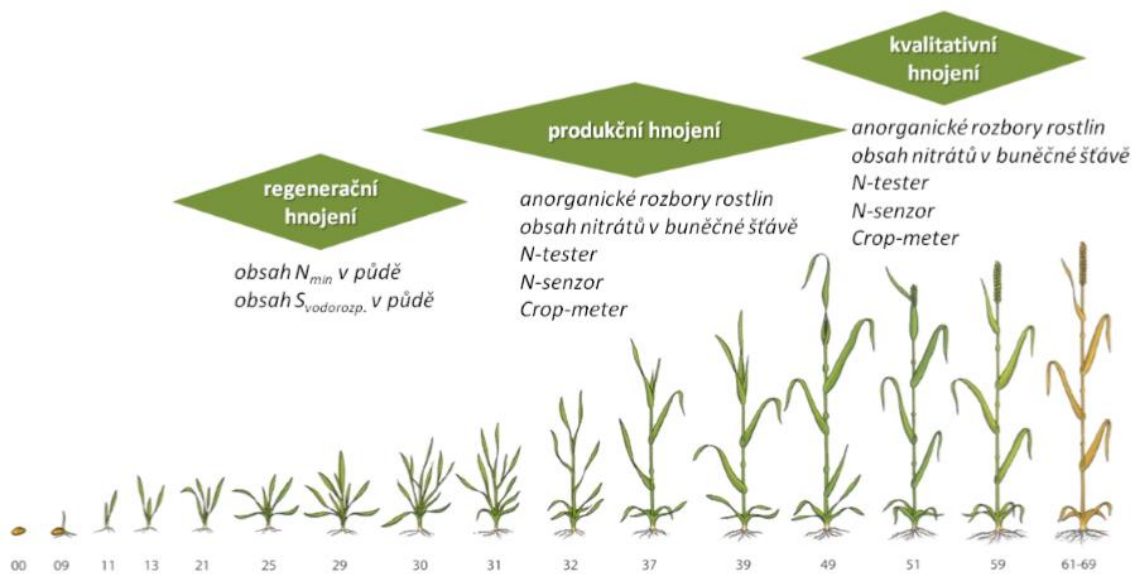
3.2.3 Mapování variability vegetace

Výsledky mapování variability vegetace logicky nejvíce ovlivňuje variabilita půdy. Ovlivňují ji ale i řada dalších faktorů jako je intenzita obhospodařování a výskyt škodlivých elementů. Mapování variability porostů je potřebné provádět častěji než mapování variability půdy, protože zatímco mnoho půdních vlastností lze považovat za stabilní a jejich změna se dá sledovat ve větším časovém kroku, tak parametry vegetace se mění mnohem dynamičtěji a je potřeba sledovat je během růstu porostu, před nebo po aplikaci agrotechnických zásahů. Cílem těchto průzkumů je optimalizace hnojení během vývoje vegetace, řešení disproporce výživového stavu vegetace, atd. k dosažení požadovaného výnosu a kvality produkce (Lukáš, 2012).

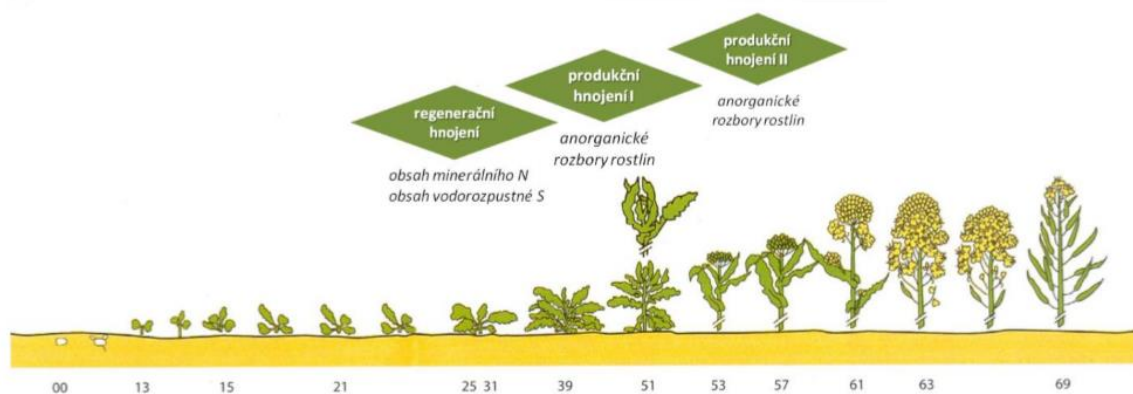
Obsah živin se v rostlinách mění podle jednotlivých fází jejich vývoje (Obr. 3.8), proto je nutné provádět mapování v kritických fázích jejich vývoje (Lukáš, 2012).



Obr. 3.8 Změna obsahu živin v rostlinách během jejich vývoje (zdroj: Lukáš, 2012)



Obr. 3.9 vývojové fáze ozimé pšenice a termíny pro přihnojení dusíkem (zdroj: Lukáš, 2012)



Obr. 3.10 vývojové fáze řepky a termíny pro přihnojení dusíkem (zdroj: Lukáš, 2012)

Vyšší frekvence mapování, tak vede k podstatně vyššímu využití nepřímých senzorových metod, než v případě mapování variability půdy.

Tradiční metody mapování variability vegetace

Metody se liší podle svého účelu, obecně se ale jedná o destruktivní metody (Lukáš, 2012). K stanovení výživného stavu je prováděn odběr rostlinného materiálu a následný laboratorní anorganický rozbor rostlin (ARR) s cílem korekce dávky hnojiv dle obsahu živin ve vegetaci. Ke kontrole stavu vegetace a výnosotvorných procesů se provádí agrobiologická kontrola (ABK), během které se hodnotí vegetace na základě makro a mikrofenologických pozorování (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

Charakteristickým rysem, podobně jako u vzorkování půdy, je časová a ekonomická náročnost, proto bývá prováděn podobně jako vzorkování půdy pouze ve vybraných odběrových bodech (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

Nepřímé metody mapování variability a využití metod DPZ

Nepřímé metody jsou z hlediska čestnosti mapování pro sledování stavu vegetace vhodnější. Senzory bývají různé konstrukce, přesto je většina založena na měření spektrálních charakteristik porostu.

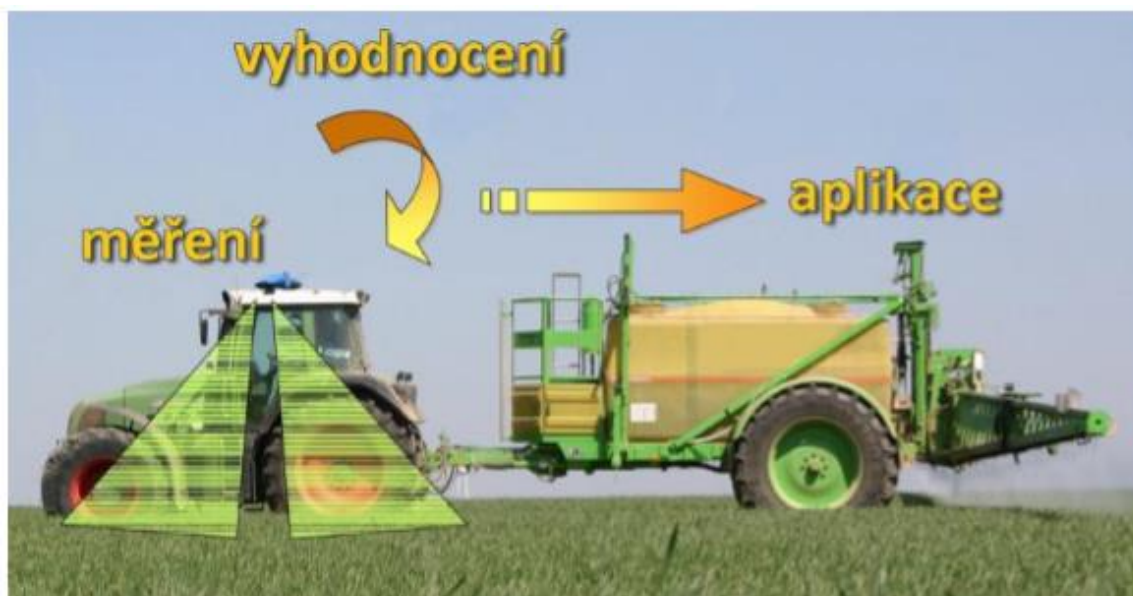
DPZ se v PZ při mapování variability vegetace využívá k široké řadě aplikací, jako je zjišťování výnosu plodin a obsahu biomasy (Shanahan a spol., 2001, Yang a spol., 2000), obsahu živin ve vegetaci a zjištění vodního stresu vegetace (Bastiaanssen, Molden a

Makin, 2000, Clay a spol., 2006), zaplevelení vegetace (Lamb a Brown, 2001) a zjištění nemocí vegetace a napadení hmyzem (Seelan, Laguette, Casady a Seielstad, 2003).

Vegetace má specifickou odrazivost danou nejen svou stavbou, ale i díky vnitřním biologickým pochodům. Díky fotosyntéze je pohlcena větší část viditelného záření, a proto odrazivost v této části spektra popisuje stav fotosyntézy a odrazivost v blízké infračervené části spektra (NIR), pak obsah biomasy ve vegetaci. Změna těchto charakteristik, pak slouží k popsání stavu vegetace na pozemku.

Jednou možností využití spektrálních vlastností vegetace jsou „ruční“ chlorofylmetry, například Minolta SPAD-502 a odvozený Yara N-tester, pro který jsou dostupné i konkrétní každoročně aktualizované výživářská doporučení na základě naměřených hodnot chlorofylu (Neukirchen a Lammel, 2002). Princip obou přístrojů je shodný a je založen na rozdílné propustnosti červené a infračervené části elektromagnetického záření listem. Výsledný poměr úzce koreluje s množstvím chlorofylu ve vegetaci (Lukáš, 2012).

Evolucí ručních senzorů jsou tzv. Online systémy nebo jinak označované tzv. On-the-go systémy. U těchto systémů je senzor obvykle umístěn na samotné technice určené hnojení nebo jiným agrotechnickým zásahům. Výsledky jsou rovnou vyhodnocovány a je upravováno množství či intenzita daného zásahu. Příkladem je systém Yara N-sensor (Lukáš, 2012), Topcon CropSpec (používá laserem indukovanou odrazivost), NTech GreenSeeker (využívající LED záření) a Fritmeier MiniVeg, který využívá fluorescenci chlorofylu (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).



Obr. 3.11 Princip fungování Online systémů (zdroj: www.agricon.de)

Většina těchto systémů je opět založená na porovnávání chování vegetace v červené a infračervené části elektromagnetického spektra, kdy na technice jsou umístěné optické senzory sledující vymezené části spektra a zdroj infračerveného záření. K opravě výsledných hodnot bývá systém ještě doplněn o senzor intenzity slunečního záření (Lukáš, 2012).

Na pomyslné druhé straně, tak stojí tzv. Offline systémy, kde je proces pořízení a vyhodnocení dat rozdělen. Základem je celoplošné mapování sledovaného pozemku například pomocí snímkování. Ze získaných dat jsou následně vytvořeny aplikační mapy, které jsou následně nahrány do zemědělské techniky (Lukáš, 2012). Výhodou offline systémů oproti on-the-go systémů je možnost využití řady doprovodných faktorů, například zásoby živin v půdě, reliéf, atd. (Lukáš, Neudert a Křen, 2011).

3.3 Využití DPZ v PZ

Satelitní snímkování se v zemědělství poprvé objevilo v raných 70. letech 20. století po vypuštění LANDSAT 1. Data z Multispectral Scanner System (MSS) byly použity pro klasifikaci zemědělské půdy amerického středozápadu a to s přesností 83 % (Bauer a Cipra, 1973). Využití multispektrálních satelitních snímků se rozšiřovalo s počtem funkčních systémů a nakonec vedli k použití i v PZ (Mulla, 2012).

Poprvé takto byly použity snímky holé půdy z dat LANDSAT 1 k určení variability obsahu organické hmoty v půdě (Bhatti, Mulla a Frazier, 1991). Tyto údaje byly společně s terénním měřením použity k určení obsahu fosforu v půdě a odhadu výnosu pšenice (Mulla, 1997). Prostorové a časové rozlišení systémů dostupných v 90. letech 20. století se pro aplikaci v PZ ukázaly jako nedostačující, což vedlo k vývoji systémů s vhodnějšími parametry.

Vypuštění systémů jako je IKONOS a QuickBird dovolilo další rozvoj využití DPZ v PZ a zvýšilo i zájem komerčních subjektů o využití DPZ v zemědělství (Mulla, 2012). Data z IKONOS byly použity k určení nedostatku dusíku ve vegetaci a efektivnosti fungicidních opatření (Seelan, Laguette, Casady a Seielstad, 2003). Údaje z QuickBird, pak ukázaly vysokou korelaci mezi Normalised Green Normalised Difference Vegetation Index (NGNDVI) a obsahu dusíku ve vegetaci (Bausch a Khosla, 2010).

Tab. 3.2 Srovnání vybraných satelitních systémů

	Rok vypuštění	Pásma	Prostorové rozlišení	Časové rozlišení
Landsat 5 (TM)	1984	B, G, R, 2 NIR, MID, TIR	30 m (120 m pro TIR)	16 dní
IKONOS	1999	PAN, B, G, R, NIR	1 m (PAN), 4 m	3 dny
QuickBird	2001	PAN, B, G, R, NIR	0,65 m (PAN), 2,62 m	1-3,5 dne
RapidEye	2008	B, G, R, Red Edge, NIR	5 m	1 den
GeoEye 1	2008	PAN, B, G, R, NIR	1,6 m	2 až 8 dní
WorldView 2	2009	PAN, B, G, R, NIR, Red Edge, Coastal, Y, NIR2	0,5 m	1 den

PAN – panchromatický, R – červené pásmo, G – zelené pásmo, B – modré pásmo, NIR – blízké infračervené pásmo, TIR – termální pásmo, Red Edge – pásmo 690 až 730 nm, Y – žluté pásmo

Dalším zlomem bylo vypuštění satelitu RapidEye, který jako první sledoval tzv. Red-edge. Red-edge je část červeného spektra (690 až 730 nm), ze které lze vyvodit obsah chlorofylu ve vegetaci. Podobné určení jako satelit RapidEye měli další satelity jako GeoEye 1 a WorldView 2 (Mulla, 2012).

Z vývoje parametrů jednotlivých systémů, lze vyčíst vzrůstající prostorové rozlišení od 50m u LANDSAT 5 až k sub-metrové velikosti u systémů GeoEye a WorldView, tak i pro PZ důležité zlepšení časové rozlišení, tedy za jak dlouho je pořízen další snímek, z 16 dní u LANDSAT 5 k 1 dni u WorldView. Stejně jako dva uvedené parametry se měnilo i spektrální rozlišení systémů, což postupně vedlo i k využití hyperspektrálních dat (Mulla, 2012).

Hyperspektrální senzory oproti multispektrálním zachycují odražené záření ve velmi úzkých spektrálních pásmech (10 nm senzor ALI v EO-1) a tak dovolují lepší mapování vlastností jak samotné vegetace, tak i půdy, jejíž mapování pomocí multispektrálních

senzorů s šířkou pásma 40nm a víc obtížné i díky komplexnímu vlivu jednotlivých složek půdy.

Prvním prakticky využitým senzorem byl AVIRIS, který poskytoval data s pásmy o šířce 10nm a prostorovým rozlišením 20m. Po AVIRIS následovala družice EO-1 (Earth Observer 1) s podobnými parametry, jejíž data jsou veřejně dostupná skrze US Geological Survey.

Data ze senzoru ALI (EO-1) použité pro odhad výnosů plodin se ukázali jako přesnější. Použití odvozených hyperspektrálních indexů a sledování hodnoty Red Edge podalo přesnější výsledky než použití NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Datt, Jupp, McVicar a Van Niel, 2003). Použití pouhých 20ti pásem je dostačující pro využití v PZ (Miglani, Raqy, Pandey a Parihar, 2008). Odvozené hyperspektrální vegetační indexy postavené na Red Edge se ukázaly jako výborný prostředek k odhadu množství chlorofylu ve vegetaci a výpočet LAI (Leaf Area Index) (Wu a spol., 2010). Studie použitelnosti hyperspektrálních indexů k odhadu množství chlorofylu ve vegetaci se zaměřovaly na hodnocení odrazivosti v jednotlivých pásmech, tak aby omezili vliv dalších faktorů na sledované veličiny a maximalizovaly jeho citlivost. Takto byly určeny jako nejvhodnější pásma pro chlorofyl pásma kolem 680nm (největší absorpce chlorofylem) a 550nm (největší odrazivost chlorofylu) (Haboudane a spol., 2002).

Velké množství pásem, která na sebe navazují, navíc dovolují mapování několika parametrů najednou. Z hyperspektrálních dat lze odvozovat parametry půdy jako je vlhkost půdy, obsah organické hmoty a obsah živin, tak i parametrů samotné vegetace, například obsah chlorofylu, množství biomasy, atd. (Goel a spol., 2003). Je také možné se vyhnout problémům řady multispektrálních vegetačních indexů, které jsou ovlivňovány více jevy. Například červené pásmo se středem v 687nm je citlivé na velikost LAI a obsah biomasy, NIR pásmo v 970nm, pak na vodní stav vegetace (Thenkabail, Lyon a Huete, 2010).

Satelitní a letecké snímkování jsou tradiční metody sběru dat, ale často nedosahují požadovaných parametrů prostorového, či časového rozlišení, potřebného pro precizní zemědělství (Nebiker, Annen, Scherrer a Oesch, 2008). Dnešní technologický postup v low-cost UAV (Unmanned Aerial Vehicles) a multispektrálních kamerách dovoluje jejich nasazení v PZ s centimetrovou přesností a požadovaným časovým rozlišením. Nasazení UAV technologií se nejen dobře promítá do nároků na kvalitu dat, tak je i cenově dostupnější než satelitní nebo letecké snímkování a je i méně časově náročnější (Candiago, Remondino, De Giglio, Dubbini a Gattelli, 2015).

Tab. 3.3 Porovnání jednotlivých typů snímkování (zdroj: Mulla, 2012, upraveno)

Platforma	Prostorové rozlišení	Úhel záběru	Využitelnost v PZ	Nosnost	Cena pořízení dat
UAV	0,5 až 10 cm	50 až 500 m	Vysoká	omezená	Velmi nízká
Vrtulník	5 až 50 cm	0,2 až 2 km	Závisí na pilotovi	Skoro neomezená	Střední
Letadlo	0,1 až 2 m	0,5 až 5 km	Závisí na pilotovi	neomezená	vysoká
Satelit	0,5 až 30 m	10 až 50 km	-	-	Velmi vysoká

UAV dovoluje získat rychle a snadno informace o vegetaci, definovat vlastní parametry měření a rozhodovat o agrotechnických zásazích. Poprvé úspěšně použil UAV technologie a multispektrální snímkování pomocí low-cost a low-weight snímačů v PZ Nebiker a spol. a následně ke sledování LAI (Mathews a Jensen, 2013) a vitality porostů vinic pomocí NDVI (Matese a spol., 2013), obsahu dusíků v porostech slunečnic v porovnání s pozemními měřeními (Agüera, Carvajal a Peréz, 2011).

3.3.1 Vegetační indexy

Vegetační indexy jsou kombinace několika spektrálních pásem, vyvinutých ke sledování parametrů vegetace jako je obsah biomasy a chlorofylu, atd. Vegetační indexy jsou obvykle založeny na rozdílné odrazivosti vegetace v různých částech spektra. Mezi nejpoužívanější vegetační indexy v PZ patří NDVI, GNDVI a SAVI.

