

Integrace obrazových materiálů s daty ze senzorové sítě

Univerzita Palackého v Olomouci

Dedikace

Tato metodika byla vytvořena v rámci projektu TA 04020888 *Bezkontaktní monitorování a časoprostorové modelování variability vybraných diferenciacních vlastností půdy*. Projekt byl realizován Univerzitou Palackého v Olomouci, Katedrou geoinformatiky ve spolupráci s Mendelovou univerzitou v Brně a společností SATTURN HOLEŠOV spol. s r. o., s finanční podporou Technologické agentury České republiky.



Zpracovali

doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D. - Univerzita Palackého v Olomouci, (50 %)

Mgr. Tomáš Pohanka - Univerzita Palackého v Olomouci, (20 %)

Ing. Vojtěch Julina – SATTURN Holešov, spol. s r. o., (20 %)

Ing. Helena Kilianová, Ph.D., - Univerzita Palackého v Olomouci, (5 %)

Bohumil Uličník, DiS. – SATTURN Holešov, spol. s r. o., (5 %)

Číslo v závorce udává podíl práce na tvorbě metodiky.

Oponenti

Ing. Miroslav Florián, Ph.D. - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

doc. RNDr. Petr Kubíček, CSc. - Masarykova univerzita

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

© Vilém Pechanec, Tomáš Pohanka, Vojtěch Julina, Helena Kilianová, Bohumil Uličník, 2017

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2017

ISBN 978-80-244-5126-8 (online : PDF)

Obsah

Seznam zkratk.....	5
I. Cíl metodiky.....	6
II. Vlastní popis metodiky.....	7
1 Obrazová data.....	7
1.1 Základní principy DPZ.....	7
1.2 Rozlišení obrazových snímků.....	9
1.3 Získání dat.....	10
1.3.1 Družicové senzory.....	10
1.3.2 Pozemní senzory.....	11
2 Senzory.....	12
2.1 Analogové senzory.....	12
2.2 Digitální senzory.....	14
2.3 Požadavky na měření.....	16
2.4 Základní a doplňkové informace o senzoru.....	16
2.5 Energetická náročnost.....	17
3 Přenos naměřených dat.....	19
3.1 Dostupné komunikační technologie.....	19
3.1.1 Mobilní síť 3G a LTE.....	19
3.1.2 Bezdrátové síť LAN – WLAN.....	20
3.1.3 LPWAN síť.....	20
3.1.4 Bezlicenční pásma.....	22
3.2 Objemy přenášených dat.....	23
3.3 Používané formáty pro přenos dat.....	24
3.3.1 JSON.....	24
3.3.2 XML.....	27
3.4 Základní standardy a protokoly.....	27
3.4.1 IEEE 802.15.4.....	27
3.4.2 ZigBee.....	29
3.4.3 Sensor Web Enablement.....	31
4 Uložení měřených dat.....	33
4.1 Prostorová databáze.....	33
4.2 Uložení dat v prostorové databázi.....	34
4.2.1 Well-known text.....	34
4.2.2 Well-known binary.....	35
4.3 Vybrané dostupné nekomerční řešení.....	36
4.3.1 PostgreSQL & PostGIS.....	36
4.3.2 SQLite + Spatialite.....	36
4.4 Optimalizace způsobu uložení dat.....	37
5 Zpracování naměřených dat.....	38
5.1 Předzpracování obrazových dat.....	38
5.1.1 Odstranění šumu.....	38
5.1.2 Odstranění viněťace.....	40
5.1.3 Spojení pásem snímku.....	41
5.1.4 Vytvoření panoramatických snímků.....	41
5.2 Předzpracování sensorových dat.....	44
5.2.1 Parsování dat.....	46
6 Zobrazení měřených dat.....	47
7 Integrace dat.....	48

7.1 Integrace na úrovni uložení dat.....	49
7.1.1 Obrazová část.....	50
7.1.2 Senzorová část.....	55
7.1.3 Integrační mechanismus.....	60
7.2 Integrace na úrovni zobrazování dat.....	62
III. Srovnání novosti postupů.....	64
IV. Popis uplatnění certifikované metodiky.....	65
V. Ekonomické aspekty.....	66
VI. Seznam použité související literatury.....	67
VII. Seznam publikací, které předcházely metodice.....	70

Seznam zkratek

3G	3G	třetí generace mobilních telekomunikačních technologií (zařízení, síť) pro přenos hlasu, dat, obrazu s rychlostí alespoň 200 kbps
DBMS	database management system	Aplikace komunikující s uživatelem, jinými aplikacemi a databází, ukládající a analyzující data
DPZ		dálkový průzkum Země
DLR	Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt	Německá kosmická agentura
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	technologie přímo rozprostřeného spektra
GPRS	General Packet Radio Service	služba umožňující uživatelům mobilních telefonů GSM přenos dat a připojení k Internetu
GCP	Ground Control Points	pozemní identické body pro georeferencování obrazu
GIS	Geographic Information System	geografický informační systém
GPS	Global Positioning System	navigační, polohu určující systém
GSM	Groupe Spécial Mobile	globální systém pro mobilní komunikaci
HW	hardware	technické vybavení počítače
Hz	Hertz	jednotka frekvence (kmitočtu) v soustavě SI
ID		identifikátor umožňující jednoznačnou identifikaci objektu, procesu, jedince
LAN	Local Area Network	lokální (místní) počítačová síť, která pokrývá malé geografické území typu domácnost, malá firma
LPWAN	Low-Power Wide-Area Networks	střední cesta mezi mobilními sítěmi s velkým dosahem a lokálními bezdrátovými sítěmi
LTE	Long Term Evolution	technologie určená pro vysokorychlostní internet v mobilních sítích, nástupce GSM
M2M	Machine-to-machine	přímá komunikace různými komunikačními kanály mezi zařízeními (drátově i bezdrátově)
mA	miliAmper	jednotka elektrického proudu v soustavě SI
RAW	raw	formát nezpracovaného grafického souboru
RS-232		komunikační sériová linka
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter	univerzální asynchronní přijímač a vysílač
UAV	Unmanned Aerial Vehicles	bezpilotní letadlo (dron)
UNB	ultra-narrowband	technologie úzkopásmového přenosu signálu
V	Volt	jednotka elektrického napětí, resp. elektrického potenciálu v soustavě SI,
WAN	Wide Area Network	počítačová síť pokrývající rozlehlé geografické území, příkladem je Internet
WWW	World Wide Web	Internetový protokol / síť vzájemně propojených (hypertextových) dokumentů přístupných na Internetu
XML	eXtensible Markup Language	rozšiřitelný značkovací jazyk

I. Cíl metodiky

Základním cílem metodiky je informovat odbornou veřejnost a zemědělskou praxi o soudobých možnostech integrace obrazových materiálů s daty ze sensorové sítě, jež může být nápomocna uplatnění principů lokálně cíleného obhospodařování, tzv. precizního zemědělství.

Konkrétními cíli metodiky je podat:

- i) podat přehled vhodných datových zdrojů, datových struktur a formátů pro multispektrální snímky a data ze sensorového měření,
- ii) vymežit způsoby možné integrace a nezbytné technologické požadavky pro její realizaci, které umožňují vzájemnou integraci v jednom datovém úložišti,
- iii) předložit ověřenou posloupnost jednotlivých fází sběru, přenosu a uložení dat, jež umožňuje automatickou integraci a následné využití při analýze půdních vlastností.

Vše je koncipováno s přihlédnutím na dostupné bezplatné alternativy při zpracování tak, aby při zachování odbornosti zpracování došlo k minimalizaci nákladů a koncový uživatel nebyl zatížen zbytečnými náklady.

Metodika je jedním z výstupů projektu TACR 04020888 – Bezkontaktní monitorování a časoprostorové modelování variability vybraných diferenciačních vlastností půdy. Vlastní metodika je založena na kombinaci informací z odborné literatury a vlastních poznatků získaných nejen v období řešení projektu 2015-2017, ale i během předcházejících výzkumů. Všechny výstupy projektu, jež jsou uvedeny na webové stránce projektu (<http://gislib.upol.cz/moseso/>), tvoří komplexní řešení daného problému – nové experimentální znalosti, metodiky pro užití v praxi, vyvíjený inovativní hardware a software, včetně přenosových protokolů.

O významu a potřebě technologicky podpořit lokálně cílené hospodaření v našich podmínkách svědčí i existence několika dalších projektů s velmi příbuznou tematikou, jenž mají stejný cíl, ale mírně odlišné výzkumné otázky a řešené úkoly. Zde je třeba zmínit aktivity Mendelovy university v Brně, Masarykovy univerzity Brno, sdružení Wirelessinfo a konkrétní projekty AgriSensor či FOODIE.

Přesto, že řešený projekt TACR 04020888 rozvíjí danou problematiku komplexně, je jeho specifikem větší důraz na technické a technologické řešení a obchodní model se zajištěným servisem sensorové části. Tento bod zabezpečuje partner projektu - firma, která v oblasti radiotelekomunikací a monitorovacích systémů úspěšně působí na našem trhu již 25 let.

II. Vlastní popis metodiky

1 Obrazová data

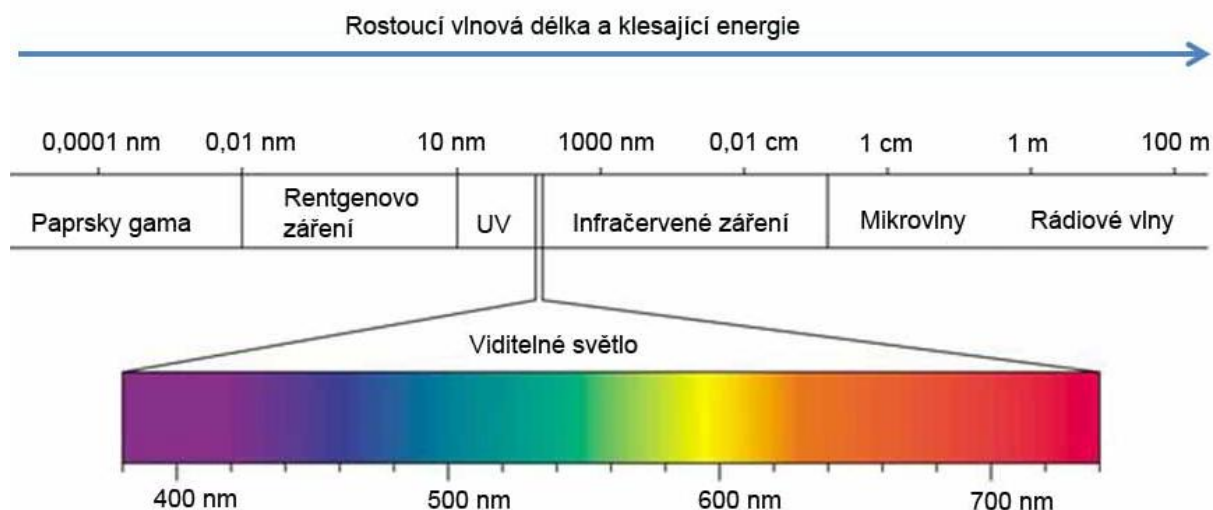
1.1 Základní principy DPZ

Dálkový průzkum Země (DPZ) získává informace o objektech a jevech prostřednictvím elektromagnetického záření. Základními charakteristikami tohoto záření jsou jeho vlnová délka a frekvence. Elektromagnetické záření se v přírodě vyskytuje ve spojitém spektru, které lze podle vlnové délky rozdělit do několika základních oblastí (viz obr. 1.1). Viditelná část spektra, na niž je citlivé lidské oko, je pouze část spektra s vlnovou délkou v intervalu cca 0,4-0,7 mikrometrů. Metodami DPZ se však využívá záření v intervalu vlnových délek cca od 0,1 mikrometrů do 1 metru (Dobrovolný, 1998). DPZ tak umožňuje přenést informace (dříve pro lidské oko neviditelné) získané z interakce mezi elektromagnetickým zářením a hmotou (objekty) do oblasti pro lidské oko viditelné a umožňuje tak získat přehled o „neviditelných“ datech (Ben-Dor, 2002).

Základní charakteristiku jednotlivých pásem elektromagnetického spektra (tab. 1.1) využitelných v DPZ uvádějí např. Dobrovolný (1998), Halounová a Pavelka (2008) nebo Ben-Dor (2002).

S rozvojem DPZ se nabízí využití distančně pořízených obrazových materiálů a jejich analýza pomocí obrazové spektrometrie. Dálkový průzkum se stal velmi atraktivním nástrojem pro mapování a hodnocení půd ihned po vypuštění první komerční družice v roce 1972. Od té doby prošla technologie získávání dat i metody jejich zpracování obrovským vývojem. V případě, kdy lze pomocí dálkového průzkumu získávat rychle a přesně kvantitativní informace o velkých oblastech, může být tento způsob použit pro zlepšení rozhodovacích systémů v oblasti půdní produkce, průzkumu dynamiky prostředí či interpretace dříve nepozorovatelných jevů (např. obsahu vody v půdě, úrodnosti půdy). Kvantitativní dálkový průzkum půd přináší nové možnosti pro praxi především v oblasti přesného zemědělství (Ben-Dor, 2002).

Elektromagnetické spektrum lze zaznamenávat různými způsoby, nejčastěji však jako obrazová data. Tato obrazová data jsou pořizována buď tzv. klasickými (konvenčními) metodami, jejichž výstupem je fotografie nebo nekonvenčními metodami, kdy snímky vznikají postupně tzv. řádkováním za pomoci přístrojů na měření radiace – radiometrů a tzv. snímacích rozkladových zařízení – skenerů (Dobrovolný, 1998). Výhodou nekonvenčních metod je, že data mohou být pořizována ve značně široké části elektromagnetického spektra v úzkých spektrálních pásmech, které lze následně při zpracování kombinovat. Data jsou ukládána digitálně ve formě rastrů, kde hodnota základní jednotky (pixlu) vyjadřuje numericky jas dané plochy – tzv. DN hodnota.



Obr. 1.1 Základní oblasti elektromagnetického spektra (zdroj: <http://labguide.cz>)

Tab. 1.1 Oblasti elektromagnetického spektra využívané v DPZ (upraveno dle: Dobrovolný, 1998)

Označení oblasti	Název oblasti	Vlnová délka
UV	ultrafialové záření	0,1 – 0,4 μm
VIS	viditelné záření	0,4 – 0,7 μm
NIR	blízké infračervené záření	0,7 – 1,4 μm
MIR	střední infračervené záření	1,4 – 3,0 μm
TIR	tepelné záření	3,0 μm – 1,0 mm
MW	mikrovlnné záření	1,0 mm – 1,0 m

Odrazivé vlastnosti povrchů lze pak kvantifikovat jako podíl záření odraženého k množství záření dopadajícího na určité vlnové délce, vyjádřené např. v procentech (tzv. spektrální odrazivost). Sestavením této závislosti v grafické podobě vzniká tzv. spektrální křivka odrazivosti. Spektrální chování (projev) je potom dáno typickými hodnotami odrazivosti pro stejnou třídu objektů (např. povrch s holou půdou, povrch pokrytý vegetací, vodní plochy apod.) (Gaja, 2013).

Intenzita odraženého krátkovlnného záření, ale i intenzita emitovaného dlouhovlnného záření závisí na několika faktorech (Dobrovolný, 1998):

- na druhu látky nebo objektu (např. na jeho chemickém složení)
- na jeho fyzikálním stavu (např. obsahu vlhkosti, zhutnění povrchu)
- na stavu jeho okolí (např. na propustnosti atmosféry)

Běžným zdrojem energie pro sledování objektů pomocí dálkového průzkumu je pasivní energie (např. sluneční záření) či aktivní energie (např. radarový systém). I když spektrální rozsah těchto zdrojů je široký (0,4 mikrometru až 1 metr), významné informace o půdním materiálu lze nalézt zejména ve viditelné či blízké infračervené části spektra (Ben-Dor, 2002). V menší míře lze

základní spektrální projevy půdních složek pozorovat i ve střední infračervené a termální oblasti (Ge et al., 2011).

1.2 Rozlišení obrazových snímků

U digitálních obrazových materiálů se uvádějí čtyři základní druhy rozlišení:

- **Prostorové rozlišení** je reprezentováno velikostí jednoho bodu (pixelu), který tvoří základní jednotku každého digitálního obrazu. Prostorové rozlišení snímacího zařízení se vztahuje k velikosti nejmenšího možného objektu, který lze na snímku detekovat.
- **Radiometrické rozlišení** (hloubka pixelu) se týká nejmenší změny v intenzitě záření, kterou dokáže snímací systém rozlišit. U digitálních snímků je radiometrické rozlišení určeno počtem úrovní jasu, které slouží k digitálnímu záznamu spojitých hodnot intenzity.
- **Časové rozlišení** snímacího zařízení je frekvence, s jakou systém vytváří snímky stejného území. Udává tedy, jak často je určitá oblast zemského povrchu opakovaně zaznamenávána. Časové rozlišení snímače závisí na parametrech oběžné dráhy družice.
- **Spektrální rozlišení** určuje schopnost snímače zaznamenávat jemné intervaly vlnových délek. Čím jemnější je spektrální rozlišení, tím užší je interval vlnových délek pro určité pásmo (kanál). Toto rozlišení tedy vyjadřuje z jaké části EM spektra a v kolika pásmech daný senzor poskytuje své snímky.

Na základě spektrálního rozlišení se rozdělují optická data na:

- **Panchromatické (PAN) snímky** obsahují pouze jedno spektrální pásmo. Obvykle se zobrazuje pomocí stupnice odstínů šedi (*grey scale*). Znamená to, že zobrazená jasová složka každého pixelu odpovídá jeho příslušnému DN a vztahuje se k intenzitě slunečního záření odraženého objektem a zaznamenaného snímačem. Panchromatický družicový snímek lze interpretovat obdobně jako černobílý letecký snímek daného území. Hlavním typem informace, který se využívá při interpretaci, je radiometrická informace.
 - Příklad: Ikonos PAN, SPOT HRV-PAN, QuickBird PAN.
- **Multispektrální (MS) snímky** obsahují data několika spektrálních pásem. Každé pásmo lze zobrazit pomocí stupnice odstínů šedi, anebo spolu s jinými pásmy jako barevnou syntézu (*color composite image*), která vzniká kombinací tří pásem. Multispektrální snímky pokrývají oblast elektromagnetického spektra od viditelné oblasti (VIS) přes blízkou infračervenou (NIR) po střední infračervenou oblast (MIR), přičemž jako informačně nejdůležitější část se označuje oblast NIR. Interpretace multispektrální syntézy vyžaduje znalost křivek (signatur) spektrální odrazivosti objektů na scéně. V tomto případě se při interpretaci využívá radiometrická informace.
 - Příklad: Sentinel-2 (13 pásem), Landsat 8 (9 pásem), WorldView 2 (8 pásem).

