

VYUŽITÍ HYPERSPEKTRÁLNÍCH DAT PŘI ŘEŠENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH ÚLOH

DR. VERONIKA KOPAČKOVÁ
PRACOVISŤE DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ
ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA

veronika.kopackova@seznam.cz

OBSAH PREZENTACE

- **Představení pracoviště**
- **Dálkový průzkum Země (DPZ): principy a metody, obrazová spektroskopie**
- **Testovací lokalita Sokolov, pořízená data**
- **Environmetální aplikace obrazové spektroskopie**
- **Budoucí satelitní mise**
- **Shrnutí**

PRACOVNÍŠTĚ DÁLKOVÉHO PRŮZKUM ZEMĚ DPZ

- Založeno v r. 2005



Veronika Kopačková M.Sc.
team coordinator

veronika.kopackova@geology.cz



Jan Mišurec M.Sc.

jan.misurec@geology.cz



Jan Jelének M.Sc.

jan.jelenek@geology.cz



Lucie Koucká B.Sc.

lucie.koucka@geology.cz

SPOLUPRÁCE

Spolupráce v rámci ČR:

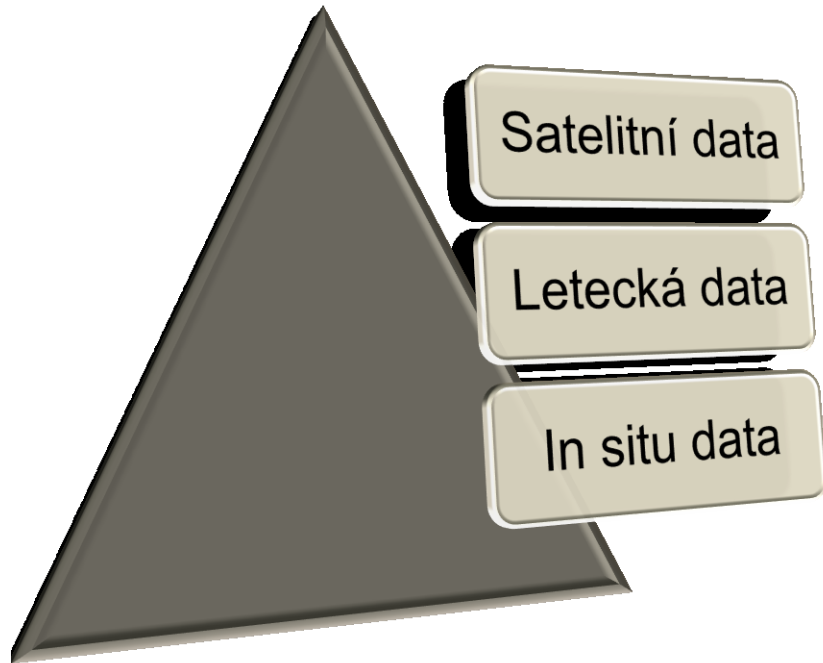
- **Karlova univerzita v Praze, Přírodovědecká fakulta**
 - Katedra experimentální biologie rostlin
 - Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie
- **CzechGlobe (AV ČR)**

Mezinárodní spolupráce:

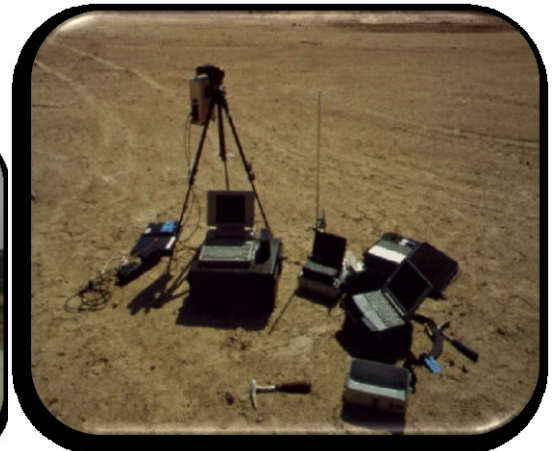
- **BRGM** (French geological survey)
- **DLR** (German Aerospace Center)
- **GSFC NASA** (Goddard Space flight Center, NASA)
- **TAU** (Tel-Aviv University)
- **Helmholtz center Freiberg (HIF)**
- **GFZ Potsdam**



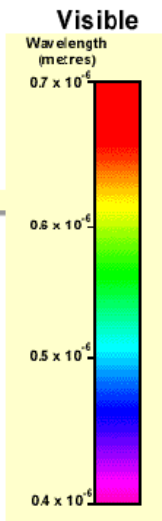
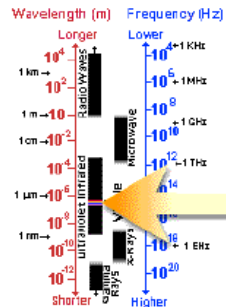
DRUHY DAT - METODY POZOROVÁNÍ ZEMĚ (DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ)



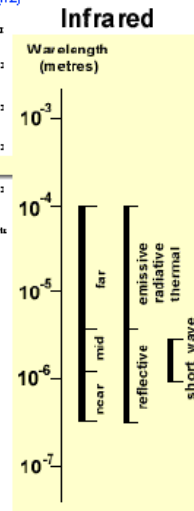
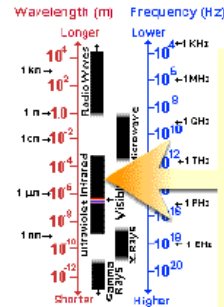
Každý typ dat má své výhody a limity, nejlepších výsledků lze dosáhnout jejich integrací...



ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

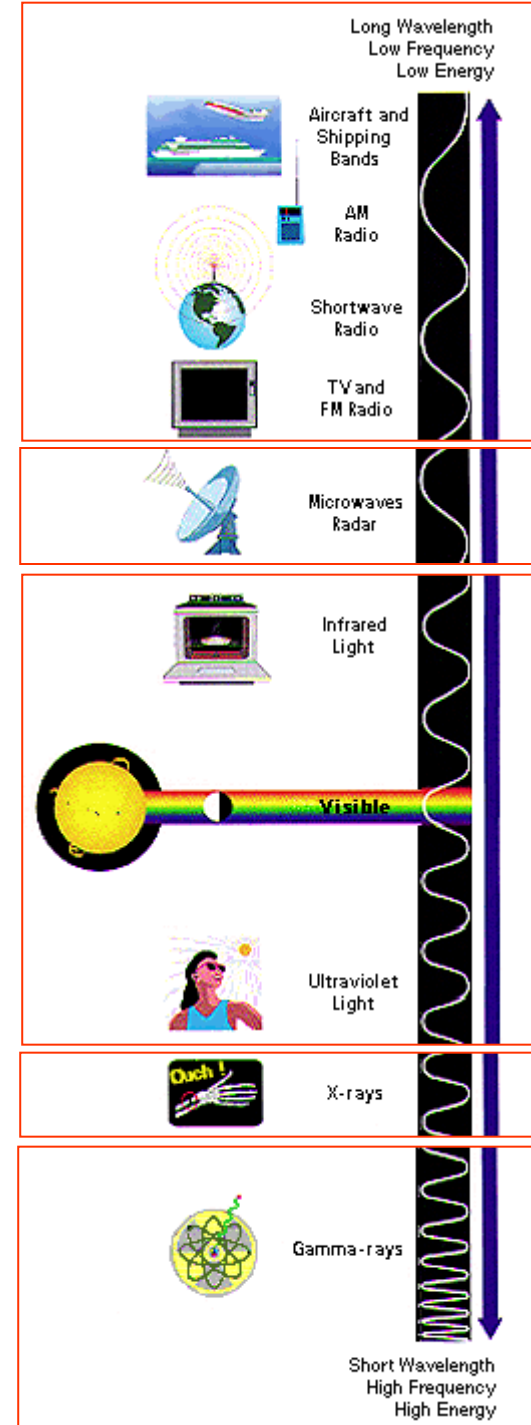


© CCRS / CCT



© CCRS / CCT

Electromagnetic spectrum	Wavelength (µm)
Visible	0.4 - 0.7
Near Infrared	0.7 - 1.5
Mid-Infrared	1.5 - 3
Far Infrared	3 - 15
Microwave	1 mm - 1 m