Tab. 3.4 Přehled hyperspektrálních indexů používaných v PZ (zdroj: Mulla, 2012)

Index	Definice
Greenness index (G)	R_{554}/R_{677}
SR1	NIR/red (red = R_{801}/R_{550})
SR2	$NIR/green$ (green = R_{700}/R_{670})
SR3	R_{700}/R_{670}
SR4	R_{740}/R_{720}
SR5	$R_{675}/(R_{700} \cdot R_{650})$
SR6	$R_{672}/(R_{550} \cdot R_{708})$
SR7	$R_{860}/(R_{550} \cdot R_{708})$
DI1	$R_{800} - R_{550}$
NDVI	$(R_{800} - R_{680})/(R_{800} + R_{550})$
GNDVI	$(R_{801} - R_{550})/(R_{800} + R_{550})$
PSSRa	R_{800}/R_{680}
PSSRb	R_{800}/R_{635}
NDI1	$(R_{780} - R_{710})/(R_{780} - R_{680})$
NDI2	$(R_{850} - R_{710})/(R_{850} - R_{680})$
NDI3	$(R_{734} - R_{747})/(R_{715} - R_{726})$
MCARI	$[(R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550})](R_{700}/R_{670})$
TCARI	$3 \cdot [(R_{700} - R_{670}) - 0,2 \cdot (R_{700} - R_{550})(R_{700}/R_{670})]$
OSAVI	$(1 + 0,16)(R_{800} - R_{670})/(R_{800} + R_{670} + 0,16)$
TVI	$0,5 \cdot [120 \cdot (R_{750} - R_{550}) - 200 \cdot (R_{670} - R_{550})]$
RDVI	$(R_{800} - R_{670})/\sqrt{R_{800} + R_{670}}$
MSR	$(R_{800}/R_{670} - 1)/\sqrt{R_{800}/R_{670} + 1}$
MSAVI	$0,5[2R_{800} + 1 - \sqrt{(2R_{800} + 1)^2 - 8(R_{800} - R_{670})}]$
MTVI	$1,2 \cdot [1,2 \cdot (R_{800} - R_{550}) - 2,5 \cdot (R_{670} - R_{550})]$

NDVI a GNDVI

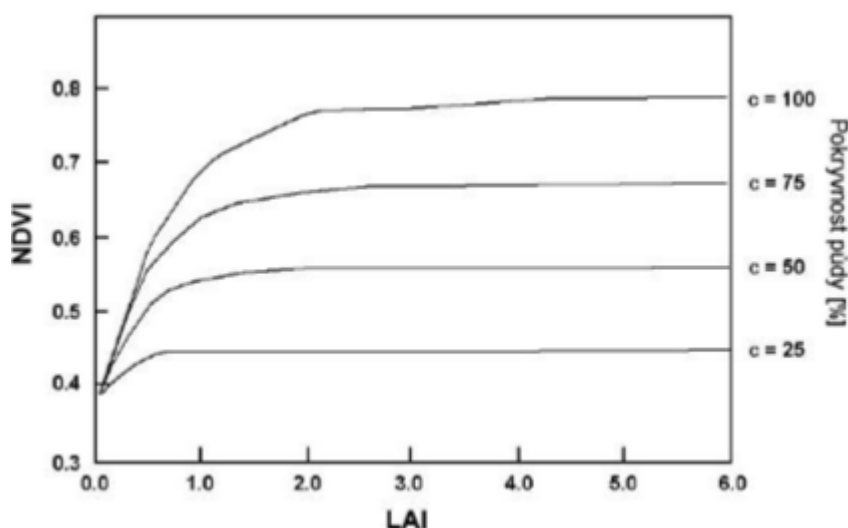
NDVI je jeden z nejznámějších a nejvyužívanějších vegetačních indexů. Původně byl vyvinut ke sledování dynamiky vegetace v globálním měříku z multispektrálních dat. Oproti běžným podílovým indexům, dokáže redukovat některé rušivé prvky v obraze (osvětlení scény, stíny a atmosférické vlivy), jelikož většina těchto jevů působí ve všech pásmech stejně. NDVI je původně multispektrální index (vzorec 3.1) ale má i svoji hyperspektrální podobu (vzorec 3.2).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (3.1)$$

$$\text{NDVI} = (\text{R800} - \text{R670}) / (\text{R800} + \text{R670}) \quad (3.2)$$

Výsledkem výpočtu NDVI je bezrozměrné číslo v rozmezí $\langle -1, 1 \rangle$. Hodnota NDVI koreluje s množstvím zelené hmoty v pixelu a umožňuje jej kvantifikovat. Zatímco vyšší hodnoty NDVI znamenají vyšší množství zelené hmoty, tak hodnoty kolem nuly znamenají holou zem a záporné hodnoty buď zastavěné území, nebo vodní plochu.

Odborné práce ukazují silný vztah hodnot NDVI a LAI vegetace. Vztah mezi NDVI a LAI není ideální, protože dosažení určitého stupně LAI (obvyčně 1 až 3, případně 2 až 6, v závislosti na typu vegetace) se hodnota NDVI již nemění.



Obr. 3.12 Závislost hodnot NDVI a LAI na pokryvnosti porostu (zdroj: Lilienthal, 2003)

Tento jev je způsoben nedostatečnou citlivostí NDVI na změnu chlorofylu u střední a vyšší koncentrace, kdy nárůst biomasy a množství chlorofylu na jednotce plochy absorbuje tolik červeného záření, že k nasycení dochází už při malých koncentracích chlorofylu. Východiskem se jeví úprava NDVI na tzv. GNDVI, kdy je červené pásmo nahrazeno zeleným pásmem (Klem, Hřivna, Ryant a Míša, 2011). Hodnota GNDVI odpovídá absorbovanému záření a koreluje s LAI a obsahem biomasy. GNDVI je více citlivější na koncentraci chlorofylu než NDVI (Hunt, Hively a Daughtry, 2008).

SAVI

SAVI (Soil-adjusted Vegetation Index) je používán v k eliminaci negativního vlivu půdy u vegetace s nízkou pokrývností a byl vyvinut jako modifikace NDVI. Do výpočtu byl přidán L faktor (soil brightness correction factor). L faktor nabývá hodnot od 0 do 1, kde se hodnota 0 používá u porostů s vysokým pokrytím (prakticky pak dává stejné výsledky jako NDVI) a hodnota 1 pro plochy bez vegetace. V praxi se pak nejčastěji používá hodnota 0,5. Hodnoty SAVI (vzorec 3.3) se pohybují v rozmezí <-1, 1>, kde nízké hodnoty korespondují s nízkým pokrytím vegetace (Soil-adjusted Vegetation Index, 2013).

$$SAVI = [(NIR - RED) / (NIR + RED + L)](1 + L) \quad (3.3)$$

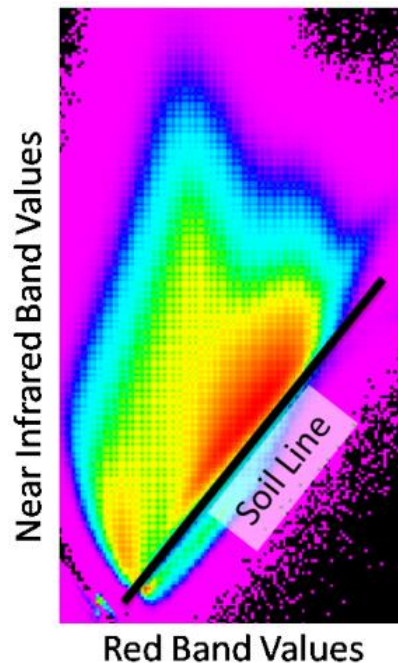
MSAVI

MSAVI (vzorec 3.4) a pozdější MSAVI2 (vzorec 3.6) jsou vegetační indexy vyvinuté 1 potlačení negativních vlivů půdy u vegetace s nízkou pokrývností. Zásadní rozdíl oproti dřívějšímu SAVI je změna stanovení L faktorů, který je v tomto případě vypočítán podle vzorce 3.5, kde s je sklon linie půdy v korelogramu červeného a infračerveného pásma (Obr. 3.13) (Modified Soil-adjusted vegetation index, 2012).

$$MSAVI = [(NIR - RED)(1 + L)] / (NIR + RED + L) \quad (3.4)$$

$$L = 1 - [(2s(NIR - RED)(NIR - s*RED)) / (NIR + RED)] \quad (3.5)$$

$$MSAVI2 = \frac{2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}}{2}$$



Obr. 3.13 Korelogram RED a NIR pásma

MCARI

MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index) je vegetační index založený na třech pásmech, vyvinutý z indexu CARI (Chlorophyll Absorption Ratio Index), který byl vyvinut k redukci nežádoucích vlivů nefotosyntetizujících materiálů. Index je založený na měření úrovně absorpce chlorofylu v pásmu R_{670} , vzhledem k maximální odrazivosti v zeleném pásmu R_{550} a odrazivosti v pásmu R_{700} .

$$\text{MCARI} = [(R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670}) \quad (3.6)$$

MCARI byl uzpůsoben k citlivosti na změnu množství chlorofylu ve vegetaci a má vysoký potenciál k odhadu LAI, bohužel se ukázalo, že MCARI je stále citlivý na podíl holé půdy při malých hodnotách LAI a další parametry jako je interakce LAI a chlorofylu.

TCARI

Ke kompenzování negativních vlivů půdního pozadí, které obzvláště ovlivňuje spektrální křivku mezi vlnovými délkami 550 a 700nm, byl MCARI dále upraven do TCARI (vzorec 3.7) (Kim a spol., 2000).

$$\text{TCARI} = 3[(R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670}) \quad (3.7)$$

Navzdory zlepšení v odolnosti vůči nevegetačním vlivům je TCARI (Transform Chlorophyll Absorption Ratio Index) stále citlivý na půdní pozadí, zvláště při nízké hodnotě LAI (Rondeaux, Steven a Baret, 1996). Proto byl do TCARI integrován (Vzorec 3.9) „půdní index“ jako například OSAVI (vzorec 3.8).

$$\text{OSAVI} = [(1 + 1,16) * (R_{800} - R_{670})] / (R_{800} + R_{670} + 0,16) \quad (3.8)$$

$$\frac{\text{TCARI}}{\text{OSAVI}} = \frac{3[(R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670})}{[(1 + 1,6)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0,16)]} \quad (3.9)$$

Red Edge index

Zajímavým indexem ke zjištění obsahu dusíku ve vegetaci je tzv. red Edge index (REIP nebo REP), který sleduje vlnovou délku inflexního bodů spektrální křivky v tzv. „red edge“ oblasti. Inflexní bod se obvykle nachází v 680 – 750nm, přičemž přesná hodnota závisí na parametrech porostu. Vyšší koncentrace chlorofylu nebo zvýšení obsahu biomasy vegetace posunuje tento bod k vyšším vlnovým délkám.

Red Edge index nabízí menší citlivost na negativní vlivy jako je odražené záření od půdního pozadí a atmosférické vlivy. Zároveň je více citlivý na obsah chlorofylu a biomasy ve vegetaci a nedochází k nasycení při vyšších hodnotách LAI jako u NDVI.

Red Edge index lze vypočítat dvěma způsoby: numericky pomocí druhé derivace křivky odrazivosti, podle vzorce 3.10; nebo lineární interpolací podle přibližné empirické rovnice navržené Guyotem (1988, vzorec 3.11) ze spektrálních pásem R_{670} , R_{700} , R_{740} a R_{780} .

$$\text{REP} = d^2R / d\lambda^2 \quad (3.10)$$

$$REP = 700 + 40 \left[\frac{(R670 + R780) / 2 - R700}{(R740 - R700)} \right] \quad (3.11)$$

Numerický způsob výpočtu (vzorec 3.3) vyžaduje podrobnou podobu spektrální křivky v dostatečném spektrálním rozlišení, například ze spektrometru nebo z hyperspektrálních dat. Lineární interpolace z empirické rovnice (vzorec 3.4) je výpočetně jednodušší a méně náročná na technické vybavení, protože sleduje odrazivost jen ve vybraných úzkých pásích.

3.4 Využití WSN v PZ

WSN (Wireless sensor network) získávají v PZ čím dál vyšší význam. V závislosti na typu sítě dovoluují přístup k aktuálním informacím o pozemku, nutných k relevantnímu rozhodování o agrotechnických zásazích. WSN lze nasadit v zemědělství a potravinářství k pěti základním úkolům (Wang, Zhang a Wang, 2006):

- Environmentální monitoring (sledování meteorologických jevů a monitoring vegetace),
- Využití v PZ (sběr prostorových dat, řízení závlah, variabilní aplikace agrochemikálií),
- Ovládání strojů a technologických procesů (navádění a správa mechanizace, ovládání robotických systémů a technologických procesů),
- Automatizace řízení a správy budov a jejich vybavení (řízení skleníků a zařízení pro krmení zvířat),
- Systémy dohledatelnosti produktů (identifikace zvířat a monitoring zdravotního stavu, balení a transport potravin).

Přičemž sledování agrometeorologických parametrů se řadí mezi nejdůležitější. Sledování těchto parametrů je potřebné pro optimalizaci agrotechnických zásahů, jako je závlaha, výživa a ochrana rostlin, zpracování půdy a setí či sklizeň. Rozvíjí se též využití WSN pro mapování variability půdních a porostních podmínek. Kombinace nepřímých metod (využití metod DPZ, senzorová měření půdy a porostů) a sledování časové dynamiky agrometeorologických ukazatelů pomocí WSN umožňuje kromě prostorové variability zohlednit i časovou variabilitu řady faktorů. Což umožňuje provádět agrotechnické zásahy nejen ve správném místě, ale i v ideální čas (Kubiček a Lukáš, 2010).

Jednou z prvních nasazených WSN byla síť PAWS (Public Agricultural Weather Systém) ve státě Washington vyvinutá v polovině 80. let 20. století. Síť PAWS byla určena ke sledování regionální evapotranspirace, jako podpora k řízení zavlažování v dané oblasti, a sledování mrazových jevů, později pak i k modelování výskytu nákaz a škůdců. Síť PAWS byla postavena na komerčně dostupných technologiích (data loggery, meteorologické stanice). Data byla od roku 1997 dostupná i na internetu (Pierce a Elliott, 2008).

Celá síť PAWS se skládá z více než 50 stanic napájených solárními panely umístěnými v lokalitě Columbia Basin. Jednotlivé stanice zasílají informace o maximální a minimální teplotě vzduchu, relativní vlhkosti, vlhkosti listů, srážkách, rychlosti a směru větrů, teplotu a vlhkost půdy v 15 minutovém kroku na centrální server na Washington State University, odkud jsou data dostupná skrze internet (Long, Johnson, Ley a Ho). Jádrem sítě je data logger AWN200 vyvinutý zvláště pro tuto síť, celá technologie sítě byla uzpůsobena pro práci na regionální úrovni. Data logger AWN200 využívá Microhard Systems Corporation MHX910, FHSS radiovou komunikaci v pásmu 902-928 MHz,

hlavním prvkem MHX910 je možnost vytvořit topologii typů master-repeater-slave, která je ideální pro sítě na úrovni regionu. Nevýhodou je nutnost přímé viditelnosti, což vyžadovalo pečlivé umístění jednotlivých uzlů sítě. Síť je synchronizována z jednoho master uzlu pomocí „multi-hop“ (Pierce a Elliott, 2008).



Obr. 3.14 Meteorologická stanice sítě PAWS (zdroj: Long, Johnson, Ley a Ho)

SUBJECT:PAWS WEATHER DATA
 WASHINGTON PUBLIC AGRICULTURE WEATHER SYSTEM HOURLY SUMMARY
 WASHINGTON STATE UNIVERSITY PROSSER WA
 NOTE: a "*" before the name indicates not all 24 hours are in yet.
 DAILY AVERAGE SUMMARY FOR: 2001-07-24

STATION	TEMPERATURE		REF. ET (IN)		PRECIP (IN)	8 IN SOIL TEMP (F)	WIND RUN (MI/DAY)
	MAX(F)	MIN(F)	ALFALFA	GRASS			
WSU Mt Vernon	75.0	51.0	.22	.20	.00	65.4	85.22
*WSU Puyallup	64.3	57.4	.05	.05	.00	70.0	11.30
*Longbeach	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Oroville	85.5	67.0	.31	.28	.00	69.2	136.20
Ellisforde	86.3	58.6	.30	.26	.00	70.2	95.85
Tonasket	86.9	57.9	.31	.27	.00	74.0	107.53
*Pogue Flat	85.3	67.1	.29	.27	.00	71.0	86.87
Brewster	90.6	62.5	.29	.25	.00	75.4	56.64
WSU Wenatchee	86.9	69.0	.39	.36	.00	78.4	159.84
Baker Flat	89.0	68.5	.33	.30	.00	75.6	97.12
Quincy	86.4	66.5	.35	.32	.00	80.9	128.02
Moses Lake	89.7	62.0	.34	.30	.00	78.5	114.79
Royal City	85.2	59.4	.35	.31	.00	78.4	166.41
WSU Othello	86.7	59.3	.35	.30	.00	73.8	147.06
Mattawa	91.1	66.0	.50	.44	.00	82.4	252.21
Basin City	87.4	59.0	.29	.25	.00	74.1	82.83

Obr. 3.15 Ukázka výstupu dat ze sítě PAWS (zdroj: PAWS, 2016)

V současnosti je problém stárnutí celé sítě PAWS a moderní náhrada jednotlivých komponent systému není na trhu dostupná. Z průzkumu možných technologií určených

k náhradě PAWS a zkušenost z provozu PAWS, vyvstala potřeba vybudovat tzv. on-farm WSN. Nároky na topologii sítě, cenu komponent, frekvenci sběru dat, energetické nároky a konektivitu u on-farm WSN jsou značně odlišné od regionální sítě typů PAWS Pierce a Elliot, 2008).

Hlavním problémem v dané oblasti je počasí a časté mrazové jevy, které poškozují sklizeň ovocnářů. Dosavadní systém ochrany produkce ovoce byl založen na ručním měření ve vybraných oblastech zaměstnanci zemědělského podniku. Vzhledem k rozsáhlosti některých podniků, takto zaměstnanci mnohdy najezdili i 100 km (Pierce a Elliott, 2008).

Hlavními cíli tak bylo nejen nahradit stárnoucí PAWS, ale i poskytnout cenově dostupný real-time systém sledování počasí a varování před mrazovými jevy, včetně spuštění ochranných opatření (Pierce a Elliott, 2008).

Na základě nároků zemědělců byla vytvořena síť zaznamenávající teplotu během mrazových jevů každou minutu s přesností 0,1°C, přičemž data a určený trendy je přístupný všem dotčeným pracovníkům v reálném čase. Dále byly nastaveny prahové hodnoty teploty ke spuštění upozornění, navíc celý systém na jedné farmě neměl přesáhnout cenu 400 dolarů. Systém byl postaven na FHSS radiovém vysílači s možnostmi data loggeru SS100 v pásmu 902-928MHz, ke kterému jsou připojeny senzory k měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu, vlhkosti listů, srážek, rychlosti a směru větru, vlhkosti půdy a atmosférického tlaku. Síť je vystavěna ve hvězdicové topologii (Pierce a Elliott, 2008).