- **Hyperspektrální snímky** jsou vytvářeny senzory, které pořizují obrazové záznamy ve více než stu úzkých částech elektromagnetického spektra. Nazývají se též jako zobrazující spektrometry. Přesná informace obsažená v hyperspektrálním snímku umožňuje lepší charakterizaci a identifikaci objektů.
 - Příklad: AVIRIS (224 pásem).

1.3 Získání dat

Obrazové snímky lze získat mnoha způsoby. Díky neustálému rozvoji geoinformačních technologií se objevují stále nová řešení pro optické senzory - přístroje, jež umožňují sběr dat (mapování) o přírodním prostředí prostřednictvím záznamu a analýzy spektrálních projevů. S dostupností technologií se však portfolio nabízených zařízení rozšiřuje a stává se různorodější. Je možno identifikovat několik os vývoje, jež využívají stejný princip, ale koncovému uživateli poskytují odlišné výstupy (číslo, křivka, obrázek). Optická zařízení (kamery) lze rozdělit na dvě základní skupiny – družicové senzory a pozemní senzory.

Detailní rozbor nabízeného portfolia a jejich vzájemné srovnání, stejně jako metodické návody podává sesterská metodika *Nasazení multispektrálních optických senzorů pro monitorování vlastností půdy* (Pechanec a kol. 2017).

1.3.1 Družicové senzory

Družice užívané v DPZ obíhají kolem Země po eliptických drahách v různých výškách, díky čemuž disponují i různým prostorovým rozlišením a různou velikostí záběru snímku. Nosič družice nese radiometr, který měří z ploch přibližně odpovídající pixelu obrazového záznamu intenzitu odraženého záření v určitém intervalu vlnové délky. To, v jakých vlnových délkách radiometr měří, definuje tzv. spektrální rozlišovací schopnost družicového systému.

Družice tvoří v současnosti nejvýznamnější zdroj obrazových informací o aktuálním stavu řady systémů na Zemi. Výhodou většiny družic je pořizování obrazových a neobrazových dat v relativně pravidelných intervalech po delší časové období. To umožňuje analytické zpracování změn a sledování vývoje prostorových jevů.

V současnosti lze získat data historická i aktuální z řady družicových systémů. Veřejnosti dostupné snímky jsou poskytovány pomocí stahovacích webových služeb zdarma nebo za určitých licenčních či finančních podmínek. Katalogy snímků jsou postaveny pro jeden konkrétní projekt (např. *Sentinels Scientific Data Hub*) nebo jako sada z různých družic (např. *GLOVIS*). Výhodou rozsáhlých katalogů je distribuce snímků pro konkrétní místo na Zemi z různých zdrojů a s různým časovým rozlišením. Vždy je zapotřebí si stanovit kritéria, která jsou pro uživatele důležitá – cena, rozsah snímku, prostorové rozlišení, využití = spektrální rozlišovací schopnost, atd.

Dostupné družicové senzory pořizují snímky, které pokrývají rozsáhlé území, ale na úkor detailu informace. Pro jeden časový okamžik vytvoří za stejných (vnějších) podmínek snímek, který pokryje velké území, což je vhodné pro získání informace o celém území naráz a poskytne informace o relativní míře zastoupení a aktuální variabilitě sledované veličiny. Produkt, který se dostane koncovému uživateli do rukou je již v podobě do různé míry předzpracovaného snímku. Nevýhodou je časová prodleva před opakovaným snímkováním stejného místa.

V současné době je nejvhodnější z nabídky družicových dat využívat bezplatná data z družice Sentinel 2A, kdy území České republiky je pokryto třemi scénami s kódy R022, R079 a R122. Snímání stejné oblasti probíhá po deseti dnech.

1.3.2 Pozemní senzory

Za pozemní senzory lze označit zařízení, které má operátor pod přímou kontrolou tzn. Lze je ovládat bezprostředně v a lokalitě bud v stacionárním režimu, nebo je lze umístit na nějaký nosič (UAV, zemědělský stroj, osobní vozidlo). O výběru vhodného zařízení vždy rozhoduje účel měření. Pro stacionární a vysoce přesné měření na místě za účelem stanovení přesných hodnot jsou nejvhodnější spektrometry, které poskytují přímé hodnoty či křivky odrazivosti. Pro měření odrazivosti na rozsáhlejších plochách jsou výhodnější zařízení poskytující optický obraz (snímek).

Významnou vlastností „pozemních“ přístrojů je skutečnost, že mají malý prostorový záběr, tzn. v jediném časovém okamžiku zaznamenají odrazy z malého území (někdy jen bodu). Záznam je velmi přesný, neboť při malém záběru se výrazně eliminují rušivé vlivy, které mohou spektrální odraz modifikovat. Hlavní uplatnění těchto přístrojů je tedy při kontrolním či vzorkovací měření, kde jde o přesnější data z malého území. Nasnímání velkého území je možné, ale představuje časově náročnou záležitost.

Důležitým milníkem pro nasazení do praxe je možnost osazení optických senzorů s vysokým prostorovým rozlišením na bezpilotní zařízení (UAV) a s jejich pomocí snímkovat rychle a operativně rozsáhlejší území. Tento přístup nabízí časově nenáročné snímkování rozsáhlejších ploch z malých výšek se stále vysokým prostorovým rozlišením a možností velmi operativního snímkování v závislosti na vnějších podmínkách. Většinu senzorů lze z UAV sejmout a vybraná místa snímkovat stejným zařízením z bezprostřední vzdálenosti.

Vhodnými zařízeními jsou např. multispektrální kamery od společnosti Tetracam Inc. (ADC, MCA), které díky své ceně a váze jsou využitelná pro UAV snímkování v řadě environmentálních a zemědělských aplikací. Bližší popis ADC kamery včetně návodu na základní zpracování podává Pechanec a kol. (2017).

2 Senzory

Senzor (čidlo) je zařízení, které snímá definované fyzikální veličiny. Obecně existují dva základní typy senzorů, a to analogové a digitální senzory prostředí (Pechanec 2014). Senzor je vždy připojen k měřicímu zařízení. V současné době se lze setkat se dvěma typy těchto zařízení (Julina, 2016):

- **Datalogger** obsahuje menší množství analogových a digitálních vstupů (4 až 8), a může podporovat některou z sériových linek, např. SDI-12. Měřené údaje ukládá primárně do vnitřní paměti, resp. na paměťovou kartu, a poté je lze získat buď fyzickým vyjmutím a vyčtením paměťové karty a/nebo komunikací po sériové lince UART nebo RS-232. Některé typy dataloggerů umožňují vyčítání po sériové lince kontinuálně - v on-line režimu. Některé typy dataloggerů jsou vybaveny GSM/GPRS modemem, který v plánovaný čas údaje přenese na definovaný internetový server.
- **Víceúčelový měřicí systém** má obecně více analogových a digitálních vstupů (8, 16, 24 i 32) a podporuje více typů sériových linek, např. SDI-12, UART, RS-232, RS-485 či přenos rádiovou cestou. Měřené údaje ukládá do vnitřní paměti, resp. na paměťovou kartu, a dále předává pomocí sériových linek UART, RS-232, USB, Ethernet tak i pomocí GSM/GPRS modemu, WiFi, a to řádově častěji než samotný datalogger. Dále umožňuje provozovat na linkách SDI-12 či RS-485 více měřicích senzorů současně.

2.1 Analogové senzory

Analogový senzor poskytuje měřený údaj nejčastěji ve formě napětí (proti společné zemi nebo diferenciálně), méně často pak ve formě proudu, odporu (vodivosti), elektrické kapacity apod. V některých případech je výstup senzoru tzv. vysoko-ohmový, vyžadující speciální předzesilovač. Některá čidla vyžadují galvanické oddělení měřeného systému. Některá čidla, např. odporové čidlo teploty PT100, lze zapojit a měřit několika různými způsoby a tomu odpovídá i výsledná přesnost.

Analogové senzory poskytují kontinuální údaj různého druhu a ten je třeba vhodným způsobem zpracovat. Jedná se především o zesílení signálu a jeho převod analogově-digitálním (A/D) převodníkem. Volitelně může být přítomen galvanický oddělovač pro některé typy měření, případně pro potlačení nežádoucího rušení. Dále se údaj zpracovává a ukládá softwarově. Celý tento řetězec má svůj rozsah a přesnost měření, který je dán především hardwarem (HW) měřicího zařízení. Přesnost měření závisí na přesnosti daného senzoru a přesnosti vyčítání a dalšího zpracování.

Vždy se však analogový údaj převádí na napětí a to je zpracováno A/D převodníkem. Tento primární surový údaj lze bez dalšího zpracování uložit do paměti, přenést na server a uložit do databáze. Jedná se o tzv. RAW data a typicky zabírají v paměti nejmenší možný prostor.

Tab. 2. 1 Analogový senzor - velikost RAW dat a typická přesnost systému (* bez znaménka) (Julina, 2016)

A/D převodník	Velikost RAW dat [byte]	Přesnost převodu [%]	Typická přesnost systému * [%]
8bit (výjimečně)	1	0,4	0,5 - 1,0
10bit	2	0,1	0,5
12bit	2	0,02	0,1
16bit	2	< 0,001	0,05 - 0,1
24bit	3	< 0,00001	0,01 - 0,1
32bit	4	< 0,0000001	0,01 - 0,1

Jiným případem je převod měřené veličiny do (základních) fyzikálních jednotek a teprve následné uložení do paměti, přenesení na server a uložení do databáze. Zpracování probíhá v plovoucí řádové čárce, např. dle IEEE754, přičemž údaj lze v tomto formátu ponechat, převést na 16/32bit formát nebo převést na textové vyjádření (častý případ). Pevod do základních jednotek je možné definovat např. polynomem n-tého řádu (typicky 3. řádu). Přesnost měřicího systému se tím nezvýší (viz tab. 2.1), může být však snížena.

Tab. 2.2 Analogový senzor - výstupní formát po zpracování (* se znaménkem) (Julina, 2016)

Výstupní formát pro ukládání / přenos	Velikost dat [byte]
IEEE754 single *	4
IEEE754 double *	8
16bit (výjimečně)	2
32bit (výjimečně)	4
text, 4 číslice *	6
text, 5 číslic *	7
text, 6 číslic *	8

V případě, že je třeba provádět statistiku, tedy např. výpočet minimální, maximální a průměrné hodnoty (min/max/avg) z měření v daném intervalu, se tímto paměťové nároky na uložení a přenos adekvátně zvětší.

2.2 Digitální senzory

Digitální senzor poskytuje již převedený, resp. předzpracovaný údaj po některé ze sériových (drátových) linek, např. UART, RS-232, RS-485, SDI-12, SPI, I2C, 1Wire atd., případně pomocí bezdrátového přenosu (v pásmu ISM 433/868/2400MHz). Na linku SDI-12 a RS-485 lze připojit více senzorů současně. Totéž platí při bezdrátovém přenosu. Taktéž lze s údaji provádět statistiku (min/max/avg) měření.

Digitální senzory obsahují celý měřicí řetězec v sobě a navenek komunikují po některé ze sériových linek, případně rádiovou cestou. Přesnost takového čidla je pak udávána jako celek.

Tab. 2.3 Parametry sériových komunikačních linek (Julina, 2016)

Název sběrnice	Rychlost [Baud]	Napětí datových vodičů [V]	Napájecí napětí [V]	Poznámka
UART	obvykle 9600 až 115200	0 až 3,3(5,0)	není	
RS-232	obvykle 9600 až 115200	-15V až +15V	není	
RS-485 (RS-422)	obvykle 9600 až 115200 (≤10M)	obvykle 0 až 3,3(5,0)	není	symetrická linka, více zařízení na sběrnici
SDI-12	1200	0 až 5	9,6 až 16	více zařízení na sběrnici
SPI	více než 10M	0 až 3,3(1,8; 5,0)	není	možno více zařízení na sběrnici
I2C	100K nebo 400K	0 až 3,3(1,8; 5,0)	není	více zařízení na sběrnici
1Wire	řádově 10K	obvykle 0 až 3,3(5,0)	obvykle 0 až 3,3(5,0)	více zařízení na sběrnici

Tab. 2.4 Parametry bezdrátového přenosu (Julina, 2016)

Pásmo	Frekvence [MHz]	Rychlost [Baud]	Komunikační protokol
ISM 433	433,0 - 434,8	obvykle 1200 až 100K	proprietární
ISM 868	868,0 - 868,6	obvykle 1200 až 100K	proprietární, ZigBee
ISM 2400	2400 - 2583	řádově >100K	ZigBee, 6LoWPAN, apod.

Speciálním případem je 1-bitový binární senzor, který určuje pouze stav stav 1/0, resp. je/není (limitní hodnota, hladina). Velikost dat je typicky 1 byte, přesnost je absolutní. Binárním senzorem

lze také realizovat čítač (počet impulzů od posledního měření), měření frekvence (počet impulzů za sekundu) či registr událostí (generuje časovou značku v různém formátu).

Existují i vícebitové binární senzory. Příkladem je 3-bitová větrná korouhev. Velikost dat může být 1-3 byte, dle použitého formátu. V tomto případě je nutné použít vektorové sčítání naměřených hodnot.

Tab. 2.5 Digitální senzory - jedno a vícebitové binární senzory (Julina, 2016)

Počet bitů	Funkce	Velikost dat [byte]
1	žádná	1
1	čítač 16/32 bit	2/4
1	frekvence 16/32bit	2/4
1	registr událostí (časová značka 32bit)	4
1	registr událostí (čas textově)	12 - 20
3	větrná korouhev	1 - 3

Dalším speciálním případem je naopak senzor produkující velké množství souvislých dat, např. digitální kamera. Velikost dat nelze předem určit a může se v případě opakovaného měření měnit dle použitého formátu a rozlišení. Velikost tedy může být řádově od 10 KByte až po 1 MByte.

2.3 Požadavky na měření

Jednotlivé analogové a digitální senzory mají diametrálně odlišné nároky na měření. Požadavek na aplikaci napájecího napětí před samotným měřením se nazývá excitace senzoru. Časová odezva a s tím související perioda měření je taktéž různá, viz. následující tabulka.

Tab. 2.6 Příklad požadavků na napájení a časování pro různé typy senzorů (Julina, 2016)

Senzor, veličina	Excitace [sec]	Napájecí napětí [V]	Odezva senzoru [sec]	Perioda měření [sec]	Poznámka, typ senzoru
analogový, kontinuální	-	různé	<0,001	<0,001	trvalé měření
analogový, vlhkost	2	5,5 - 18	<0,1	2	Virrib
analogový, vlhkost	0,01	2,5 - 3,6	<0,001	>0,01	EC-5
analogový, kombinovaný	-	4 - 20	<0,001	>0,1	HumiAir9
analogový, tenzometr	>0,01	10,6	<0,001	>0,1	T4e
analogový, teplota	0,1 - 1	0,1 - 0,5mA	<0,001	>0,1	PT100
digitální, I2C, teplota	-	1,4 - 3,6	<0,001	0,25	TMP102
digitální, bezdrátový, teplota	-	různé	5 - 20	5 - 20	bezdrátový teploměr
digitální, SDI-12, SRS NDVI	-	3,6 - 15	>0,03	1 - 2	SRS-Ni, SRS-Nr
digitální, UART, kamera	>1,8	4,5 - 9	>0,5	>0,5	uCAM-II

2.4 Základní a doplňkové informace o senzoru

Základním údajem o senzoru je jeho identifikační číslo ID. Tento údaj slouží k jednoznačné identifikaci senzoru, resp. jeho měřených dat, od měření, přes přenos, až po uložení do databáze. ID by tedy mělo být uloženo v měřicí jednotce a odesláno při každém přenosu. Alternativně lze místo ID použít adresu senzoru ve stylu [číslo sítě].[číslo jednotky].[číslo senzoru].

Dalším vhodným údajem je čas (časová značka) okamžiku měření. Pokud není v měřicí jednotce čas k dispozici, lze čas / časovou značku přidat až v okamžiku příjmu na server a ukládání do databáze (Pechanec, 2014). Může však dojít k záměně několika měřených údajů v případě výpadku komunikace v síti nebo výpadku ukládání na serveru, proto je vhodné použít místo časové značky alespoň číslo označující pořadí měření z daného senzoru.

Tab. 2.7 Velikost základních informací o senzoru (Julina, 2016)

Typ údaje	Velikost dat [byte]	Poznámka
ID (16bit)	2	
ID (32bit)	4	
ID	3	[číslo sítě].[číslo jednotky].[číslo senzoru]
čas	6	datum 3byte + čas 3byte
časová značka	4	unix timestamp
číslo měření (16bit)	2	číslo měření sloužící jako časová značka

Další informace slouží k podrobnějšímu popisu senzorů, případně k jednodušší orientaci mezi senzory např. v mapovém podkladu. Tyto informace mohou být uloženy v měřící jednotce a k dispozici na vyžádání (možnost vyčtení všech údajů o senzoru v terénu). Alternativně je možné mít tyto informace pouze v databázi na serveru.

Jedná se zejména o tyto údaje: textový popis senzoru, ID nebo popis lokality, poloha GPS, fyzikální jednotka měřených dat, název výrobce, typové označení výrobce, typová verze senzoru, sériové číslo senzoru, limitní hodnoty apod.