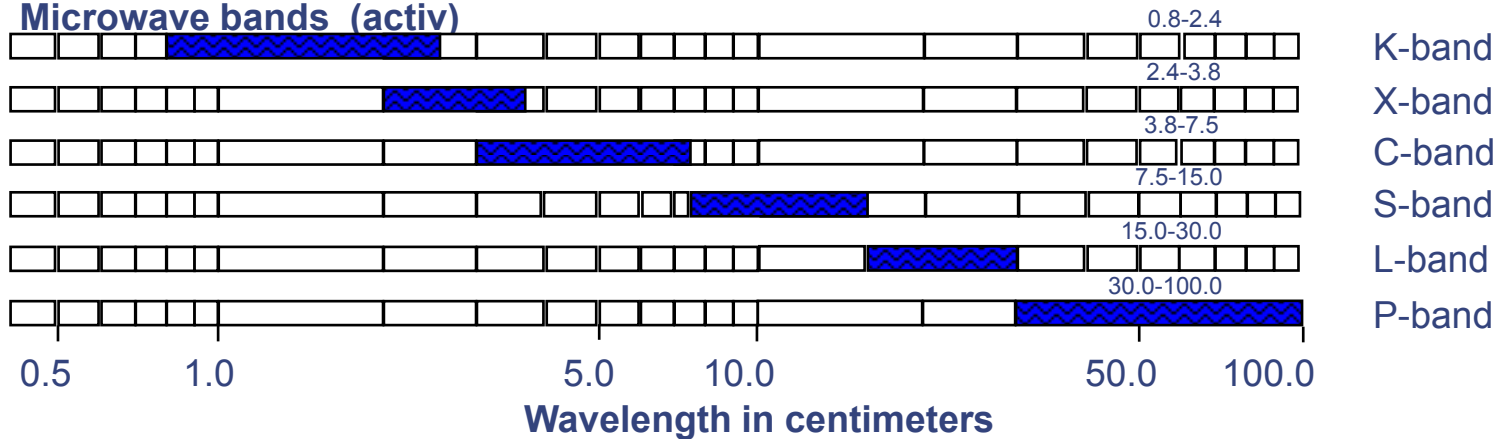


WAVEBANDS AND TERMINOLOGY



Active

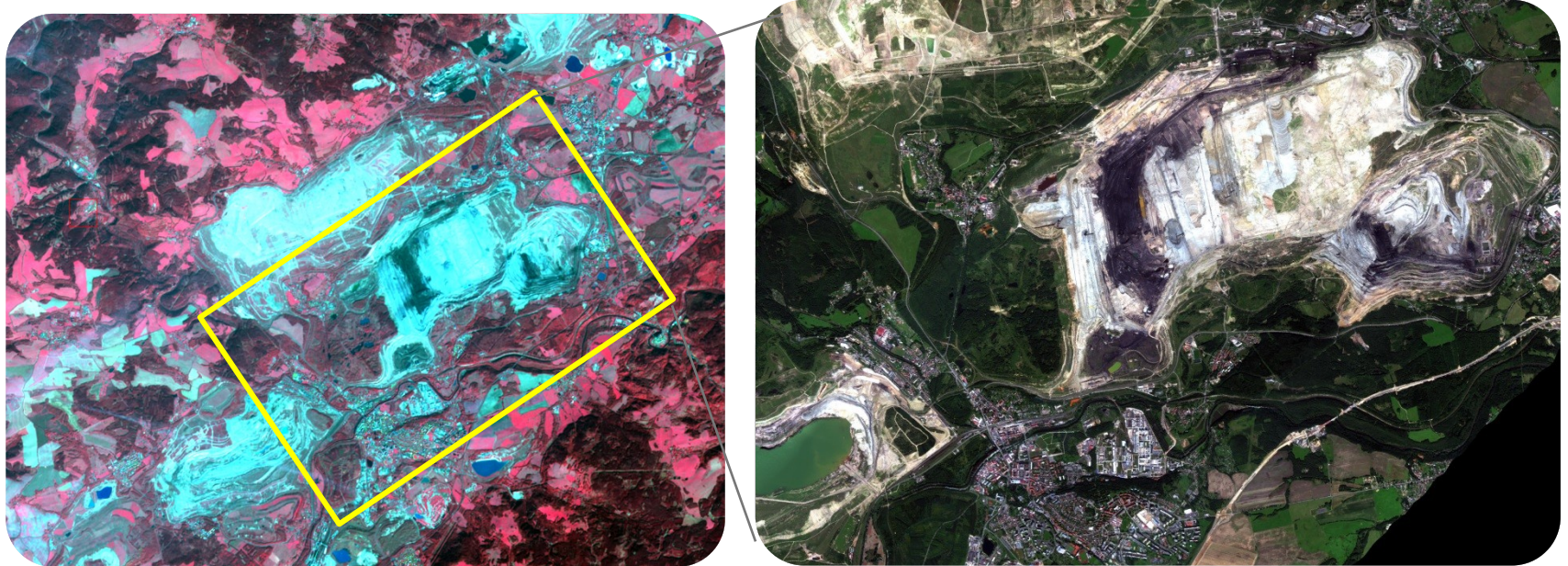
Microwave bands (activ)



PARAMETRY OBRAZOVÝCH DAT DPZ

Prostorové vs. spektrální rozlišení

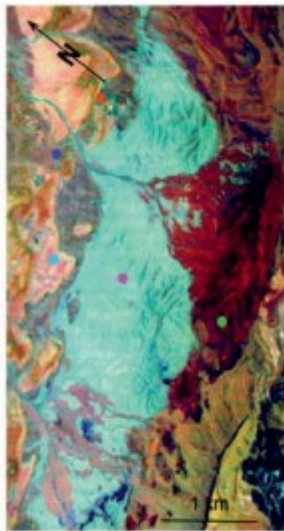
Velikost nejmenší objekt, který je v obraze identifikovatelný



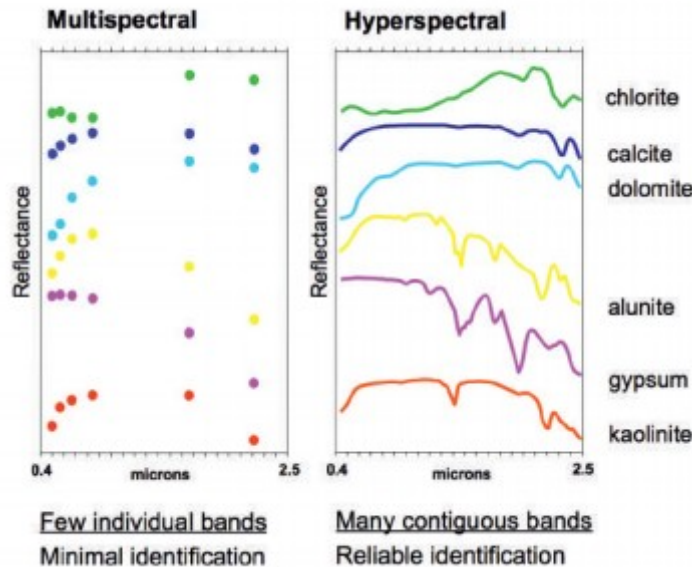
SPEKTRÁLNÍ DIMENZE



◀ Složení ortofota - princip RGB



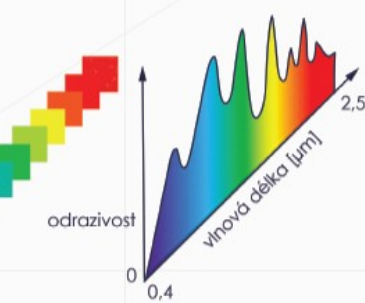
Makhtesh Ramon/Israel
Simulated EnMAP data
(color composite)



