

ODBORNÁ ZPRÁVA O POSTUPU PRACÍ A DOSAŽENÝCH VÝSLEDKÍCH ZA ROK 2016

Příloha k průběžné zprávě za rok 2016

Číslo projektu: TA04020888

Název projektu: Bezkontaktní monitorování a časoprostorové modelování variability vybraných diferenciačních vlastností půdy

Předkládá:

Název organizace: Univerzita Palackého v Olomouci

Jméno řešitele: doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

1. Průběh řešení projektu

Řešení druhého roku projektu bylo interně opět rozděleno do tří etap (počítáno kontinuálně od počátku projektu, tj. V.-VI.) ukončených kontrolním dnem. V rámci každé etapy byly definovány dílčí úkoly, které byly k datu dalšího kontrolního dne úspěšně splněny a byla o nich vytvořena dílčí výzkumná zpráva. Všechny zprávy jsou k dispozici u hlavního řešitele.

IV. etapa		únor-květen 2016		
Úkol	Název úkolu	Stav úkolu	Termín splnění	Označení výzkumné zprávy / Poznámka
15	Rozvoj programového řešení pro automatizované zpracování sensorových dat	Splněno	V/2016	VZ-TA04020888-15 Dílčí části publikovány ve sborníku z mezinárodní konference SGEM 2016.
16	Časoprostorové analýzy monitorovaných půdních vlastností	Splněno	V/2016	VZ-TA04020888-16 Dílčí části publikovány ve sborníku z mezinárodní konference SGEM 2016.
17	Rozvoj „pozemního“ bezkontaktního optické monitorování	Splněno	V/2016	VZ-TA04020888-17
V. etapa		červen-září 2016		
18	Analýzy multispektrálních snímků	Splněno	IX/2016	VZ-TA04020888-18
19	Metodické návody ke zpracování dat z optického monitoringu	Splněno	VIII/2016	VZ-TA04020888-19
20	Metody a formy přenosu sensorových dat	Splněno	VII/2016	VZ-TA04020888-20
21	Integrace dat v databázi	Splněno	IX/2016	VZ-TA04020888-21
VI. etapa		říjen 2016 -leden 2017		
22	Kontinuální terénní monitorování a laboratorní analýzy	Splněno	XII/2016	VZ-TA04020888-22
23	Rozšíření testování o hyperspektrální data	Splněno	XII/2016	VZ-TA04020888-23
24	Certifikace připravených metodik	V řešení	---	VZ-TA04020888-24

25	Sestavení průběžné zprávy za rok 2016	Splněno	I/2017	VZ-TA04020888-25
----	---------------------------------------	---------	--------	------------------

2. Časoprostorové analýzy půdních vlastností

I v druhém roce řešení se pokračovalo v monitoringu půdní variability na založených transektech a na lokalitě Rudice (transekt 4) také nově v zahuštěné síti. Terénní sběr dat a laboratorní analýzy pokračovaly stejnou metodikou pro následné časoprostorové analýzy. Výsledky laboratorních analýz byly dále statisticky zpracovávány.

Hodnocení fyzikálních vlastností

Minimální vzdušná kapacita (AMKK) vypovídá o vodním a vzdušném režimu půdy z hlediska její provzdušněnosti při plném zaplnění kapilárních pórů vodou. Vyjadřuje se v objemových procentech jako rozdíl pórovitosti a maximální kapilární kapacity, přičemž za optimální hodnoty lze považovat takové, které jsou v rozmezí 10-20 %. Při horní hranici optima se půdy stávají náchylnější k vysychání a jsou charakteristické velmi nízkou retencí (nízkým podílem kapilárních pórů); při dolní hranici jsou půdy náchylné k přemokřování s rozdílem mezi jednotlivými typy biotopů: zatímco zemědělské půdy s nízkým obsahem organické hmoty dosahují mezních hodnot AMKK již při spodní hranici 8 %, u lesních půd riziko nedostatečné aerace (a omezeného rozvoje kořenů) nastává až pod hranicí 3-5 %.

Maximální kapilární kapacita (MKK) je základní hydrofyzikální vlastností určující retenční schopnost půdy, a jako klasifikovatelný parametr vypovídá o obsahu kapilárních a části semikapilárních půdních pórů – které jsou schopné krátkodobě a dlouhodobě poutat vodu. Horní mezní hodnoty MKK jsou nad hranicí 50 % obj. (velmi silně vododržný) a dolní mezní hodnoty pod hranicí 5 % (velmi slabě vododržný).

Pórovitost (P) je půdní parametr vypovídající o poměru pevné a plynné půdní fáze při jejím celkovém vysušení. Půda nabývá hodnot pórovitosti v rozmezí cca 40-60 % obj., přičemž nižší pórovitostí (avšak vysokým podílem nekapilárních pórů – makropórů) se vyznačují půdy písčité a vyšší pórovitostí (avšak s vysokým podílem kapilárních pórů) se vyznačují půdy jílovité. K vyšší pórovitosti přispívá organická hmota, která zároveň ovlivňuje retenční schopnost i provzdušněnost půdy.

Hodnoty fyzikálních vlastností jsou na lokalitách specifické z hlediska jednotlivých typů biotopu, z hlediska lokality i měsíce odběru. AMKK dosahuje nejnižších hodnot na typu biotopu „zemědělská půda“, kde se pohybuje velmi často hluboko pod spodní kritickou hranicí. Nejvyšší hodnoty AMKK byly zjištěny na typu biotopu „les“ a nejvíce rozkolísané na typu biotopu „ekoton“. Zde hrají roli přinejmenším dva faktory: (1) ekoton je zde ostrou a často neurčitou hranicí mezi ekotopy a půdní prostředí se vyznačuje výraznou variabilitou; (2) samotný ostrý přechod předznamenává omezený počet opakování sběru dat. Faktor potřebného počtu opakování se ukazuje jako významný také v typu biotopu „les“ z aspektu extrémní heterogenity půdního prostředí, zejména s ohledem na odběr vzorků vymezený hloubkou právě 5 cm. Tato rozkolísanost v rámci sezóny je v případě typu biotopu „ekoton“ typická i u dalších zjišťovaných půdních parametrů; nejmarkantnější je právě u fyzikálních vlastností. Typ biotopu „zemědělská půda“ lze uvažovat jako nejvíce homogenní, a to jak z aspektu půdního krytu, tak i z aspektu historie (kultivace a homogenizace ornice).

MKK je ze sledovaných fyzikálních vlastností nejvíce vyrovnaná v rámci typů biotopu na jednotlivých plochách. Z pohledu typů biotopu se v rámci sezónní dynamiky MKK jeví jako nesespecifická a vykazuje na výzkumných plochách blízký trend. V P a AMKK jsou největší rozdíly mezi jednotlivými typy biotopu „zemědělská půda“ a „les“ společně s „ekoton“ na lokalitách Proklest-orná; menší rozdíly jsou na lokalitách Bukovinka a Proklest-TTP a v P a MKK jsou nejmenší rozdíly na lokalitě Rudice. Z hlediska vztahu sledovaných půdních fyzikálních parametrů v rámci sezóny lze uvažovat s faktem, že s poklesem pórovitosti dochází také k poklesu AMKK, zatímco AMKK se naopak zvyšuje s poklesem MKK. Tento obecný fakt lze využít při hodnocení projevů změn v hydrických poměrech půdy v závislosti na průběhu počasí (srážky/přísušky), kdy se např. liší různá rychlost vysoušení půdy v jednotlivých typech biotopu.