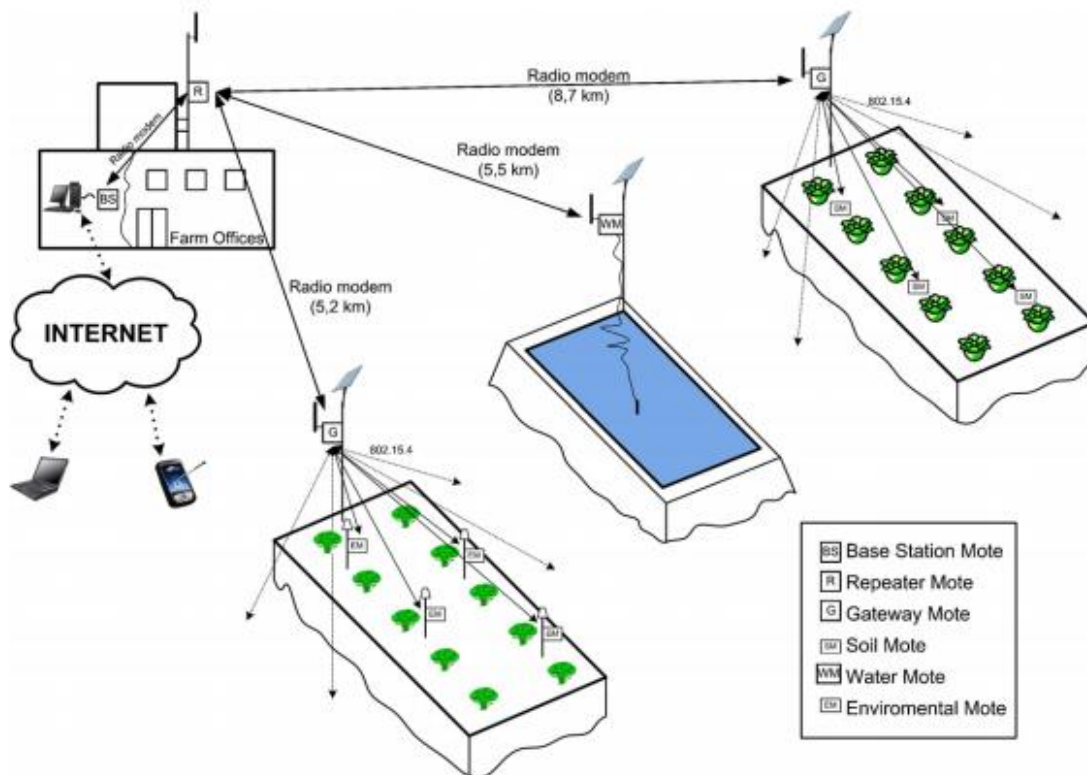
K nahlížení získaných dat byl vyvinut software AgFrostNet a data jsou ukládána v MsSQL databázi. AgFrostNet dovoluje prohlížet aktuální stav uzlů, aktuální čas a teplotu na vybraných uzlech, seznam dostupných uzlů a jejich naměřená data, včetně nastavení upozornění, grafy měřených parametrů, nahlížení historických dat, nastavení prahových hodnot teploty, nastavení kalibračních koeficientů senzorů, atd (Pierce a Elliott, 2008).



Obr. 3.16 Umístění Base a jednotlivých uzlů na testovací farmě (zdroj: Pierce a Elliott, 2008)

Dalším příkladem nasazení WSN je použití ve španělské Campo de Cartagena. Zdejší síť se skládá ze dvou WSN, která každá sleduje různé parametry. Jedna síť sleduje teplotu, vlhkost a obsah soli v půdě a druhá pak vzdušnou teplotu a relativní vlhkost. Navíc je do sítě zapojen jeden samostatný senzor pro měření salinity vodního zdroje používaného k zavlažování pozemků. Jednotlivé sítě jsou vybudovány ve hvězdicové topologii a přenášejí naměřená data do centrálního uložení pomocí jednoho repeateru. V centrálním uložení jsou data ukládána v relační databázi MySQL (López Riquelme a spol., 2009).

Síť určená k měření parametrů půdy je tvořena 10 uzly a vybavena dvěma senzory Stevens Hydra Probe II v hloubce 20 a 40 cm. Síť určená k měření atmosférických parametrů se také skládá z 10 uzlů se senzory Sensirion SHT71. Samostatný senzor k měření salinity vody je Stevens EC 250, který pracuje na principu elektrické konduktivity a teploty vody (López Riquelme a spol., 2009).



Obr. 3.17 Ilustrace zapojení sítě (zdroj: López Riquelme a spol., 2009)

Hlavní výzvou tohoto projektu byla velká vzdálenost sítě od centrálního uložení (5,2 a 8,7 km). Pro zajištění komunikace tak byl vyvinut vlastní radiový modul. Vlastní uzly pak komunikují pomocí standardu IEEE 802.15.4 a byly postaveny na microcontrolleru Msp430F1611 a naprogramovány pomocí open source TinyOS 2.0, který je speciálně určen pro WSN sítě a dovoluje přímý přístup k hardwaru a podporuje mnoho platform (López Riquelme a spol., 2009).

Na podobném projektu zabývajícím se vizualizací sensorových dat v zemědělství se u nás podílí Masarykova Univerzita a Mendlova Univerzita v Brně společně se sdružením WirelessInfo. Technologie použité v rámci projektu AgriSensor vychází z iniciativy Open Geospatial Consortium (OGC) zvané Sensor Web Enabled (SWE), která definuje specifikaci propojení sensorových sítí se sítí internet. Projekt si klade tři základní cíle (Kubíček a Lukáš, 2010):

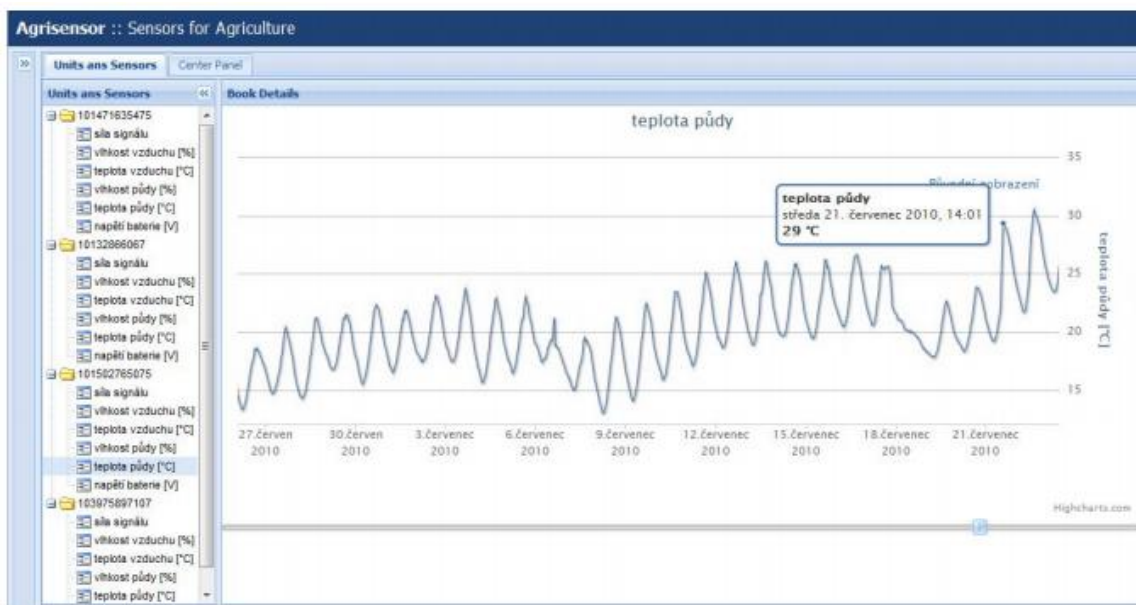
- Kartografická prezentace a modelování sensorových sítí,
- Vývoj internetové aplikace pro integraci kartografických vizualizací a sensorových dat,
- Realizovat pilotní projekt sensorové sítě zaměřené na zemědělský monitoring.

Zemědělský monitoring je v rámci projektu prováděn na dvou úrovních. A to jak sběru, tak zpracování dat. Hodnocení prostorové a časové variability vybraných agrometeorologických parametrů probíhá na pozemcích o rozloze 38 a 52 ha s jednotnou plodinou, kde je umístěno několik uzlů se senzory pro měření teploty a vlhkosti půdy a vzduchu. Získaná data jsou kombinována s nepřímými údaji o variabilitě půdy a porostů (metody DPZ, elektrická vodivost půdy, atd.) a je vytvořen celkový model znázorňující prostorovou a časovou variabilitu. V jedné lokalitě byla také umístěna meteorologická stanice AMET pro měření dalších meteorologických parametrů (Kubíček a Lukáš, 2010).



Obr. 3.18 Umístění uzlu v prostu kukuřice seté (zdroj: Kubiček a Lukáš, 2010)

Hodnocení časové dynamiky rozdílných polních plodin bylo prováděno na školní pokusné stanici Mendlovy university v Žabčicích, kde byly sledovány sadby pšenice ozimé a kukuřice seté pomocí pěti uzlů zaznamenávajících teplotu a vlhkost půdy a vzduchu. Sledován byl i vliv různého zpracování půdy (použití minimalizačních technologií) na půdní prostředí (Kubiček a Lukáš, 2010).



Obr. 3.19 Návrh webového rozhraní aplikace AgriSensor (zdroj: Kubiček a Lukáš, 2010)

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

V rámci praktické části se bylo nutné věnovat několika odlišným oblastem. A to nejen přípravě a návrhu databáze určené k ukládání dvou různých typů dat a mechanismu jejich párování, ale i přípravě samotných dat určených k importu do databáze a přípravě experimentální lokality.

4.1 Experimentální lokalita

Jak již bylo několikrát zmíněno, byla experimentální lokalita umístěna v areálu PřF UP v Olomouci-Holici. Zde byly umístěny 4 uzly (Obr. 4.1) a jedna brána WSN. Uzly byly umístěny do výšky 2m a senzory teploty a relativní vlhkosti vzduchu byly umístěny do radiačních štítů (obr. 4.2). Ty byly umístěny pod samotný uzel z důvodu krátkých kabelů senzorů. Umístění senzorů bylo zaměřeno pomocí geodetické GPS Topcon HiPER II, dostupné na katedře.



Obr. 4.1 Umístění uzlů sítě v experimentální lokalitě



Obr. 4.2 Náhled na umístění senzorů v experimentální lokalitě

4.2 Obrazová data

Snímkování v experimentální lokalitě Olomouc-Holice probíhalo pomocí multispektrální kamery ADC od firmy Tetracam Inc. Snímkování proběhlo v rámci 5 náletů od 19. 4. 2015 do 3. 7. 2015 (viz. Tab. 4.1).

Tab. 4.1 Přehled provedených snímkování v experimentální lokalitě Olomouc-Holice

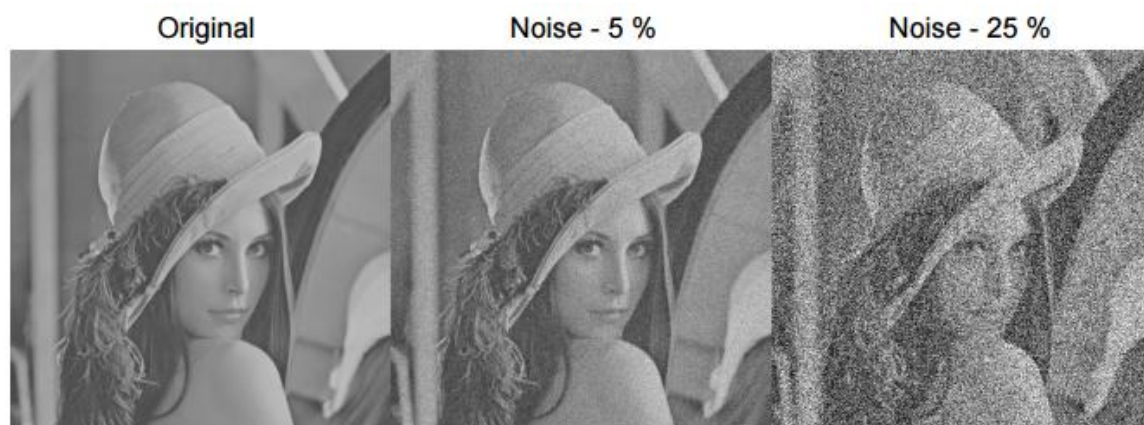
Snímkování	Počet snímků
19. 4. 2015	102
7. 5. 2015	150
16. 5. 2015	123
11. 6. 2015	146
3. 7. 2015	105

Kamera ADC je díky své ceně a váze využitelná pro UAV snímkování v řadě environmentálních a agrotechnických aplikací. Bohužel díky řadě vlivů prostředí i konstrukce kamery neodpovídají získaná data reálné reflaktanci a dovoluji tak získat pouze kvalitativní informace nikoli kvantitativní.

Proto byl navržen postup pro zpracování snímků k získání reálných hodnot reflaktance vegetace, pomocí redukce obsahu šumu v obrazu a viněťace snímku.

4.2.1 Odstranění šumu

Low-cost multispektrální snímače jsou obecně náchylné k vlivu šumu na výsledná data. Šum se v obraze chová jako aditivní zdroj nezávislý na přichozím záření, vlivem chybovosti snímače (Al-amri, Kalyankar a Khamitkar, 2010). Zdroje šumu jsou obecně dva; systematický a náhodný. Přičemž systematický šum je ve snímku jak prostorově, tak intenzitou stálý (Mansouri, Marzani a Gouton, 2005). Náhodný šum není opakovatelně reprodukovatelný, a proto je z obrazu špatně odstranitelný. Proto se většina technik soustřeďuje na redukci šumu (systematická složka šumu), než na jeho úplné odstranění (Kelcey a Lucieer, 2012).



Obr. 4.3 Efekt vlivu šumu na kvalitu obrazu (Zdroj: Kelcey a Lucieer, 2012)

Každá DN hodnota obrazu je souhrnem reálné radiance a systematického a náhodného šumu (vzorec 4.1). Jedním z přístupů k odstranění šumu způsobem per-pixel je Dark Offset Subtraction.

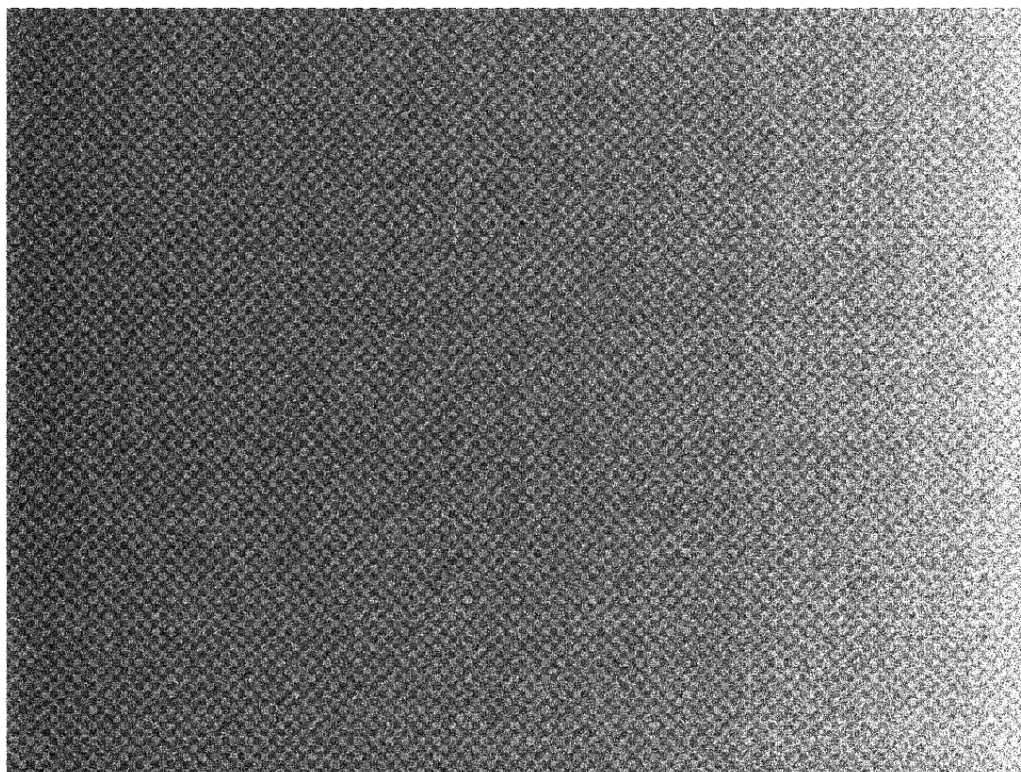
$$DN_{\text{raw}} = DN_{\text{rad}} + (DN_{\text{sn}} + DN_{\text{rn}}) \quad (4.1)$$

Metoda Dark Offset Subtraction pracuje se znalostí toho, že systematický šum je nezávislý na příchozí radianci. Díky fyzické izolaci snímače lze omezit příchozí radianci na nulu a získat tak obraz obsahující pouze šum (Mansouri, Marzani a Gouton, 2005). Z více snímků, tak může být sestaven charakteristický vzor šumu pro konkrétní snímač. Problémem je, že takto získaný vzor je výsledkem jak aditivního, tak subtraktivního vlivu šumu (Kelcey a Lucieer, 2012).

Doporučuje se k izolaci použít Gore-Tex a snímky pořizovat v tmavé místnosti, čímž je zamezeno přístupu i infračerveného záření. Navíc je potřeba pořizovat tyto snímky i pro konkrétní expoziční nastavení kamery (Kelcey a Lucieer, 2012).

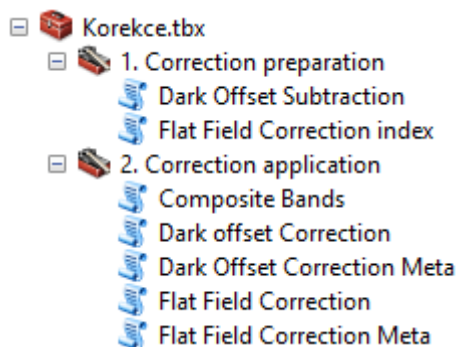
Příprava korekčních snímků

Snímky pro přípravu korekcí byly pořizeny ve sklepních prostorách katedry a kamera byla obalena Gora-Tex bundou. Snímky byly pořizeny v nejběžnějším nastavení používaném pro snímkování a to pro clonu 3,8 a závěrku 0,5 ms. Takto bylo pořizeno 32 snímků, ze kterých byl připraven korekční snímek pro jednotlivá pásma obrazu, jako průměr těchto 32 snímků. Na výsledném korekčním snímku je jasně patrná šachovnicová struktura filtru ADC kamery (obr. 4.4).

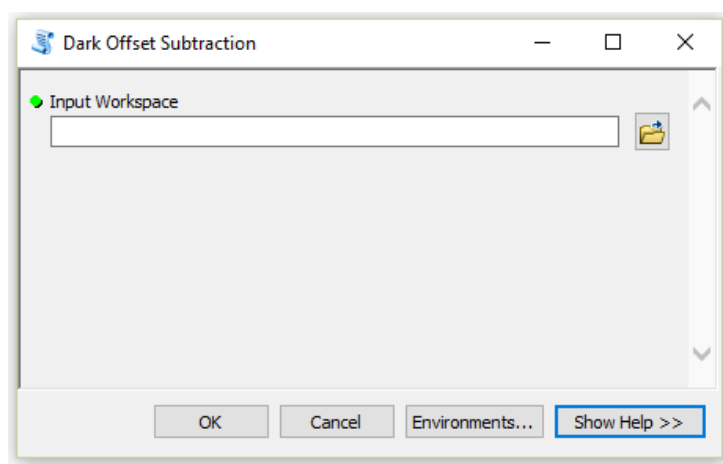


Obr. 4.4 Korekční snímek zeleného pásma pro odstranění šumu

Vzhledem k tomu, že vstupní snímky je nutné pořizovat vždy pro konkrétní nastavení kamery, byl připraven nástroj Dark Offset Subtraction v toolboxu Korekce pro automatické zpracování (obr. 4.5 a obr. 4.6).