1 pixel

číslo vlnové délky

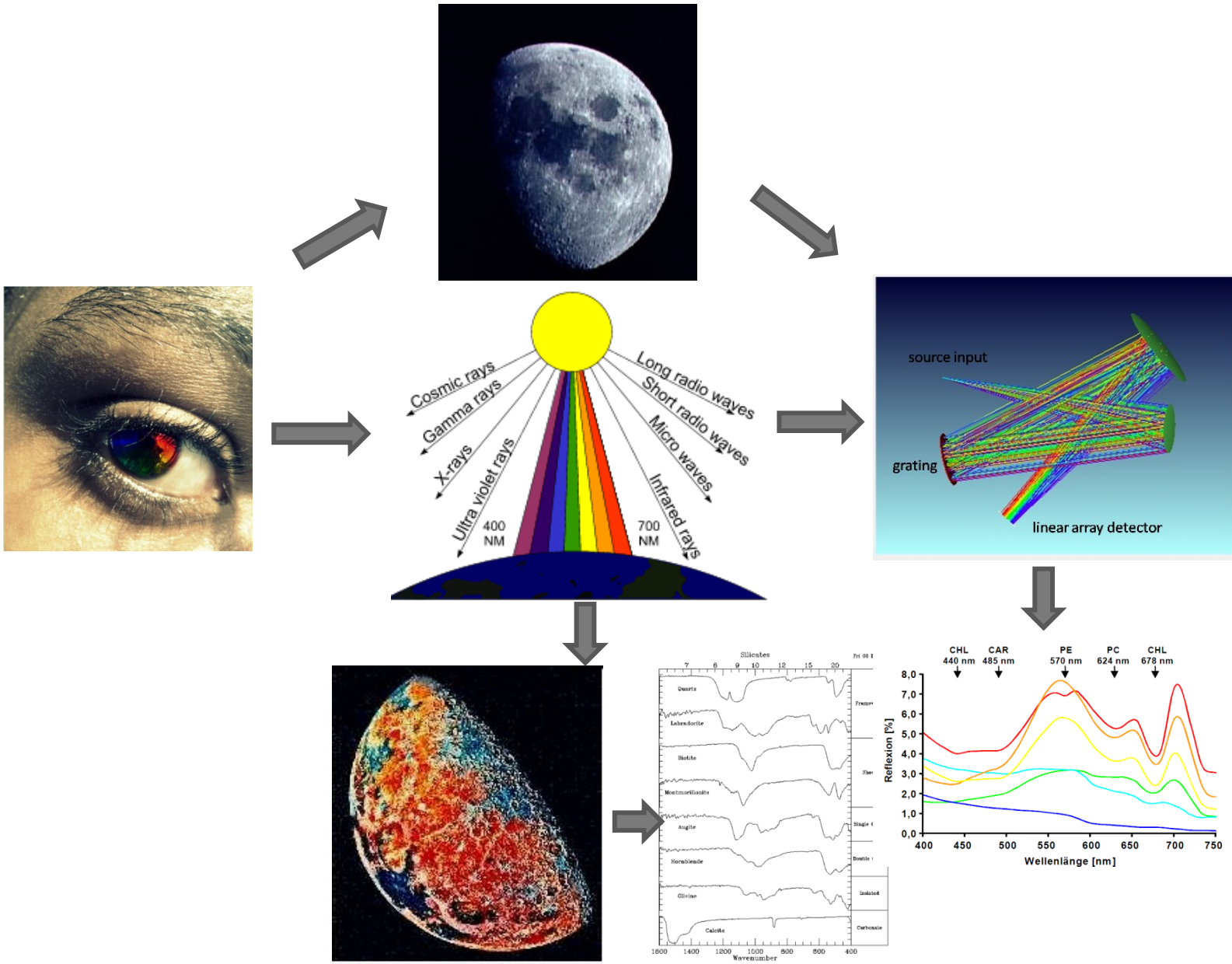
číslo pásma



Spektrální křivka
(vylvořena z hodnot odrazivosti, které nese pixel v každém spektr. pásmu)