Hodnocení fyzikálně-chemických vlastností

Z fyzikálně-chemických vlastností byla hodnocena *půdní reakce aktivní* (pH/H₂O) a *potenciální výměnná* (pH/KCl). Půdní reakce vypovídá o míře acidity (kyselosti) nebo bazicity (zásaditosti) půdy, přičemž aktivní reakce vypovídá o koncentraci vodíkových iontů v půdním roztoku a potenciálně-výměnná reakce vypovídá o koncentraci vodíkových iontů v půdním roztoku, navýšených o ionty vytěsněné z půdního sorpčního komplexu – je tedy zpravidla nižší, než pH/H₂O.

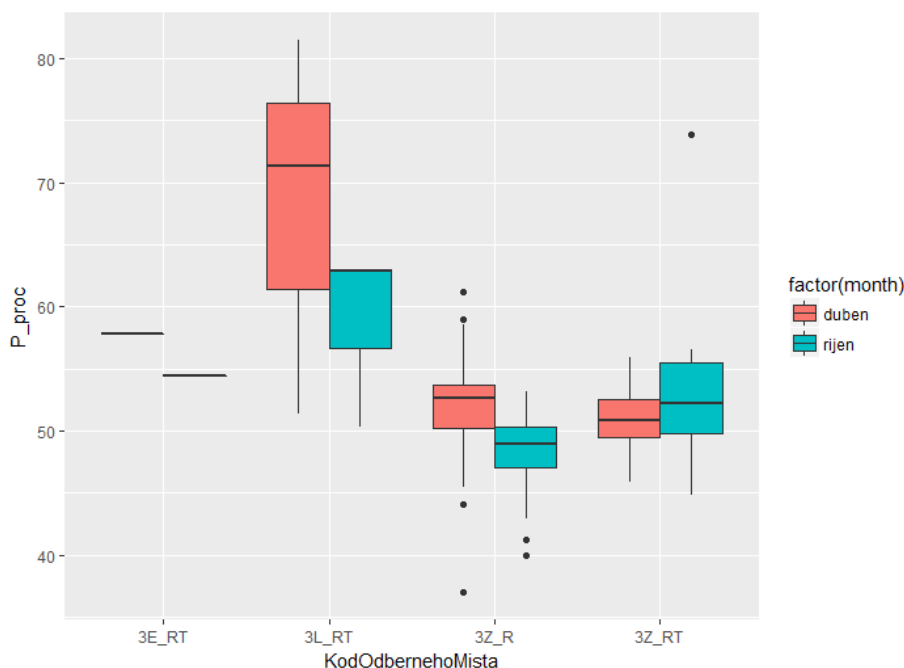
Na typu biotopu „les“ je půdní reakce nejčastěji silně kyselá, s nejnižšími hodnotami min. 3.04 (extrémně kyselá); na typu biotopu „zemědělská půda“ je půdní reakce vždy vyšší a vyznačuje se značnou variabilitou na lokalitě Proklest-TTP. Z hlediska sezónní dynamiky (resp. rozdílů v jednotlivých měsíčních odběrech) jsou výsledky nejvíce homogenní na lokalitách Rudice a Proklest-TTP. Typ biotopu „ekoton“ lze uvažovat jako „nespecifický“, kdy na různých typech biotopu zaujímá jinou část škály pH. Nejvyrovnanější jsou hodnoty na lokalitě Proklest-TTP a jsou blízké hodnotám půdní reakce biotopu „les“.

Hodnocení chemických vlastností

Z chemických vlastností byly hodnoceny *obsah humusových látek (Cox)*, *poměr C/N* a *obsah glomalinu*. Cox se výraznou mírou podílí na stavbě organické hmoty – humifikované i nehumifikované, a v případě tvorby polymerů do formy humusových látek výrazně ovlivňuje půdní vododržnost, provzdušněnost, objemovou hmotnost redukovanou aj., ale také přispívá k půdní aciditě. Poměr C/N poukazuje na trofostní poměry na stanovišti, kdy s klesajícím poměrem (<15) roste kvalita dekompozice a přístupnosti živin (zejména dusíku) rostlinám; naopak se zvyšujícím se poměrem C/N lze uvažovat o dominanci nedokonale dekomponované organické hmoty, nebo přítomnosti surového nadložního humusu či zbytcích detritu v půdním vzorku. Glomalin je uvažován jako glykoprotein, který je významným úložištěm uhlíku, ale také významně přispívá k formaci kulovité půdní struktury jako tmelivá složka.

Více humózní jsou půdy biotopu „les“ (silně až velmi silně humózní), kde jsou také hodnoty značně rozkolísané v rámci jednotlivých odběrů (vysoká variabilita v rámci krabicových grafů, rozkolísanost v rámci měsíčních odběrů). Typ biotopu „orná půda“ je typický zpravidla mírně až středně humózními půdami s nejvyšším prohumózněním na lokalitě Proklest-orná (vysoký až velmi vysoký obsah). S tím také souvisí poměr C/N, který je obsahem uhlíku spoludeterminován. Pro lesní půdy lze při hodnotách C/N 13-20 uvažovat o běžném obsahu, což platí pro většinu hodnot. Nejvíce vyrovnaný je na lokalitě Rudice a je vždy vyšší v půdách biotopu „les“ s výjimkou lokality Proklest-TTP, kde jsou pro zemědělskou půdu hodnoty mírně zvýšené. Obsah glomalinu na lokalitách Bukovinka a Proklest-orná vykazuje určitý trend, kdy je vyšší

na typu biotopu „les“ a nižší na orné půdě; typ biotopu „ekoton“ se z výsledků zdá být z hlediska obsahu glomalinu nespecifický.



Obr. 1: Krabicový graf znázorňující variabilitu hodnot pórovitosti v dubnovém a říjnovém odběru na zahuštěné lokalitě Rudice.

Interpolace bodových rozborů

Pro interpolaci bodových půdních odběrů byly na základě nastudování odborné literatury vybrány dvě rozdílné interpolační metody.

Z deterministických interpolačních metod byla zvolena metoda **Inverse Distance Weighting**, která uplatňuje základní geostatistický princip: jevy, které jsou v prostoru blíže k sobě, se více podobají než jevy, které jsou prostorově vzdálenější. Určení vah vstupních bodů je založeno na tomto principu. Základní koncept je použití inverzní vzdálenosti od určovaného bodu. Tato vzdálenost je dále upravovaná exponentem p . Z toho vyplývá, že váhy se řídí jediným prostorovým modelem - inverzní vzdáleností modifikovanou vhodnou mocninou podle následujícího vztahu (vzorec 1):

$$\lambda_i = \frac{1}{d_{i,0}^p} \bigg/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{i,0}^p} \quad (1)$$

kde $d_{i,0}$ je vzdálenost mezi známým a určovaným bodem, p je parametr, který se volí roven 1, 2 nebo 3.

Jako druhá byla vybrána interpolační metoda **Ordinary Kriging**. U této metody váhy bodů nezávisí pouze na vzdálenosti mezi měřeným bodem a předpovídaným místem, ale také na prostorovém

uspořádání měřených bodů a předpovídaným místem. K tomu metoda využívá prostorovou autokorelaci. Metoda kriging je výpočtově jedna z nejsložitějších interpolačních metod. Jedná se o aproximující interpolační metodu, tzn. model nedodrhuje naměřené hodnoty ve vstupních bodech vzorkovací sítě.