Obr. 4.5 Toolbox vzniklý v rámci práce

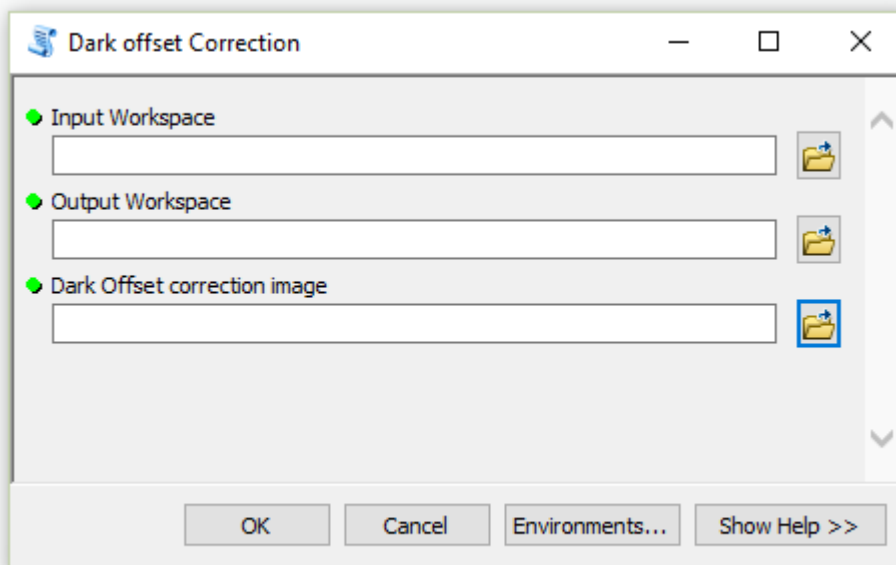


Obr. 4.6 Ukázka nástroje Dark Offset Subtraction

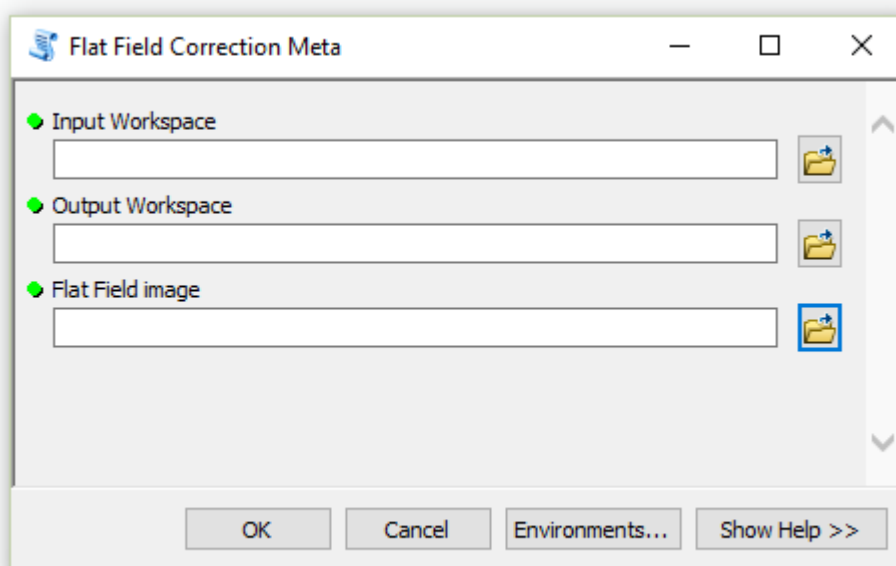
Nástroj je schopen zpracovat různé množství vstupních snímků, ze kterých pak počítá výsledný korekční snímek. Do nástroje musí vstupovat snímky obsahující pouze jedno pásmo, výsledný korekční snímek je pak platný pro dané pásmo a dané nastavení, při kterém vstupní snímky vznikly. Nástroj byl napsán v jazyce Python 2.7 za pomoci knihovny ArcPy a nástrojů z ArcGIS extenze Spatial Analyst.

Aplikace korekcí šumu

Korekce byly aplikovány podle vzorce 4.1, ke zpracování byly připraveny nástroje Dark Offset Correction a Dark Offset correction Meta (obr. 4.5). Nástroj opět zvládá zpracovávat snímky dávkově a vstupem je složka se snímky určenými ke korekci (potřeba aby snímky obsahovali pouze jedno pásmo) a korekční snímek (obr. 4.7 a obr 4.8). V rámci výpočtu je kontrolováno, jestli výsledná hodnota není záporná, když ano tak je výsledný snímek o zápornou hodnotu upraven. Nástroje byly napsány v jazyce Python 2.7 za pomoci knihovny ArcPy a nástrojů z ArcGIS extenze Spatial Analyst. Pro nástroj Dark Offset Correction Meta byla navíc použita knihovny PILLOW a knihovna csv k externímu uložení informací o snímku.



Obr. 4.7 Ukázka nástroje Dark Offset Correction



Obr. 4.8 Ukázka nástroje Dark Offset Correction Meta

Nástroj Dark Offset Correction je určen pro odstranění šumu ze snímku, kde se nepředpokládá import do databáze. Nástroj Dark Offset Correction Meta je pak určen pro zpracování snímku, které se ukládají do databáze, kdy je v rámci zpracování potřeba zachovat některé informace o snímku, jako je čas pořízení. Tyto informace se zpracováním skrze ArcPy ztrácí a proto je bylo nutné pomoci knihovny PILLOW, určené k práci se snímky a metadaty, zachovat a externě uložit pomocí knihovny csv.

4.2.2 Odstranění vinětace

Vinětace je definovaná jako prostorově závislý radiální úbytek dopadajícího světla. Hlavním zdrojem vinětace je vliv geometrie objektivu kamery a větší úhly záběru zvětšují i vliv vinětace (Goldman, 2010).



Obr. 4.9 Vliv vinětace na kvalitu obrazu (Zdroj: Kelcey a Lucieer, 2012)

K odstranění vinětace se běžně používají dva postupy; modelování optické cesty a image-based techniky. Princip modelování optické cesty pracuje s charakteristikami objektivu k modelování úbytku světla vlivem vinětace. Druhý přístup pracuje způsobem per-pixel, kdy generuje korekční faktor a je výpočetně výrazně jednodušší, nepotřebuje znalost parametrů optické cesty a představuje kumulativní souhrn všech vlivů podílejících se vinětací (Kelcey a Lucieer, 2012).

$$DN_{\text{raw}} = DN_{\text{rad}} * V_{\text{LUT}}(i,j) \quad (4.2)$$

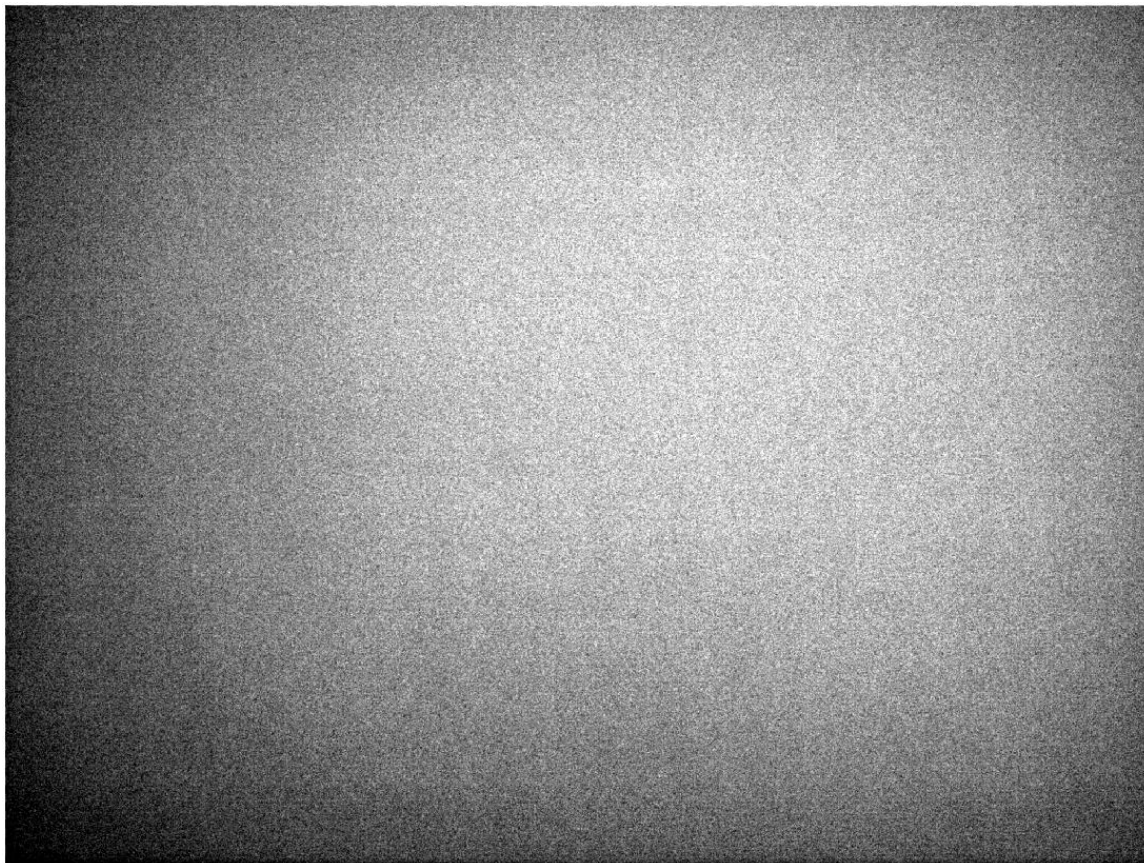
Korekční faktor je generován ze snímků uniformní, spektrálně homogenní plochy označované jako „flat field“. Snímek bez vlivu vinětace by měl mít jednotnou DN hodnotu, jakákoli odchylka je pak vliv vinětace (vzorec 4.2). Na základě tohoto je generován korekční faktor pro každý pixel obrazu (vzorec 4.3), kdy se předpokládá, že nejvyšší DN hodnota obrazu je neovlivněna vinětací (Kelcey a Lucieer, 2012).

$$V_{\text{LUT}}(i,j) = V_{\text{FF}}(i,j) / V_{\text{FFmax}} \quad (4.3)$$

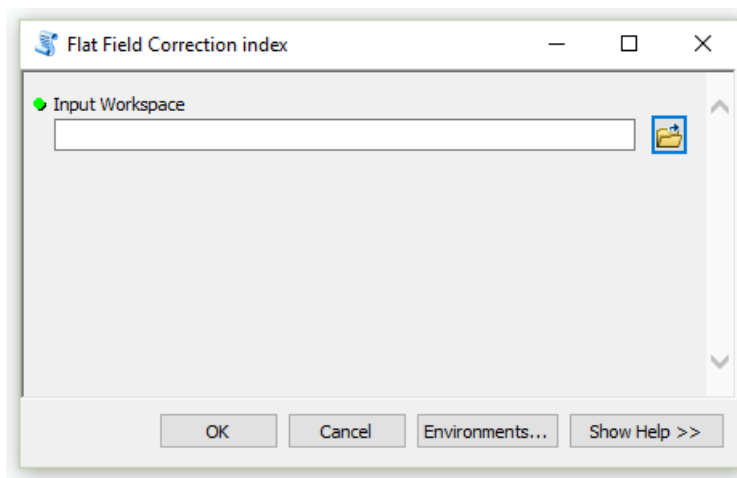
Míra vinětace je také závislá na aktuálních parametrech expozice, zvláště pak na ohniskové vzdálenosti, proto je potřeba generovat korekční faktor individuálně pro dané nastavení kamery (Kelcey a Lucieer, 2012).

Příprava korekčních snímků

K pořízení vstupních snímků pro odstranění vinětace, byla jako „flat field“ použita odrazová deska určená ke kalibraci multispektrálních kamer, která má shodné odrazivé vlastnosti ve všech pásmech a dosahuje odrazivosti 99 % a deska byla nasvícena rovnoměrně přirozeným světlem. Snímky byly pořízeny ve shodném nastavení jako pro odstranění šumu. Takto bylo pořízeno 57 snímků. Výsledný korekční snímek byl vypočítán podle vzorce 4.3 z průměru vstupních snímků (Obr. 4.10).



Obr. 4.10 Korekční snímek zeleného pásma pro odstranění vinětace

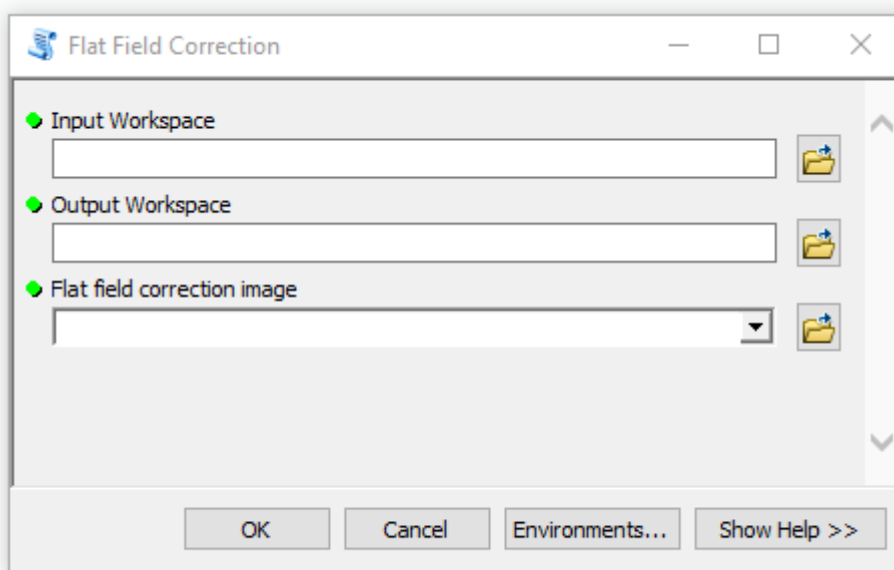


Obr. 4.11 Úkázka nástroje Flat Field Correction Index

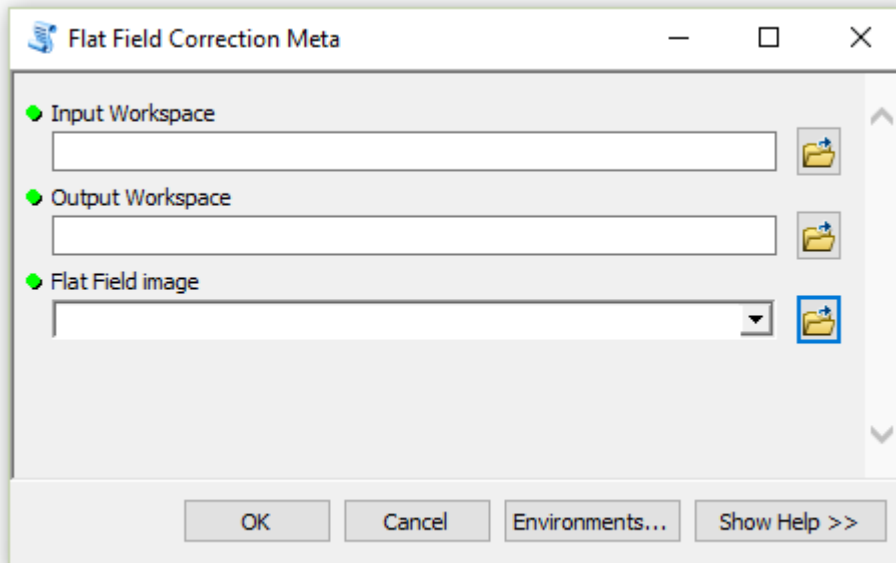
Pro automatické zpracování snímků byl připraven nástroj Flat Field Correction Index v toolboxu Korekce (obr. 4.5 a obr. 4.11). Nástrojem lze zpracovat libovolné množství vstupních snímků. Vstupní snímky musí obsahovat pouze vybrané pásmo. Nástroj byl napsán v jazyce Python 2.7 za pomoci knihovny ArcPy a nástrojů z ArcGIS extenze Spatial Analyst.

Aplikace korekcí vinětace

Korekce vinětace obrazu byla aplikována podle vzorce 4.2, ke zpracování byly připraveny nástroje Flat Field Correction a Flat Field correction Meta (obr. 4.5). Nástroj opět zvládá zpracovávat snímky dávkově a vstupem je složka se snímky určenými ke korekci (potřeba aby snímky obsahovali pouze jedno pásmo) a korekční snímek (obr. 4.12 a obr. 4.13). Nástroje byly napsány v jazyce Python 2.7 za pomoci knihovny ArcPy a nástrojů z ArcGIS extenze Spatial Analyst. Pro nástroj Dark Offset Correction Meta byla navíc použita knihovny PILLOW a knihovna csv k externímu uložení informací o snímku.



Obr. 4.12 Ukázka nástroje Flat Field Correction

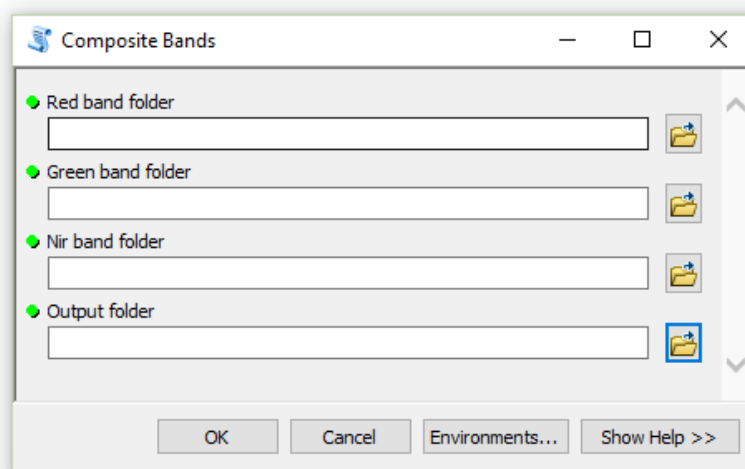


Obr. 4.13 Ukázka nástroje Flat Field Correction Meta

Nástroj Flat Field Correction je určen pro odstranění vinětače ze snímku, kde se nepředpokládá import do databáze. Nástroj Flat Field Correction Meta je pak určen pro zpracování snímku, které se ukládají do databáze, kdy je v rámci zpracování potřeba zachovat některé informace o snímku, jako je čas pořízení. Tyto informace se zpracováním skrze ArcPy ztrácí a proto je bylo nutné pomocí knihovny PILLOW, určené k práci se snímky a metadaty, zachovat a externě uložit pomocí knihovny csv.

4.2.3 Spojení pásem snímku

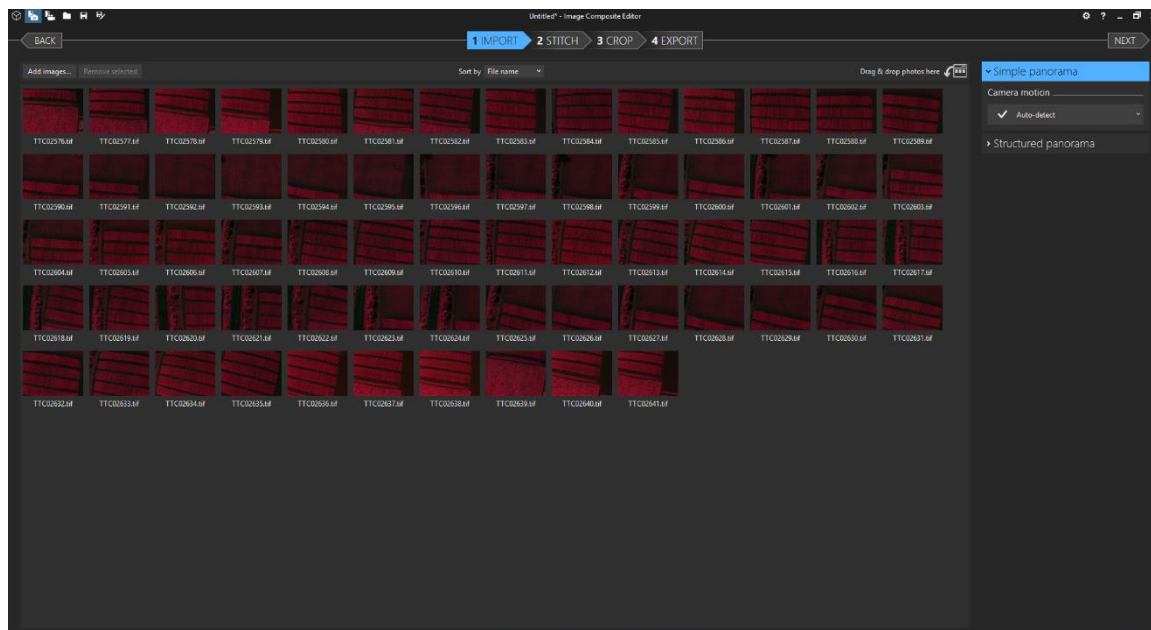
Jelikož se do této chvíle pracuje se jednotlivými pásmy obrazu je na konci procesu nutné tyto jednotlivá pásma spojit. Pro tento účel byl použit nástroj Composite bands z programu ArcGIS, který byl upraven pro dávkové zpracování. Výsledný nástroj Composite bands je součástí výsledného toolboxu (Obr. 4.5 a Obr. 4.14).