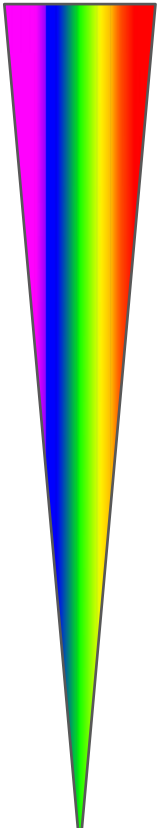
◀ Princip hyperspektrálních dat

OBRAZOVÁ SPEKTROSKOPIE

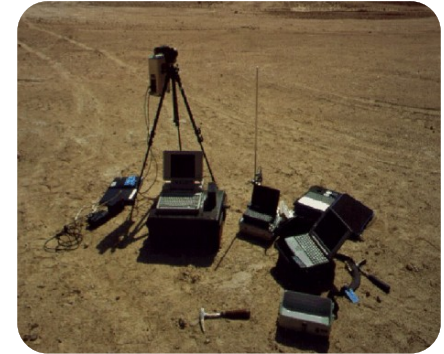


OPTICKÝ SENSOR

PROSTOROVÉ A SPEKTRÁLNÍ
ROZLIŠENÍ



Pozemní spektrometr



Letecký sensor

Nově i bezpilotní
letadla

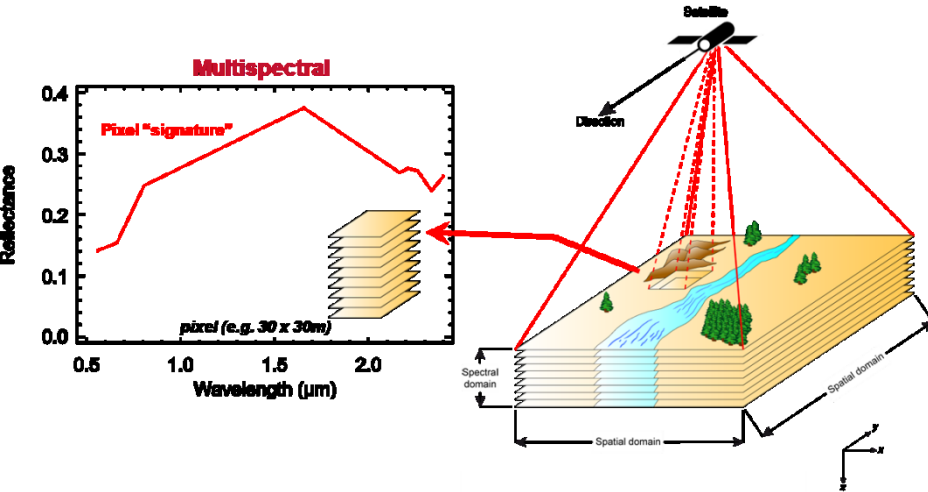


Satelit

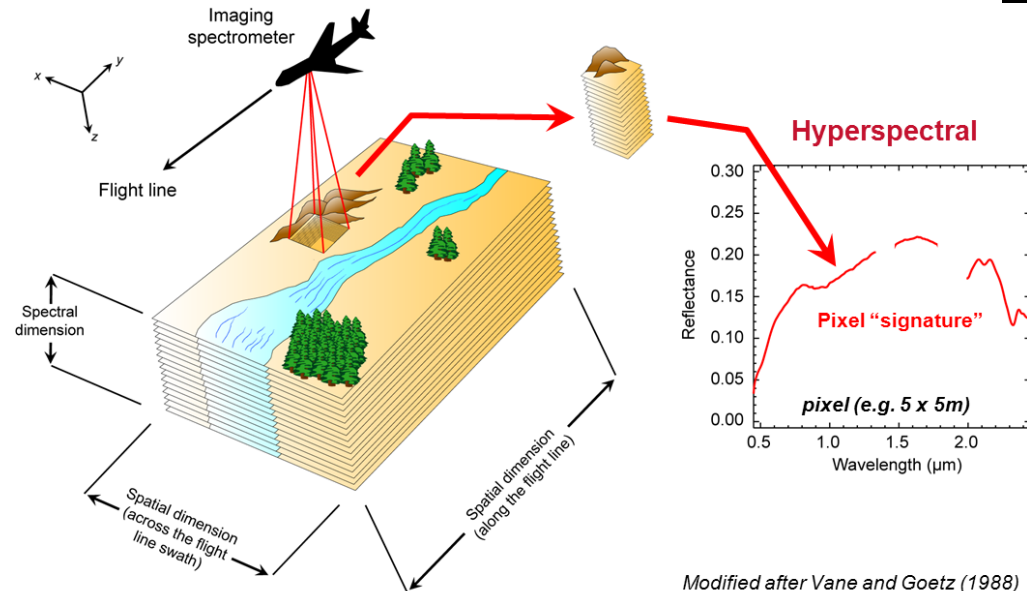
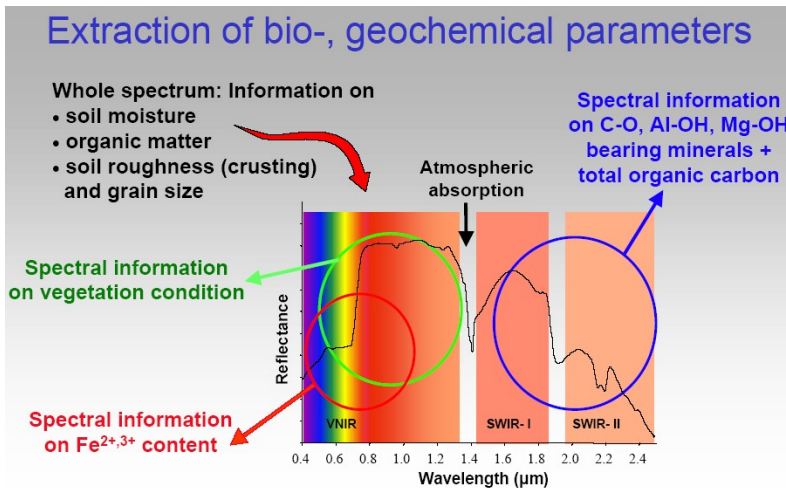


PROSTOROVÉ A
SPEKTRÁLNÍ ROZLIŠENÍ

PARAMETRY OBRAZOVÝCH DAT DPZ: SPEKTRÁLNÍ ROZSAH A ROZLIŠENÍ



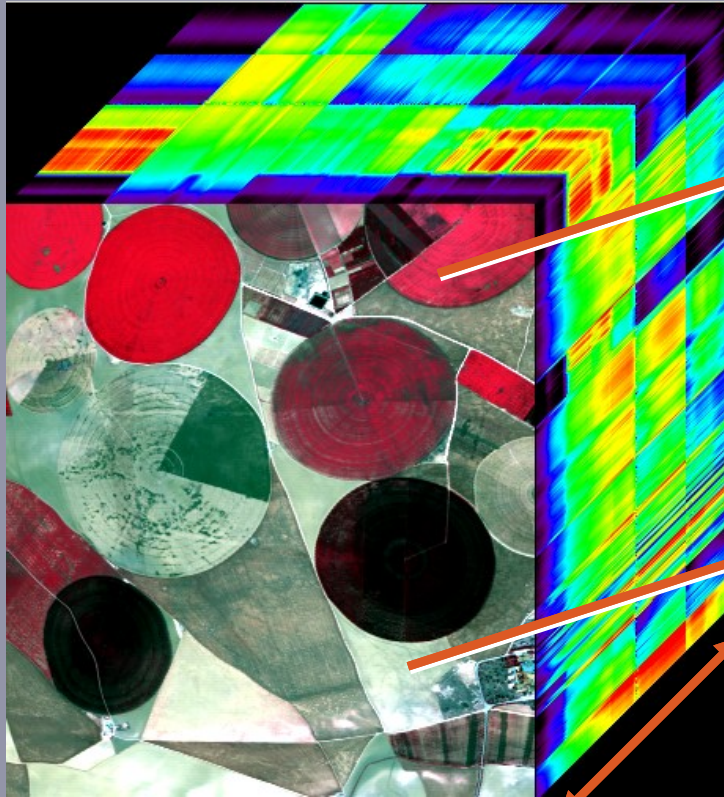
Rozsah – region/oblast EM spektra v rámci něhož jsou obrazové záznamy (pásy) pořizovány
 Rozlišení – fce šířky (v nm) pořizovaných pásem