Tab. 2.8 Velikost doplňkových informací o senzoru (Julina, 2016)

Typ údaje	Velikost dat [byte]	Poznámka
popis senzoru	8 - 32	text
ID lokality	2	binární 16bit
popis lokality	8 - 16	text
poloha GPS	10 / 22	binární / text
fyzikální jednotka	8 - 16	text
název výrobce	8 - 16	text
typové označení	8 - 16	text
typová verze	3 - 6	text
sériové číslo	4 / 6 - 16	binární 32bit / text

2.5 Energetická náročnost

Energetická náročnost měření závisí především na povaze a požadavcích senzoru. Drtivá většina senzorů nepožadují trvalé napájení a lze je provozovat v režimu periodického zapínání před měřením a následného úplného vypnutí či uvedení do spánkového režimu (senzory na SDI-12).

Následující tabulka Tab. 2.9 vychází z Tab. 2.6. Doba měření je záměrně nadnesená. Parametry výpočtu:

- napájení jedním článkem akumulátoru Li-Ion 3,7V/2500mAh,
- použití DC/DC regulátorů s účinností 70%,
- po měření je senzor zcela vypnut.

Tab. 2.9 Energetická náročnost měření (Julina, 2016)

Senzor, veličina	Typ senzoru	Napájecí napětí [V]	Napájecí proud [mA]	Doba měření (excitace, odezva) [sec]	Spotřebovaná energie pro jedno měření [mAh]	Počet měření do vybití [-]
analogový, vlhkost	Virrib	12,0	15	3	0,0055	400 tis.
analogový, vlhkost	EC-5	2,5	10	1	0,0059	400 tis.
analogový, kombinovaný	HumiAir9	12,0	3,0	1	0,0004	6 mil.
analogový, tenzometr	T4e	10,6	1,3	1	0,0002	13 mil.
analogový, teplota	PT100	2,5	0,5	1	0,0003	8 mil.
digitální, I2C, teplota	TMP102	3,3	0,1	1	0,0001	56 mil.
digitální, SDI-12, SRS NDVI	SRS-Ni, SRS-Nr	5,0	4,0	3	0,0035	700 tis.
digitální, UART, kamera	uCAM-II	5,0	75,0	4	0,0881	28 tis.

Jak je vidět, energetická náročnost samotného měření (včetně použití kamery) je velmi nízká. Spotřebovaná energie proto více záleží na typu měřicí jednotky a jejím způsobu práce, tj. používání spánkových režimů a četnosti použití drátových a bezdrátových komunikačních linek. Dále lze konstatovat, že malý fotovoltaický panel spolu s dobíjecím akumulátorem uvedenou spotřebu senzorů lehce pokryje.

3 Přenos naměřených dat

Přenos dat ze senzorů, včetně optických senzorů, je zajištěn pomocí příslušné komunikační sítě (drátovou, bezdrátovou, či kombinací obou) z měřicí jednotky na server. Přenos probíhá po jednotlivých blocích dat (paketech). Každý paket může obsahovat údaje z jednoho či několika senzorů. V paketu se kromě naměřených (tzv. uživatelských) dat nachází ještě hlavička, která obsahuje informace nutné pro vlastní přenos, např. typ protokolu, typ zprávy, cílová adresa, údaj pro detekci chyb, časový údaj atd.

Komunikačních technologií, které lze dnes použít pro vlastní přenos dat, je několik typů a odrážejí vývoj telekomunikační soustavy. Dříve se jednalo o technologie zabezpečující především komunikaci člověka, postupem času se však rozvíjí a do běžného provozu prosazují technologie zabezpečující komunikaci vlastních přístrojů.

V současnosti je velmi výrazným konceptem **IoT** (*Internet of Things, Internet věcí*) - koncept sítě (zpravidla bezdrátové) mezi nejrůznějšími objekty, kterými mohou být mj. různé senzory. Koncept počítá s tím, že objekty v IoT komunikují neuspořádaně, skoro nahodile a neustále. V nejbližších několika letech lze očekávat připojení velkého množství zařízení s požadavkem na mobilitu, nízkou spotřebu energie a nízkou pořizovací cenu s velice rozmanitou oblastí aplikace (Gregora, 2016).

3.1 Dostupné komunikační technologie

3.1.1 Mobilní sítě 3G a LTE

Mobilní sítě GSM byly původně navrženy pro komunikaci mezi jedinci lidské společnosti. Umožňují přenos velkých objemů dat na vzdálenosti několika kilometrů a proto jsou vhodné pro přenos hlasu či videa. Nevýhodou je pořizovací cena modemů, která roste s rozvojem technologií (od GPRS po LTE modemy). Pořizovací cena celé infrastruktury sítě je v současnosti vysoká, neboť základové stanice musí respektovat dosahové vzdálenosti, aby bezpečně pokryly území, což ovlivňuje jejich množství a tím hodnotu celého systému. Spotřeba elektrické energie celé infrastruktury je poměrně vysoká, jednotlivá zařízení mají různou dobu provozu na jedno nabití, případně potřebují zapojení do elektrické sítě.

Koncept IoT nepřenáší velké objemy dat, a tak sítě 3G a LTE nejsou vhodným řešením pro realizaci sítě IoT (viz tab 3.1), i přesto že cena zařízení pro LTE je srovnatelná s technologií EGPRS (Ratasuk et al., 2014). Poskytovatele mobilních sítí postupně začleňují M2M komunikace do sítě LTE. Zároveň dochází ke standardizaci a zvýšení pokrytí území, které je pro M2M komunikaci vyžadováno. Nový model LTE, tzv. LTE-M je určen pro M2M úzkopásmovou komunikaci. Nový systém je založen na původním LTE systému a je charakterizováno nízkou cenou zařízení, vysokým pokrytím území, dlouhou výdrží baterie a velkou kapacitu. Pro tuto technologii může být užíván

jeden GSM kanál (200 kHz) a může být také použito spektrum existujícího širokopásmového LTE, což je jedním z důvodů k využití již stávajícího konceptu pro technologii M2M komunikace (Nokia, 2015). Koncept LTE-M je zpětně kompatibilní s již provozovaným LTE a proto je možné využít stejný hardware, sdílené spektrum a doposud instalované základnové stanice, a tím zvýšit celkovou kapacitu systému. LTE-M se bude moci připojit do jádra sítě LTE, což umožní služby jako ověření v síti, zabezpečení, sledování přenosu, a další. V konceptu LTE-M je každý kanál složen z 12 složek nosných, kdy každá složka je vzdálena 15 kHz. Provoz konceptu LTE-M bude probíhat v licencovaných pásmech (Nokia, 2015).

Tab. 3.1 Přehled plánovaných služeb pro koncept IoT (zdroj: Nokia, 2015)

Technologie	Sigfox	LoRa	Clean slate	NB LTE-M Rel. 13	LTE-M Rel. 12/13	EC-GSM Rel. 13	5G (targets)
Venkovní dosah	< 13 km	< 11 km	< 15 km	< 15 km	< 11 km	< 15 km	< 15 km
Spektrum (MHz)	bezlicenční 900	bezlicenční 900	licenční 7-900	licenční 7-900	licenční 7-900	licenční 8-900	licenční 7-900
Šířka pásma	100 Hz	< 500 kHz	200 kHz	200 kHz nebo sdíleno	4 MHz nebo sdíleno	2,4 MHz nebo sdíleno	sdíleno
Rychlost přenosu	< 100 b/s	< 10 kb/s	< 50 kb/s	< 150 kb/s	< 1 Mb/s	10 kb/s	< 1 Mb/s
Životnost baterie	> 10 let	> 10 let	> 10 let	> 10 let	> 10 let	> 10 let	> 10 let
Dostupnost	již dostupné	již dostupné	2016	2016	2016	2016	po roce 2020

3.1.2 Bezdrátové sítě LAN – WLAN

Přenosy na krátkou vzdálenost, ale s velkými objemy dat podporují technologie jako Zigbee, Bluetooth či WIFI, v sítích LAN (Clark et al., 1978). Sítě WIFI jsou v současné době ve městech téměř v každé budově, proto není krátká vzdálenost příliš velký problém. Nevýhodou je však spotřeba energie a rozsahu pokrytí v méně obydlených oblastech. Koncept IoT vyžaduje kvalitní pokrytí rozsáhlého území, bez ohledu na hranice států, naproti tomu technologie LAN poslouží dostatečně na malých územích, např. uvnitř budov. Využití tohoto konceptu také výrazně omezuje skutečnost, že mnohá zařízení nemají možnost neustálé dotace elektrické energie (ze sítě či prostřednictvím *energy harvesting*).

3.1.3 LPWAN sítě

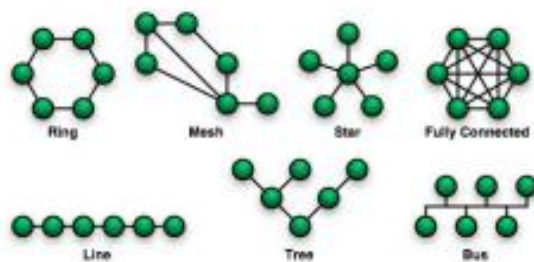
Využití mobilních sítí, určených pro uživatele z lidské společnosti, eliminuje požadavek na umístění zařízení na obtížně dostupných místech, např. uvnitř konstrukcí budov nebo pod

povrchem, neboť nesplňují tyto technologické požadavky. Pro podporu M2M komunikace byly navrženy různé systémy jako např. Zigbee, Bluetooth, RFID a další, které však nemohou poskytnout dlouhý dosah a nedisponují dostatečným pokrytím území při nízkých cenových nákladech (Xiong et al., 2015). Koncept sítě LPWAN byl navržen tak, aby vyhověl požadavkům technologie IoT (tzv. *Low-Power Wide-Area Networks*). Síť LPWAN představují střední variantu mezi mobilními sítěmi s velkým dosahem a lokálními bezdrátovými sítěmi WLAN. Základními výhodami představované sítě LPWAN jsou: nízká spotřeba energie umožňující několikaletý provoz zařízení na jedno nabití; optimalizovaný přenos dat pro přenášení datových bloků; nízký počet základnových stanic při pokrytí rozsáhlého území; snadná instalace a rozmístění na krátké i větší vzdálenosti (Xiong et al., 2015).

Pro zajištění rozsáhlého pokrytí území je použito technologie úzkopásmového přenosu signálu (*UNB – ultra-narrowband*) a techniky přímo rozprostřeného spektra (*DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum*). Pro zajištění nízké spotřeby energie jsou síť LPWAN strukturovány do topologie hvězdy při použití metody náhodného přístupu k zařízením.

Ve struktuře/konstrukci bezdrátových sítí hraje důležitou úlohu při výkonu sítě její topologické uspořádání. V současné době se využívá několik různých topologií aplikovaných v bezdrátové senzorové síti: stromová topologie (*tree topology*), řetězová topologie (*chain topology*) a smíšená topologie (*mesh topology*). Ve všech těchto strukturách / topologiích slouží koncová zařízení také jako přepínače (routery), zprostředkovávající propojení s dalšími zařízeními a navyšující pokrytí území.

Technologie UNB nebo DSSS, zajišťující v současné době dostatečné pokrytí u sítí LPWAN, je pro uživatele zajímavá především nízkou pořizovací cenou a nízkou spotřebou energie. Z tohoto pohledu se jako nejlepší topologie sítě jeví topologie hvězdy, jejíž jeden přístupový bod zprostředkovává připojení pro všechna ostatní zařízení dané sítě. Případné zpoždění celého systému je sníženo díky přímé komunikace mezi koncovým zařízením a přístupovým bodem. V použité topologii hvězdy nejsou nutné organizační pakety pro zajištění správného směrování v propojovacích zařízeních, což pomáhá snižovat spotřebu energie koncových zařízení. Hvězdicová topologie disponuje nižší spolehlivostí doručení zprávy než např. smíšená (*mesh*) topologie, přesto je spolehlivější než např. stromová či řetězová topologie, nadto je hvězdicová topologie velmi jednoduchá na sestavení a připojení dalších zařízení.



Obr. 3.1 Přehled síťových topologií (Forkel, Salzmann, 2001)

3.1.4 Bezlicenční pásma

Jedná se o volná pásma, v nichž je dovozen provoz bez licenčních poplatků, není však zaručena garance proti rušení. *Short range devices* (SRD) zařízení jsou radiové přijímače, které komunikují jednosměrně či obousměrně a poskytují služby jakožto automatizace domácností, bezdrátové alarmy, čipové vstupy a další. Pro SRD zařízení musí být pečlivě vybrána frekvence z množiny bezlicenčních frekvencí (globálně: 13,56 MHz, 40 MHz, 433 MHz, 2,4 GHz, 5,8GHz; v Evropě, USA, Kanadě, Austrálii a Novém Zélandu: 868 MHz a 915 MHz). Pro systémy, které nevyžadují vysoký výkon a naopak využijí širší komunikační rozsah, lépe poslouží frekvenční pásma pod 1 GHz. Jejich větší přenosový dosah snižuje energetickou náročnost na přenos. Jedna z možností globálního užití je frekvenční pásmo 433 MHz. Možná šířka pásma na této frekvenci je méně než 2 MHz a použití pro zvuk, video, audio a konstantní přenos dat není povoleno. Proto je toto pásmo více využito např. pro čipové vstupy do budov. Frekvenční pásma okolo 868 MHz (pro Evropu) a 915 MHz (pro USA) slouží pro provozování konceptu LPWAN sítí a jsou provozovány v závislosti na ustanoveních Evropského telekomunikačního institutu (ETSI) pro Evropu a Vládního úřadu pro komunikaci (FCC) pro USA (Gregora, 2016).

3.2 Objemy přenášených dat

Obecně lze uvést, že při každé změně komunikačního rozhraní na trase paketu, např. použitím převodníku RS-232/Ethernet, může množství přenášených dat dále narůst (režijní data protokolu, *overhead*).

Množství dat ze senzorů prostředí je však relativně malé a nemá žádné zvláštní požadavky na rychlost, resp. dobu přenosu na server. Proto lze použít téměř jakoukoliv komunikační infrastrukturu dostupnou v dané lokalitě. Výjimkou jsou pouze data z obrazových senzorů (viz výše), kde je třeba přenos objemných dat v řádu od 10 KByte až po 1 Mbyte (Julina, 2016).

Tab. 3.2 Příklad velikosti přenesených dat (Julina, 2016)

Typ senzoru , data [operace]	Typ údaje	Velikost dat [B]	Perioda [hod]	Celkem dat [B/den]
analogový, 16bit, RAW	ID 32bit, časová značka	2 + 4 + 4	1	240
analogový, 16bit, IEEE754	ID 32bit, časová značka	4 + 4 + 4	1	288
digitální, RAW data SRS NDVI	ID 32bit, časová značka	16 + 4 + 4	1	576
digitální, převod do IEEE754	ID 32bit, časová značka	4 + 4 + 4	1	288
digitální, [identifikace SRS NDVI]	ID 32bit	33 + 4	24	37
digitální, kamera, JPEG 320x200	ID 32bit, časová značka	20000 + 4	6	80016
digitální, kamera, JPEG 640x480	ID 32bit, časová značka	50000 + 4	6	200016
analogový, digitální, [identifikace]	ID 32bit, doplňkové informace (minimální verze)	4 + 59	24	63
analogový, digitální, [identifikace]	ID 32bit, doplňkové informace (maximální verze)	4 + 142	24	146

3.3 Používané formáty pro přenos dat

3.3.1 JSON

Javascript Object Notation (JSON) vznikl původně jako výměnný, textový, strukturovaný formát pro komunikaci klient-server při použití jazyka JavaScript. JSON se postupně rozšiřoval i mezi další jazyky, které dokázaly využít jeho výhod, a stal se tak jazykově nezávislým formátem. JSON pracuje jak s jednoduchými datovými typy (řetězec, číslo, logická hodnota), tak se strukturovanými typy (objekt a pole). Strukturované typy mohou obsahovat libovolný datový typ (např pole řetězců, pole polí, pole objektu). JSON se tím stává velmi flexibilním formátem, který dokáže popsat téměř jakoukoli datovou strukturu. Základem JSON formátu je pár klíč:hodnota v UTF-8 kódování. Se zvyšující se oblibou JSON stoupala i potřeba lepšího popisu struktury. Vzniklo tak JSON Schéma pro popis dokumentů ve formátu JSON. Tímto schématem lze pak validovat jakýkoliv dokument JSON a ověřit jeho integritu (Pechanec, 2014).

```
{ "table":
  { "data":
    [
      [ "00:00:00 02.11.2016", 9.687, 7.597, 10.332 ],
      [ "01:00:00 02.11.2016", 9.564, 7.048, 9.699 ]
    ]
  }
}
{ "$schema": "http://json-schema.org/schema#",
  "type": "object",
  "title": "table"
  "description": "data z EasyLogGSM"
  "properties": {
    "data": { "description": "pole polí s daty",
              "type": "array"
              "items": [
                "type": "array",
                "items": [
                  { "type": "date" },
                  { "type": "number" },
                  { "type": "number" },
                  { "type": "number" }
                ]
              ]
            }
          }
        }
      }
    }
```

Kód 3.1 Příklad zápisu hodnot ve formátu JSON. Hodinové intervaly záznamu hodnot stavu baterie (napětí [V]), venkovní teploty (°C) a vnitřní teploty (°C) přenášených z EASYLOG GSM.