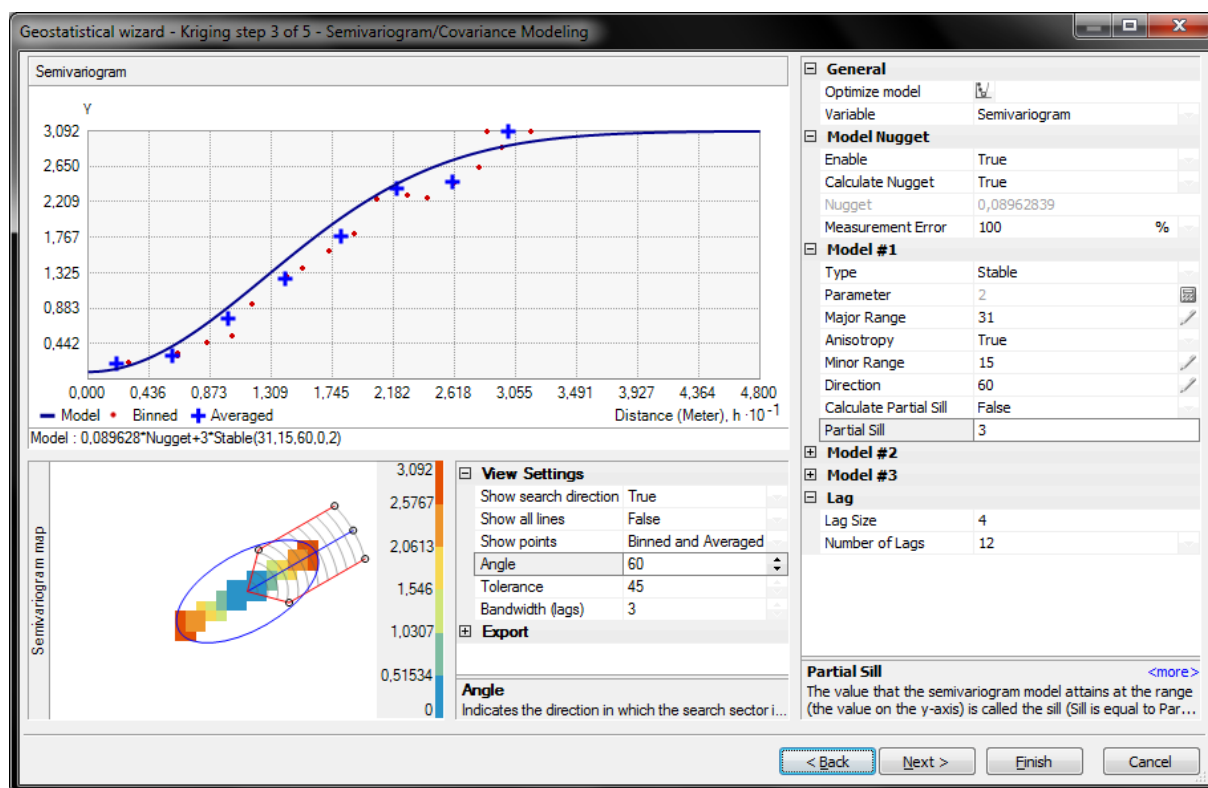
Kriging je ve své podstatě velmi podobný metodě IDW. V případě IDW váhy závisí výlučně na vzdálenosti určovaných bodů od bodů daných. U Krigingu váhy mimo vzdálenosti závisí i na prostorovém uspořádání daných bodů v okolí určovaného bodu. K tomu slouží nastavení prostorové autokorelace. Prostorová autokorelace jevu se vyjadřuje *semivariogramem*. K výpočtu je nutné znát vzdálenosti všech párů daných bodů. Pro metodu Kriging musel být zaveden zvláštní systém výpočtů těchto vzdáleností nazývaný *Binning*, nebo také seskupování hodnot, aby se tak redukoval počet výpočtů nutných k určení semivariogramu pro každý určovaný bod. Řešení modelu metodou Kriging se skládá ze dvou základních kroků: z již zmíněného výpočtu empirického semivariogramu a vytvoření jeho modelu za účelem určení prostorové autokorelace, a za druhé z vlastní interpolace hodnot. Dané hodnoty jsou tak využity dvakrát. Nejprve k odhadu autokorelace a poté k určení vlastní predikce.

Typ metody Kriging lze zvolit již na základě volby typu střední hodnoty. Doporučuje se využívat základního nastavení, tedy takzvaného Ordinary Kriging, které využívá neznámou určenou konstantu trendu μ . Kriging je aproximující interpolační metodou. Výsledný model může přesahovat minimální a maximální hodnoty vstupních bodů. Snaží se tedy vystihnout model dané veličiny tak, že vychází z naměřených hodnot, ale zároveň se jich pevně nedrží, jako třeba při metodě Spline nebo IDW. Vztah pro odhad hodnoty z v bodě p_0 je dán následujícím vztahem vzorec 2:

$$z(p_0) = \sum_{i=1}^n w_i z(p_i) \quad (2)$$

kde w_i jsou příslušné váhy. Vektor vah $w = (w_1, \dots, w_n)$ pro příslušné body p_i , $i = \{1, 2, \dots, n\}$ (Letko, 2013).

Obě metody interpolací byly provedeny v softwaru ArcGIS 10.3 s využitím extenze Geostatistical Analyst.



Obr. 2: Fitování semivariogramu.

V rámci studie bylo zpracováno přibližně 7800 bodových měření. Na základě těchto bodových měření byly provedeny prostorové interpolace. Výsledky interpolací – rastrové soubory – byly použity pro tvorbu mapových výstupů. Pro každou měřenou půdní vlastnost: Cox, HK:FK, AMKK, MKK, pH/KCl a pH/H₂O byly vytvořeny mapy znázorňující jejich distribuci v prostoru (transekty) a čase (měsíce vegetačního období). Mapy byly generovány z výsledků interpolačních metod IDW a Ordinary Kriging. Vizualizace byla provedena na formát A2 pro názorné porovnání. **Příloha 1** předkládá interpolace Cox a pH/H₂O oběma metodami.

Dále byly pro všechny měřené půdní veličiny, a pro sumu aminokyselin a obsah fenolů a taninů vytvořeny grafy.

3. Rozvoj pozemního bezkontaktního optického měření

Díky neustálému rozvoji geoinformačních technologií a sensorových řešení se objevují stále nová řešení pro optické senzory - přístroje, jež umožňují sběr dat (mapování) přírodního 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). Proto byl z každé výrazné osy vývoje vybrán jeden zástupce, který je v průběhu projektu prakticky testován. Celkem bylo vybráno pět přístrojů.