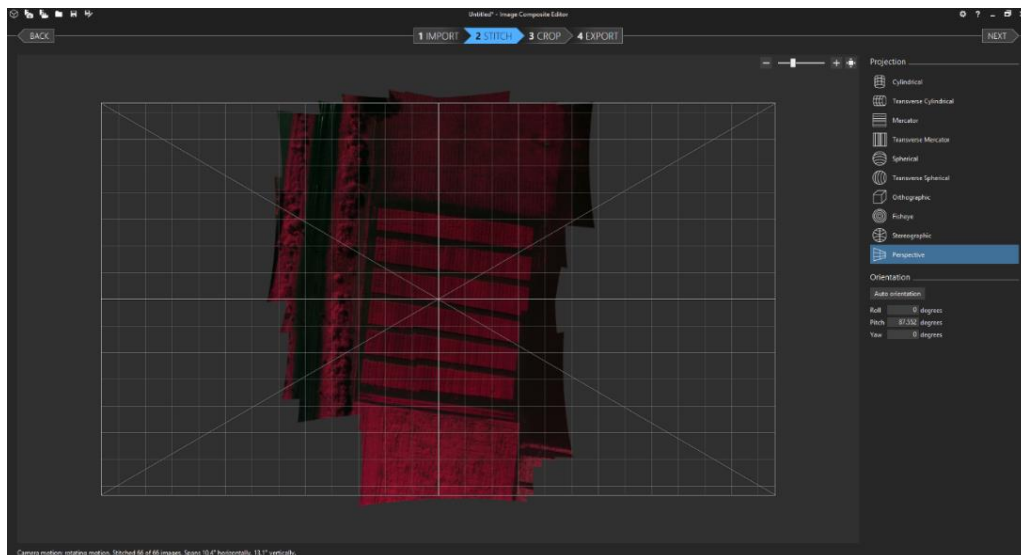
Obr. 4.14 Nástroj Composite bands pro dávkové spojení pásem

4.2.4 Vytvoření panoramatických snímků

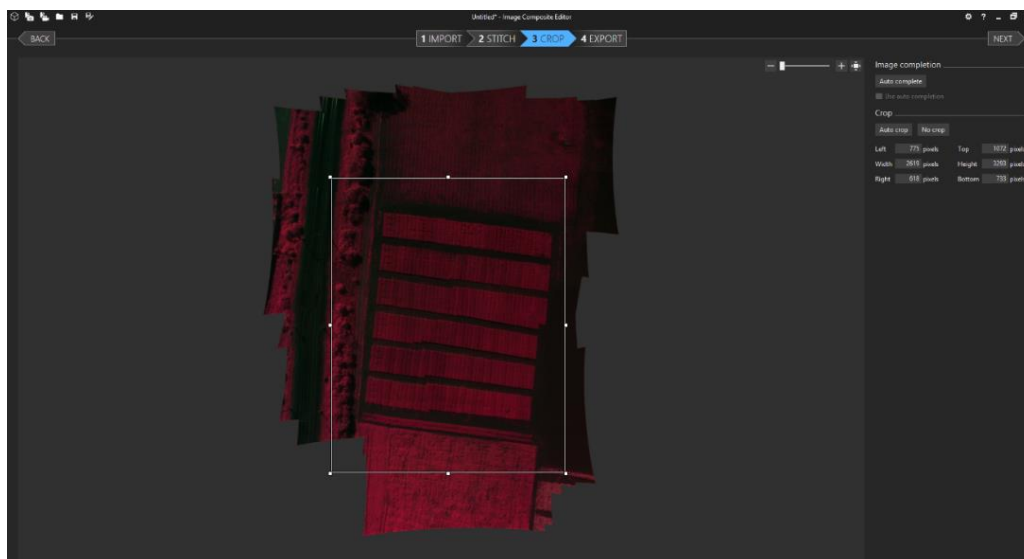
Vzhledem k velkému počtu snímků, které díky snímkování pomocí UAV systému mají nízké prostorové pokrytí, bylo rozhodnuto spojit snímky z jednotlivých snímkování v jeden. K vytvoření mozaiky snímků byl použit program Image Composite Editor, ten dovoluje jednoduše spojit velké množství snímků v jeden panoramatický (Microsoft, 2015). K vytvoření mozaiky snímku byly vybrány snímky, které měly co nejdříve osu snímkování, aby při spojování snímků docházelo co k nejmenší deformaci. Pro každé snímkování byla vytvořena jedna mozaika snímků.



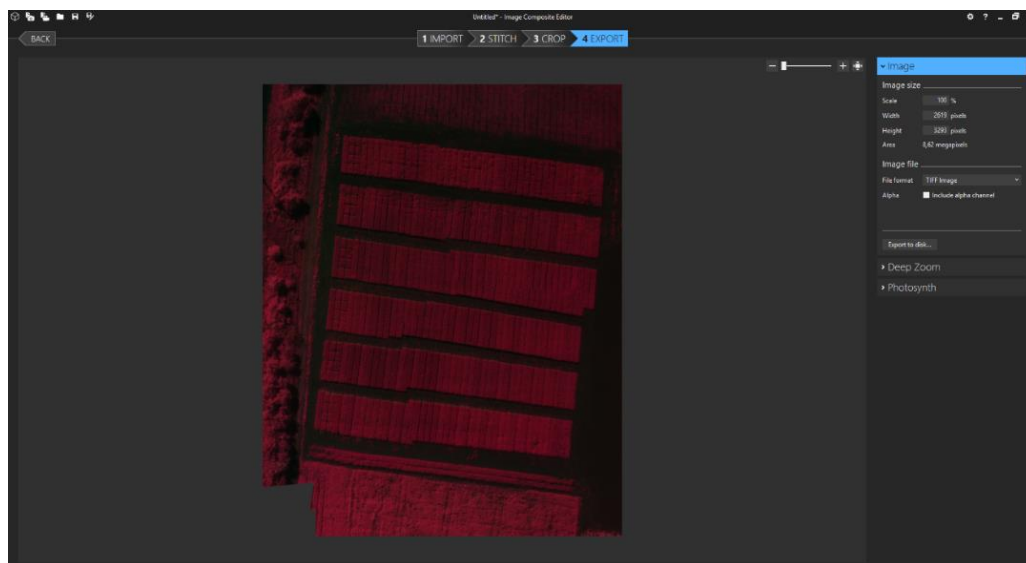
Obr. 4.15 Ukázka vytvoření mozaiky snímků v programu Image Composite Editor



Obr. 4.16 Ukázka vytvoření mozaiky snímků v programu Image Composite Editor

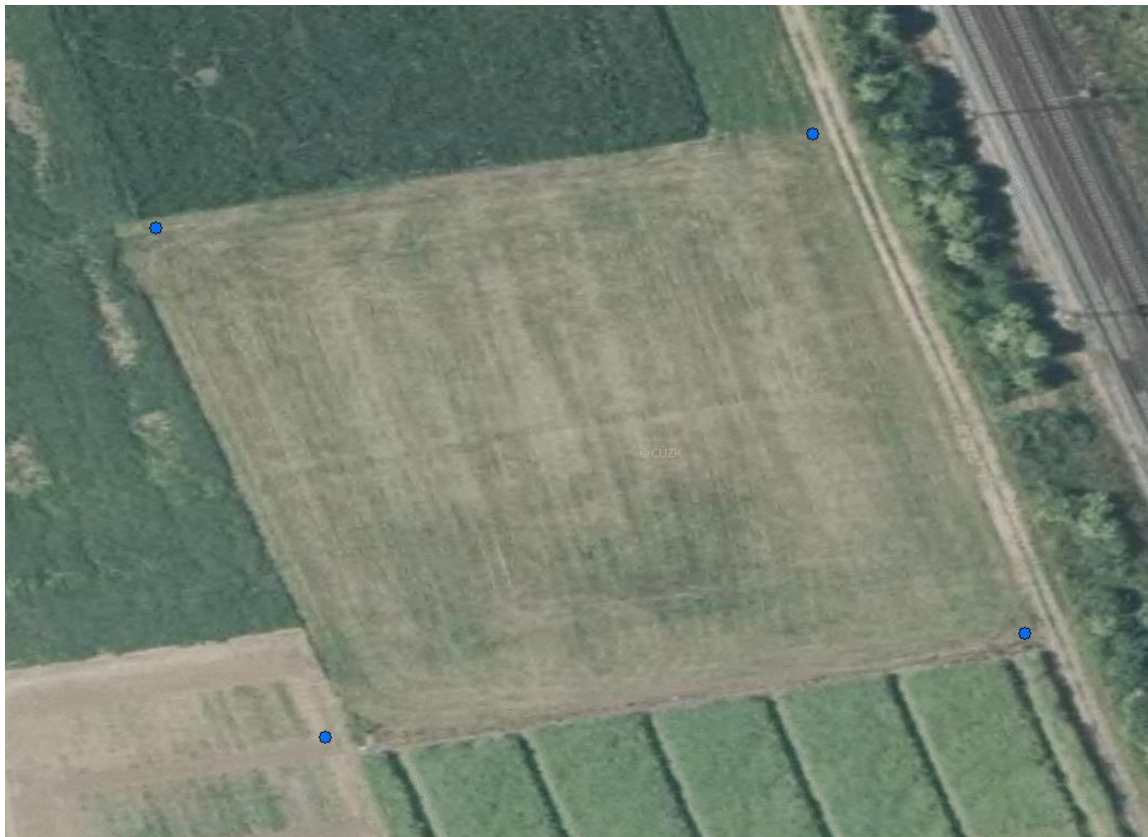


Obr. 4.17 Ukázka vytvoření mozaiky snímků v programu Image Composite Editor



Obr. 4.18 Ukázka vytvoření mozaiky snímků v programu Image Composite Editor

Výsledné mozaiky snímků byly posléze v programu ArcGIS georeferencovány pomocí GCP (Obr. 4.19), které byly kolem lokality umístěny před snímkováním a zaměřeny geodetickou GPS Topcon HiPER II. Tímto přístrojem byly zaměřeny i jednotlivé uzly sítě.



Obr. 4.19 Umístění GCP kolem experimentální lokality

4.3 Senzorová data

Senzorová data byla získána z WSN sítě postavené na produktech firmy Libelium. Data byla stažena z brány Meshlium ve formě csv souboru, který však obsahuje řadu chyb vzniklých při zápisu (Obr. 4.20). Tyto chyby je potřeba před parsováním dat a jejich importem do databáze odstranit. V rámci práce byly použity data od 27. 05. 2015 do 31. 07. 2015, které pokrývají proběhlé snímkování. Bohužel data před 27. 05. 2015 nejsou kvůli poruše a náhradě brány dostupná. Celkem takto bylo zpracováno necelých 41 tisíc záznamů.

```
"297339";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:00:36";"0";"I:382552190#N:1446#BAT:8#CA:19.35#CB:99.58#CC:3.29#CD:0.98#CE:0.24#CF:3.29"
"297340";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:03:53";"0";"I:382549735#N:22224#ST:16.22#SH:88.12#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297341";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:04:19";"0";"I:382542829#N:22225#ST:16.54#SH:92.85#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297342";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:05:36";"0";"I:382552190#N:1447#BAT:7#CA:19.35#CB:97.50#CC:3.29#CD:0.97#CE:0.27#CF:3."
"297343";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:05:37";"0";"29"
"297344";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:09:10";"0";"I:382549735#N:22225#ST:16.21#SH:88.39#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297345";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:09:36";"0";"I:382542829#N:22226#ST:16.16#SH:94.10#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297346";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:10:37";"0";"I:382552190#N:1448#BAT:11#CA:16.45#CB:100.27#CC:3.29#CD:1.03#CE:0.27#CF:3.29"
"297347";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:14:27";"0";"I:382549735#N:22226#ST:15.94#SH:88.84#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297348";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:14:53";"0";"I:382542829#N:22227#ST:15.81#SH:95.39#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297349";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:19:44";"0";"I:382549735#N:22227#ST:15.48#SH:90.25#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297350";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:20:10";"0";"I:382542829#N:22228#ST:15.59#SH:96.71#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297351";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:20:39";"0";"I:382552190#N:1450#BAT:11#CA:15.80#CB:100.10#CC:3.29#CD:0.97#CE:0.27#CF:3.29"
"297352";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:25:01";"0";"I:382549735#N:22228#ST:15.31#SH:92.96#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297353";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:25:27";"0";"I:382542829#N:22229#ST:15.50#SH:97.70#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297354";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:25:40";"0";"I:382552190#N:1451#BAT:11#CA:17.09#CB:97.50#CC:3.29#CD:1.00#CE:0.26#CF:3.29"
"297355";NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;NULL;"2015-07-01 00:30:18";"0";"I:382549735#N:22229#ST:15.17#SH:93.12#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
```

Obr. 4.20 Příklad surových dat získaných z brány Meshlium

Chyby v senzorových datech

Pro odstranění chyb z dat byl vytvořen skript v jazyce Python 2.7. Skript se stará o odstranění chyb zjištěných v datech vzniklých zápisem do csv souboru bránou a dále kontroluje správnost naměřených hodnot v rámci limitů uvedených v technické dokumentaci jednotlivých senzorů. Ve skriptu jsou kontrolovány v této práci použité senzory, samotný skript je však jednoduše rozšiřitelný o další.

Skript kontroluje a případně odstraňuje následující problémy:

- Odstranění redundantního netisknutelného znaku nového řádku (`\r\n`) uvnitř záznamu
- Odstranění startovacích záznamů brány
- Kontrola správné formy zápisu času
- Kontrola správné formy zápisu naměřených hodnot (veličina:hodnota)
- Kontrola správného rozsahu hodnot
- Spojení rozdělených záznamů

Základním problémem pro zpracování dat je redundantní netisknutelný znak nového řádku (`\r\n`), který se vyskytuje před ukončovacími uvozovkami každého řádku (obr. 4.20). Dalším vyskytujícím se problémem, který ale není chybou zápisu, jsou startovací záznamy WSN brány, ty nesou informaci o zapnutí brány a jsou pro ukládání naměřených hodnot zbytečné. Následovala kontrola zápisu času a data podle standardu ISO 8601 v rozšířeném formátu pro lepší čitelnost (RRRR-MM-DD hh:mm:ss). Datum je kontrolováno pomocí nově definované funkce `date_validation`. Dále bylo nutné

Skript k čištění a opravě dat byl připraven v jazyce Python 2.7 pomocí knihoven csv, datetime, sys, re a time. Jedná se o knihovny nativně implementované v instalaci jazyka Python. Knihovna csv byla použita k práci z csv soubory, jako je čtení a zápis. Knihovna datetime byla použita ke kontrole správnosti zápisu data a času. Knihovna sys slouží ke vstupu dat, knihovna re pak k odstranění redundantního netisknutelného znaku nový řádek. Knihovna time slouží k měření času běhu skriptu pro kontrolu rychlosti zpracování.

Parsování dat

Dalším krokem zpracování senzorových dat bylo parsování záznamů. Záznam v původních datech obsahuje všechny měření konkrétního uzlu. Pro import do databáze bylo potřeba tento záznam rozpracovat, tak aby obsahoval pouze jednu hodnotu. Výsledný záznam byl upraven tak aby byl jednoduše importovatelný do databáze (Obr. 4.24).

```
"297339";"2015-07-01 00:00:36";"382552190";"1446";"BAT";"8"  
"297339";"2015-07-01 00:00:36";"382552190";"1446";"CA";"19.35"  
"297339";"2015-07-01 00:00:36";"382552190";"1446";"CB";"99.58"  
"297339";"2015-07-01 00:00:36";"382552190";"1446";"CC";"3.29"  
"297339";"2015-07-01 00:00:36";"382552190";"1446";"CD";"0.98"  
"297339";"2015-07-01 00:00:36";"382552190";"1446";"CE";"0.24"  
"297339";"2015-07-01 00:00:36";"382552190";"1446";"CF";"3.29"  
"297340";"2015-07-01 00:03:53";"382549735";"22224";"ST";"16.22"  
"297340";"2015-07-01 00:03:53";"382549735";"22224";"SH";"88.12"  
"297340";"2015-07-01 00:03:53";"382549735";"22224";"WA";"0.00"  
"297340";"2015-07-01 00:03:53";"382549735";"22224";"WP";"0.00"  
"297340";"2015-07-01 00:03:53";"382549735";"22224";"WV";"W"
```

Obr. 4.24 Příklad parsovaných záznamů

Skript pro parsování dat byl připraven v jazyce Python 2.7 s pomocí knihoven csv, určené k práci s csv soubory, knihovny string, pro práci s textem, knihovny copy, použité ke kopírování seznamů, knihovny sys sloužící k vstupu dat a knihovny time použité k měření času běhu skriptu.

4.4 Databáze

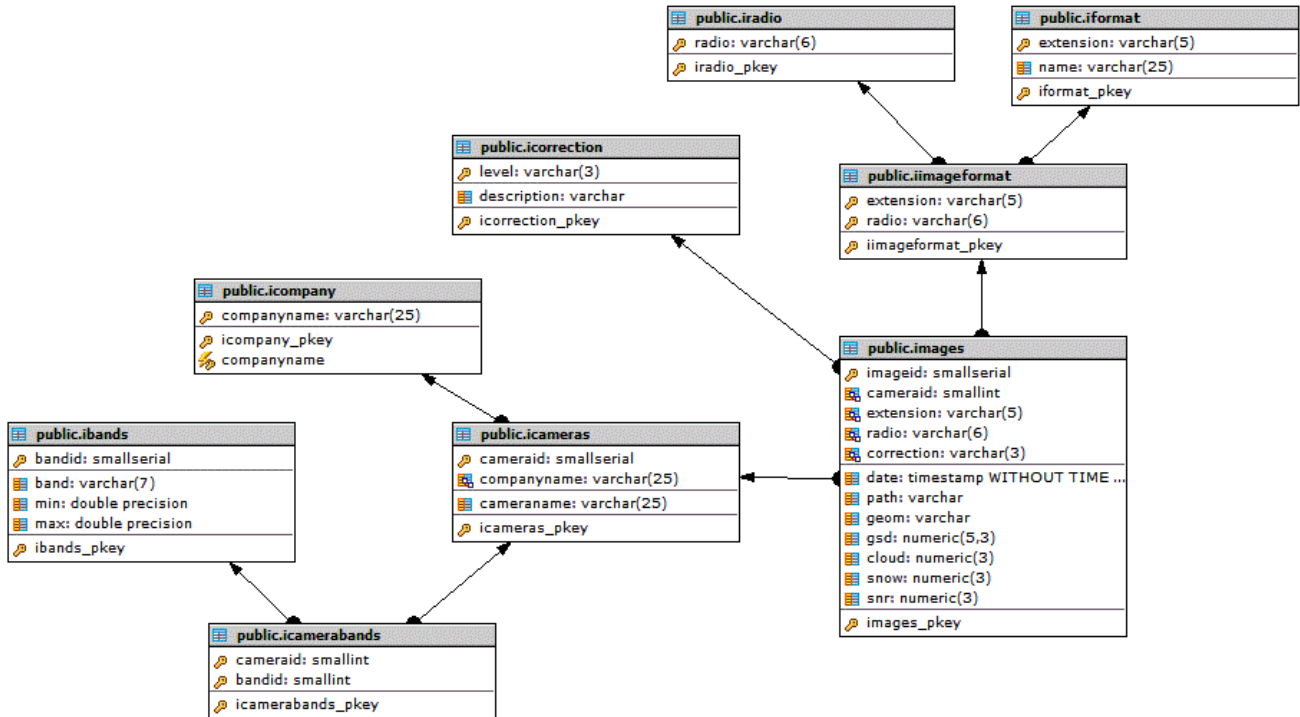
Základní nárokem na vznikající databázi bylo ukládání sensorových dat a informací o obrazových datech, včetně párování těchto dat. Z tohoto důvodu má výsledná databáze dva základní bloky, který každý zvlášť ukládá patřičný typ dat, a samotný mechanismus párování. Pro snazší orientaci ve struktuře databáze byly pro jednotlivé bloky přidány prefixy, pro obrazovou část prefix i a pro sensorovou část prefix s.