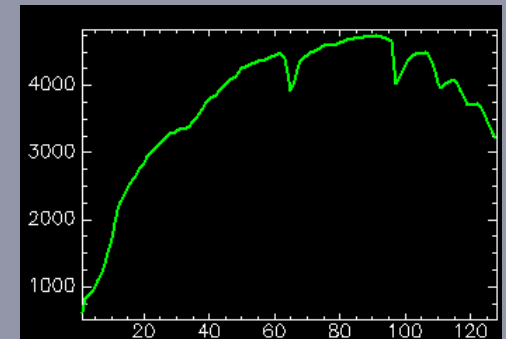
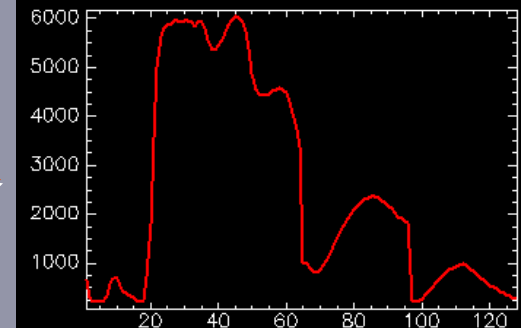
Modified after Vane and Goetz (1988)

SPEKTRÁLNÍ DIMENZE

Up to
33000 pix

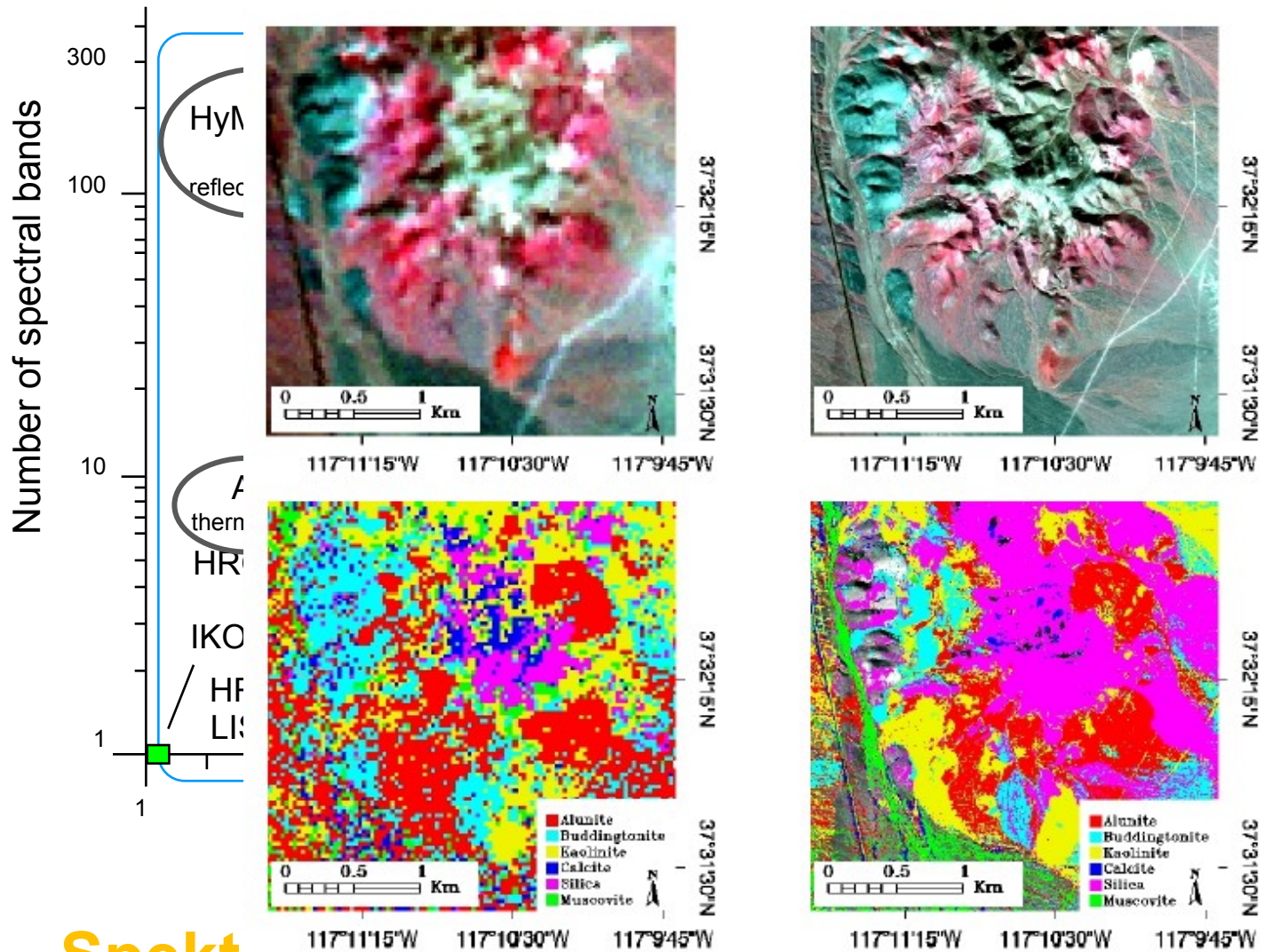


1024 pix



~ 220 bands
 \Rightarrow spectral dimension !