GeoJSON

GeoJSON je výměnný formát prostorových informací založený na JSON. Definuje a kombinuje několik objektů a způsobů, kterými popisuje geografické objekty, jejich vlastnosti a prostorový rozsah. GeoJSON podporuje geometrické prvky: bod, linii, plochu, multibod, multiliniu, multiplochu a geometrickou kolekci. Všechny typy geometrií jsou uchovávány jako body. Bod je v GeoJSON uchován jako pole zeměpisné délky a zeměpisné šířky, či jako východní (easting) a severní (northing) souřadnici. Linie a plocha jsou poté uchovány jako pole polí s body.

```
{
  "type": "Point",
  "coordinates": [lon, lat]
}
```

Kód 3.2 Obecný zápis bodu ve formátu GeoJSON

```
{
  "type": "LineString",
  "coordinates": [
    [lon1, lat1],
    [lon2, lat2]
  ]
}
```

Kód 3.3 Obecný zápis linie ve formátu GeoJSON

```
{
  "type": "Polygon",
  "coordinates": [
    [
      [lon1, lat1],
      [lon2, lat2],
      [lon3, lat3],
      [lon4, lat4],
      [lon1, lat1],
    ]
  ]
}
```

Kód 3.4 Obecný zápis plochy ve formátu GeoJSON

TopoJSON

TopoJSON je nadstavba nad formátem GeoJSON, který jej rozšiřuje o topologii. TopoJSON oproti formátu GeoJSON, který uchovává jednotlivé lomové body, pracuje s liniiovými segmenty (arcs), které jsou následně spojovány. TopoJSON eliminuje redundantnost dat a umožňuje uložení stejné geometrie z GeoJSON efektivněji. TopoJSON dokáže snížit objem prostorových dat až o 80 %. Topologie musí obsahovat "arcs" hodnotu obsaženou v poli polí souřadnic. Každý oblouk musí

obsahovat pole dvou či více souřadnic. Jestliže je topologie kvantifikována, souřadnice každého oblouku v topologii, která je kvantifikována musí být převedena do rozdílu hodnot (delta-encoded). První souřadnice oblouku si zachovává vlastní hodnotu. Další souřadnice už jsou ovšem převedeny na $x_2 = x_1 + \text{delta } x_2$; $y_2 = y_1 + \text{delta } y_2$.

```
{
  "type": "Topology",
  "objects": {
    "example": {
      "type": "GeometryCollection",
      "geometries": [
        {
          "type": "Point",
          "properties": {
            "prop0": "value0"
          },
          "coordinates": [102, 0.5]
        },
        {
          "type": "LineString",
          "properties": {
            "prop0": "value0",
            "prop1": 0
          },
          "arcs": [0]
        },
        {
          "type": "Polygon",
          "properties": {
            "prop0": "value0",
            "prop1": {
              "this": "that"
            }
          },
          "arcs": [[-2]]
        }
      ]
    }
  },
  "arcs": [
    [[102, 0], [103, 1], [104, 0], [105, 1]],
    [[100, 0], [101, 0], [101, 1], [100, 1], [100, 0]]
  ]
}
```

Kód 3.5 Kolekce geometrií (bod, linie, plocha) zapsaná v TopoJSON

3.3.2 XML

Extensible Markup Language (XML) je obecný značkovací jazyk, který byl vyvinut a standardizován konsorciem W3C. Je zjednodušenou podobou staršího jazyka SGML. Umožňuje snadné vytváření konkrétních značkovacích jazyků (tzv. aplikací) pro různé účely a různé typy dat. Jazyk je určen především pro výměnu dat mezi aplikacemi a pro publikování dokumentů, u kterých popisuje strukturu z hlediska věcného obsahu jednotlivých částí, nezabývá se vzhledem. Prezentace dokumentu (vzhled) může být definována pomocí kaskádových stylů. Další možností zpracování je transformace do jiného typu dokumentu, nebo do jiné aplikace XML. Zpracování XML je podporováno řadou nástrojů a programovacích jazyků.

GML

Geography Markup Language (GML) je značkovací jazyk založen na XML pro popis aplikačních schémat, stejně jako k manipulaci a uchování geografických informací. Je určen pro modelování, přenos a skladování geografických dat. Jazyk GML od verze 3.1 je uznán jako ISO standard 19136:2007. Data zapsaná v GML lze využívat přímo (nativně) nebo pouze pro transport dat (import/export). Jazyk definuje geoprvky, referenční systém, geometrii, topologii, a v mnoha předdefinovaných schématech poskytuje bohatou „slovní zásobu“, kterou lze použít k vytvoření specifického GML aplikačního schématu. Jazyk se nezabývá definicemi zobrazení, ve své logice striktně odděluje obsah a vzhled. Dnes představuje základ pro geoprostorový web a pro interoperabilitu dat a nezávisle vyvinutých distribuovaných aplikací včetně *Location Based Services* (Pechanec, 2014).

3.4 Základní standardy a protokoly

Stávající rozmanitost dostupných sensorových platforem vyžaduje standardizaci vybraných aspektů komunikace.

3.4.1 IEEE 802.15.4

Jedná se o standard, který specifikuje fyzickou vrstvu a řízení přístupu k médiím pro *low-rate wireless personal area networks* (LR-WPANs). Je udržován pracovní skupinou 802.15. Je základem pro ZigBee, ISA100.11a, WirelessHART a MiWi specifikace, z nichž každá dále rozšiřuje standard rozvojem horních vrstev, které 802.15.4 nedefinuje. Eventuálně může být použit s 6LoWPAN a standardními internetovými protokoly pro vybudování *Wireless Embedded Internet*. Základní jednotkou pro přenos dat jsou rámce. Existují čtyři základní typy rámců (data, potvrzení, světelný signál a MAC příkaz) (IEEE 802.15.4).

Architektura protokolu

Zařízení jsou koncipována tak, aby jejich vzájemná interakce probíhala prostřednictvím koncepčně jednoduché bezdrátové sítě. Definice jednotlivých síťových vrstev je založena na modelu OSI (*Open System Interconnection*). Fyzická vrstva poskytuje službu přenosu dat, stejně jako rozhraní pro řízení entit fyzické vrstvy, které nabízí přístup ke každé funkci vrstvy a k databázi informací souvisejících s *Personal Area Networks* (PAN). Pracuje na jednom ze tří nelicencovaných frekvenčních pásem:

- 868,0-868,6 MHz: Evropa, umožňuje jeden komunikační kanál
- 902-928 MHz: Severní Amerika, do roku 2003 umožňoval až deset kanálů, 2006 rozšířen na třicet kanálů
- 2400-2483.5 MHz: použití po celém světě, umožňuje až šestnáct kanálů

MAC (*Medium Access Control*) vrstva umožňuje přenos MAC rámců pomocí fyzického kanálu. Kromě datových služeb nabízí rozhraní pro správu a sama spravuje přístup k fyzickému kanálu a signalizaci sítě.

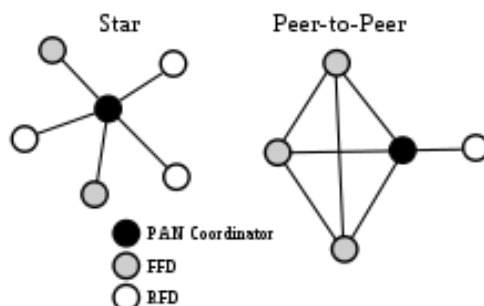
Ostatní vrstvy vyšší úrovně a podvrstvy nejsou touto normou definovány. Existuje specifikace, jako například ZigBee, které navazují na tento standard pro navržení základního řešení.

Síťový model

Standard definuje dva typy uzlů sítě:

- plně funkční zařízení (*full function device – FFD*), které může sloužit jako koordinátor PAN, stejně jako běžný uzel.
- omezené funkční zařízení (*reduced function device – RFD*), které komunikují pouze s FFD a nikdy nemohou sloužit jako koordinátor sítě.

Topologie sítě může být peer-to-peer nebo hvězdicová (obr. 3.2).



Obr. 3.2 Hvězdicová a peer-to-peer topologie (IEEE 802.15.4)

3.4.2 ZigBee

ZigBee standard je definován zejména ve spojení s IEEE 802.15.4 standardem. Proto se také obvykle zaměňují. Jak je ukázáno na obrázku 3.5, každý z nich definuje specifické vrstvy skupiny protokolů. Fyzická a MAC vrstva je definována IEEE 802.15.4 standardem, zatímco síťová a aplikační vrstva je definována standardem ZigBee. Jedná se o poměrně nový standard, platný od listopadu 2004.

Podobně jako Bluetooth je určena pro spojení nízkovýkonných zařízení v bezdrátových sítích PAN (*Personal Area Networks*) na malé vzdálenosti do 75 metrů. Díky použití multiskokového ad-hoc směrování umožňuje komunikaci i na větší vzdálenosti bez přímé radiové viditelnosti jednotlivých zařízení. Primární určení směřuje do aplikací v průmyslu a senzorových sítích (Pechanec, 2014).

ZigBee síťová vrstva poskytuje funkce pro řízení provozu sítě. Jsou definovány procedury pro zřízení nové sítě a prostředky pro přidání či odebrání členství v síti. Navíc, v závislosti na provozu sítě, může být konfigurováno komunikační nastavení pro každé zařízení v síti. Od doby, kdy zařízení využívající ZigBee mohou být součástí různých sítí v průběhu jejich využívání, definuje tento standard flexibilní adresní mechanismus. Proto je zařízení, které se k síti připojí, přidělena adresa, která slouží jako jedinečný identifikátor každého zařízení. Identifikátor se nepoužívá přímo ke komunikaci, ale kratší adresa má zlepšit účinnost komunikace. Ve stromové architektuře identifikuje adresa každého zařízení také jeho rodiče, což se využívá pro směrovací účely. Síťová vrstva také umožňuje synchronizaci mezi zařízeními a síťovými ovladači. Síťovou vrstvou jsou nakonec generovány „multi-hop“ cesty podle definovaných protokolů. Standard ZigBee definuje také určité prvky v aplikační vrstvě. Tato vrstva se skládá z aplikační podvrstvy, ZigBee prvkových objektů a aplikačních objektů definovaných výrobcem. Aplikace jsou implementovány těmito výrobcem definovanými objekty a implementace samotná je založena na požadavcích definovaných standardem. ZigBee prvkové objekty definují funkce poskytované zařízením pro síťový provoz. Přesněji řečeno ZigBee prvkové objekty definují funkci zařízení jako síťového koordinátora nebo směšovače. Navíc, kdykoliv zařízení potřebuje spojení se sítí, nutné žádosti jsou vyřizovány přes ZigBee prvkové objekty. Aplikační podvrstva umožňuje zjištění možností zařízení tak, že sousední zařízení a funkce poskytované těmito sousedy mohou být uloženy.

Pracuje v bezlicenčních pásmech (generální povolení) přibližně 868 MHz, 902–928 MHz a 2,4 GHz. Přenosová rychlost činí 20, 40, 250 kbit/s.

Díky různorodosti předpokládaných aplikací standard definuje tři základní režimy přenosu dat:

- periodicky se opakující (přenos dat z čidel)
- nepravidelné přenosy (externí události, např. stisknutí tlačítka uživatelem)
- opakující se přenosy, u nichž je požadavek na malé zpoždění (bezdrátové počítačové periferie – klávesnice a myši).

Struktura komunikačního standardu

Protokol se skládá ze tří základních vrstev (obr. 3.3). Vrstvy standardu IEEE 802.15.4, nad nimi je definována síťová vrstva (NWK) a aplikační vrstva (APL). Fyzická vrstva specifikuje přístup k přenosovému médiu. Síťová vrstva realizuje připojení k síti, zabezpečení a směrování paketů. Aplikační vrstva (APL) zajišťuje potřebné služby. Skládá se z aplikační podvrstvy (APS), ZigBee objektů a uživatelských aplikačních objektů.

MAC vrstva (linková) definuje samotný komunikační protokol, jež je založen na přenosu datových rámců. Jsou definovány čtyři typy komunikačních rámců využívaných pro přenos dat, řízení či správu sítě:

- *Data Frame* – rámeček využívaný pro všechny přenosy užitečných dat
- *Acknowledgement Frame* – rámeček pro přenos potvrzovací informace, využíván na úrovni MAC pro potvrzování komunikace
- *Beacon Frame* – rámeček používaný koordinátorem k vysílání tzv. beacons (používané pro uvádění klientských zařízení do spánkového režimu)
- *MAC Command Frame* – rámeček k nastavování a řízení klientských zařízení v síti ZigBee

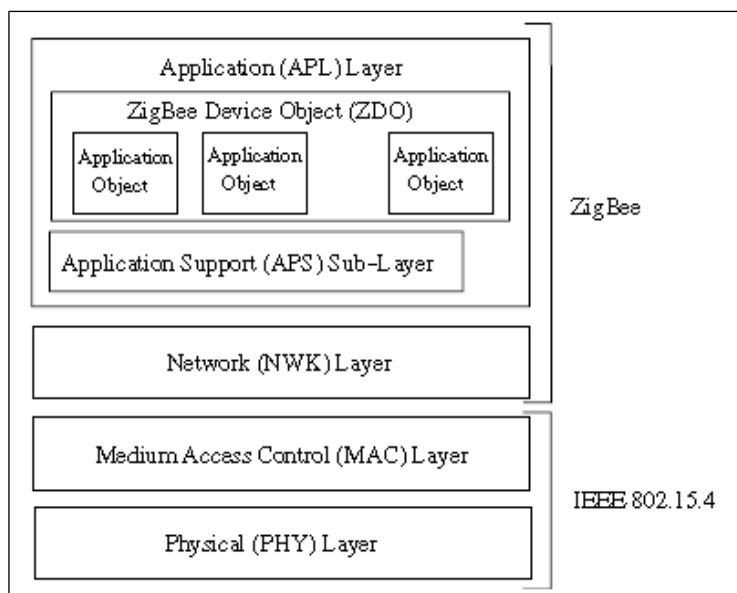
Technologie ZigBee postavená na fyzické linkové vrstvě IEEE 802.15.4 definuje tři různé síťové topologie. Základní topologií je topologie hvězdicová s centrálním řídicím uzlem (koordinátorem sítě). Druhým typem je stromová struktura, jež umožňuje zvětšit vzdálenost mezi koordinátorem a koncovým zařízením. Protokol též umožňuje vytvoření redundancí spojení a vzniká tak topologie typu sítě mesh. S její pomocí je možné vytvořit síť prakticky libovolného uspořádání.

Standard ZigBee dělí zařízení na zařízení FFD (*Full Functional Device*) a RFD (*Reduced Functionality Device*). FFD zařízení implementují kompletní protokolový rámeček a zajišťují veškeré služby, které standard ZigBee stanovuje. RFD zařízení implementují pouze nezbytné protokolové knihovny z důvodu maximálního omezení hardwarové náročnosti. Tato zařízení mohou pracovat pouze jako koncová. Mohou komunikovat pouze s koordinátorem sítě a jsou omezena na hvězdicové uspořádání topologie (koncové větve). Koordinátor sítě a směrovače jsou realizovány FFD zařízeními.

Síťová vrstva (NWK) zajišťuje připojení k síti, zabezpečení, směrování a synchronizaci. V případě koordinátora sítě je ještě zodpovědná za start sítě a přiřazování adres nově nalezeným zařízením.

Aplikační vrstva protokolu (APL) se skládá z pomocné aplikační APS podvrstvy, ZigBee objektů (ZDO) a uživatelem definovaných aplikačních objektů. Pomocná aplikační podvrstva je zodpovědná za párování zařízení podle poskytovaných služeb a požadavků. To je realizováno pomocí tzv. párovací (*binding*) tabulky. ZigBee objekt definuje roli jednotlivých zařízení v rámci

sítě (koordinátor, směrovač, koncové zařízení). Dále zajišťuje vyhledávání nových zařízení a jimi poskytovaných služeb. V neposlední řadě zodpovídá za zabezpečení (volí jeho způsob, jako např. veřejné klíče, symetrické klíče). Uživatelské aplikační objekty implementují konkrétní požadavky aplikace dle definovaného ZigBee profilu. ZigBee profil zastřešuje definice možných zařízení, formátů a typů zpráv. Každý profil je určen unikátním 16 bitovým identifikátorem podle specifikace ZigBee Alliance (I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010).



Obr. 3.3 Popis skupiny protokolů ZigBee a IEEE 802.15.4 (I.F.Akyildiz, M.C.Vuran, 2010)

3.4.3 Sensor Web Enablement

Sensor Web Enablement (SWE) je iniciativa *Open Geospatial Consortium (OGC)* definující rozhraní služeb, které umožňují interoperabilní využití sensorových zdrojů tím, že umožní jejich objevování, přístup k nim, jejich úkolování, stejně jako oznamování událostí a varování. OGC SWE iniciativa definuje pojem „sensor web“ jako infrastrukturu umožňující přístup k sensorovým sítím a archivovaným datům ze sensorů, která mohou být objevena a lze k nim přistupovat pomocí standardních protokolů a rozhraní programových aplikací (API). Působí jako prostřední vrstva mezi hmotným majetkem a automatizovanými nástroji nebo nástroji ovládanými lidmi (OGC-SWE, 2008). SWE poskytuje mnoho příležitostí pro propojení sensorů snímajících v reálném čase s internetem. To má mimořádný význam pro zvládání katastrof, monitorování životního prostředí, řízení dopravy, bezpečnost zařízení, průmyslové řízení, vědu, správu zařízení a mnoho dalších oblastí. Modely, kódování a služby SWE architektury umožňují uskutečnění interoperabilní a škálovatelné, na služby orientované sítě různých sensorových systémů a klientských aplikací. Funkce, na které se OGC zaměřuje v rámci sensorového webu (OGC-SWE, 2007), jsou:

- objevení sensorových systémů, pozorování a procesů pozorování, které splňují aplikační nebo uživatelské požadavky,

- určení sensorových vlastností a kvality měření,
- přístup k parametrům senzoru, které automaticky umožňují softwaru zpracovat a lokalizovat pozorování,
- získávání pozorování v reálném čase nebo pozorování časových řad v standardním kódování,
- dotazování se senzorů na pozorování zájmu,
- předplacení a zveřejnění upozornění, která vydávají senzory nebo jejich služby na základě určitých kritérií.

V rámci iniciativy SWE je dosaženo sensorového webu, pomocí kterého lze přistupovat ke všem typům senzorů pomocí WWW, prostřednictvím vytvoření několika kódování pro popis senzorů a sensorových pozorování a prostřednictvím několika standardů definujících rozhraní pro webové služby. *Sensor Web Enablement* iniciativa OGC obsahuje následující OpenGIS specifikace:

1. **Sensor Model Language** – standardní modely a XML schéma pro popis sensorových systémů a procesů; poskytuje informaci potřebnou pro objevení senzorů, lokalizaci sensorových pozorování, zpracování pozorování nízkourovňových čidel a výpis požadovaných vlastností.
2. **Observations & Measurements** – standardní modely a XML schéma pro kódování pozorování a měření ze senzorů, archivovaných i vytvořených v reálném čase.
3. **Transducer Markup Language** – konceptuální model a XML schéma pro popis parametrů převodníku a podporu toku dat v reálném čase z a do sensorových systémů.
4. **Sensor Observation Service** – standardní rozhraní webové služby pro dotazování, filtrování a získávání pozorování a informací o systému. Je prostředník mezi klientem a úložištěm pozorování nebo sensorovým kanálem v reálném čase.
5. **Sensor Planning Service (SPS)** – standardní rozhraní webové služby pro podávání požadavků na uživatelem řízené akvizice nebo pozorování. Je prostředníkem mezi klientem a prostředím řízení sbírky senzorů.
6. **Sensor Alert Service (SAS)** – standardní rozhraní webové služby pro publikování a předplacení upozornění ze senzorů.
7. **Web Notification Services** – standardní rozhraní webové služby pro nesoudobé doručení zpráv nebo upozornění z SAS a SPS webových služeb a dalších prvků služeb pracovních postupů (OGC-SWE, 2007). Tato služba je užitečná, pokud je vyžadováno mnoho spolupracujících služeb k zajištění požadavku klienta, nebo když vznikají závažné prodlevy při plnění požadavku klienta.