Tab. 4.2 Přehled tabulek

Obrazová část	
Název tabulky	Popis
images	Seznam snímků
iCorrection	Číselník korekcí snímku
iImageformat	Formáty snímků
iFormat	Číselník názvů formátů
iRadio	Číselník bitové hloubky obrazu
iCameras	Seznam kamer
iCompany	Číselník výrobců
iCamerabands	Seznam pásem dané kamery
iBands	Číselník pásem
Sensorová část	
Název tabulky	Popis
sensorparser	Seznam sensorových měření
sSensors	Vlastnosti sensorů
sNodes	Seznam uzlů a jejich poloha
sRelation	Seznam sensorů připojených k uzlu
sUnit	Číselník fyzikálních jednotek
sDatatype	Číselník datových typů sensorových měření
sPrecision	Přesnost sensorů
sPrecisionrange	Rozsah pro uvedení přesnosti senzoru
sRange	Rozsah měřených hodnot
sSensibility	Citlivost sensorů
Párovací část	
Název tabulky	Popis
pair	Párovací tabulka

4.4.1 Obrazová část

Obrazová část databáze (Obr. 4.25) slouží k ukládání informací o obrazových datech a skládá se z 9 tabulek (tab. 4.2). Základním kamenem je tabulka *images* (tab. 4.3), která obsahuje základní informace o snímcích.



Obr. 4.25 Struktura obrazové části databáze

Tabulka *images*

Tabulka *images* obsahuje základní informace o snímcích. Jmenovitě pak přiřazené ID snímku (atribut **imageid**), který slouží k identifikaci snímku v rámci databáze pomocí jedinečného čísla. ID snímku je v datovém typu *small serial*, protože se nepředpokládá, že by počet snímků přesáhl daný rozsah datového typu a je zajištěno číslování záznamů pomocí sekvence. Atribut **imageid** je použit jako primární klíč této tabulky.

Datum a čas pořízení snímku (atribut **date**), které slouží k časovému párování snímků se sensorovými daty, je v datovém typu *timestamp without time zone*. Čas a datum je uveden ve formátu ISO 8601 v rozšířené formě zápisu.

ID kamery (atribut **cameraid**), kterou byl snímek pořízen, slouží pro určení dalších parametrů snímků jako je spektrální rozlišení atp. Atribut je zapsán v datovém typu *small integer*, protože se nepředpokládá, že by počet registrovaných kamer přesáhl povolený rozsah.

Atribut **extension** nese informaci o příponě daného snímku. Jako datový typ byl zvolen textový typ *character varying* s omezením na 5 znaků, jelikož se nepředpokládá delší přípona. Na atribut **extension** navazuje další atribut **radio**, který slouží k určení bitové hloubky daného snímku. Jako datový typ byl zvolen *character varying* s omezením na 6 znaků. Tyto dva atributy slouží jako cizí klíč pro navázání na tabulku **iimageformat**, která slouží jako číselník registrovaných kombinací typ souboru – bitová hloubka.

Atribut **path** popisuje cestu k uložení snímku. Atribut je veden v datovém typu *character varying* bez omezení. Další atribut **geom** popisuje prostorové umístění snímku

pomocí zápisu polohy ve formátu WKT (Well-known text) v textovém datovém typu *character varying*. Tento atribut dále slouží pro porovnávání polohy snímků a jednotlivých uzlů při párování dat.

Prostorové rozlišení snímku (GSD) popisuje atribut **gsd**, který je v datovém typu *numeric* s omezením na 5 číslic s přesností na 3 desetinná místa. Pokrytí snímku mraky (atribut **cloud**) reprezentuje procentuální pokrytí snímku. Atribut je v datovém typu *numeric* s omezením na 3 číslice, navíc je kontrolován rozsah hodnot. Pokrytí snímku sněhem (atribut **snow**) reprezentuje procentuální pokrytí snímku sněhem a je ve stejném datovém typu jako atribut **cloud** se stejným omezením. Poměr signal/šum je uveden v atributu **snr** v datovém typu *numeric* omezením na 3 číslice a 2 desetinná místa navíc je kontrolován rozsah do 1.

Posledním atributem je **correction**, který popisuje úroveň aplikovaných korekcí na snímku definovaným poprvé agenturou NASA jako část Earth Observing System (Wikipedia, 2016). Tento atribut navíc představuje cizí klíč pro propojení s tabulkou *iCorrection*.

Tab. 4.3 Struktura tabulky *images*

Název	Popis	Datový typ
imageid (PK)	ID snímku	Small serial
date	Datum pořízení	Timestamp without time zone
cameraid (FK)	ID kamery	Small integer
extension (FK)	ID formátu snímku	Character varying(5)
radio (FK)	ID bitové hloubky obrazu	Character varying(6)
path	Cesta ke snímku	Character varying
geom	Geometrie	Character varying
gsd	Prostorové rozlišení	Numeric(5,3)
cloud	Pokrytí mračny	Numeric(3,0)
snow	Pokrytí sněhem	Numeric(3,0)
snr	Poměr signál/šum	Numeric(3,2)
correction (FK)	Úroveň korekcí	Character varying(3)

Tabulka iCorrection

Tabulka iCorrection (tab. 4.4) slouží jako číselník dostupných úrovní korekcí podle definice NASA. Atribut **level** popisuje používané zkratky daných úrovní korekcí, jejichž přesný popis je uveden v atributu **description**. Oba atributy jsou vedeny v datovém typu *character varying*, přičemž atribut **level** je omezen svoji délkou na 3 místa a atribut **description** není délkově omezen. Tabulka iCorrection je propojena s pomocí atributu **level** s tabulkou images.

Tab. 4.4 Struktura tabulky iCorrection

Název	Popis	Datový typ
level (PK)	Označení úrovně korekcí	Character varying(3)
description	Popis úrovně korekcí	Character varying

Tabulka iImageformat

Tabulka iImageformat popisuje použitý typ formátu snímku (tab. 4.5). Oba atributy tabulky (atributy **extension** a **radio**) slouží jako primární klíč. Tato tabulka je propojena s číselníky iFormat a iRadio pomocí příslušných cizích klíčů.

Tab. 4.5 Struktura tabulky iImageformat

Název	Popis	Datový typ
extension (PFK)	Zkratka formátu	Character varying(5)
radio (PFK)	Bitová hloubka obrazu	Character varying(6)

Tabulka iRadio

Číselník iRadio (tab. 4.6) obsahuje informace o dostupných bitových hloubkách a je propojen s tabulkou iImageformat, čímž je příslušnému formátu snímku přiřazena i odpovídající bitová hloubka. Jako datový typ byl zvolen textový typ *character varying* s omezením na 6 znaků.

Tab. 4.6 Struktura tabulky iRadio

Název	Popis	Datový typ
radio (PK)	Popis	Character varying(5)

Tabulka iFormat

Číselník iFormat (tab. 4.7) obsahuje informace o dostupných obrazových formátech a je propojen s tabulkou iImageformat, čímž je snímku přiřazen odpovídající formát obrazu. Číselník obsahuje dva atributy: **extension** a **name**. Atribut **extension** obsahuje používanou zkratku daného obrazového formátu v datovém typu *character varying* s omezením na 5 znaků a slouží jako primární klíč číselníku. Druhý atribut obsahuje celý název formátu v datovém typu *character varying* s omezením na 25 znaků.

Tab. 4.7 Struktura tabulky iFormat

Název	Popis	Datový typ
extension (PK)	Zkratka formátu	Character varying(5)
name	Celý název formátu	Character varying(25)

Tabulka iCameras

Tabulka iCameras (tab. 4.8) obsahuje informace o použité kameře. Jmenovitě identifikátor kamery (atribut **cameraid**) používaný uvnitř databáze v datovém typu *small serial*, jelikož se nepředpokládá, že by počet registrovaných kamer přesáhl povolený rozsah. Dále atribut **cameraname**, který obsahuje název kamery jako textový řetězec v datovém typu *character varying* omezeným na 25 znaků, a atribut **companyname**, který slouží jako cizí klíč k identifikaci výrobce kamery (číselník iCompany, tab. 4.9), atribut je veden v datovém typu *character varying* s omezením na 25 znaků.

Tab. 4.8 Struktura tabulky iCameras

Název	Popis	Datový typ
cameraid (PK)	ID kamery	Small serial
cameraname	Název kamery	Character varying(25)
companyname (FK)	Výrobce kamery	Character varying(25)

Tabulka iCompany

Tabulka iCompany (Tab. 4.9) slouží jako číselník výrobců kamer. Obsahuje jeden atribut **companyname**, který slouží i jako primární klíč.

Tab. 4.9 Struktura tabulky iCompany

Název	Popis	Datový typ
companyname (PK)	ID výrobce	Character varying(25)

Tabulka iCameraband

K tabulce iCameras je pomocí cizího klíče připojena tabulka iCamerabands (tab. 4.10), která popisuje spektrální vlastnosti dané kamery, pomocí definovaných pásem z číselníku iBands. Oba atributy jsou použité jako složený primární klíč a cizí klíče pro propojení s dalšími tabulkami (tabulka iCameras a tabulka iBands). Oba atributy jsou v datovém typu *small integer*.

Tab. 4.10 Struktura tabulky iCamerabands

Název	Popis	Datový typ
cameraid (PFK)	ID kamery	Small integer
bandid (PFK)	ID spektrálního pásma	Small integer

Tabulka iBands

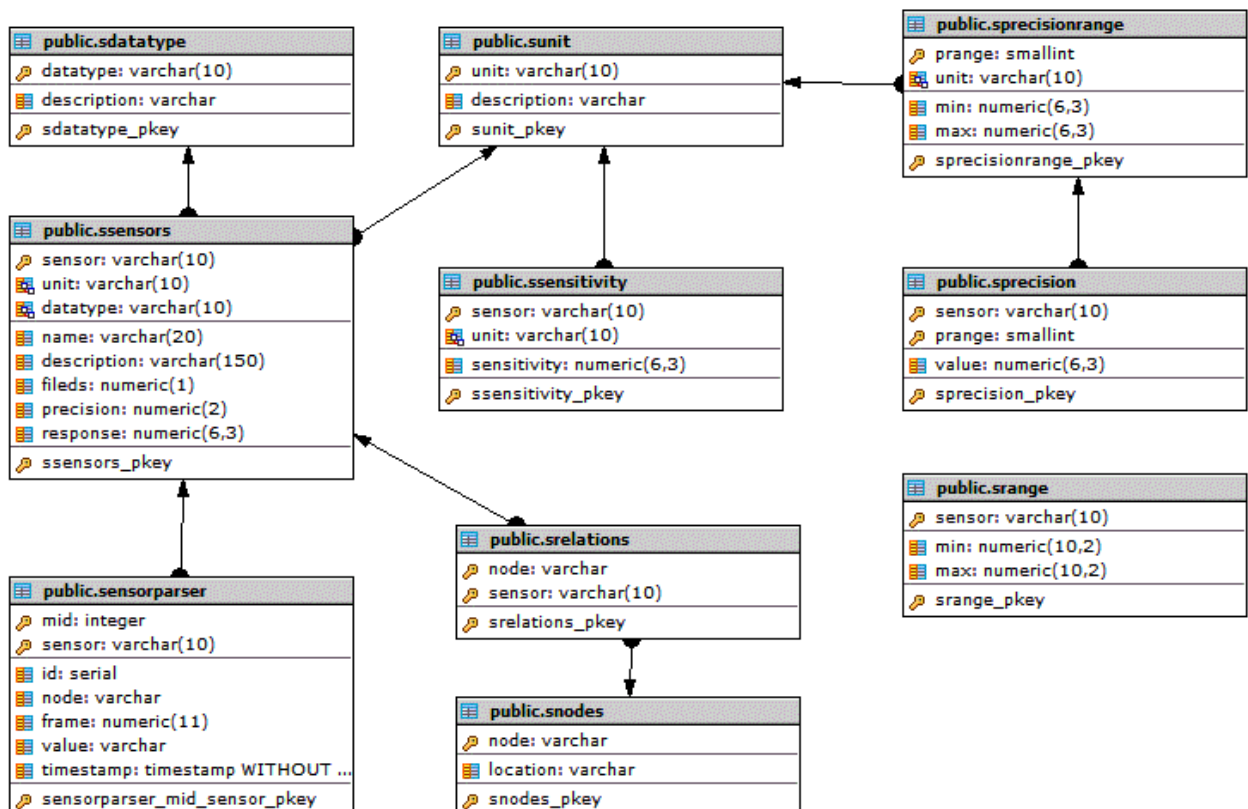
Číselník iBands obsahuje definici běžných multispektrálních pásem, jejich používanou zkratku (atribut **band**) a minimální (atribut **min**) a maximální (atribut **max**) vlnovou délku. Atribut bandid slouží jako primární klíč a používá datový typ *small serial*. Atribut **band** nebyl jako primární klíč použit z důvodu, že název pásma se může opakovat, ale přesný rozsah se u různých kamer může lišit.

Tab. 4.11 Struktura tabulky iBands

Název	Popis	Datový typ
bandid (PK)	ID pásma	Small serial
band	Název pásma	Character varying(7)
min	Minimum vlnové délky	Double precision
max	Maximum vlnové délky	Double precision

4.4.2 Senzorová část

Senzorová část databáze (Obr. 4.26) vznikla na základě vnitřní databáze brány Meshlium, ta byla dále upravena, tak aby ideálně sloužila svému účelu v rámci vznikající nové databáze.



Obr. 4.26 Struktura senzorové části databáze

Tabulka sensorparser

Jádrem senzorové části databáze je tabulka sensorparser (tab. 4.12), která obsahuje získaná měření a další jejich popisné atributy. Atribut **id** slouží jako vnitřní identifikátor záznamů uvnitř databáze a primární klíč. Atribut id je v datovém typu serial, protože vzhledem k počtu záznamů z WSN sítě by typ small serial nebyl dostatečný.

Další důležitý atribut je **mid**, který popisuje původní id měření z brány (údaje jsou pro uložení parsovány na jednotlivé veličiny). Tento atribut je také vzhledem k počtu záznamů veden v datovém typu *integer*, který má dostatečný rozsah.

Atribut **node**, odkazuje na uzel WSN, který dané měření realizoval, a jako cizí klíč odkazuje na tabulku snodes, kde se nachází údaje o poloze uzlů. Atribut **frame** pak označuje rámec, který sdružuje všechny měření realizované daným uzlem sítě WSN. Tento atribut je veden v datovém typu *numeric* s omezením na 11 číslic. Atribut **sensor** označuje registrovanou zkratku daného senzoru a jako cizí klíč odkazuje na další popisné informace daného senzoru. Atribut sensor je v datovém typu *character varying*, protože zkratky senzorů jsou v různé formě. Atribut **value** obsahuje již naměřenou hodnotu dané veličiny a je veden v datovém typu *character varying*, vzhledem k rozmanitým měřeným veličinám.

K času realizovaného měření odkazuje atribut **timestamp** v datovém typu *timestamp without time zone*. Čas a datum je zapsán ve standardu ISO 8601 v rozšířené formě zápisu. Atributy mid a sensor slouží jako složený primární klíč k propojení s tabulkou pair.

Tab. 4.12 Struktura tabulky sensorparser

Název	Popis	Datový typ
id	ID záznamu	serial
mid (PK)	Id měření uzlu	integer
node (FK)	ID uzlu	Character varying
frame	ID rámce	Numeric(11,0)
sensor (PFK)	ID senzoru	Character varying
value	Hodnota měření	Character varying
timestamp	Datum a čas pořízení měření	Timestamp without time zone

Tabulka sSensors

Tabulka sSensors (tab. 4.13) je základní tabulkou, která slouží k popisu vlastností jednotlivých senzorů. Pro propojení s měřeními a dalšími vlastnostmi senzoru je použit atribut **sensor**, který v této tabulce slouží i jako primární klíč. Tento atribut je veden v datovém typu *character varying*, vzhledem k různé formě zápisu zkratky senzoru.

Následuje atribut **name**, který obsahuje celý název použitého senzoru. Z tohoto důvodu je veden v datovém typu *character varying* s omezením na 20 znaků, nepředpokládá se, že by název přesáhl tuto hodnotu. Na tento atribut navazuje atribut **description**, který obsahuje krátký popis daného senzoru v textovém datovém typu *character varying* s omezením na 150 znaků.

Atribut **unit** popisuje fyzikální jednotky používané daným senzorem. Používá datový typ *character varying* s omezením na 10 znaků a slouží jako cizí klíč pro připojení číselníku sUnit.

Atribut **fileds** popisuje, kolik veličin měří daný senzor a je veden v datovém typu *numeric* s omezením na 1 číslo, protože se nepředpokládá, že by senzor měřil více než 9 veličin. Atribut **datatype** pak uvádí v jakém konkrétním datovém typu je měřená veličina senzorem, protože výstupy z měření se různí a v tabulce *sSensors* jsou vedeny v textovém formátu. Jedná se o cizí klíč, který odkazuje na číselník datových typů *sDatatype*, kde jsou všechny registrované datové typy pro senzory.

Atribut **precision** popisuje na kolik desetinných míst je daná veličina měřena, respektive kolik desetinných míst má výstup měření. Počet míst je uveden v datovém typu **numeric** s omezením na 2 číslice. Posledním atributem je **response**, který popisuje reakční čas daného senzoru ve vteřinách v datovém typu *numeric* omezeném na 6 číslic a 3 desetinná místa.

Tab. 4.13 Struktura tabulky *sSensors*

Název	Popis	Datový typ
sensor (PK)	ID senzoru	Character varying
name	Název senzoru	Character varying(20)
description	Popis senzoru	Character varying(150)
unit (FK)	Jednotka měření senzoru	Numeric(6,3)
fileds	Počet měřených veličin	Numeric(1,0)
datatype (FK)	Datový typ měřené veličiny	Character varying
precision	Počet desetinných míst	Numeric(2,0)
response	Reakční čas ve vteřinách	Numeric(6,3)

Tabulka *sNodes*

Tabulka *sNodes* (Tab. 4.14) obsahuje informace o počtu a poloze uzlů sítě. Atribut **node**, obsahuje identifikátor uzlu a atribut **location** obsahuje umístění uzlu zapsaného ve formátu WKT do textového datového typu.

Tab. 4.14 Struktura tabulky *sNodes*

Název	Popis	Datový typ
node (PK)	ID uzlu sítě	Character varying
location	Geometrie	Character varying

Tabulka *sRelations*

Tabulka *sRelations* (Tab. 4.15) obsahuje informace o provázání uzlů a senzorů, tedy uzlům jsou přiřazeny použité senzory. Obsahuje dva atributy: **node** a **sensor**. Tyto senzory slouží jako složený primární klíč tabulky a jednotlivě jako cizí klíče pro propojení s tabulkami *sNodes* a *sSensors*.

Tab. 4.15 Struktura tabulky *sRelations*

Název	Popis	Datový typ
node (PK)	ID uzlu sítě	Character varying
Sensor	ID senzoru	Character varying(10)

Tabulka sUnit

Tabulka sUnit (tab. 4.16) je číselník použitých jednotek, ve kterých registrované senzory měří. S tabulkou sSensors je propojen pomocí primárního klíče **unit**. V atributu **description** je uveden základní popis dané jednotky.

Tab. 4.16 Struktura tabulky sUnit

Název	Popis	Datový typ
unit (PK)	Jednotka měření senzoru	Character varying(10)
description	Popis jednotky	Character varying

Tabulka sRange

Tabulka sRange (tab. 4.17) popisuje rozsah hodnot měření daného senzoru. Tedy minimální a maximální hodnotu rozsahu senzoru. Atribut **sensor** je identifikátor daného senzoru v datovém typu *character varying*. **Min** a **max** jsou atributy pro udání hodnot rozsahu v datovém typu *numeric* omezeném na 6 číslic a 2 desetinná místa.