PROSTOROVÉ VS. SPEKTRÁLNÍ ROZLIŠENÍ



Spekt

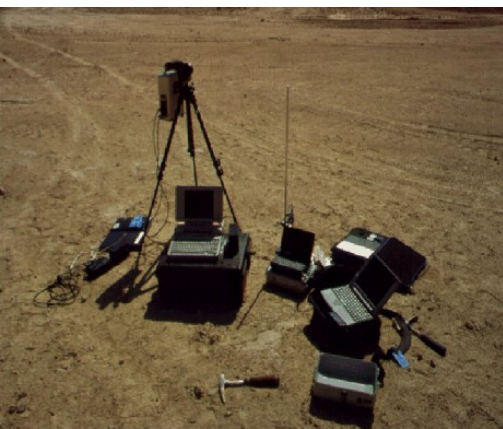
TEORIE OBRAZOVÉ SPEKTROSKOPIE

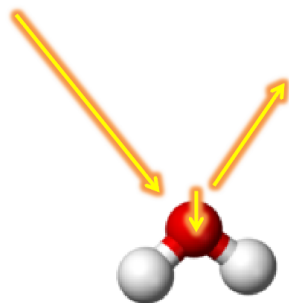
Chemické,
fyzikální,
mechanické
vlastnosti



Reflektance Emisivita

- měření in situ
pozemní přístroj)
- nebo distančně
(senzor)





The Options

1. Reflect
2. Absorbed as heat



"Spectral scientist wants both"

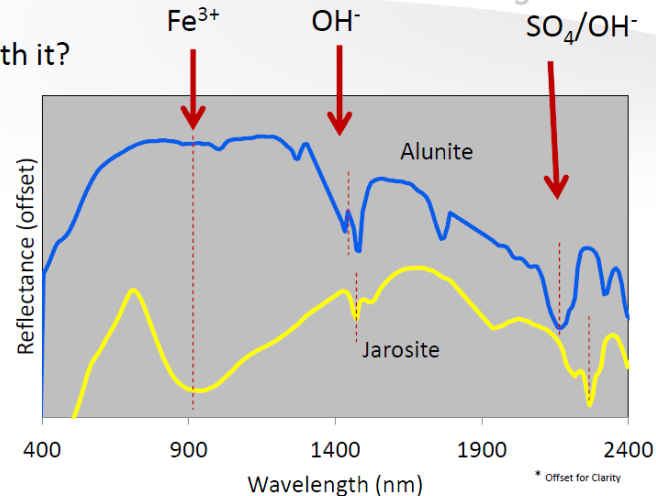
What can we do with it?

Mineral Identification

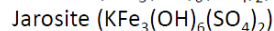
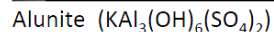
- Band position
- Absorption shape

Concentration

- Band depth



Alunite and Jarosite differ only by Al / Fe:



Why Reflectance?

radiance vs reflectance

Radiance is what a satellite measures.
It is 'how much energy'.

- Things look different when they are brightly or dimly lit.
- This is *radiance*.



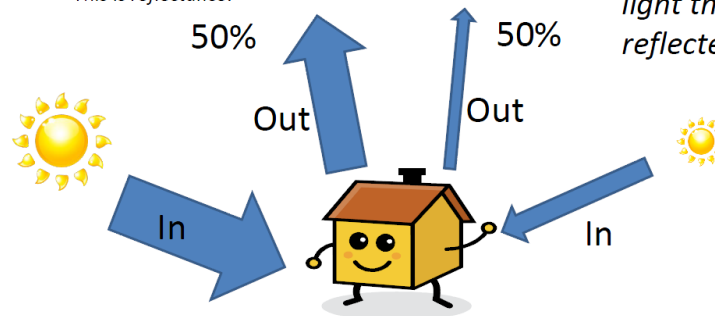
Why Reflectance?

radiance vs reflectance

Reflectance is a constant, predictable property of the material.

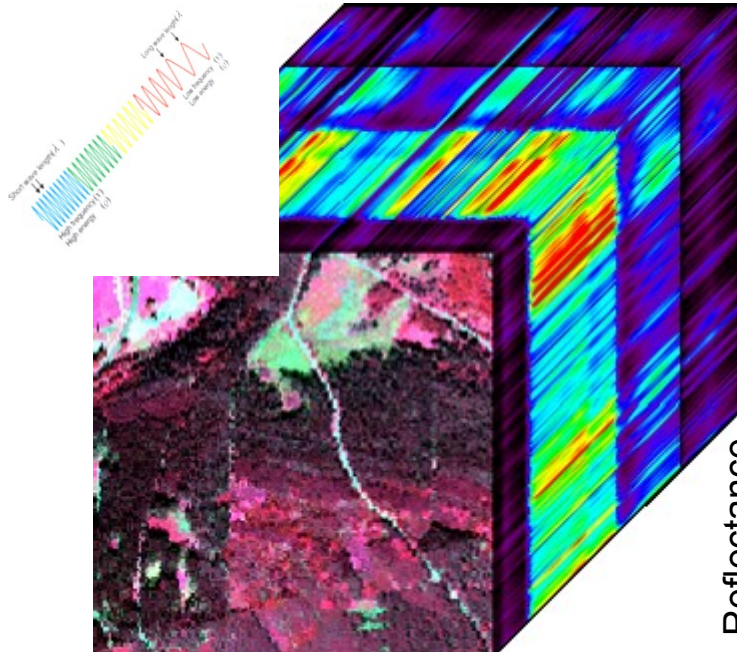
- Reflectance is a ratio. $OUT/IN = \text{reflectance}$
- This is *reflectance*.

"Percent of light that is reflected!"