- 1) **Nitrachek 404** – jedná se o kapesní reflektometr - digitální měřicí přístroj pro rychlé a jednoduché stanovení obsahu dusičnanů ve vodě, v rostlinných pletivech nebo ve vodních vzorcích půdy a rostlin. Hlavní princip přístroje je založen na čtení testovacích proužků v optickém zařízení. Zařízení vyrábí firma KPG Products Ltd (East Sussex UK). Přístroj reprezentuje jednoúčelové zařízení pro kontaktní bodové měření. Výstupem je pouze hodnota.
- **Spectral Reflectance Sensor (SRS)** jedná se o bezkontaktní poziční sensorický systém vyrobený a distribuovaný firmou Decagon, který monitoruje vegetační kryt či holou půdu a v závislosti na využitém senzoru počítá normalizovaný diferenční vegetační index (*NDVI – Normalized Difference Vegetation Index*) nebo fotochemický index odrazivosti (*PRI – Photochemical Reflectance Index*). Šířka/rozsah monitorovaného záběru je regulovaná výškou upevnění senzoru. Přístroj reprezentuje mobilní zařízení pro statické bezkontaktní kontinuální měření. Výstupem je série hodnot a křivka odrazivosti.
- **HandHeld2 Spectroradiometer (HH2)** je přístroj určený na měření spektrální odrazivosti nebo propustnosti s volitelnou radiometrickou kalibrací na měření spektrálního záření nebo ozáření. Jedná se o přenosný, baterií napájený přístroj, který je určen pro vnější použití v různých klimatických podmínkách stejně jako v interiéru či laboratoři. Jedná se o univerzální odolný ruční spektrometr, který využívá spektrometr pro přesné analýzy v spektrálním rozsahu 325-1075 nm. Přístroj reprezentuje vysoce přesné mobilní zařízení pro statické bezkontaktní kontinuální měření. Výstupem je série hodnot a křivka odrazivosti.
- **Agricultural Digital Camera (ADC)** je multispektrální kamera od společnosti Tetracam Inc. zachycující viditelnou část spektra od vlnové délky 520 nm až po blízkou infračervenou část spektra vlnové délky 920 nm. Rozsah vlnových délek odpovídá pásmům z Landsat 5. Jedná se o specializovanou digitální kameru s jedním CMOS senzorem o rozlišení 3,2 MPx. Výstupem jsou snímky o rozměru 2048 x 1536 Px uložené v nekomprimovaném 10 bit formátu RAW10. Přístroj reprezentuje zařízení vhodné pro pozemní i letecké snímkování (zejména na UAV). Výstupem jsou obrazy odrazivosti.
- **FLIR E60 a FLIR 2 Tau64** jsou dvojicí termokamer od firmy FLIR, které mají stejné parametry a výstupy a liší se především konstrukčně. FLIR E60 je ruční termální infračervená kamera, která tvoří obraz snímáním infračerveného záření (IR) v rozsahu od 7,5 do 13 μm (tepelné infračervené spektrum – TIR). FLIR 2 Tau640 je termální infračervená kamera, která tvoří obraz snímáním infračerveného (IR) záření v rozmezí 7,5 až 13,5 μm (TIR) a je vhodná i pro

T A Č R

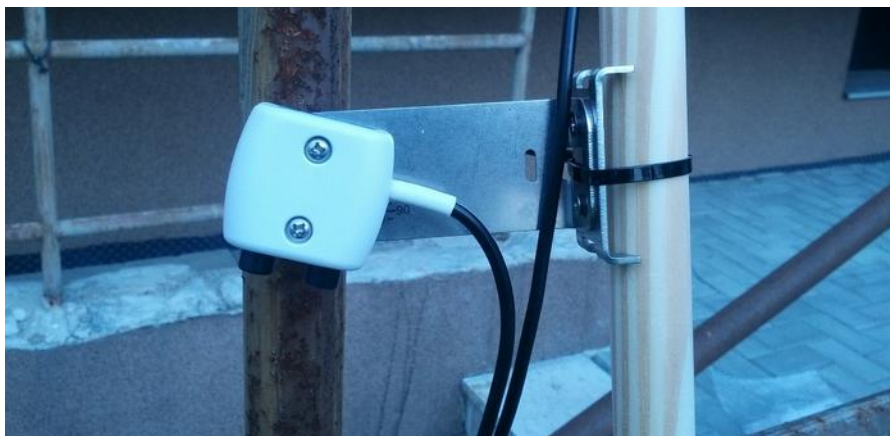
aplikace, jako je bezpilotní letecké (UAV) snímkování, noční vidění a ruční zobrazování objektů v IR pásmu. Infračervené záření je jen jednou z částí elektromagnetického spektra, které zahrnuje záření od gama přes úzkou oblast viditelného světla až po rádiové vlny.

Předmět testování každého přístroje lze rozdělit do 3 částí.

A) Vlastní měření přístrojem v terénu

Zde šlo především o ověření a optimalizaci vlastní práce v polních podmínkách. Výstupem této části je *step-by-step návod*, jak s přístrojem v terénu pracovat. Návod nenahrazuje originální manuál, pouze přibližuje optimální způsob práce. Přístroje byly testovány po celý rok za různého osvětlení i teploty.

U přístroje **SRS** byla dále testována délka kontinuálního monitoringu a výška senzorů. Senzor byl připevněn na dvoumetrovou tyč a postupně byl posunován do různých výšek a měněn úhel natočení senzoru. Byla potvrzena vysoká variabilita požadované výšece pozemku. S výškou umístění přístroje přímo souvisí rozsah průměrované oblasti (GIFOV): $r = 0,35 \times h$, kde r je poloměr zabraného území, h je výška nad vegetací. GIFOV, tedy označení pro zorné pole, může být určen pro SRS-field stop i následujícím vztahem, který je uložen v nejhlubší poloze (tj. dívá se přímo dolů), je určena dvěma faktory: úhel zorného pole, který je stanoven na 18° a výška senzoru nad vegetací $GIFOV = 2 \times (\tan(18^\circ) \times h)$, kde h je výška snímače nad vegetací. Pokud je senzor namontován např. 2 m nad vegetací, tak průměr kruhu záběru bude 1,3 m.



Obr. 3: Instalace SRS-NDVI field stop

U zařízení **ADC** a **FLIR** bylo testováno jak snímkování z ruky, tak i umístění na UAV. V našem případě se jednalo o multirotorový systém Hexacopter XL. Zařízení ovládal jeho zkušený pilot dr. Jakub Miřijovský z našeho pracoviště.



Obr. 4: Hexacopter XL s připevněným fotoaparátem



Obr. 5: Snímek z ADC kamery a kalibrační štítek

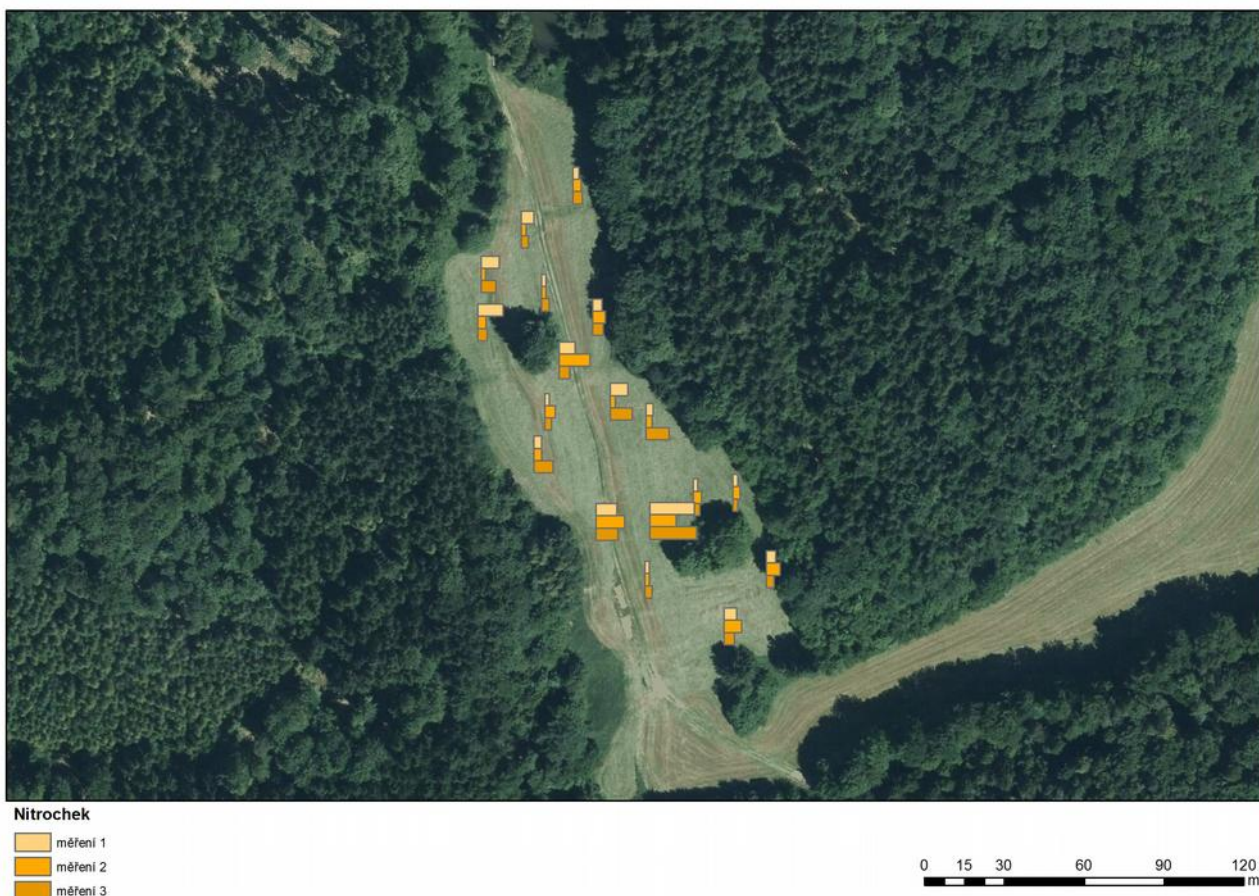
B) Extrakce (stažení) dat z přístroje do PC