4 Uložení měřených dat

Základním předpokladem pro integraci dat je příjem a uložení všech měřených dat do databáze na straně serveru. K uložení dat (nejen prostorových) v počítači slouží dva základní způsoby – souborový a databázový (Pechanec, 2014):

- při použití **souborového způsobu uložení dat** jsou data uložena v souborech v adresářové struktuře PC, což skrývá určité nevýhody. Uživatelé při editaci dat přistupují přímo k obsahu souborů, nelze tedy editovat tato data více uživatelům najednou. Vlastní datová vrstva je pak uložena v několika souborech (soubor s prostorovými daty, soubor s atributovými daty a soubory s vyhledávacími indexy – formát shapefile @Esri) nebo v jediném souboru (soubory DXF, DGN @MicroStation nebo formát GML).
- při použití **databázového způsobu uložení dat** jsou data uložena v databázi, kterou řídí DBMS. Díky tomu využívaný program rychle a efektivně pracuje s uloženými daty. DBMS zajišťuje neporušenost (integritu) dat a bezpečný přístup uživatelům k datům včetně víceuživatelské editace dat. Objem dat uložených v databázi je omezen pouze kapacitou HW, v němž je databáze uložena.

4.1 Prostorová databáze

Databáze (datová základna) je určitá uspořádaná množina informací (dat) uložená na paměťovém médiu. Pojem databáze se často používá pro zjednodušené vyjádření toho, co ve skutečnosti představuje databázový systém (databázový stroj, database engine, systém řízení báze dat (DBMS)). Součástí databáze jsou i softwarové prostředky umožňující manipulaci s uloženými daty a přístup k nim. Databáze neobsahuje pouze tabulky, ty jsou pouze jedním z mnoha databázových objektů (entit).

Prostorová databáze (geodatabase, prostorový databázový systém) je postrelační databázový systém schopný spravovat (ukládat, zpracovávat, manipulovat, dotazovat se) prostorová data (např. bod, úsečka, polygon). Kombinuje konvenční a prostorová data (data vztahující se k poloze objektů, jejich velikosti atd.). Prostorová databáze obsahuje množiny entit z určitého prostoru, u kterých je zřejmá identifikace, umístění a vztah k okolí (prostor = 2+ dimenzí).

Databáze buď nativně, či přidáním rozšíření umožňují dotazy na prostor. PostgreSQL má rozšíření PostGIS, SQLite Spatialite, SQL Server podporuje nativně prostorové dotazy od verze 2012, MySQL má rozšíření o prostorové dotazy, Oracle má placenou nadstavbu Spatial či bezplatnou Locator.

4.2 Uložení dat v prostorové databázi

Základním standardem pro uložení prostorových dat v databázi je standard *Simple Features for SQL* (ISO 19125), který specifikuje digitální ukládání geografických dat (bod, linie, polygon, multi-bod, multi-linie, atd.), jak s prostorovými, tak i s neprostorovými atributy (Pechanec, 2014). *Simple Features* jsou založeny na 2D geometrii s lineární interpolací mezi vrcholy. Obecně platí, že 2D geometrie je jednoduchá, neobsahuje-li překřížení prvku sebe samým. *OpenGIS Simple Features* specifikace definuje různé prostorové subjekty, které mohou být použity k vytvoření nové geometrie z existující geometrie. Standard definuje dva formáty pro popis geografických dat.

4.2.1 Well-known text

Well-known text (WKT) je textový značkovací jazyk určený pro popis vektorové geometrie geografických objektů, prostorových referenčních systémů, popřípadě transformačních parametrů mezi jednotlivými souřadnicovými systémy. Databáze podporující WKT: MySQL, PostgreSQL s PostGIS, SQLite se SpatiaLite, Oracle, MS SQL Server.

Geometrické objekty

Geometrické objekty, které lze pomocí WKT popsat jsou:

- body,
- linie,
- polygony,
- TIN,
- polyhedrony.

Multigeometrické typy dovolují použít v jednom objektu více geometrických typů stejné dimenze. Pro uložení geometrie různých dimenzí slouží kolekce geometrie.

Souřadnice mohou být 2D (x, y), 3D (x, y, z), 4D (x, y, z, m), kde m je hodnota lineárního referenčního systému nebo 2D s hodnotou m (x, y, m). Klíčové slovo EMPTY definuje tzv. "prázdnou" geometrii. Prvek, který neobsahuje žádné lomové body (souřadnice). Zápis ve formě WKT je často používán v OGC specifikacích. Například PostGIS obsahuje funkce pro konverzi geometrie z/do formy WKT.

Příklad geometrie zapsané ve formě WKT:

```
POINT(6 10)
```

```
LINESTRING(3 4,10 50,20 25)
```

```
POLYGON((1 1,5 1,5 5,1 5,1 1),(2 2, 3 2, 3 3, 2 3,2 2))
```

```
MULTIPOINT(3.5 5.6,4.8 10.5)
```

```
MULTILINESTRING((3 4,10 50,20 25),(-5 -8,-10 -8,-15 -4))
```

```
MULTIPOLYGON(((1 1,5 1,5 5,1 5,1 1),(2 2, 3 2, 3 3, 2 3,2 2)),((3 3,6 2,6 4,3 3)))
```

```
GEOMETRYCOLLECTION(POINT(4 6),LINESTRING(4 6,7 10))
```

Prostorové referenční systémy

Prostorový referenční systém obsahuje v zápisu WKT informace o geodetickém datu, geoidu, souřadnicovém systému a kartografickém zobrazení. WKT je používán řadou GIS aplikací a knihoven, např. ESRI používá WKT ve formátu Shapefile (soubor *.prj).

Transformace

Formát WKT může popisovat metodu transformace a transformační parametry pro konverzi mezi dvěma prostorovými souřadnicovými systémy.

4.2.2 Well-known binary

Well-known binary (WKB) je binární forma používaná pro převod a uložení informací v databázovém systému jako je např. PostGIS. Formát je kontrolován konsorciem Open Geospatial Consortium (OGC) a popsán ve specifikacích *Simple Feature Access* a *Coordinate Transformation Service*. Všechny souřadnice se zde ukládají jako hodnoty Double precision (64bitové číslo s plovoucí desetinnou čárkou).

Příklad geometrie zapsané ve formě WKB:

```
010100000000000000000000F03F000000000000F03F
```

Hodnota odpovídá hodnotě POINT(1 1) ve formátu WKT.

4.3 Vybrané dostupné nekomerční řešení

4.3.1 PostgreSQL & PostGIS

PostgreSQL je objektově-relační databázový systém s otevřeným zdrojovým kódem dostupný na většině základních platform. Je volně k dispozici pro použití, modifikaci a šíření způsobem, který si zvolí sám uživatel. Jedná se o robustní, výkonný, bezpečný, kompatibilní a interoperabilní software se zákaznickou podporou. Vyhovuje standardům SQL od verze SQL 2008 a nabízí velké množství pokročilých funkcí. PostgreSQL je založen na architektuře klient-server, to znamená, že server pořád běží a čeká na dotazy klienta (Momjian, 2001).

S vývojem databázového serveru PostgreSQL začala University of California v Berkley před více než 20 lety. Nyní je vyvíjen a udržován velkou komunitou nezávislých vývojářů. Řadí se mezi nejpokročilejší databázové systémy. Díky schopnosti pracovat s velkými objemy dat, své rychlosti a bohaté funkcionalitě může soupeřit i s populárními komerčními systémy jako jsou Oracle Database či MS SQL Server (PostgreSQL, 2012).

Samotné PostgreSQL neobsahuje datové typy ani funkce vhodné pro správu prostorových dat. K tomu je nutné přidat nadstavbu PostGIS, která implementuje specifikaci *Simple Features for SQL* konsorcia OGC a rozšiřuje tak databázový systém PostgreSQL o podporu geografických dat. PostGIS umožňuje ukládání geometrických objektů (bod, linie, polygon), použití prostorových funkcí pro určení vzdálenosti, délky linií, výměru a obvodu ploch a výběr prostorových indexů. PostGIS umožňuje práci s rozšířenými XML formáty GML, KML, GeoJSON a SVG. Existuje také další nadstavba PostGIS Raster, která rozšiřuje PostgreSQL o možnost ukládání a manipulace s rastrovými daty, nadstavba PostGIS Topology pro topologickou správu vektorových dat a nadstavba pgRouting pro síťové analýzy. PostGIS je podporován velkou řadou softwarových produktů zabývajících se správou geografických dat, což také umožňuje snadnou přenositelnost a použitelnost jednotlivých nadstaveb.

4.3.2 SQLite + SpatiaLite

SQLite je relační databázový systém obsažený v relativně malé knihovně napsané v jazyce C. Je vyvíjen D. Richardem Hippem a šířen pod licencí *public domain*. Na rozdíl od databází založených na principu klient-server, kde je databázový server spuštěn jako samostatný proces, je SQLite pouze malá knihovna, která se přilinkuje k aplikaci a pomocí jednoduchého rozhraní ji lze začít využívat. Každá databáze je uložena v samostatném souboru *.dbm (Database Manager)*, kde se data ukládají za použití jednoduchého primárního klíče do stejně velkých bloků a používá hašovací techniky pro rychlý přístup k datům při vyhledávání podle klíče. Charakteristické prvky databáze jsou absence databázového systému ve formě abstrahovaného prostředí a absence konfigurace. Databáze je tedy pouze v jednom souboru, nezávislém na platformě; to s sebou nese výhody (migrace) i nevýhody (fragmentace).

Spatialite je prostorové rozšíření pro databázi SQLite. Přináší podporu prostorových dat podle standardu Simple feature a implementuje SQL prostorové funkce. Velmi dobře spolupracuje s knihovnou GEOS pomocí které realizuje kompletní sadu prostorových funkcí (Pechanec, 2014).

4.4 Optimalizace způsobu uložení dat

Příchozí naměřená a předzpracovaná data (viz. Kap. 5) je možné ukládat několika způsoby (Julina, 2016).

V prvním případě jsou ukládány příchozí pakety do databáze tak, jak jsou (s minimálními HW nároky na příjem). Zpracování údajů pro zobrazení, případně výpočet statistiky, bude vyžadovat vždy vyčtení všech údajů v požadovaném časovém úseku (opakované vysoké HW nároky na zobrazení).

Další možností je základní rozklíčování příchozích paketů před uložením do databáze, tj. na samostatné položky: čas (časová značka) - senzor - měřená hodnota - základní jednotka. Zpracování údajů pro zobrazení bude poté vyžadovat vyčtení pouze požadovaných senzorů v daném časovém úseku.

Třetí možností je rozšíření předchozího případu o kompletní zpracování statistiky hierarchicky pro daná časová měřítka, např. 1 hod, 6 hod, 1 den, 1 týden, 1 měsíc, 1r ok (více samostatně generovaných souborů / databází). Statistikou je myšlen výpočet minimální, maximální a průměrné hodnoty (min/max/avg) z měření v daném časovém intervalu. Toto řešení vytváří vyšší HW zátěž při příjmu paketů, avšak minimální při zobrazení a dalším zpracování.

Vhodným řešením může být kombinace prvního případu, kdy se jedna služba serveru stará o uložení a dočasné zalogování dat (např. 1x / měsíc) a druhá služba o zpracování, jako ve třetím případě.

5 Zpracování naměřených dat

5.1 Předzpracování obrazových dat

Snímky stahované pomocí existujících webových služeb (detailní popis v Pechanec a kol. 2017) jsou již v datových strukturách vhodných pro další práci v prostředcích GIS (geografické informační systémy) či DPZ (systémy pro zpracování dat z dálkového průzkumu Země).

Tato data jsou již obvykle předzpracována, tzn. dříve než byla umístěna do služby ke stažení, byla na nich provedena geometrická a radiometrická korekce. Radiometrické korekce představují dva základní typy úprav snímku.

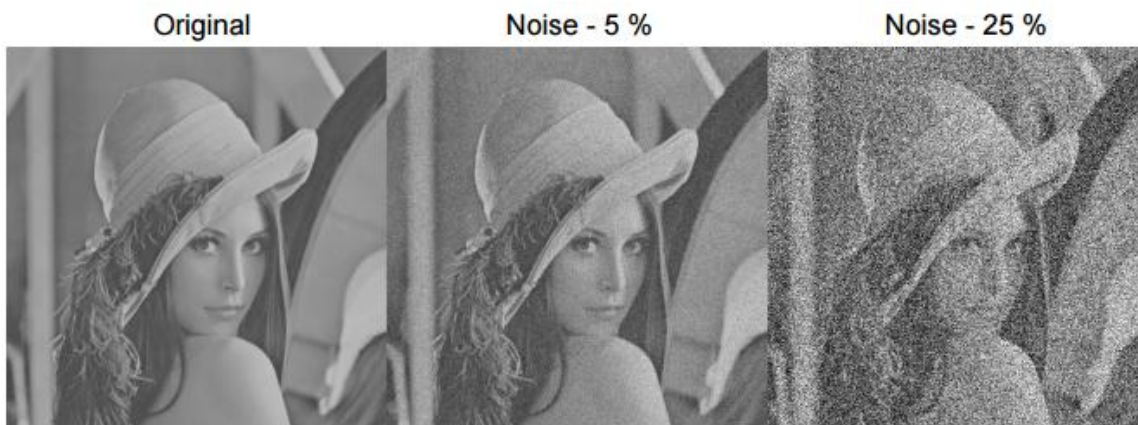
- **atmosférických korekcí** pro něž se nejčastěji používají algoritmy vyvinuté německou kosmickou agenturou DLR (ATCOR2, ATCOR3). Cílem těchto korekcí je odstranění radiometrických zkreslení způsobených atmosférickými efekty. Použití těchto postupů je však nutné vždy předem zvážit, neboť znamenají výrazný zásah do původní radiometrie dat.
- **topografické korekce** jejichž cílem je odstranění vlivu topografie tzn. výraznějších výškových změn zemského povrchu na původní radiometrické hodnoty pořízených dat. Negativní projevy tohoto jevu nabývají na významu, pokud jsou snímky pořízeny pod většími šikmými úhly (*incidenčními úhly*). Častý případ u moderních družic se skenery snímajícími do stran kolmo ke směru letu družice.

V případě geometrických korekcí se jedná o odstranění nedostatků typu chybějící nebo posunuté obrazové řádky a jejich části. Takové opravy je zpravidla nutné provádět manuálně, automatizované postupy je možné využívat spíše výjimečně.

Snímky z pozemních senzorů jsou zatíženy specifickými chybami, které je třeba před uložením opravit. Jedná se o redukci obsahu šumu v obrazu a odstranění vinětace snímku za účelem získání reálných hodnot reflektance povrchu.

5.1.1 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 příchozím záření, vlivem chybovosti snímače (Alamri, Kalyankar a Khamitkar, 2010). Zdroje šumu jsou obecně dva: systematický a náhodný. 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)(obr. 5.1), než na jeho úplné odstranění (Kelcey a Lucieer, 2012).



Obr. 5.1 Efekt vlivu šumu na kvalitu obrazu (Zdroj: Kelcey a Lucieer, 2012)

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

$$DN_{raw} = DN_{rad} + (DN_{sn} + DN_{rn}) \quad (5.1)$$

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

Příprava korekčních snímků

Korekční snímky je vhodné pořídit v nejběžnějším nastavení používaném pro snímkování a pro ADC kameru je doporučeno nastavit clonu 3,8 a závěrku 0,5 ms. S tímto nastavením se pořídí série snímků (např. 32), ze kterých se připraví korekční snímek pro **jednotlivá pásma** obrazu, jako průměr z těchto snímků. Na výsledném korekčním snímku je jasně patrná šachovnicová struktura filtru kamery (obr. 5.2). Korekce je třeba pořizovat vždy pro konkrétní nastavení kamery.



Obr. 5.2 Korekční snímek zeleného pásma pro odstranění šumu

V rámci výpočtu je třeba kontrolovat, zda výsledná hodnota není záporná. Pokud ano je třeba výsledný snímek o zápornou hodnotu upravit. Pro další využití dat je třeba zachovat originální metadata snímku (zejména datum a čas pořízení).

5.1.2 Odstranění vinětače

Vinětače je definovaná jako prostorově závislý radiální úbytek dopadajícího světla. Hlavním zdrojem vinětače (obr. 5.3) je vliv geometrie objektivu kamery a větší úhly záběru zvětšují i vliv vinětače (Goldman, 2010).



Obr. 5.3 Vliv vinětače na kvalitu obrazu (Zdroj: Kelcey a Lucieer, 2012)

K odstranění vinětače 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 vinětače. 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 na vinětači (Kelcey a Lucieer, 2012).

$$DN_{raw} = DN_{rad} * VLUT(i, j) \quad (5.2)$$

Korekční faktor je generován ze snímků uniformní, spektrálně homogenní plochy označované jako *flat field*. Snímek bez vlivu vinětače by měl mít jednotnou DN hodnotu, jakákoli odchylka je pak vliv vinětače (vzorec 5.2). Na základě tohoto je generován korekční faktor pro každý pixel obrazu (vzorec 5.3), kdy se předpokládá, že nejvyšší DN hodnota obrazu je neovlivněna vinětačí (Kelcey a Lucieer, 2012).

$$VLUT(i, j) = VFF(i, j) / VFF_{max} \quad (5.3)$$

K pořízení vstupních snímků pro odstranění vinětače je vhodné jako *flat field* použít odrazovou (kalibrační) desku určenou ke kalibraci multispektrálních kamer, která má shodné odrazivé vlastnosti ve všech pásmech a dosahuje odrazivosti 99 %. Desku je třeba nasvítit rovnoměrně přirozeným světlem.