Tab. 4.17 Struktura tabulky sRange

Název	Popis	Datový typ
Sensor (PK)	ID senzoru	Character varying(10)
min	Minimální hodnota rozsahu	Numeric(6,2)
max	Maximální hodnota rozsahu	Numeric(6,2)

Tabulka sPrecision

Tabulka sPrecision (tab. 4.18) popisuje danou přesnost senzoru, tedy velikost jeho chyby. Atribut **sensor** slouží k identifikaci daného senzoru a atribut **value** pak jeho přesnost v datovém typu *numeric* omezeném na 6 číslic a 2 desetinná místa. Atribut **prange** slouží k určení v jakém rozsahu je daná přesnost platná a jako cizí klíč odkazuje na tabulku sPrecisionrange.

Tab. 4.18 Struktura tabulky sPrecision

Název	Popis	Datový typ
sensor (PK)	ID senzoru	Character varying
prange (FK)	ID rozsahu přesnosti	Small integer
value	Hodnota přesnosti senzoru	Numeric(6,2)

Tabulka sSensitivity

Tabulka sSensitivity (tab. 4.19) popisuje jaká je citlivost daného senzoru. Atribut **sensor** identifikuje daný senzor, atribut **sensitivity**, pak popisuje danou citlivost, jaké dosahuje senzor. Atribut **unit** označuje jednotku citlivosti daného senzoru a slouží jako cizí klíč k propojení s číselníkem jednotek sUnit.

Tab. 4.19 Struktura tabulky sSensitivity

Název	Popis	Datový typ
sensor (PK)	ID senzoru	Character varying
value	Hodnota citlivosti senzoru	Numeric(6,3)
unit (FK)	jednotka	Character varying

Tabulka sDatatype

Tabulka sDatatype (Tab. 4.20) slouží jako číselník datových typů, ve kterých jsou výsledky měření jednotlivých senzorů. Atribut **datatype** obsahuje zkratku daného datového typu ve formě textu a atribut **description** obsahuje textový popis daného datového typu.

Tab. 4.20 Struktura tabulky sDatatype

Název	Popis	Datový typ
datatype (PK)	ID senzoru	Character varying(10)
description	Popis dané jednotky	Character varying

4.4.3 Párovací tabulka a párovací mechanismus

Poslední nejdůležitější částí databáze je párovací tabulka a samotný mechanismus párování obrazových a senzorových dat. Tabulka pair (tab. 4.21) obsahuje identifikátory senzorových měření a snímků včetně některých doplňujících informací.

Atribut **pairid** je primárním klíčem a slouží jako identifikátor daného páru dat. Vzhledem k rozsahu senzorových dat je použit datový typ *serial*, protože se předpokládá velký rozsah záznamů. Atribut **mid** je identifikátor měření senzoru ze sítě WSN a společně s atributem **sensor** slouží k propojení s tabulkou sensorparser, kdy jsou všechny akce nastaveny kaskádově. Atribut **mdate** popisuje čas pořízení měření.

Atribut **iid** je identifikátorem snímku a jako cizí klíč slouží k propojení s tabulkou **images**, přičemž všechny akce jsou nastaveny kaskádovitě. Atribut **idate** popisuje datum a čas pořízení snímku.

Tab. 4.21 Struktura tabulky pair

Název	Popis	Datový typ
pairid (PK)	ID páru	serial
mid (FK)	ID měření	integer
sensor (FK)	ID senzoru	Character varying
mdate	Datum a čas měření	Timestamp without time zone
iid (FK)	ID snímku	Small integer
idate	Datum a čas pořízení snímku	Timestamp without time zone

Samotné párování dat je realizováno pomocí dvou triggerů na tabulkách images a sensorparser. Párování dat proběhne vždy, když je do tabulky uložen nový záznam. Pro triggery byly připraveny dvě funkce, pro každou tabulku jeden, ale princip jejich funkce je stejný. Princip fungování je popsán na funkci getIPair, který pracuje s tabulkou snímků images.

Funkce getIPair vkládá do tabulky pair předepsané údaje ze seznamu napárovaných měření a snímků. Prvním krokem je provedení join tabulek sNodes a sensorparser. Dále je pomocí sekvence images_imageid_seq nalezen poslední vložený snímek, jehož geometrie je následně porovnávána s geometrií dostupných uzlů v databázi. Prostorové párování je realizováno pomocí funkce ST_Within, která je součástí prostorové nadstavby PostGIS databáze PostgreSQL. Následuje porovnání data a času pořízení snímku s datem a časem vzniku měření. Pomocí vestavěné funkce between jsou hledány měření, které se nachází v rozmezí 15 minut od vzniku snímku. Takto je sestaven seznam napárovaných hodnot, který je pak pomocí INSERT vložen do tabulky pair.

Funkce triggeru pro tabulku sensorparser se liší pouze v tom, že hledá poslední vložené měření v sekvenci sensorparser_id_seq a polohu měření (poloha uzlu) porovnává s dostupnými snímky.

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION public.getipair()
RETURNS trigger AS
$BODY$
begin