Další částí bylo získat co nejsnazší postup stažení dat z přístroje do PC a v případě absence doplnění polohové informace (souřadnice) místa měření. Některá zařízení komunikují s PC přímo (ADC, FLIR), k některým je třeba použít výrobcem doporučený dataloger (SRS). Výstupem této části je opět ověřený postup ve formě návodu pro jednotlivá zařízení.

C) Převod do GIS

Třetí část testování byla zaměřena na problematiku, jak získaná data již uložená v PC převést do formátu, jež umožní jejich analýzu v geoinformatických programech, tj. při zachování a využití prostorové informace a jež umožní získané hodnoty odrazivosti využít ve výpočtu tzv. vegetačních indexů. Pro všechna zařízení je opět připraven názorný návod s popisem nezbytných souvislostí. Celý postup je vyvíjen a dokumentován na bezplatném řešení. V případě práce se souřadnicemi a spektrálními hodnotami je to open source geografický informační systém QGIS (<http://qgis.org>), pro analýzu obrazu je použit zdarma dostupný program SNAP (<http://step.esa.int/main/toolboxes/snap>).

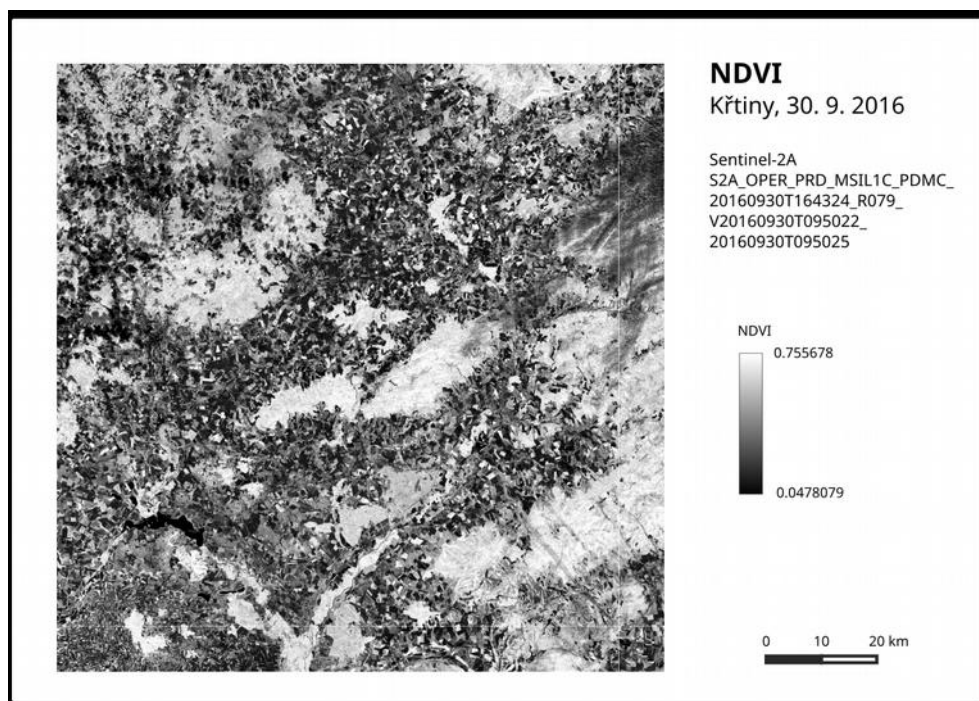
Pro všech pět výše uvedených zařízení a navíc zdarma dostupné produkty satelitního snímkování (zejména Sentinel) byly vytvořeny jednotné metodické návody. **Příloha 2** představuje návod pro zařízení SRS. Tyto ověřené metodické postupy se staly jádrovou částí jedné z vytvářených certifikovaných metodik.



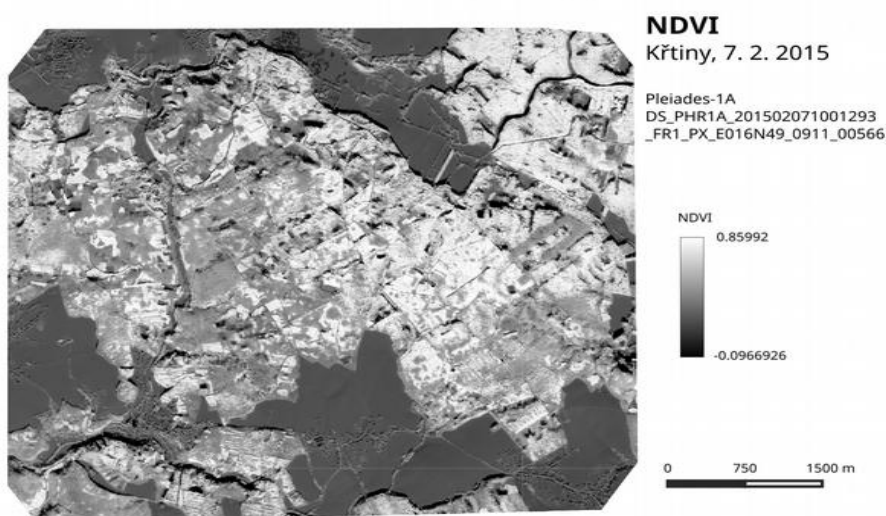
Obr. 6: Vizualizace hodnot opakovaných měření přístrojem Nitroček.