Míra vinětače 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).

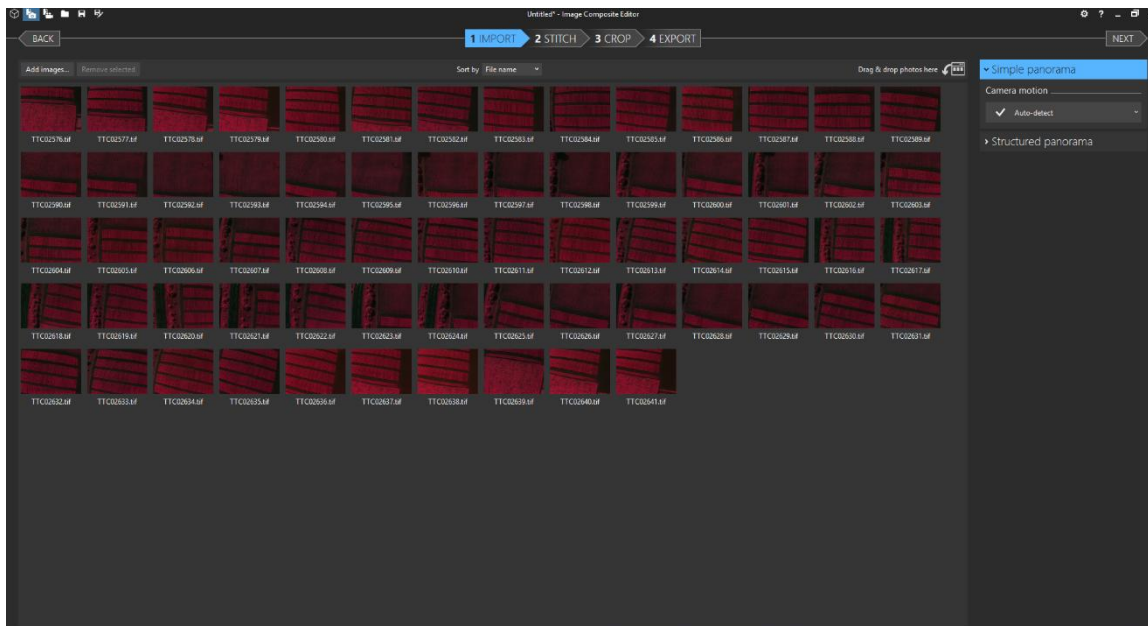
5.1.3 Spojení pásem snímku

Protože výše popsané úpravy vyžadují úpravy na jednotlivých pásmech obrazu, je třeba na konci procesu tato jednotlivá pásma spojit. Pro tento účel lze využít funkce typu *Composite bands*, která je dostupná v řadě grafických programů či specializovaných programů pro zpracování obrazu.

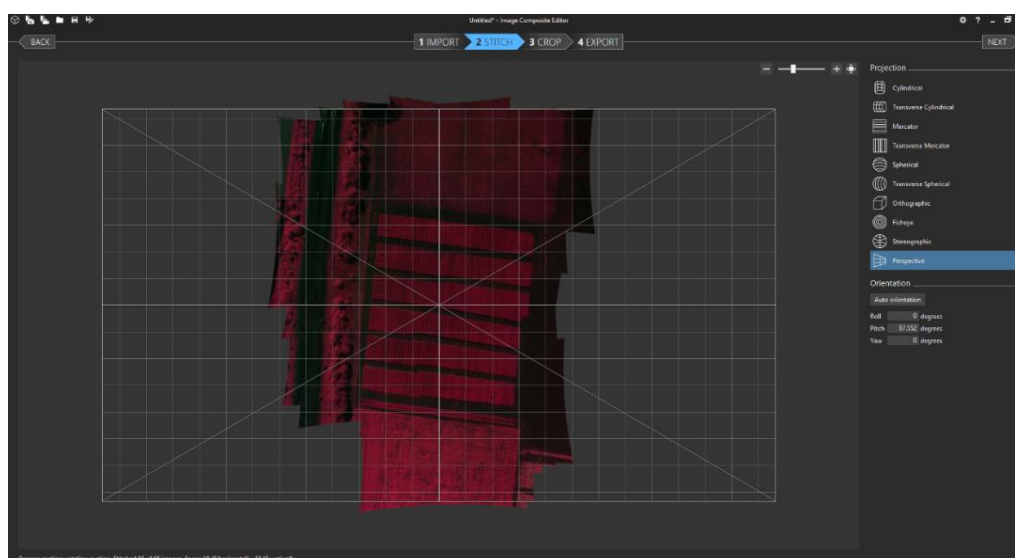
5.1.4 Vytvoření panoramatických snímků

Vzhledem k velkému počtu snímků, které díky snímkování pomocí UAV systému mají nízké prostorové pokrytí, je vhodné spojit snímky z jednotlivých snímkování v jeden. K vytvoření mozaiky snímků je možno využít řadu programů, např. Image Composite Editor, který umožňuje jednoduše spojit velké množství snímků v jeden panoramatický (obr. 5.4. - 5.6).

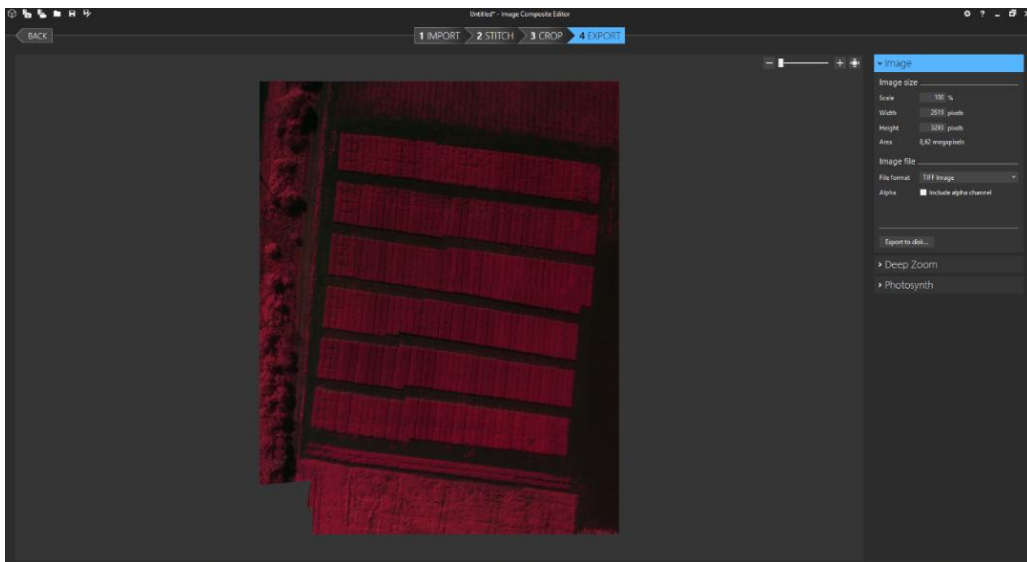
K vytvoření mozaiky snímků se vybírají snímky, které mají co nejvíce svislou osu snímkování, aby při spojování snímků docházelo k co nejmenší deformaci.



Obr. 5.4 Ukázka vytvoření mozaiky snímků v programu Image Composite Editor



Obr. 5.5 Ukázka vytvoření mozaiky snímků v programu Image Composite Editor



Obr. 5.6 Ukázka vytvoření mozaiky snímků v programu Image Composite Editor

Výsledné mozaiky snímků je poté potřeba v libovolném GIS programu georeferencovat pomocí GCP (obr. 5.7), které byly kolem lokality umístěny a zaměřeny před snímkováním.



Obr. 5.7 Umístění GCP kolem experimentální lokality

5.2 Předzpracování senzorových dat

Data přicházející ze senzorů obsahují řadu možných chyb, jež vznikají při záznamu na datovém úložišti. Je nezbytné tyto chyby odstranit, pokud možno automatizovaně, před jejich importem do databáze (Fedrzal, 2016).

```
"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. 5.8 Příklad surových dat získaných z brány Meshlium

Rovněž je vhodné automaticky kontrolovat správnost naměřených hodnot v rámci limitů uvedených v technické dokumentaci jednotlivých senzorů.

Požadavky na kontrolu a odstranění chyb:

- 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. 5.8). Dalším vyskytujícím se problémem, který ale není chybou zápisu, jsou startovací záznamy WSN brány nesoucí informaci

o zapnutí brány a jsou pro ukládání naměřených hodnot zbytečné. Následuje 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 je nutné zkontrolovat správnost zápisu dat v posledním sloupci původního souboru, který obsahuje některé identifikační údaje a naměřené hodnoty oddělené křížkem (#), jednotlivé údaje jsou pak vedené ve formě veličina:hodnota, což probíhá pomocí nově definované funkce *value_validation*. Příklad vyčištěného souboru je uveden na obrázku 5.9.

```

["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:3.29"
"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"
"297356";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:30:41";"0";"I:382552190#N:1452#BAT:8#CA:18.70#CB:98.36#CC:3.29#CD:0.99#CE:0.28#CF:3.29"
"297357";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:30:44";"0";"I:382542829#N:22230#ST:15.34#SH:96.84#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297358";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:35:35";"0";"I:382549735#N:22230#ST:15.20#SH:92.03#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297359";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:35:42";"0";"I:382552190#N:1453#BAT:11#CA:17.74#CB:99.23#CC:3.29#CD:0.97#CE:0.28#CF:3.29"
"297360";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:36:00";"0";"I:382542829#N:22231#ST:15.15#SH:97.21#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297361";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:40:43";"0";"I:382552190#N:1454#BAT:8#CA:16.77#CB:98.71#CC:3.29#CD:0.97#CE:0.22#CF:3.29"
"297362";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:40:52";"0";"I:382549735#N:22231#ST:14.82#SH:93.39#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297363";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:41:18";"0";"I:382542829#N:22232#ST:15.05#SH:98.55#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297364";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:46:09";"0";"I:382549735#N:22232#ST:15.07#SH:93.93#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297365";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:46:35";"0";"I:382542829#N:22233#ST:15.34#SH:98.04#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297366";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:50:45";"0";"I:382552190#N:1456#BAT:9#CA:15.80#CB:97.50#CC:3.29#CD:0.95#CE:0.22#CF:3.29"
"297367";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:51:26";"0";"I:382549735#N:22233#ST:15.16#SH:93.09#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297368";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:51:51";"0";"I:382542829#N:22234#ST:15.47#SH:96.84#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"297369";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-01 00:55:46";"0";"I:382552190#N:1457#BAT:9#CA:19.03#CB:98.36#CC:3.29#CD:0.96#CE:0.28#CF:3.29"

```

Obr. 5.9 Příklad vyčištěných dat

Průběžná revize „čištěných dat“ je nezbytná ze dvou důvodů: i) pro kontrolu správného rozsahu hodnot daných veličin – zde je nutná kontrola zápisu každé dvojice, včetně správné formy zápisu hodnot. Pokud hodnota dané veličiny není v platném rozsahu, je toto měření potřeba převést do chybového souboru pro další kontrolu (obr. 5.10); ii) pro kontrolu platnosti zápisu jednoho záznamu v případě, kdy je řádek na základě netisknutelných znaků chybně dělen do více záznamů, a v takovém případě je nutno tyto řádky opětovně spojit.

V chybovém souboru lze nejčastěji najít měření, jejichž hodnoty se pohybují mimo platný rozsah. Nejčastěji se jedná o měření relativní vlhkosti vzduchu, kde se hodnoty pohybují často lehce přes 106 % relativní vlhkosti. Tyto hodnoty se nejčastěji objevují ve spojení s vyššími teplotami, přestože jsou tyto teploty stále v pracovním rozmezí daného senzoru. Výjimkou nejsou bohužel ani záporné hodnoty relativní vlhkosti vzduchu a hodnoty teploty hluboko pod bodem mrazu (obr. 5.11), což vzhledem k datu pořízených dat není možné (Hejlová et al., 2015).

Dalším častým jevem, který se nepodařilo odstranit je spojení dvou řádků do jednoho záznamu. Tento jev se objevuje v několika různých formách, v základu se ale jedná o zápis údajů z více uzlů do jednoho záznamu. Rozdílily se vyskytují pouze v technické kvalitě tohoto zápisu (chybějící ohraničující uvozovky, atp.).


```

["299338";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-03 14:27:39";"0";"I:382552190#N:2193#BAT:6#CA:33.54#CB:98.89#CC:1.59#CD:0.57#CE:0.36#CF:3.29299339""I:382542829#N:22934#ST:29.31#SH:45.78#WA:0.00#WP:0.00#WV:W"
"306675";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-05 05:40:12";"0";"I:382549735#N:23378#ST:17.72#SH:79.78#WA:0.00#WP:0.00#WV:W:382552190#N:2662#BAT:4#CA:20.32#CB:98.54#CC:3.29#CD:1.00#CE:0.47#CF:3.29I:382552190#
"301338";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-06 02:06:14";"0";"I:382542829#N:23611#ST:20.51#SH:81.02#WA:0.00#WP:0.00#WV:W:382552190#N:2907#BAT:3#CA:21.61#CB:100.10#CC:3.29#CD:0.97#CE:0.40#CF:3.29"
"301625";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-06 11:20:56";"0";"I:382542829#N:23715#ST:30.10#SH:51.92#WA:0.00#WP:0.00#WV:W:382552190#N:3017#BAT:4#CA:31.29#CB:101.14#CC:3.14#CD:0.69#CE:0.49#CF:3.29I:382549735#
"302445";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-07 10:40:26";"0";"I:382552190#N:3206#BAT:1#CA:32.25#CB:99.58#CC:3.29#CD:0.58#CE:0.46#CF:3.29I:382549735#N:2390#ST:28.72#SH:42.90#WA:0.00#WP:0.00#WV:W:382542829#
"302554";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-07 13:51:03";"0";"I:382542829#N:24017#ST:32.22#SH:44.52#WA:0.00#WP:0.00#WV:W:382552190#N:3334#BAT:0#CA:34.51#CB:100.10#CC:1.26#CD:0.50#CE:0.40#CF:3.29I:382549735#
"302838";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-07 22:01:55";"0";"I:382549735#N:24109#ST:32.38#SH:59.64#WA:0.00#WP:0.00#WV:W:382552190#N:3432#BAT:0#CA:31.93#CB:101.05#CC:3.29#CD:0.79#CE:0.43#CF:3.29"
"303239";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 09:24:50";"0";"I:382552190#N:3568#BAT:0#CA:31.61#CB:106.34#CC:3.29#CD:0.99#CE:0.45#CF:3.29"
"303261";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 10:04:57";"0";"I:382552190#N:3576#BAT:0#CA:32.25#CB:106.17#CC:3.29#CD:0.85#CE:0.40#CF:3.29"
"303267";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 10:14:59";"0";"I:382552190#N:3578#BAT:0#CA:31.29#CB:106.34#CC:3.29#CD:0.85#CE:0.41#CF:3.29"
"303276";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 10:30:02";"0";"I:382552190#N:3581#BAT:0#CA:28.70#CB:106.17#CC:3.29#CD:0.91#CE:0.42#CF:3.29"
"303292";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 10:55:07";"0";"I:382552190#N:3586#BAT:0#CA:29.67#CB:106.09#CC:3.29#CD:0.89#CE:0.50#CF:3.29"
"303295";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 11:00:00";"0";"I:382552190#N:3587#BAT:0#CA:32.25#CB:106.09#CC:3.29#CD:0.92#CE:0.45#CF:3.29"
"303303";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 11:10:10";"0";"I:382552190#N:3589#BAT:0#CA:32.00#CB:106.09#CC:3.29#CD:0.84#CE:0.41#CF:3.29"
"303306";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 11:20:12";"0";"I:382552190#N:3591#BAT:0#CA:30.64#CB:106.09#CC:3.29#CD:0.78#CE:0.43#CF:3.29"
"303310";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-08 11:30:14";"0";"I:382552190#N:3593#BAT:0#CA:30.64#CB:106.09#CC:3.29#CD:0.72#CE:0.40#CF:3.29"

```

Obr. 5.10 Příklad dat v chybovém souboru

```

"307777";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-18 07:17:38";"0";"I:382542829#N:526#ST:-39.70#SH:-2.08#WA:0.00#WP:0.00#WV:W
"307779";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-18 07:22:55";"0";"I:382542829#N:527#ST:-39.70#SH:-2.08#WA:0.00#WP:0.00#WV:W
"307781";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"NULL";"2015-07-18 07:28:11";"0";"I:382542829#N:528#ST:-39.70#SH:-2.08#WA:0.00#WP:0.00#WV:W

```

Obr. 5.11 Příklad naměřených nereálných hodnot kombinovaným senzorem SHT75

5.2.1 Parsování dat

Volitelným krokem předzpracování sensorových dat je parsování záznamů. Záznamy v původních datech velmi často obsahují všechna měření z konkrétního uzlu (dataloggeru). Pro import do databáze je třeba tento záznam rozložit na jednotlivé hodnoty aby odpovídal filozofii relační databáze a byl snadno importovatelný (obr. 5.12).

```

"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. 5.12 Příklad parsovaných záznamů

6 Zobrazení měřených dat

K zobrazení měřených dat lze použít více způsobů i jejich kombinací. Základním předpokladem je umožnění přímého či vzdáleného přístupu do databáze, přičemž cílová aplikace musí příslušná data zpracovat (pokud již nejsou). Příkladem je dynamická webová aplikace pro on-line zobrazení, počítačová aplikace pro zpracování a zobrazení (obecně) či jiný systém, reagující na stav čidel (např. závlaha).

Jinou možností je export měřených dat z databáze na externí úložiště (např. web server) s jeho automatickým obnovením v nastaveném časovém intervalu. Může se jednat např. o statické grafy měřených hodnot z čidel (formát bitmapy), soubory exportu dat (txt, csv), či odeslání dat jiné externí aplikaci (xml).