insert into pair(mid,sensor,mdate,iid,ideate)
select
    sensorparser.id as mid,
    sensorparser.sensor as sensor,
    sensorparser.timestamp as mdate,
    images.imageid as iid,
    images.date as ideate
from
    images,
    images_imageid_seq,
    sensorparser
inner join snodes on sensorparser.node = snodes.node
where
    images.imageid = images_imageid_seq.last_value
and
    (ST_Within(snodes.location::geometry,
    images.geom::geometry) = true)
and
    (images.date between (sensorparser.timestamp - time
    '00:15') and (sensorparser.timestamp + time '00:15'))
order by mid, iid asc
;
return new;
end;
$BODY$
LANGUAGE plpgsql;
```


4.4.4 Import dat do databáze

Pro import dat do databáze byly připraveny dva skripty v jazyce Python 2.7. K připojení do databáze oba skripty používají knihovnu pycogp2, která je určena pro práci s databází PostgreSQL skrze skriptovací jazyk Python.

Import obrazových dat

Skript k importu obrazových dat, kromě výše zmíněné knihovny dále používají další knihovny. Jedná se především o knihovnu ArcPy, která slouží k získání některých informací o snímku, jako je jeho geometrie a prostorové rozlišení. K tomuto byl použit nástroj arcpy.GetRasterProperties_management. Knihovna sys slouží ke vstupu dat, v tomto případě k vstupu csv souboru obsahující za zálohované informace času pořízení snímku, pokrytí mračky, sněhem a SNR, a přihlašovacích údajů k databázi, vstupní složky a některých údajů o snímku. Ke zpracování vstupního csv souboru také slouží knihovna csv. Knihovna datetime slouží ke zpracování časových údajů a k jejich převedení do správného formátu před uložením do databáze. Knihovna time je použita k měření běhu skriptu.

Skript také kontroluje vstupní informace o kameře, formátu a úrovni korekcí vůči příslušným číselníkům v databázi. Pokud dané informace nesouhlasí s daty v databázi, pak skript a import do databáze neproběhne.

Import senzorových dat

Skript k importu senzorových dat, kromě výše zmíněné knihovny pycogp2 používá i další knihovny. Zvláště pak knihovnu csv pro práci se samotnými daty v souborech csv a knihovnu sys pro vstup dat. Knihovna time slouží k měření běhu skriptu.

Vzhledem k tomu, že údaje v souborech jsou už během předchozího procesu několikrát kontrolovány, tak nedochází k jejich další kontrole.

5 VÝSLEDKY

Výsledky magisterské práce jsou ve dvou hlavních oblastech: zpracování dat a párovací databáze. Oblast zpracování dat se dá dále rozdělit podle typů zdrojových dat na sensorová a obrazová data.

Pro zpracování obrazových dat byl připraven postup zpracování včetně příslušných nástrojů pro jejich zpracování. V rámci magisterské práce je popsán vznik a způsob řešení některých zdrojů chyb v obrazových datech, čímž lze DN hodnoty obrazu více přiblížit požadovaným hodnotám odrazivosti. Na základě navrženého postupu pak vznikl toolbox pro software ArcGIS, který obsahuje nástroje pro aplikaci vybraných korekcí a to jak pro prosté zpracování snímků, tak pro přípravu snímků, které budou vstupovat do databáze. Obsažené nástroje umožňují dávkově zpracovat velké množství snímků. Ruční příprava takto velkého objemu snímků by byla mimo rozumný časový rámec. Navíc jsou v toolboxu připraveny i nástroje pro přípravu korekčních snímků, které tak lze připravit pro konkrétní kameru a nastavení expozičních parametrů.

Pomocí přichystaných nástrojů byly připraveny dva korekční snímky pro korekci šumu v obrazu a vinětaci obrazu pro nejběžnější nastavení ADC kamery. Pomocí těchto korekčních snímků a dalších připravených nástrojů byly zpracovány snímky ze všech 5 snímkování a byly připraveny pro import do databáze pomocí připraveného skriptu.

Pro zpracování sensorových dat byla připravena řada skriptů, které slouží k přípravě dat pro vložení do databáze. První skript slouží k vyčištění dat od řady chyb, se kterými jsou data generována z brány sítě WSN. Dále jsou v rámci tohoto skriptu kontrolovány i naměřené hodnoty. Druhý skript se pak stará o parsování dat na jednotlivé záznamy a převádí je do struktury vhodné pro import do databáze. Pomocí připravených skriptů byly zpracovány data získaná z vybudované sensorové sítě v areálu PřF Palackého univerzity v Olomouci-Holici.

V rámci druhé části pak vznikla párovací databáze, která byla navržena tak aby kromě ukládání obrazových a sensorových dat, včetně řady doplňkových informací popisujících vlastnosti sensorů a kamer, se starala se o časové a prostorové párování uložených dat. K uložení dat do databáze byly také připravené příslušné skripty.

6 DISKUZE

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, jsou snímky z multispektrální kamery ovlivněny řadou faktorů od vlivů prostředí po vliv samotné konstrukce kamery. V rámci práce byly řešeny jen některé zdroje nepřesnosti výsledných DN hodnot snímku a to vliv šumu a vinětace objektivu, další faktory jako je Monochromatic response a Lense distortion řešeny nebyly (Kelcey a Lucieer, 2012). Redukce šumu a vinětace snímku příznivě ovlivnili výsledné DN hodnoty snímku, jako byla redukce vlivu instalovaného filtru kamery a viditelné ztmavení okrajů snímku, tak by se pro další práci se snímky mělo minimálně přikročit i k redukci vlivu distorze objektivu, která je na některých snímcích viditelná. Redukce vlivu distorze objektivu by se pak pravděpodobně pozitivně odrazila na kvalitě výsledných snímku a mozaiky.

Zvláště u mozaiky snímků byl častý problém nedostatek dostatečně kvalitních snímků (z pohledu svislosti osy snímání). Zvláště ve střední části experimentální lokality se nedostatek snímku projevoval řadou deformací a tak výsledná mozaika neodpovídala přesně prostorovému vymezení jednotlivých experimentálních polí na ploše. Vzhledem k „ručnímu“ snímání a ovládání UAV a ADC kamery je tento problém pochopitelný a těžko řešitelný. Řešením by byla pravděpodobně další investice do platformy, kdy by UAV ovládal autopilot na základě předem připravených náletových os. To by si však vyžádalo investice nejen do autopilota, ale i dostatečně lehkého GPS snímače pro přesné určení polohy UAV. Pro zpracování takto připravených snímků je vybaven i v této práci použitý software Image Composite Editor, který dokáže při zpracování snímků do mozaiky zohlednit, že byly pořízeny v náletových osách (řadách) a to včetně spočítaného překryvu jednotlivých snímků, tak i řad.

Postup navržený pro zpracování korekčních snímků počítal s tím, že by bylo možné připravit korekční snímky vždy pro konkrétní snímkování, tedy vždy konkrétní nastavení kamery (nastavení clony a závěrky se množstvím šumu a vinětace ve snímku podílí nejvíce) přímo v terénu před nebo po snímkování. V rámci zpracování práce byly připraveny korekční snímky, při jejichž zpracování se ukázalo, že jejich příprava v terénu nemusí být úplně možná. Vytvoření snímku pro dark offset subtraction je v terénu ještě možné, ale musí být kladen důraz na to, aby bylo skutečně zamezeno přístupu jakéhokoli záření k přístroji. I počet snímku 32 se jeví jako dostatečný pro vytvoření kvalitního korekčního snímku. Co se týče pořízení snímku pro flat field correction, tam je situace obtížnější. Je potřeba dobré osvětlení odrazné desky a pořízení dostatečného množství snímků. Zajistit dostatečně rovnoměrné osvětlení bez stínů a tak aby světlo dopadalo na desku pokud možno co nejvíce shora, může být v terénu výzva. Z tohoto důvodu by bylo lepší tyto snímky pořizovat až po snímkování, kdy je však potřeba zajistit umělý zdroj záření a to takový aby vyzařoval v celém spektru zachycovaném použitou kamerou (u infračervených kamer je potřeba brát v úvahu, že většina svítidel jako zářivky a LED pracují pouze ve viditelném spektru).

Senzorová data získaná z WSN sítě postavené na produktech firmy Libelium. Bohužel obsahovala řadu chyb, se kterými nebylo vždy jednoduché se vypořádat. Většinu chyb, která pravděpodobně vznikla v bráně při exportu z interní databáze brány do souboru csv, se podařilo vyřešit. V případě rozdělených záznamů byla otázka, ke kterému času se druhá půlka záznamu vztahuje. Firma Libelium k tomuto problému nenabízí vysvětlení, proto se předpokládalo, že pouze brána nestihla v daném časovém momentu zapsat údaje do interní databáze a proto byla druhá půlka záznamu časově vztažena k první části. Tedy že rozdělení záznamu došlo v důsledku zpoždění zpracování signálu v bráně. Tento předpoklad podporuje i to, že časový rozdíl mezi těmito záznamy

nepřesahoval jednu vteřinu. Problém, který se nepodařilo uspokojivě vyřešit, bylo spojení dvou měření do jednoho záznamu. Vzhledem k různé délce záznamů, se nedá daný záznam v rámci skriptu rozdělit, proto byly takovéto záznamy převedeny do chybového souboru k ruční úpravě. Podobně byly do chybového souboru převedeny záznamy, kde se hodnoty veličin pohybovali mimo definované rozmezí.

Pro vytvoření vlastní databáze, která byla hlavním cílem této práce, byl zvolen systém PostgreSQL, jelikož se jedná o open-source s řadou potřebných nadstaveb. Předně šlo o prostorovou nadstavbu PostGIS, která posloužila k prostorovému párování dat, a replikační nadstavbu Slony-I, která měla být použita pro replikaci databáze, jak se v pozdějších fázích bohužel ukázalo, nedokáže už Slony-I společně s PostgreSQL spolupracovat na platformě Windows a tento stav bez komplikované rekompilace není řešitelný. Proto v rámci práce není replikace a zálohování databáze i přes původní plány řešeno. Řešením by mohla být migrace na jiný databázový systém případně přechod na Linux, kde by mělo Slony-I fungovat a PostgreSQL nabízí i další replikační nástroje.

Diskuse obsahuje kritický postoj k vlastní práci (proč je naměřeno jen 50 bodů, proč je přesnost měření 1 m apod.) a jeho objasnění (protože jeden bod se měří 2 dny, protože přístroj přesnější měření neumožňuje atd.).

V rámci databáze může působit zvláště nepropojení některých tabulek popisující vlastnosti senzorů s tabulkou senzorů pomocí cizích klíčů. Tento postup byl zvolen z toho důvodu, že řada vlastností není v technické dokumentaci senzorů uvedena nebo nejsou z principu funkce senzoru definovatelné. Zavedení cizích klíčů by tak vytvářelo problémy některých senzorů.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo spárovat dva zdroje dat používané v precizním zemědělství a to data DPZ a sensorová data z WSN sítě. K tomu bylo nutné se seznámit s těmito datovými zdroji a jejich využitím v oblasti precizního zemědělství. A to jak s jejich klady, tak zápory.

Dálkový průzkum země nabízí možnost získat kompletní data z celé sledované oblasti v jeden okamžik. Různé platformy od satelitních po UAV navíc umožňují získat data bezmála v uživateli předem definovaných parametrech. Využití multispektrálních ale i hyperspektrálních kamer dovoluje zkoumat zejména variability vegetace. Pro sledování variability vegetace mají metody DPZ řadu výhod od získání informací z celého sledovaného území za jeden okamžik až po možnost provádět takovéto měření častěji a levněji, než dovolovaly klasické metody. Sledování variability půdy pomocí metod DPZ má omezené využití dané snímáním pouze povrchu a velkým vlivem půdní vlhkosti a omezeným časovým rozsahem vhodným pro snímkování (povrch nesmí být zakryt vegetací).

Pro sledování půdních parametrů, jako je půdní vlhkost, obsah živin a pH půdy, se dnes více využívají různé typy senzorů od stabilně umístěných, sledujících převážně půdní vlhkost, až po senzory umístěné na různou techniku. Tyto senzory využívají různé fyzikální vlastnosti půdy.

Za zvláštní typ stabilně umístěných senzorů lze považovat bezdrátové sensorové sítě. Ty kromě sledování půdních vlastností mohou sledovat i řadu dalších jevů. Zvláště v ovocnářství se využívá hlavně sledování meteorologických jevů, například za účelem ochrany vegetace před mrazovými jevy, které by mohli nepříznivě ovlivnit úrodu.

V rámci práce byly použity obrazová multispektrální data z kamery Tetracam ADC nesené UAV systémem Hexacopter. Pro takto získané snímky byl navržen postup zpracování, který zahrnoval především způsoby korekce snímku, aby bylo dosaženo relevantnějších DN hodnot. Na základě tohoto postupu byl připraven toolbox pro program ArcGIS s nástroji pro přípravu korekčních dat a následné dávkové zpracování snímků. Ze sensorových dat byla použita bezdrátová sensorová síť postavená z prvků nabízených firmou Libelium. Jednalo se především o meteorologické senzory (teplota a vlhkost vzduchu, srážky, směr a rychlost větru) a senzory pro sledování složení atmosféry (obsah CO₂, NO₂ a dalších plynů). Data získaná z této sítě bylo nutné upravit, aby byly ve formě vhodné k uložení. Jednalo se především o odstranění nebo opravení chybných záznamů a parsování dat na jednotlivé hodnoty. Pro výsledná data byly připraveny skripty, které umožňují dávkový import obou typů dat do databáze.

Už z podstaty vzniku těchto dat se jedná o velmi rozdílná data. Jejich párování v jednom datovém zdroji je obtížné. Výsledná databáze musela pojmout jak sensorová data, která jsou bodového charakteru, tak obrazová data. To včetně popisných informací o senzorech a uzlech sítě (poloha a vlastnosti jednotlivých senzorů), tak i popisné informace o snímcích a charakteristikách použitých kamer.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Agüera, F.; Carvajal, F.; Pérez, M. Measuring sunflower nitrogen status from an unmanned aerial vehicle-based system and an on the ground device. In Proceedings of the Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland, 14–16 September 2011; Volume 38(1/C22).

Agricultural Digital Camera User's Guide: Version 2.3 [online]. Chatsworth, CA 91311 USA: Tetracam Inc, 2011 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.tetracam.com/PDFs/ADC%20Users%20Guide%20V2.3.pdf>

Al-amri, S.S.; Kalyankar, N.V.; Khamitkar, S.D. A comparative study of removal noise from remote sensing image. *J. Comput. Sci.* 2010, 7, 32–36.

ArcData. ArcData Praha [online]. Praha, Česká Republika: ArcData Praha [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz>

Bastiaanssen, W. G. M., Molden, D. J., & Makin, I. W. (2000). Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, 46, 137e155.

Bauer, M. E., & Cipra, J. E. (1973). Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data. LARS Technical Reports. Paper 20. <http://docs.lib.purdue.edu/larstech/20>. W. Lafayette, IN: Purdue Univ.

Bausch, W. C., & Khosla, R. (2010). QuickBird satellite versus ground-based multi-spectral data for estimating nitrogen status of irrigated maize. *Precision Agriculture*, 11, 274e290.

Ben-Dor, E. (2010). Characterization of soil properties using reflectance spectroscopy. Ch. 22. In P. S. Thenkabail, J. G. Lyon, & A. Huete (Eds.), *Hyperspectral remote sensing of vegetation* (pp. 705). Boca Raton, FL: CRC Press

Bhatti, A. U., Mulla, D. J., & Frazier, B. E. (1991). Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Remote Sensing of Environment*, 37, 181e191

BRODSKÝ, Lukáš. Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra agrochemie a výživy rostlin, 2004. ISBN 80-213-1100-2.

Bronson K, Booker J, Officer S, Lascano R, Maas S, Searcy S, Booker J. Apparent electrical conductivity, soil properties and spatial covariance in the U. S. Southern High Plains. *Precision Agric.* 2005;6:297-311..

CANDIAGO, Sebastian, Fabio REMONDINO, Michaela DE GIGLIO, Marco DUBBINI a Mario GATTELLI. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sensing* [online]. 2015, 7(4), 4026-4047 [cit. 2016-04-25]. DOI: 10.3390/rs70404026. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4026/>

Comparing the DUALEM and VÉRIS sensor for mapping soil properties. SERRANO, J., S. SHAHIDIAN a J. MARQUES DA SILVA. *Precision agriculture '13*. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2013, s. 25-32. ISBN 9789086862245.

Corwin, D. L., Lesch, S. M. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2005, vol. 46, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 103-133. ISSN 0168-1699

Clay, D. E., Kim, K.-I., Chang, J., Clay, S. A., & Dalsted, K. (2006). Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. *Agronomy Journal*, 98, 579e587.

Datt, B., Jupp, D., McVicar, T., & Van Niel, T. (2003). Time series analysis of EO-1 Hyperion data for yield estimation at an agricultural site. *Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS Proceedings IEEE International*, 1, 564e566

Dinkins, C. P., Jones, C. *Soil Sampling Strategies. Agriculture and Natural Resources (Fertilizers)*. 2008,4
<http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200803AG.pdf>

Goel, P. K., Prasher, S. O., Landry, J. A., Patel, R. M., Bonnell, R. B., Viau, A. A., et al. (2003). Potential of airborne hyperspectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. *Computers and Electronics in Agriculture*, 38, 99e124.

Goldman, D.B. Vignette and exposure calibration and compensation. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2010, 32, 2276–2288

HABOUDANE, Driss, John R. MILLER, Nicolas TREMBLAY, Pablo J. ZARCO-TEJADA a Louise DEXTRAZE. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*. 2002, (81), 416-426.

Hunt, E.R.J.; Hively, W.D.; Daugtry, C.S.T.; McCarty, G.W. Remote sensing of crop leaf area index using unmanned airborne vehicles. In *Proceedings of the Pecora 17 Conference, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Denver, Colorado, 18–20 November 2008*.

Image Composite Editor. Microsoft Research [online]. Microsoft, 2015 [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/projects/ice/>

JENNY, Hans. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. New York: Dover, c1994. ISBN 04-866-8128-9.

KELCEY, Joshua a Arko LUCIEER. Sensor Correction of a 6-Band Multispectral Imaging Sensor for UAV Remote Sensing. *Remote Sensing* [online]. 2012,4(12), 1462-1493 [cit. 2016-04-28]. DOI: 10.3390/rs4051462. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/4/5/1462/>

Kim, M. S., Daughtry, C. S. T., Chappelle, E. W., McMurtrey III, J. E., & Walthall, C. L. (1994). The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar). Proceedings of the 6th Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, January 17–21, 1994, Val D'Isere, France (pp. 299–306).

Klem, K., Hřivna, L., Ryant, P., Míša, P. (2011): Využití diagnostických metod pro rozhodovací procesy v pěstební technologii jarního ječmene. Kroměříž: Agrotest fyto, s.r.o., Kroměříž, 88 s. ISBN 978-80904597-0-3

KUBÍČEK, Petr a Vojtěch LUKÁŠ. Geovisualization and Application of Wireless Sensor Networks in Agriculture. In: Ostravská univerzita [online]. Ostrava: Ostravská univerzita [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://konference.osu.cz/cgsostrava2010/dok/Sbornik_CGS/Kratografie_geoinformatika/Vyuziti_bezdratovych_senzorovych_siti.pdf

Lamb, D. W., & Brown, R. B. (2001). Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 117e125.

Libelium - Plug&Sense!: Technical Overview. Libelium - Plug&Sense! [online]. Španělsko: Libelium [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.libelium.com/products/plugin-sense/technical-overview/>

Lipavský, J. (2000): Precizní zemědělství ve světě a v České republice. In: Uplatňování precizního zemědělství v České republice. MJM Group a.s., Olomouc, s. 8-14

LONG, Garrell, Denis A. JOHNSON, Thomas LEY a Tae Ro HO. Information Delivery System Links Weather and Crop Production through Integrated Pest Management [online]. In: . [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://public.wsu.edu/~long/Cancun.pdf>

LÓPEZ RIQUELME, J.A., F. SOTO, J. SUARDÍAZ, P. SÁNCHEZ, A. IBORRA a J.A. VERA. Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2009, 68(1), 25-35 [cit. 2016-04-25]. DOI: 10.1016/j.compag.2009.04.006. ISSN 01681699. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169909000660>

LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi [online]. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011 [cit. 2016-04-24]. ISBN 978-80-7375-562-1.

LUKAS, Vojtěch. Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství: metodika pro praxi. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. Metodika pro praxi (Mendelova univerzita v Brně). ISBN 978-80-7375-686-4.

MALÝ, Michal. Aplikace metod CI se zaměřením na precizní zemědělství. Praha, Česká Republika, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Zdeněk Molnár, CSc.

Mansouri, A.; Marzani, F.; Gouton, P. Development of a protocol for CCD calibration: Application to a multispectral imaging system. *Int. J. Robot. Autom.* 2005, 20, DOI: 10.2316/Journal.206.2005.2.206-2784.

Matese, A.; Capraro, F.; Primicerio, J.; Gualato, G.; Di Gennaro, S.F.; Agati, G. Mapping of vine vigor by UAV and anthocyanin content by a non-destructive fluorescence technique. In *Precision Agriculture*; Wageningen Academic Publishers: Lleida, Spain, 2013; pp. 201–208.

Mathews, A.J.; Jensen, J.L.R. Visualizing and quantifying vineyard canopy LAI using an unmanned aerial vehicle (UAV) collected high density structure from motion point cloud. *Remote Sens.* 2013, 5, 2164–2183.

Meshlium Xtreme: Technical Guide. Libelium [online]. Španělsko: Libelium, 2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://www.libelium.com/downloads/documentation/meshlium_technical_guide.pdf

Minasny, B., McBratney, A. B., Walvoort, D. J. J. The variance quadtree algorithm: Use for spatial sampling design. *Computers and Geosciences.* 2007, vol. 33, no. 3, pp. 383–392. ISSN 00983004

Miglani, A., Ray, S., Pandey, R., & Parihar, J. (2008). Evaluation of EO-1 Hyperion data for agricultural applications. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 36, 255e266.

Modified Soil-adjusted Vegetation Index. The Landscape Toolbox [online]. 2012 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:modified_soil-adjusted_vegetation_index

Mulla, D. J. (1997). Geostatistics, remote sensing and precision farming. In A. Stein, & J. Bouma (Eds.), *Precision agriculture: Spatial and temporal variability of environmental quality*. Ciba foundation symposium 210 (pp. 100e119). Chichester, UK: Wiley.

MULLA, David J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*. 2012, (114), 358-371. ISSN 15375110.

Neukirchen, D., Lammel, J. (2002): The chlorophyll content as an indicator for nutrient and quality management. *Nawozy i Nawozenie–Fertilizers and Fertilization* 11: 89–109.

Nebiker, S.; Annen, A.; Scherrer, M.; Oesch, D. A light-weight multispectral sensor for micro UAV—Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences; International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*: Beijing, China, 2008; Volume 37(B1).

O aplikaci Registr půdy. EAgri: Portál farmáře [online]. Ministerstvo zemědělství, 2015 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/>

Pierce, F. J., Nowak, P., Donald, L. S. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999, vol. 67, pp. 1-85. ISSN 0065-2113

PIERCE, F.J. a T.V. ELLIOTT. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2008, 61(1) [cit. 2016-04-25]. DOI: 10.1016/j.compag.2007.05.007. ISSN 01681699. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169907001664>

PostgreSQL: About. PostgreSQL [online]. The PostgreSQL Global Development Group, 2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.postgresql.org/about/>

Precision farming and variable rate technology: A Resource Guide. ARECA [online]. Alberta, Kanada: Agricultural Research and Extension Council of Alberta, 2010 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://areca.ab.ca/userfiles/files/VRT_Resource_Manual_Mar_2010.pdf

Remote sensing. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing#Data_processing_levels

Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55, 95–107.

Seelan, S. K., Laguetta, S., Casady, G. M., & Seielstad, G. A. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: a learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88, 157e169.

Shanahan, J. F., Schepers, J. S., Francis, D. D., Varvel, G. E., Wilhelm, W. W., Tringe, J. M., et al. (2001). Use of remote sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomy Journal*, 93, 583e589.

SHIRISH, Patil a Satish A. BHALERAO. Precision farming: The most scientific and modern approach to sustainable agriculture. Science & Engineering [online]. 2013, (1), 21-30 [cit. 2016-04-24]. ISSN 2322-0015. Dostupné z: <http://oaji.net/articles/2014/731-1396632050.pdf>

SMUTNÝ, Vladimír. Význam technologií zpracování půdy a dalších agrotechnických opatření při pěstování obilnin: certifikovaná metodika [online]. Vydání: první. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015 [cit. 2016-04-24]. ISBN 978-80-7509-369-1.

SOBOTA, Lukáš. Využití geodetického sběru dat v precizním zemědělství. Praha, 2009. Bakalářská práce. Západočeská universita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Karel Jedlička.

Soil-adjusted Vegetation Index. The Landscape Toolbox [online]. 2013 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:soil-adjusted_vegetation_index

Tetracam Inc.: PixelWrench2. Tetracam Inc. [online]. Chatsworth, CA 91311 USA: Tetracam Inc., 2015 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://www.tetracam.com/Products_PixelWrench2.htm

Tetracam Inc.: ADC. Tetracam Inc. [online]. Chatsworth, CA 91311 USA: Tetracam Inc. [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.tetracam.com/Products-ADC.htm>

Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., & Huete, A. (2010). Hyperspectral remote sensing of vegetation and agricultural crops: knowledge gain and knowledge gap after 40 years of research. Ch. 28. In P. S. Thenkabail, J. G. Lyon, & A. Huete (Eds.), Hyperspectral remote sensing of vegetation (pp. 705). Boca Raton, FL: CRC Press.

PAWS. The Weather Center [online]. [cit. 2016-08-09]. Dostupné z: <http://www.weatherwatch.com/PAWS/YESTERDAY.htm>

WANG, N., ZHANG, N., WANG, M. (2006): Wireless sensors in agriculture and food industry - Recent development and future perspective. Computers and Electronics in Agriculture. vol. 50, no. 1, s. 1-14.

Waspnote Plug & Sense!: Sensor Guide. Libelium [online]. Španělsko: Libelium, 2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspnote_plug_and_sense_sensors_guide.pdf

Wollenhaupt, N.C., Mulla, D.J., Gotway, M.S., Crawford, C.A. (1995): Soil Sampling and Interpretation Techniques for Mapping Spatial Variability of Soil Properties. The State of Site-Specific Management for Agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, 667, 2: 19-53, (Eds. Pierce F.J., Sadler E.J.).

Wu, C., Wang, L., Niu, Z., Gao, S., & Wu, M. (2010). Nondestructive estimation of canopy chlorophyll content using Hyperion and Landsat/TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 2159e2167

Yang, C., Everitt, J. H., Bradford, J. M., & Escobar, D. E. (2000). Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery. *Transactions of the ASAE*, 43, 1927e1938.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

- Příloha 1 Celá struktura databáze PairDB_v2
- Příloha 2 Struktura senzorové části databáze
- Příloha 3 Struktura obrazové části databáze

Volné přílohy

- Příloha 4 Poster
- Příloha 5 2ks DVD

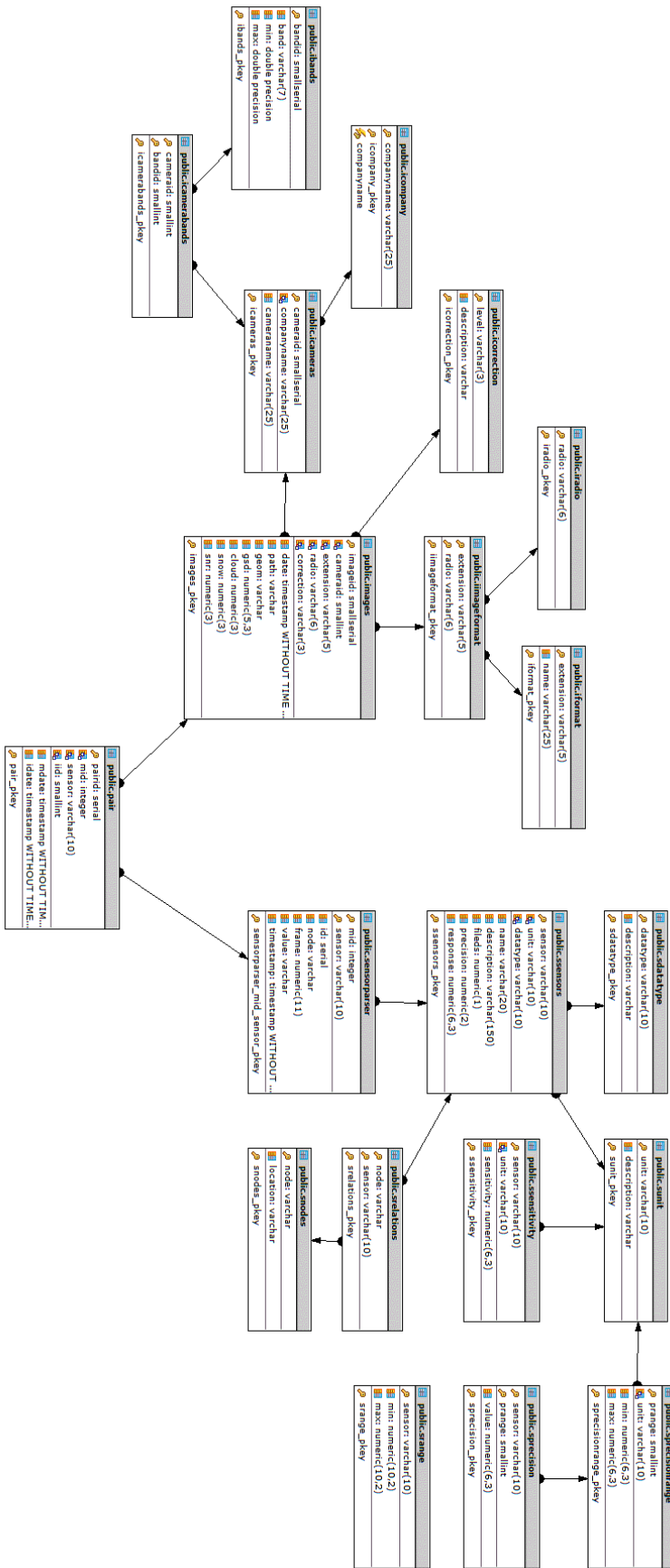
Struktura DVD 1/2

- Metadata
- Text_prace
- Vstupni_Data
 - o Senzorova_data
- Vystupni_data
 - o Databaze
 - o Korekcni_Snimky
 - o Obrazova_Data
 - 04_holice
 - 05_holice
 - o Senzorova_Data
 - Skripty
 - o Toolbox

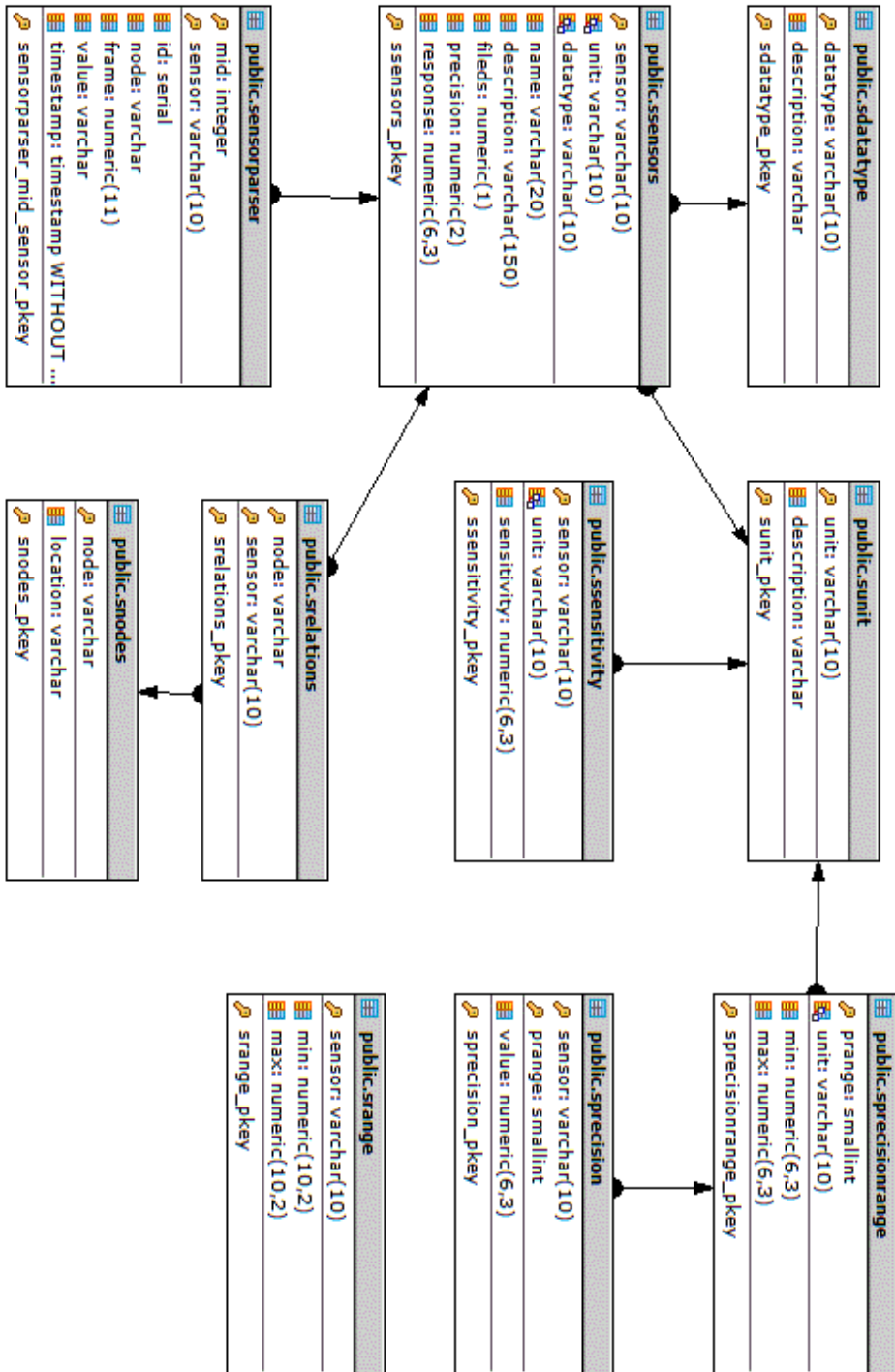
Struktura DVD 2/2

- Vystupni_Data
 - o Obrazova_Data
 - 05_holice_II
 - 06_holice
 - 07_holice

Příloha 1 – Struktura celé databáze PairDB_v2



Příloha 2 – Struktura senzorné části databáze



Příloha 3 – Struktura obrazové části databáze