4. Rozvoj satelitního bezkontaktního optické měření

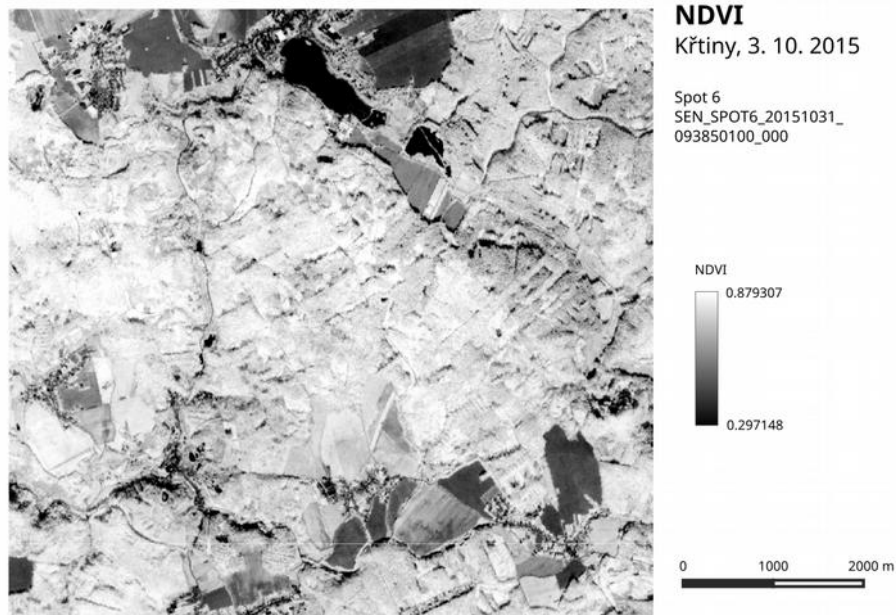
Další rozvíjenou oblastí v tomto roce byly analýzy satelitních multispektrálních snímků a leteckých hyperspektrálních snímků. V průběhu roku byly analyzovány zakoupené či zdarma stažené satelitní snímky. Nad každým snímkem, který pokrývá zájmové území, byla spočítána série vegetačních indexů.



Obr. 7: Výpočet indexu NDVI ze multispektrálního snímku družice Sentinel-2A



Obr. 8: Výpočet indexu NDVI ze multispektrálního snímku Pleiades-1A



Obr. 9: Výpočet indexu NDVI ze multispektrálního snímku SPOT6

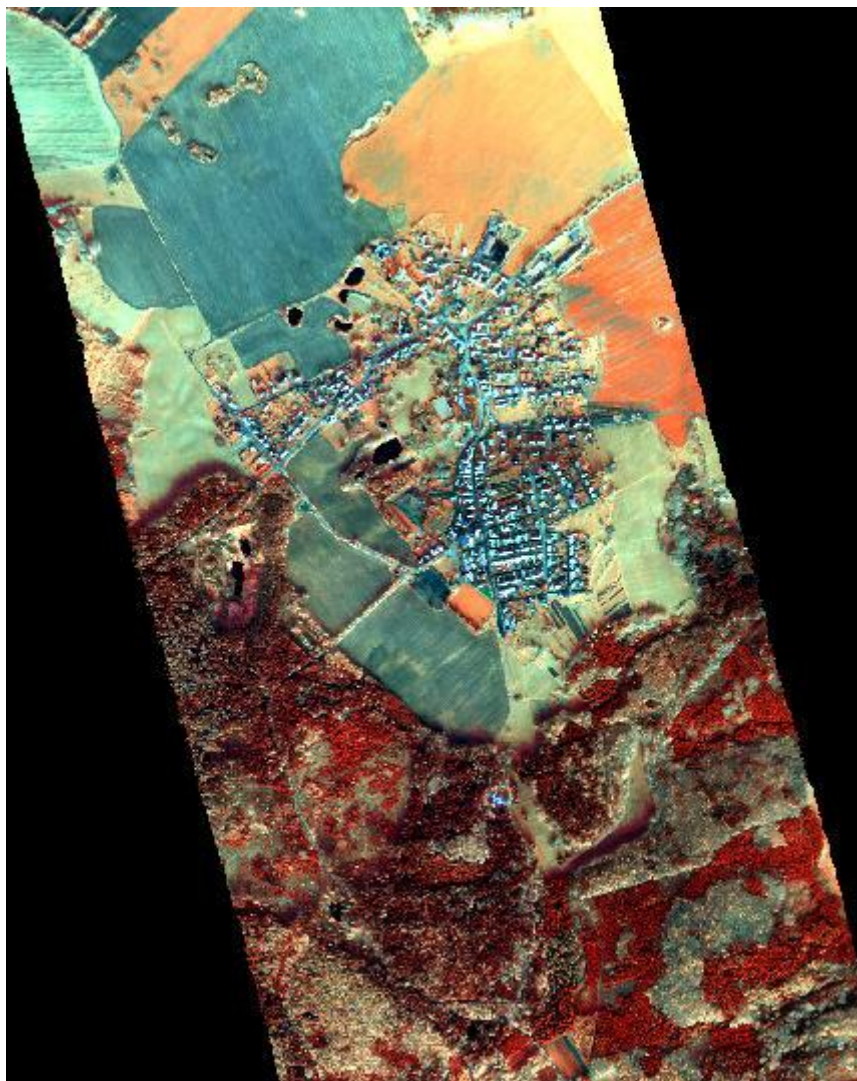
Současným trendem v dálkovém průzkumu půd je využití hyperspektrálních dat a sofistikovanějších metod pro jejich analýzu. Proto jsme se kromě plánovaných multispektrálních snímků věnovali rovněž analýze **hyperspektrálních snímků** a jejich možnostem pro monitorování půdních vlastností.

Pro vlastní kvantitativní analýzu půdních vlastností na základě jejich odrazivosti se podle naší rozsáhlé rešerše nejvíce využívala regresní analýza PLSR (*partial least squares regression*). Výhodou této empirické metody je, že lze zanedbat vzájemné působení mezi energií dopadajících částic a povrchem (složkami) půdy.

Pro tento účel byl externě pořízen letecký hyperspektrální snímek zájmového území v lokalitě Rudice. S ohledem na účel – stanovení půdních vlastností - se pořizoval snímek až v podzimním termínu, kdy byl povrch holý. Snímek byl pořízen společností CzechGlobe. Vybrané parametry udává tabulka 1.

Tab 1: Klíčové parametry pořízeného hyperspektrálního snímku

Projekt:	UPOL - 1602
Nosič:	Cesna 208B
Letová rychlost [m/s]	60
Počet linií	2
Výška letu nad povrchem [m]	2060
Sensor	CASI1500 – SN 2531
	SASI600 – SN 3208
Spektrální rozlišení CASI [nm]	15
Spektrální rozlišení SASI [nm]	15
Prostorové rozlišení CASI [m]	1
Prostorové rozlišení SASI [m]	2.5
Šířka snímané linie [m]	1500
FOV [°]	40
Počet spektrálních pásem CASI	48
Počet spektrálních pásem SASI	100



Obr. 10: Náhled dat nasnímaných senzorem SASI ve vybraných pásmech R:9G:40B:67 pro lokalitu Rudice.

5. Rozvoj programového řešení pro automatizované zpracování sensorových dat

Cílem této etapy je výzkum a vývoj infrastruktury pro automatizované zpracování sensorových dat v databázovém prostředí a jeho následná uživatelská vizualizace. V rámci letošního roku byly navrženy a naprogramovány dva prototypy aplikací pro správu, analýzu a vizualizaci dat, vzniklých sensorovým měřením, a umožňující integraci s obrazovými daty.