7 Integrace dat

Základní integrací dat se rozumí uložení obou typů dat do jednotného datového modelu a souběžné zobrazení a vzájemné provázání dat za účelem odvození přesnější hodnoty. Společné uložení umožňuje nastavení řady vnitřních plně automatických procesů (triggerů) pro snazší registrování obsahu dat, jejich prostorového rozsahu, rozsahu platných hodnot, automatického propojování a souběžného prohledávání. Nezbytným předpokladem je uložení dat ve stejném souřadnicovém systému, jež urychlí prostorové vyhledávání a existence časové značky – tedy kombinace data a času pořízení dat, a data a času uložení v databázi.

Jsou-li data společně uložena ve standardizovaných formátech, je dalším stupněm jejich integrované zobrazení v cílové aplikaci. Tento stupeň integrace představuje možnost zobrazení obou typů dat v jednom okně. Data je možno naráz filtrovat dle uživatelských požadavků, zejména na základě prostorového rozsahu – tzn. aby se zobrazila pouze data, která skutečně zasahují do zájmové oblasti a na základě vymezení času. Možný způsob implementace tohoto kroku je zobrazen na obr. 7.3. Samozřejmě při filtrování relevantních dat je možno použít další kritéria, jež jsou u uložených dat k dispozici (např. typ senzoru, jež data pořídil, kvalita dat, stupeň předzpracování apod.).

Přínosem integrovaného prohlížení je vícenásobný vhled na danou situaci - v rámci sensorových dat jsou vidět konkrétní hodnoty pro konkrétní pozice, obrazová data přibližují situaci v prostorovém kontextu. Při základním stupni zpracování dat je možno z nich „vnímat“ pouze relativní informaci, kde je větší a kde menší hodnota než zobrazená konkrétní hodnota. Souběžná vizuální informace přispívá k rychlejší interpretaci získaných hodnot. Z obrazového materiálu lze rychle identifikovat, kde již bylo provedeno plánované agrotechnické opatření a to může vysvětlit případnou variabilitu v sensorových dat z jinak shodných lokalit.

Jak je uvedeno v kap. 1, proces pořízení obrazových hodnot je závislý na aktuálním stavu snímaného povrchu. Mezi vlastnosti zemského povrchu, které způsobují největší problémy patří vysoká variabilita vlhkosti půdy. Ta však představuje ukázkový příklad pro integraci dat, neboť sensorové měření půdní vlhkost patří mezi základní vlastnosti měřené senzory a data vlhkosti získaná ze sensorů mohou být v procesu zpracování obrazu použita jako významné korekční hodnoty. Záleží jen na vhodném rozmístění sensorů v lokalitě, tak aby byla pokryta místa s předpokládanou variabilitou (Lukas et al., 2012, Penížek et al., 2014).

Další vlastností zemského povrchu, jež výrazně ovlivňuje zpracování obrazových dat, je proměnlivé zastínění lokality. Možnou eliminací tohoto problému je integrace s *low-cost* kamerami, které souběžně snímají aktuální stav lokality a poskytují doplňující informace pro správnou interpretaci. Při automatizovaném řešení snímání, přenosu, ukládání a zpracování dat je třeba vhodné integrace, jež zaručí správné a automatické párování odpovídajících si dat (dle místa a času).

Vyšším stupněm integrace je přímé kombinování naměřených hodnot, kdy kvantitativní hodnoty jevu odvozené ze zpracovaných obrazových snímků, např. stanovením příslušných vegetačních indexů, se přímo začleňují do procesu interpolace sensorových dat.

7.1 Integrace na úrovni uložení dat

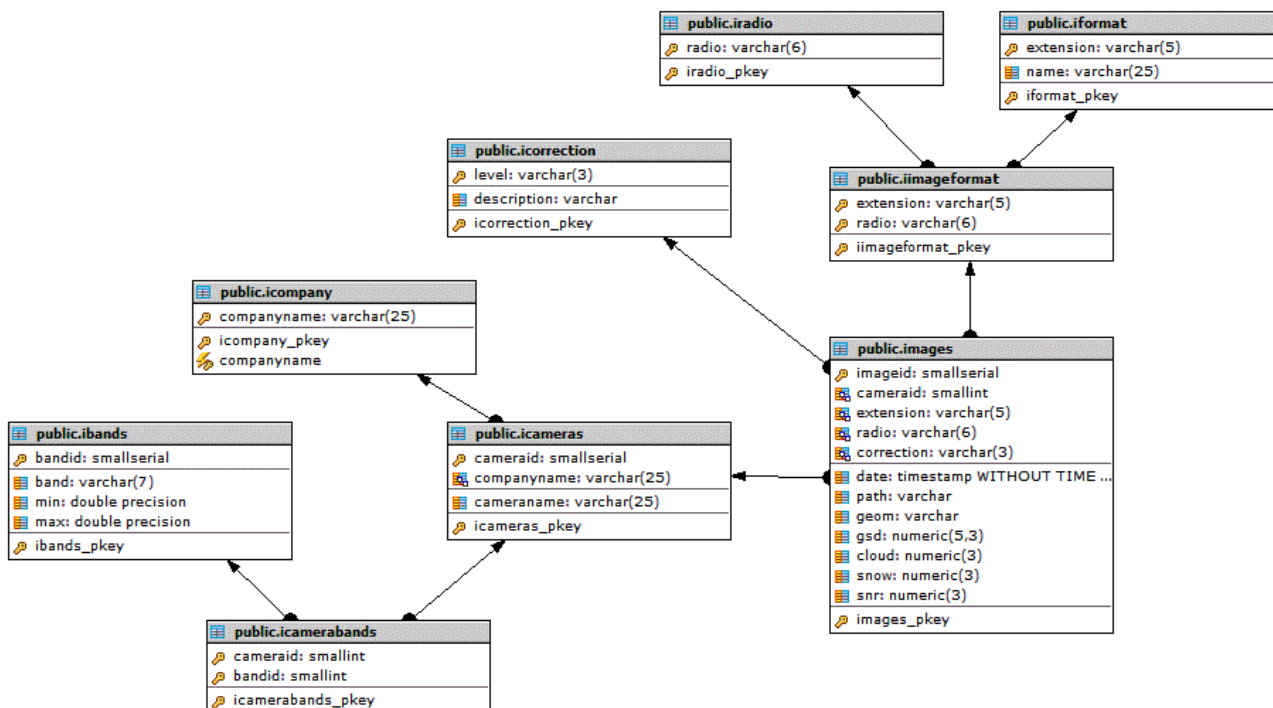
Základní požadavkem při integraci je uložení senzorových a obrazových dat do jedné databáze a zabezpečení procesu párování dat. Následující ukázka možné struktury databáze za účelem integrace dat je dílčím výstupem diplomové práce F. Fedrzela (2016), která vznikala na pracovišti řešitele v přímé souvislosti s řešením projektu. S ohledem na rozdílnou strukturu dat a metadat obou datových sad je vhodné spravovat dva základní „bloky“, které každý zvlášť jsou určeny pro ukládání příslušných dat a jejichž struktura respektuje povahu ukládaných dat. Vlastní párování pak zabezpečuje vlastní blok strukturovaný podle požadavků párování.

Tab. 7.1 Přehled tabulek

Obrazová část	
Název tabulky	Popis
images	Seznam snímků
iCorrection	Číselník korekcí snímku
imageformat	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
Senzorová část	
Název tabulky	Popis
sensorparser	Seznam senzorových měření
sSensors	Vlastnosti senzorů
sNodes	Seznam uzlů a jejich poloha
sRelation	Seznam senzorů připojených k uzlu
sUnit	Číselník fyzikálních jednotek
sDatatype	Číselník datových typů senzorových měření
sPrecision	Přesnost senzorů
sPrecisionrange	Rozsah pro uvedení přesnosti senzoru
sRange	Rozsah měřených hodnot
sSensibility	Citlivost senzorů
Párovací část	
Název tabulky	Popis
pair	Párovací tabulka

7.1.1 Obrazová část

Obrazová část databáze (obr. 7.1) slouží k ukládání informací o obrazových datech a skládá se z 9 tabulek (tab. 7.1). Základním kamenem je tabulka *images* (tab. 7.2), která obsahuje základní informace o snímcích.



Obr. 7.1 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 pět 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 *charakter varying* s omezením na šest 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 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 pět číslic s přesností na tři desetinná místa. Pokrytí snímku mraky (atribut *cloud*) reprezentuje procentuální pokrytí snímku. Atribut je v datovém typu *numeric* s omezením na tři 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 signál/šum je uveden v atributu *snr* v datovém typu *numeric* omezením na tři číslice a dvě desetinná místa, navíc je kontrolován rozsah do hodnoty 1.

Posledním atributem je *correction*, který popisuje úroveň aplikovaných korekcí na snímku. Tento atribut navíc představuje cizí klíč pro propojení s tabulkou *iCorrection*.

Tab. 7.2 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. 7.3) 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 svojí délkou na tři místa a atribut *description* není délkově omezen. Tabulka *iCorrection* je propojena s pomocí atributu *level* s tabulkou *images*.

Tab. 7.3 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. 7.4). 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. 7.4 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. 7.5) 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 šest znaků.

Tab. 7.5 Struktura tabulky *iRadio*

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

Tabulka *iFormat*

Číselník *iFormat* (tab. 7.6) 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 pět znaků a slouží jako primární klíč číselníku. Druhý atribut obsahuje celý název formátu v datovém typu *character varying* s omezením na 25 znaků.

Tab. 7.6 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. 7.7) 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. 7.8), atribut je veden v datovém typu *character varying* s omezením na 25 znaků.

Tab. 7.7 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. 7.8) slouží jako číselník výrobců kamer. Obsahuje jeden atribut *companyname*, který slouží i jako primární klíč.

Tab. 7.8 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. 7.9), která popisuje spektrální vlastnosti dané kamery, pomocí definovaných pásem z číselníku *iBands*. Oba atributy jsou použity 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. 7.9 Struktura tabulky *iCamerabands*

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

Tabulka *iBands*

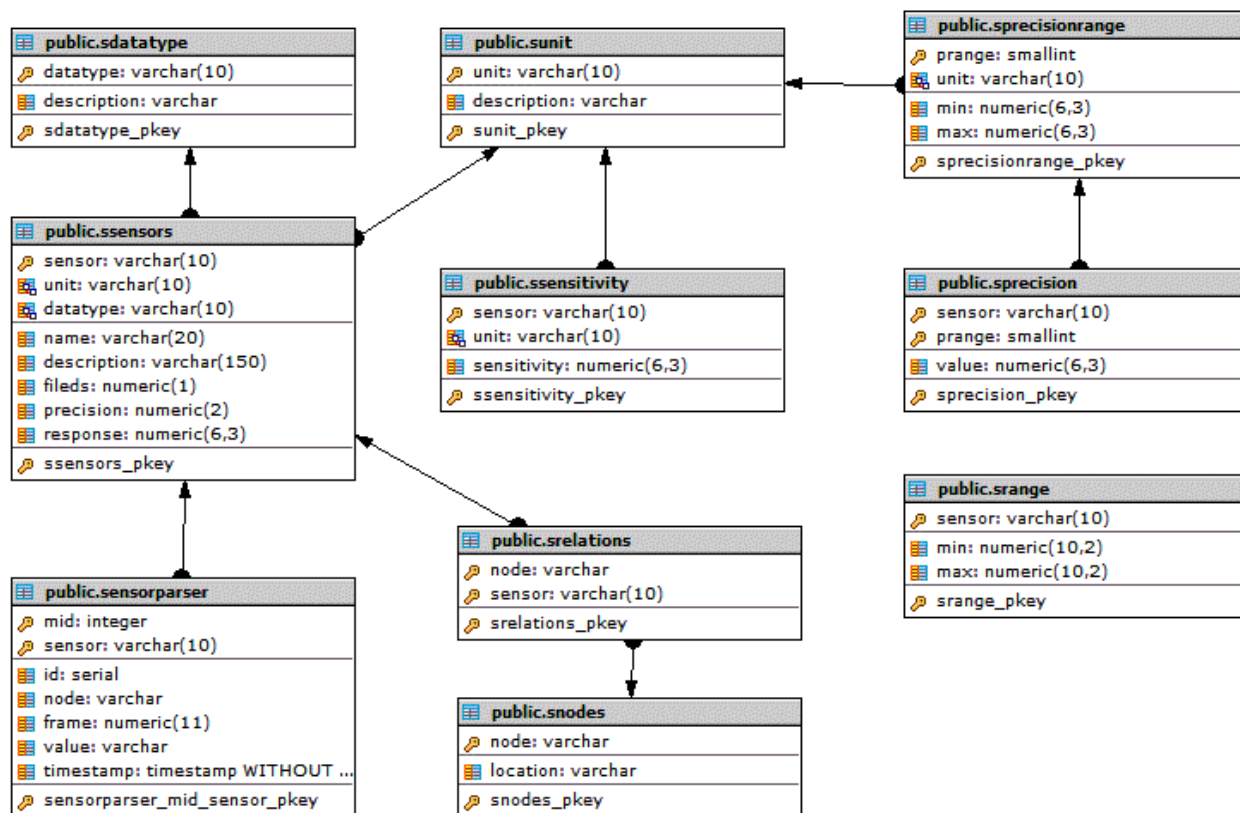
Číselník *iBands* (tab. 7.10) obsahuje definici běžných multispektrálních pásem, jejich používanou zkratku (atribut *band*) a minimální (atribut *min*) a maximální (atribut *max*) vlnovou délku. Atribut *bandid* slouží jako primární klíč a používá datový typ *small serial*. Atribut *band* nebyl jako primární klíč použit z důvodu, že název pásma se může opakovat, ale přesný rozsah se u různých kamer může lišit.

Tab. 7.10 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

7.1.2 Senzorová část

Senzorová část databáze (obr. 7.2) vznikla na základě vnitřní databáze brány Meshlium, a byla dále upravena tak, aby ideálně sloužila svému účelu v rámci vznikající nové databáze.



Obr. 7.2 Struktura senzorové části databáze

Tabulka *sensorparser*

Jádrem senzorové části databáze je tabulka *sensorparser* (tab. 7.11), 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 parsované 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 rámeček, který sdružuje všechna měření realizovaná 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. 7.11 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. 7.12) 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 deset 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 jedno číslo, protože se nepředpokládá, že by senzor měřil více než 9 veličin. Atribut *datatype* pak uvádí, v jakém konkrétním datovém typu je veličina měřená 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 dvě číslice. Posledním atributem je *response*, který popisuje reakční čas daného senzoru ve vteřinách v datovém typu *numeric* omezeném na šest číslic a tři desetinná místa.

Tab. 7.12 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. 7.13) 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. 7.13 Struktura tabulky *sNodes*

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

Tabulka *sRelations*

Tabulka *sRelations* (tab. 7.14) 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. 7.14 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. 7.15) 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. 7.15 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. 7.16) 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 šest číslic a dvě desetinná místa.

Tab. 7.16 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. 7.17) popisuje danou přesnost senzoru, tedy velikost jeho chyby. Atribut *sensor* slouží k identifikaci daného senzoru a atribut *value* pak udává jeho přesnost v datovém typu

numeric omezeném na šest číslic a dvě desetinná místa. Atribut *prange* slouží k určení, v jakém rozsahu je daná přesnost platná a jako cizí klíč odkazuje na tabulku *sPrecisionrange*.

Tab. 7.17 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. 7.18) 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. 7.18 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. 7.19) 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. 7.19 Struktura tabulky *sDatatype*

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

7.1.3 Integrační mechanismus

Poslední nejdůležitější částí databáze je párovací tabulka a samotný mechanismus integrace / párování obrazových a sensorových dat. Tabulka *pair* (tab. 7.20) obsahuje identifikátory sensorových měření a snímků včetně některých doplňujících informací.

Atribut *pairid* je primárním klíčem a slouží jako identifikátor daného páru dat. Vzhledem k rozsahu sensorových 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. 7.20 Struktura tabulky *pair*

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

Samotná integrace, resp. párování dat je realizováno pomocí dvou triggerů na tabulkách *images* a *sensorparser*. Párování dat proběhne vždy, když je do tabulky uložen nový záznam. Pro triggerů 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 spárovaných měření a snímků. Prvním krokem je provedení spojení (*join*) tabulek *sNodes* a *sensorparser*. Dále je pomocí sekvence *images_imageid_seq* nalezen poslední vložený snímek, jehož geometrie je následně porovnána 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 hledána měření, která se nachází v rozmezí 15 minut od vzniku snímku. Takto je sestaven seznam spárovaných 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;

```

Kód 7.1 Parsovací trigger

7.2 Integrace na úrovni zobrazování dat

Příkladem pokročilé aplikace pro vizualizaci je vyvinutý web server, který naprogramován pomocí Python skriptování. Python skriptování je velmi silné a velmi variabilní pro většinu oblastí počítačové vědy. Ať už se jedná o práci s daty, datamining, vyhledávání, preprocessing dat, postprocessing dat, úpravu rastrových obrázků, vizualizaci, automatizaci, webové služby, geoinformatiku apod.. Pro rozšíření základních funkcí Python bylo využito několika balíčků. Balíček *Flask* zpřístupňuje funkce pro web server, balíček *psycpg2* zajišťuje komunikaci mezi web serverem a PostgreSQL databází, balíček *Folium* zpřístupňuje funkce JavaScriptové knihovny *Leaflet* pro tvorbu mapových aplikací v Python, balíček *Vincent* umožňuje vytváření grafů nad vstupními daty.

Flask Microframework web server je Python balíček, který je licencován pod BSD licenci (*Barkeley Software Distribution*). *Micro* v názvu neznamena, že by měl nedostatek funkcí a pracoval jen se základními možnostmi, ale že celý web server lze vměstnat do jediného Python skriptu. *Flask* umožňuje přístup do různých databází (PostgreSQL, SQLite, MySQL) či vzhledových šablonových systémů (Jinja2, Mako, Cheetah). Žádný z nich není uživateli vnucován a může se svobodně rozhodnout, kterou databázi a který šablonový systém si vybere. Balíček *Folium* spojuje nespornou sílu s jakou Python umí pracovat s daty a sílu JavaScript knihovny *Leaflet.js* pro vizualizaci a práci s mapami. Knihovna *Folium* podporuje mnoho dlaždicových systémů od OpenStreetMap, Mapbox či Stamen, podporuje i vlastní dlaždicové systémy s Mapbox nebo Cloudmade API. *Folium* také podporuje jak formát GeoJSON, tak TopoJSON překryvné vrstvy. S balíčkem *Folium* lze také vytvářet překryvné kartogramy s různými barevnými schémata. Balíček *Leaflet* podporuje zobrazování výsledků z balíčku *Vincent*, například jako vyskakovací okno (*popup*) s grafem, které bylo využito v této aplikaci.

Úvodní stránka (*index*) obsahuje jednoduchý formulář, kde si uživatel vybere v jakém období a jaký meteorologický jev chce na mapě zobrazit. Uživatel nastavuje počáteční den, měsíc a interval od zadaného dne (jeden den, jeden týden, nebo jeden měsíc). Poslední pole formuláře je výběr požadovaného jevu.

Při výběru různého nastavení se samozřejmě uživateli objeví jiná mapa. Senzory mohou být na různých místech, či může vzniknou shluk sensorů na jednom místě, pokud se v tom období na tom konkrétním místě vyměnilo více sensorů. K odeslání požadavků z formuláře na webový server je použito požadavku GET. Webový server sestrojí podle zadaného dne a intervalu přesné rozmezí. Toto rozmezí je poté použito do SQL dotazu. Datum začátku a konce je použito jako filtr dat (atribut *timestamp*). Poté web server odešle dotaz do databáze, která vrátí ID sensorů, jež se v tomto období nacházely na poli a měřily zvolený jev. Pro každý sensor poté webový server definuje SQL dotaz na vrácení naměřených hodnot, včetně časové značky, kdy byla tato hodnota naměřena. SQL databáze vrátí dvojice hodnot čas:hodnota. Webový server poté musí převést časovou značku na formát *Unix Timestamp*, která je ve formátu celého čísla, znamenající počet sekund od 1. 1. 1970. V

úterý 19. ledna 2038 přesně sekundu po 03:14:07 UTC 32 bitové celé číslo přeteče a bude počítat znova od nuly. Pokud do té doby systémy nepřejdou na 64 bitový systém, nebo na zcela nový systém, budou zaznamenávat špatný čas a mnoho systémů by mohlo skončit fatální chybou. S Unixovým formátem časové značky pracuje balíček *Vincent*, který vytváří graf pomocí formátu JSON. Tento textový soubor poté využije *Folium* pro umístění značky v mapě s vyskakovacím oknem, kde bude zkonstruován výsledný graf.



Obr. 7.3 Výsledné mapové pole se senzory a ortofotosnímkiem

Na obrázku 7.3 je výsledek, který vznikne odesláním formuláře. Na podkladové mapě OpenStreetMap je umístěn rastrový snímek. Body označují jednotlivé senzory, které jsou ve zvoleném období na poli a snímají v tomto případě teplotu. Projekt je k dispozici na <https://github.com/TomPohys/Sensor-Web-Map>

III. Srovnání novosti postupů

Předkládaná metodika poskytuje inovativní přístup k integrovanému využití moderních technologií pro stanovení půdních vlastností, jež se doposud uplatňují spíše odděleně - technologie optických senzorů pro mapování prostorové variability půdy a (bez)kontaktních senzorů pro stanovení fyzikálně-chemických vlastností půdy.

Přestože vývoj v oblasti technologií pro precizní zemědělství dosáhl za poslední desetiletí značného pokroku, jejich rozšiřování zůstává do značné míry limitováno spolehlivostí sběru dat a jejich interpretací.

Proces integrace těchto dvou velmi silných technologií umožňuje zvýšit interpretační schopnosti. Integrací se rozumí vhodné uložení obou typů dat do jednotného datového modelu a souběžné zobrazení a vzájemné provázání dat za účelem odvození přesnější hodnoty. Společné uložení umožňuje nastavení řady vnitřních plně automatických procesů (triggerů) pro snazší registrování obsahu dat, jejich prostorového rozsahu, rozsahu platných hodnot, automatického propojování a souběžného prohledávání.

S ohledem na širší dostupných optických, stejně jako kontaktních senzorů, a přenosových technologií se metodika nejprve věnuje objasnění základních formátů a standardů, a srovnává jejich nároky při realizaci. Na základě řady experimentů pak předkládá ověřený postup pro integraci konkrétních zařízení.

Novost metodiky lze spatřit v procesu integrace, jež je dokumentována v předloženém textu na schématech uložení a principech triggerů pro automatické zpracování, stejně jako prostředí pro jejich integrované zobrazování.

IV. Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika je určena pro využití v zemědělské praxi, zejména v oblasti precizního hospodaření či při kontrole zemědělských vstupů. S ohledem na obsažené informace a způsob zpracování může být využívána též v poradenské a vzdělávací službě.

Metodika předkládá rozbor možných způsobů integrace, dnes již v zemědělské praxi využívaných technologií sensorového snímání, za účelem přesnější interpretace získaných dat.

Vlastní text je zpracován podle posloupnosti reálného procesu sběru, přenosu, předzpracování, uložení a zobrazení dat z obou technologií - optických sensorů pro mapování prostorové variability půdy a (bez)kontaktních sensorů pro stanovení fyzikálně-chemických vlastností půdy. Metodika v úvodu podává vysvětlení základních pojmů, standardů a vazeb, jakož i přínosů a úskalí obou technologií. Uspořádané teoretické popisy jsou doprovázeny autorskými srovnávacími tabulkami z praktických testování nároků jednotlivých fází procesu. Hlavní stupně integrace jsou poté přiblíženy na praktických realizacích, jež jsou z metodologického hlediska dostatečně detailně popsány pro přenositelnost na jednotlivá konkrétní programová prostředí. Všechny kroky zpracování dat jsou přiblíženy v prostředí zdarma dostupných programů.

Předložené metodické postupy jsou určeny pro integraci nových i stávajících dat za účelem zlepšení vypovídací hodnoty sensorových dat získávaných za účelem rychlého a operativní stanovení hodnot, jež mají primárně za cíl poskytnout porovnání aktuálního stavu dané vlastnosti v rámci prostoru (honu, farmy, administrativní jednotky) než analyticky přesné kvantifikace.

Přínosem integrovaného prohlížení je vícenásobný vhled na danou situaci - v rámci sensorových dat jsou vidět konkrétní hodnoty pro konkrétní pozice, obrazová data přibližují situaci v prostorovém kontextu. Při základním stupni zpracování dat je možno z nich „vnímat“ pouze relativní informaci, kde je větší a kde menší hodnota než zobrazená konkrétní hodnota. Souběžná vizuální informace přispívá k rychlejší interpretaci získaných hodnot. Z obrazového materiálu lze rychle identifikovat, kde již bylo provedeno plánované agrotechnické opatření a to může vysvětlit případnou variabilitu v sensorových dat z jinak shodných lokalit.

Možnost rychlého a opakovaného měření umožňuje reagovat na aktuální podmínky a modifikovat případné plánované zásahy pro danou lokalitu a to co nejefektivněji.

Kromě vlastní metodiky budou dosažené metodické závěry prezentovány na tematických odborných akcích jako jsou semináře a konference (např. GIS v lesnictví a zemědělství). Metodika je rovněž zdarma přístupná na adrese <http://gislib.upol.cz/moseso/vystupy>.

V. Ekonomické aspekty

Ekonomické přínosy nasazení a využívání moderních senzorů je obtížné konkrétně vyčíslit vzhledem k různorodosti specifických podmínek, ve kterých je možno je aplikovat.

Prvotní pořízení senzorů jak optických, tak kontaktních, a zabezpečení automatického přenosu dat, představuje nezbytnou základní vstupní investici. Ta se může pohybovat v poměrně velké šíři (v řádu tisíc až sto tisíc Kč) s ohledem na dostupné portfolio nabízených senzorů. Záleží na uživateli jaký senzor si pořídí s ohledem na své specifické potřeby. V současné době však řada zemědělských subjektů již některé druhy senzorů vlastní a využívá, případně existují i na českém trhu subjekty nabízející jako službu práci s takovými zařízeními, a není třeba zařízení si fyzicky pořizovat.

V souvislosti se zaváděním a využíváním nových metod se mění relace mezi náklady na pořízení přístrojového vybavení a úhradami za služby specializovaných laboratoří. Návratnost investice se bude odvíjet od pořizovací ceny přístrojového vybavení a intenzity jeho využití.

Vlastní aplikace popsaných metod vyžaduje již jen minimální finanční náklady, stejně jako nezbytné programové zázemí. Všechny fáze zpracování lze dnes provést v kvalitních zdarma dostupných programech. K tomu předložená metodika přihlíží a proto všechny fáze zpracování jsou v metodice demonstrovány na zdarma dostupných produktech.

Významné ekonomické aspekty lze identifikovat ve dvou oblastech. V oblasti dostupných zdrojů satelitních dat, kde jeden z nejvhodnějších zdrojů pro daný účel - družice Sentinel-2 poskytují předzpracovaná data každých 5 dní. Družice Sentinel-2 a její produkty jsou zdarma všem uživatelům, neboť jsou v gesci Evropské kosmické agentury a na její provoz každý členský stát EU přispívá formou mandatorních výdajů. Předložená metodika napomáhá využití těchto státem předplacených dat a usnadňuje jejich šíření koncovým uživatelům. Druhou oblastí je definování a ověření konkrétní aplikační oblasti pro využívání nejen státem aktuálně budované infrastruktury pro internet věcí.

I přes zvyšující se nabídku zdarma dostupných obrazových dat a bezplatných programových řešení, jsou velkým problémem dostupné přenosové protokoly a následné poplatky za přenos (více či méně) objemných dat. V průběhu řešení projektu byla tomuto problému věnována zvýšená pozornost, která vyústila ve vývoj a ověření nového přenosového protokolu a odpovídajícího hardware zabezpečující efektivní (ekonomický) sběr a přenos dat z běžně dostupných čidel umístěných v terénu na jednu telemetrickou jednotku, která bude odesílat všechna data naráz agregované formě. To vede ke snížení počtu realizovaných placených datových přenosů a tím k výraznému snížení provozní nákladů pro senzorovou část předloženého řešení.

Tato technologická část má od prvopočátku projektu zabezpečené technické řešení a ověřený obchodní model od partnera projektu - komerčního subjektu, který v oblasti radiotelekomunikací a monitorovacích systémů úspěšně působí na našem trhu již 25 let.

VI. Seznam použité související literatury

AKYILDIZ, Ian Fuat. a Mehmet Can. VURAN. Wireless sensor networks. Hoboken, NJ: Wiley, 2010, 516 s. ISBN 978-0-470-03601-3.

AL-AMRI, Salem S., N.V. KALYANKAR a S.D. KHAMITKAR. A comparative study of removal noise from remote sensing image. J. Comput. Sci. 2010, -(7), 32–36. ISSN 1694-0814.

BEN-DOR, Eyal. Quantitative remote sensing of soil properties. Advances in agronomy. Academic Press, 2002, 75, 1-72. DOI: 10.1016/S0065-2113(02)75005-0. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065211302750050>

CLARK, D. a D. REED. An Introduction to Local Area Networks. Proceeding of the IEEE. 1978, 66(11), 1497-1517.

DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita, 1998, 208 s. ISBN 8021018127.

FEDRZEL, Filip. Párování dat DPZ se senzorovými daty pro oblast precizního zemědělství. Olomouc, 2016. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky.

FORKEL, I. a M. SALZMANN. Radio Propagation Modelling and its Application for 3G Mobile Network Simulation. In: Aachen Symposium on Signal Theory (ASST). Aachen, Germany: -, 2001, s. 363–70. ISBN -. ISSN -.

GAJA, Pavel. Analýza půdní vlhkosti a charakteristik sucha prostředí DPZ. Brno, 2013. Magisterská práce. Geografický ústav, PŘF, Masarykova univerzita.

GE, Yufeng, J. Alex THOMASSON a Ruixiu SUI. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review. Frontiers of Earth Science. 2011, , -. DOI: 10.1007/s11707-011-0175-0. ISSN 2095-0195. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11707-011-0175-0>

GOLDMAN, D. B. Vignette and exposure calibration and compensation. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2010, 32(-), 2276–2288.

GREGORA, Lukáš. Plánování a provoz sítí LPWAN/LPN pro aplikace v IoT. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT.

HALOUNOVÁ, Lena a Karel PAVELKA. Dálkový průzkum Země. Praha: ČVUT, 2005.

HEJLOVÁ, V., T. POHANKA, V. PECHANEC, W. BUTAZZO a C. NWAUOGU. Communication distance of Jennic wireless nodes in the small area. In: SGEM 2015: Informatics, geoinformatics and remote sensing. VOL I. Sofia: STEF92 Technology, 2015, s. 533-540. ISBN 978-619-7105-34-6.

JULINA, V. SATURN. Zpracování údajů ze senzorů prostředí: Výzkumná zpráva č. VZ-TA04020888-20. Holešov, 2016, 11 s.

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

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

MANSOURI, A., F.S. MARZANI a P. GOUTON. Development of a Protocol for CCD Calibration: Application to a Multispectral Imaging System. *International Journal of Robotics and Automation*. 2005, 20(2), -. DOI: 10.2316/Journal.206.2005.2.206-2784. ISSN 1925-7090. Dostupné také z: <http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?paperId=20490>

MOMJIAN, Bruce. PostgreSQL: introduction and concepts. -. Boston, MA: Addison-Wesley, 2001, 232 s. ISBN 02-017-0331-9.

PECHANEC, V., K. REJŠEK, A. MRÁZ, J. SVOBODOVÁ, H. HILIANOVÁ a V. VRANOVÁ. Nasazení multispektrálních optických senzorů pro monitorování vlastností půdy: Certifikované metodika. Olomouc: Univerzita Palackého, 2017. ISBN 978-80-244-5111-4. ISSN -.

PECHANEC, Vilém. Sensorové systémy a jejich integrace s GIS v environmentálních studiích. Olomouc: Univerzita Palackého pro katedru geoinformatiky, 2014. ISBN 978-80-244-3944-0.

PENÍŽEK, V., T. ZÁDOROVÁ, R. KODEŠOVÁ a A. KLEMENT. Optimalizace vzorkovací sítě pomocí využití analýzy reliéfu pro popis prostorové variability půdních vlastností v rámci půdních bloků: Certifikovaná metodika. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2014. ISBN 978-80-213-2533-3. ISSN -.

RATASUK, Rapeepat, Nitin MANGALVEDHE, Amitava GHOSH a Benny VEJLGAARD. Narrowband LTE-M System for M2M Communication. 2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall). IEEE, 2014, (-), 1-5. DOI: 10.1109/VTCFall.2014.6966070. ISBN 978-1-4799-4449-1. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6966070/>

XIONG, Xiong, Kan ZHENG, Rongtao XU, Wei XIANG a Periklis CHATZIMISIOS. Low power wide area machine-to-machine networks: key techniques and prototype. *IEEE Communications Magazine*. 2015, 53(9), 64-71. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7263374. ISSN 0163-6804. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7263374/>

Elektronické zdroje

IEEE 802.15.4 [online]. -: IEEE Standards Association, 2016. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>

LAB Guide [online]. -: -, 2014 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://labguide.cz/>

Nokia [online]. -: Nokia Solutions and Networks Oy, 2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <https://networks.nokia.com/>

OGC - Sensor Web Enablement: Overview And High Level Architecture. In: OGC [online]. -: -, 2007 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://docs.opengeospatial.org/wp/07-165r1/>

OGC - Sensor Web Enablement Architecture: Best Practices. In: OGC [online]. -: -, 2008 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://www.opengeospatial.org/standards/bp>

PostgreSQL: Manuals [online]. -: -, 2012 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <https://www.postgresql.org/docs/manuals/>

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

HEJLOVÁ, V., T. POHANKA, V. PECHANEC, W. BUTAZZO a C. NWAUOGU. Communication distance of Jennic wireless nodes in the small area. In: SGEM 2015: Informatics, geoinformatics and remote sensing. VOL I. Sofia: STEF92 Technology, 2015, s. 533-540. ISBN 978-619-7105-34-6.

KILLIANOVÁ, H., K. REJŠEK a V. VRÁNOVÁ. Spatial-temporal monitoring of selected soil properties of the ecotones. In: SGEM 2016: Water resources, forest, marine and ocean ecosystems. VOL II. Sofia: STEF92 Technology, 2016, s. 349-356. ISBN 78-619-7105-62-9.

PECHANEC, V., A. VÁVRA, M. HOVORKOVÁ, J. BRUS a H. KILIANOVÁ Analyses of moisture parameters and biomass of vegetation cover in southeast Moravia. *International Journal of Remote Sensing*. 2014, 35(3), Taylor & Francis. 967-987.

PECHANEC, V. a H. KILIANOVÁ. Bezkontaktní monitorování a časoprostorové modelování variability vybraných diferenciacních vlastností půdy. In: Nejen fyzická geografie ve studiu kulturní krajiny: Fyzickogeografický sborník 13. Brno: Masarykova univerzita, 2015, s. 18-24. ISBN 978-80-210-8065-2.

PECHANEC, Vilém. Sensorové systémy a jejich integrace s GIS v environmentálních studiích. Olomouc: Univerzita Palackého pro katedru geoinformatiky, 2014. ISBN 978-80-244-3944-0.

POHANKA, T., V. PECHANEC a M. SOLANSKÁ. Synchronization and replication of geodata in the Esri platform. In: SGEM 2015: Informatics, geoinformatics and remote sensing. VOL I. Sofia: STEF92 Technology, 2015, s. 837-843. ISBN 978-619-7105-34-6.

doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.
Mgr. Tomáš Pohanka
Ing. Vojtěch Julina
Ing. Helena Kilianová, Ph.D.
Bohumil Uličník, DiS.

Integrace obrazových materiálů s daty ze senzorové sítě

Výkonný redaktor prof. RNDr. Zdeněk Dvořák, DrSc., Ph.D.
Odpovědná redaktorka Mgr. Jana Kreiselová
Technická redakce autoři

Vydala Univerzita Palackého v Olomouci
Křížkovského 8, 771 47 Olomouc
www.vydavatelstvi.upol.cz
www.e-shop.upol.cz
vup(at)upol.cz

Publikace ve vydavatelství neprošla redakční jazykovou úpravou.

1. vydání
Olomouc 2017
Edice – Ostatní odborné publikace

ISBN 978-80-244-5126-8 (online : PDF)

VUP 2017/0074