5.1 Dohledové centrum s podporou analytického zpracování dat

Dohledové centrum sensorové sítě je řešeno jako webové rozhraní, pomocí kterého je možno přistupovat k sensorovým datům uloženým v databázích, tato data zobrazovat v tabelární podobě a v podobě grafů a provádět nad nimi jednoduché analytické operace. Kromě samotných dat dále Dohledové centrum obsahuje informace o jednotlivých senzorech a sítích použitých pro sběr dat, o lokalitách, na kterých probíhá měření, a o měřených veličinách.

id_sensor	navez_sensor	id_sce	hodnota_sce	datum	cas
12	SCE12	1	0	2011-11-23	01:00:00
12	SCE12	3	0	2011-11-23	02:00:00
12	SCE12	5	0	2011-11-23	03:00:00
12	SCE12	7	0	2011-11-23	04:00:00
12	SCE12	9	0	2011-11-23	05:00:00
12	SCE12	11	0	2011-11-23	06:00:00
12	SCE12	13	0	2011-11-23	07:00:00
12	SCE12	15	0	2011-11-23	08:00:00
12	SCE12	17	0	2011-11-23	09:00:00
12	SCE12	19	0	2011-11-23	10:00:00
12	SCE12	21	0	2011-11-23	11:00:00

Obr. 11: Ukázka layoutu aplikace

Přehled funkcionality prototypu Dohledového centra sensorové sítě

- Dynamické připojování a odpojování PostgreSQL databází
- Přehled připojených databází a tabulek v těchto databázích

- Prohlížení a editace tabulek ze schématu Public
- Možnost řadit tabulky dle konkrétního sloupce nebo filtrovat dle jednoho parametru
- Možnost vizualizovat data ve formě grafu
- Možnost definovat vlastní dotazy nad daty bez nutnosti znalosti jazyka SQL
- Přehledný registr senzorů, sítí, lokalit a měřených veličin
- Možnost exportu dat ze všech připojených databází do souborových formátů - CSV, XML, dBase, SQL, JSON a prostorových souborových formátů – SHP, GML, KML a GeoJSON
- Možnost importu dat z CSV
- Možnost exportu/importu dat z databáze do jiné databáze (PostgreSQL -> PostgreSQL)
- Podpora uživatelských účtů – možnost pracovat v (omezeném) režimu anonymního uživatele nebo jako přihlášený uživatel, jednoduchá správa uživatelských účtů
- Jednoduché analytické nástroje pro výpočet vzdálenosti senzorů, výpočet klouzavého průměru, výpočet denního průměru, popisná statistika a výpočet vodní hodnoty sněhu
- Vizualizace rozmístění senzorů a sítí v pomoci mapové aplikace
- Možnost přidat do mapové aplikace vlastní tematické vrstvy ve formátu GeoJSON
- Vlastní logování aplikace

Použité technologie

Pro tvorbu webového rozhraní byl použit značkovací jazyk HTML5. Pro definici stylů byl použit stylovací jazyk CSS3. Pro skriptování na straně klienta JavaScript a jako technologie pro skriptování na straně serveru slouží jazyk PHP. PHP je zde dominantním jazykem, tvoří převážnou část zdrojových kódů aplikace. Při vývoji byla snaha většinu funkcionality ošetřit na straně serveru a na klientské straně řešit pouze nezbytné minimum, proto JavaScript naopak tvoří jen minoritní část zdrojového kódu. Jako webserver slouží Apache HTTP Server verze 2.4, konkrétně byl využit balík XAMPP. Jako databázový systém slouží PostgreSQL s extenzí PostGIS pro práci s prostorovými daty. Celý stack je potom hostován na platformě Windows Server.

Architektura aplikace

Dohledové centrum sensorové sítě se skládá z vlastní aplikace běžící na webovém serveru (httpd), servisní databáze (PostgreSQL) a libovolného počtu dalších připojených databází (PostgreSQL). Servisní databáze je mandatorní, bez ní je aplikace nefunkční. V případě, že je servisní databáze nedostupná, aplikace se uzamkne, aby se tím předešlo chybovým stavům způsobeným nemožností načíst aplikační data a konfigurační údaje. Další databáze obsahující aplikační data nejsou povinné – aplikace je bez nich funkční, ale její používání bez těchto dat ztrácí smysl. Samotná aplikace musí být hostována na serveru s operačním systémem Windows Server, databáze může být na téže serveru nebo může být připojena ze vzdáleného serveru s libovolným operačním systémem - Windows, GNU/Linux, FreeBSD, Solaris atd.

Struktura aplikace

Jednotlivé soubory aplikace jsou logicky uspořádány do následujících složek:

- **conf** – obsahuje konfigurační soubor `conf.xml`
- **export** – tato složka slouží jako dočasné úložiště pro exportované soubory, soubor je vygenerován v této složce a následně je odeslán uživateli, po odeslání je soubor ze složky smazán
- **gdal** – obsahuje knihovny GDAL/OGR 1.9
- **img** – obsahuje obrázky – loga a ikony nacházející se na horní liště a screenshoty ze sekce Nápověda
- **import** – dočasná složka pro importované soubory CSV, soubor je nejdříve nahrán do této složky a následně je zpracován pomocí SQL příkazu `COPY`, po skončení importu je soubor ze složky smazán
- **javascript** – složka obsahuje JavaScriptové knihovny `jQuery` a `L.Control.MousePosition.js`
- **layers** – obsahuje tematické mapové vrstvy ve formátu `JSON`
- **logs** – obsahuje podsložky `access_log`, `error_log` a `transact_log` do kterých se ukládají jednotlivé logy
- **pages** – obsahuje PHP soubory – části jednotlivých stránek a skripty
- **style** – obsahuje CSS soubory s nadefinovanými kaskádovými styly

5.2 Python web server pro vizualizaci senzorových dat

Python je nejvíce geo-přívětivý skriptovací jazyk. Python využívá tzv. balíčky, či knihovny, které rozšiřují základní funkcionalitu skriptování v Python. Pro práci s prostorovými dotazy se doporučuje používat starší Python 2.7 ve 32 bitové verzi. V Python byl vypracován celý projekt. Od importu dat, správu webového serveru, dotazů do databáze až po výslednou vizualizaci dat. Databáze byla zvolena PostgreSQL, která má vyřešený přístup pomocí Python skriptu. Verze PostgreSQL byla zvolena 9.4, která byla aktuální v době vývoje aplikace.

Získávání senzorových dat

Pro vývoj řešení byla použita bezdrátová síť WSN založená na produktech firmy Libelium, konkrétně modelech WaspMote Plug&Sense, Smart Environment a Smart Agriculture. Jednotlivé modely se liší možnostmi zapojení různých snímačů. Pro model Smart Agriculture je nezbytné připojení teploty, vlhkosti či srážek. Pro Smart Environment je nezbytné připojení čidel teploty, srážek, a různých polutantů například CO_2 , NO_x . Sensory od firmy Libelium jsou schopny přenášet data v reálném čase. Data se přenášejí ze senzoru (uzlu) do brány. Brána pak přijímá data, která senzor odešle. V bráně je MySQL (či PostgreSQL) databáze, která všechna data uchovává a umožňuje k nim přístup, vyhledávání, filtrování. V bráně běží standardní linuxová distribuce Debian. Pro větší vzdálenosti lze využít i propojení mezi uzly. Sensory jsou napájeny bateriemi či solárním panelem. Proto je nezbytné plánování počtu měření, časový interval pro odesílání a komunikaci s bránou či čidly. Jakákoliv komunikace, ať už mezi senzorem a čidlem, senzorem a senzorem, či senzorem a bránou, zvyšuje energetickou zátěž. Baterie dokáže senzor napájet od 1 týdne po 3 měsíce. Senzor dokáže komunikovat s bránou pomocí několika protokolů. Sensory Katedry geoinformatiky disponují anténou Zigbee Pro (spec. 802.15.4). Anténu na obrázku 12 (integrovaný obvod

T A Č R

uvnitř senzoru) je možné vyměnit za jiné, např. Sigfox, LoRaWAN, GSM. Brána je pak připojena k síti internet pomocí ethernet konektoru, kterým je i napájena.



Obr. 12: Základní deska Libelium s anténou XBee Pro

Data se z brány dají stáhnout buď offline pomocí přenosné flash paměti, či online prostřednictvím internetového připojení. Databáze MySQL podporuje export i filtrovaných dat do různých formátů. Formát dat proto může být například CSV či SQL. Pro jednodušší import dat do databáze PostgreSQL byl zvolen formát CSV. SQL formát obsahuje deklaraci pro vytvoření nové tabulky v databázi, tak aby atributy z MySQL databáze v bráně byly shodné s atributy v PostgreSQL databázi umístěné na serveru.

Jeden řádek z dat ve formátu SQL může vypadat následovně:

```
INSERT INTO table (ID, timestamp, raw) VALUES (297339, '2015-07-01  
00:00:36', 'I:382552190#N:1446#BAT:8#CA:19.35#CB:99.58');
```

Stejný záznam v CSV:

```
297339, '2015-07-01 00:00:36', 'I:382552190#N:1446#BAT:8#CA:19.35#CB:99.58'
```

Id je globální identifikační číslo. Timestamp je formát času, který je standardizován (ISO 8601, ČSN ISO 8601) pro strojové zpracování. Časová značka může být ve více formátech. PostgreSQL doporučuje formát pro datum 2015-07-01 (rok-měsíc-den). Dále pak mohou být formáty 7/1/2015, 2015-Jul-01, 01-Jul-15, 2015.182 (182. den v roce) apod. Norma ISO 8601 také upravuje formáty pro čas (00:00:36.000, 00:00:36, 00:00, 000036). Kompletní časová značka je v PostgreSQL uložena pod speciálním datovým typem TIMESTAMP a TIMESTAMP WITH TIME ZONE. Dále jsou k dispozici datové formáty pro datum (DATE), čas TIME (s i bez časové zóny) a časový interval (INTERVAL).

Rozdíl velikostí souboru SQL a CSV je pro 200 000 řádků asi 10MB (32 521 040 bytů, respektive 24 185 788 bytů). Nejedná se o žádné konkrétní období, jen o konkrétní počet řádků. Jeden řádek je vždy jedno měření jednoho senzoru. Např. pokud pět senzorů bude měřit každou minutu, to je 300 měření za hodinu, tedy 300 řádků za hodinu. Za den je to 7200 záznamů z měření, kde počet čidel nehraje roli, protože hodnoty jsou uloženy v atributu „raw“, který uchovává jednotlivá čidla a naměřené hodnoty ve struktuře klíč: hodnota. Jednotlivá čidla jsou oddělena #.

Výkon tabulky

Základní práce databáze, je vyhledávat a zprostředkovávat velké množství informací a předávat dál, v tomto případě aplikačnímu serveru. PostgreSQL obsahuje několik nástrojů pro testování výkonu dotazů. Typů dotazů do databáze není mnoho, kvůli úzké specifikaci aplikace. Nástroj, či funkce, kterou má PostgreSQL vestavěnou je "EXPLAIN". Tato funkce vrací hodnotu "ceny" dotazu. Další funkce je "EXPLAIN ANALYZE", která vrací skutečnou hodnotu času, k získání dat z dotazu. Tabulka bez jakýchkoli výkonnostních vylepšení (VACUUM, indexy na attributech) vrátí veškerá data po dotazu "SELECT * FROM parsed_table" za průměrných 160 ms. Databáze celkem vrátila 947 784 hodnot. Tento dotaz ovšem není v aplikaci použit. Jedním z dotazů, na který se aplikace bude databázového serveru dotazovat jsou údaje např. za jeden měsíc:

```
SELECT measurevalue, timestamp FROM parsed_table WHERE (timestamp > '2015-07-01 00:00:00' and timestamp < '2015-07-31 23:59:59');
```

Tento dotaz vrátil celkově 82 994 záznamů v čase 225 ms. Téměř 90 % všech záznamů bylo vyfiltrováno. Pro tento typ dotazu je tedy nezbytné, aby byl vytvořen index nad atributem "timestamp". Po znovuspuštění analýzy dotazu vrátila databáze stejný počet záznamů, ovšem za 30 ms. Čas vrácení odpovědi byl o 90 % kratší, než při dotazu bez indexu.

Další specifický typ dotazu aplikace bude jak na časový interval, tak i na konkrétní meteorologický jev, např. dotaz na teplotu za jeden měsíc. Při analýze dotazu vrátila databáze 8201 záznamů (další redukce o 90 %), ovšem čas již zůstal stejný (30 ms). Jelikož databáze obsahuje pouze 12 různých typů čidel, není index nad atributem "measuretype" nutný.

Python web server

Celý projekt je 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. Pro rozšíření základních funkcí Python bylo využito několik balíčků. Balíček Flask zpřístupňuje funkce pro web server, balíček pycogp2 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 neznamená, 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 databází 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 GeoJSON tak TopoJSON překryvné vrstvy. S balíčkem Folium lze také vytvářet překryvné kartogramy s různými barevnými schématy. Balíček Leaflet podporuje zobrazování výsledků z balíčku Vincent, například jako vyskakovací okno (*popup*) s grafem, které bylo využito v této aplikaci.

Vzhled aplikace

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. Z formuláře je možné vybrat teplotu, vlhkost, CO₂, NO₂, VOC, AP (vzdušné polutanty), rychlost větru, směr větru, srážky, baterie (zbývající kapacita baterie).

Při vybrání 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. Odeslání požadavků z formuláře na webový server je použito požadavku GET. Webový server sestrojí podle zadaného data 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, které 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, který značí počet uběhlých 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 (*JavaScript Object Notation*). Tento textový soubor poté využije Folium pro umístění značky v mapě s vyskakovacím oknem, kde bude zkonstruován výsledný graf.

Folium také dokáže pracovat s rastrovými obrázky, které lze vložit jako překryvnou vrstvu nad dlaždice. Rastrové vrstvě je možno nadefinovat průhlednost. Vrstva se přidává do mapy pomocí levého horního a pravého spodního rohu, které se definují v souřadnicích WGS 84 (EPSG:4326). Ortofoto bylo nasnímáno pomocí UAV Hexacopter XL vlastněného Katedrou geoinformatiky.

Na obrázku 13 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.



Obr. 13: Výsledná mapové pole se senzory a ortofotosnímkiem

6. Očekávaný průběh dalšího řešení

Poslední rok řešení bude ve znamení integrace poznatků a jejich finalizace. Výsledky budou předloženy v podobě 7 výstupů. Velký objem práce bude věnován dalšímu rozvoji technického zázemí pro bezkontaktní monitorování, především v podobě zabezpečení optimalizovaného přenosu dat vývojem vlastního protokolu a příslušné komunikační jednotky a zejména dokončení aplikačního řešení pro jejich analýzu a vizualizaci.

V oblasti zpracování optických dat se důraz přesune k hyperspektrálním datům a pokročilým regresním závislostem. Po celou vegetační sezónu budou nadále probíhat terénní odběry půdy s následnými laboratorními analýzami za současného monitorování „ručními“ optickými přístroji. Druhou velkou oblastí práce bude tvorba prostorově orientovaného modelu půdní variability.