Senzory zaznamenávají radianci, data musí být převedena na reflektanci (relativní nebo absolutní)

OBRAZOVÁ SPEKTROSKOPIE



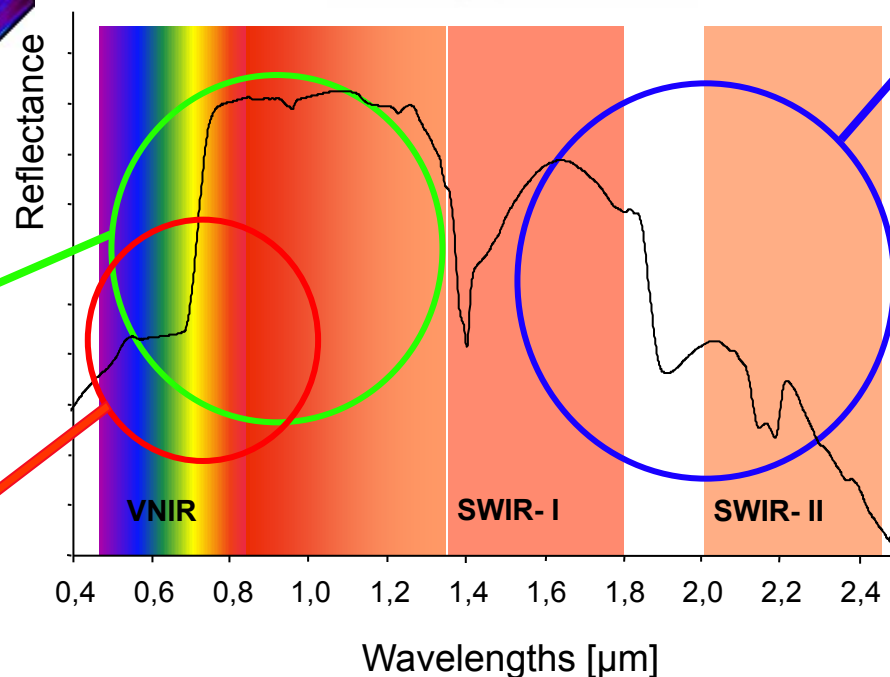
Spectral information
of vegetation condition

Spectral information
of $Fe^{2+,3+}$ content



Specifická absorpce
na dané vlnové
délce – chem. a fyz.
vlastnosti povrchu

Spectral information
of C-O, Al-OH, Mg-OH
bearing minerals



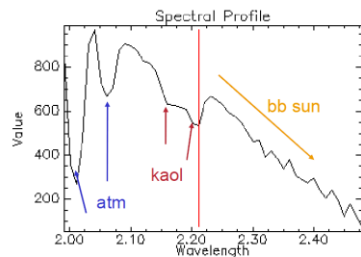
TEORIE VS. REALITA



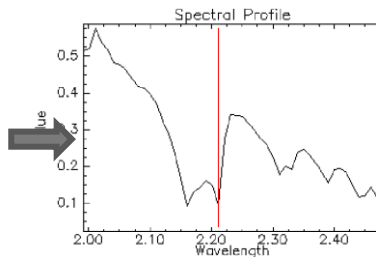
Chyba, stabilita a kalibrace senzoru, technické parametry

Vliv atmosféry

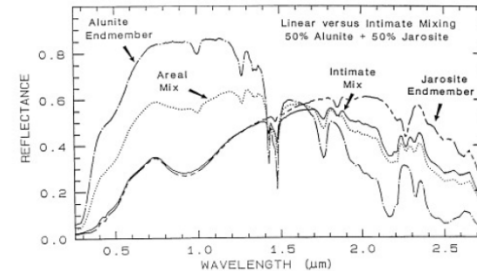
At sensor radiance



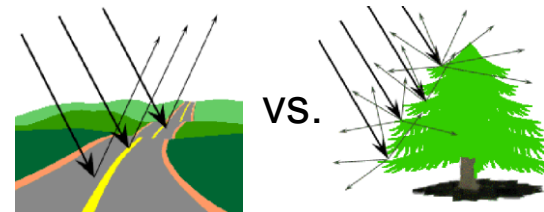
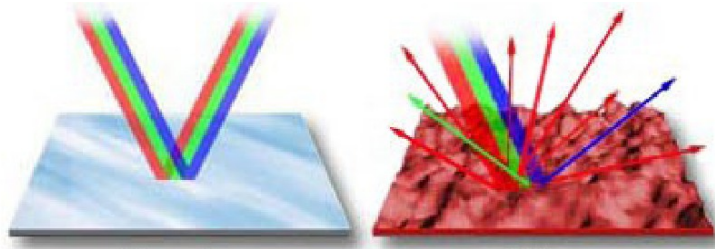
Reflectance



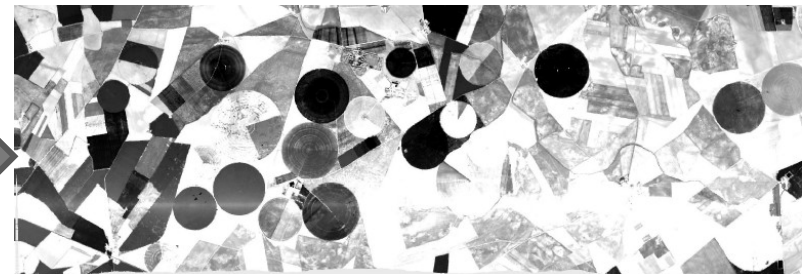
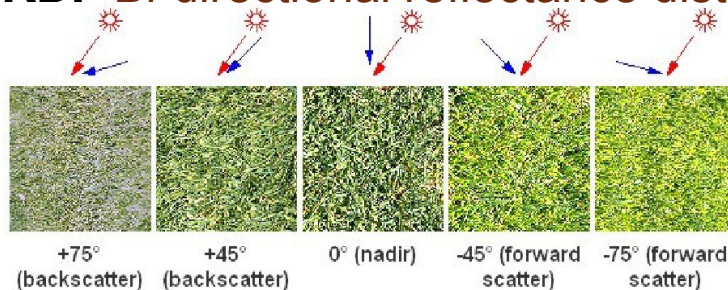
Problém míchání - směsi



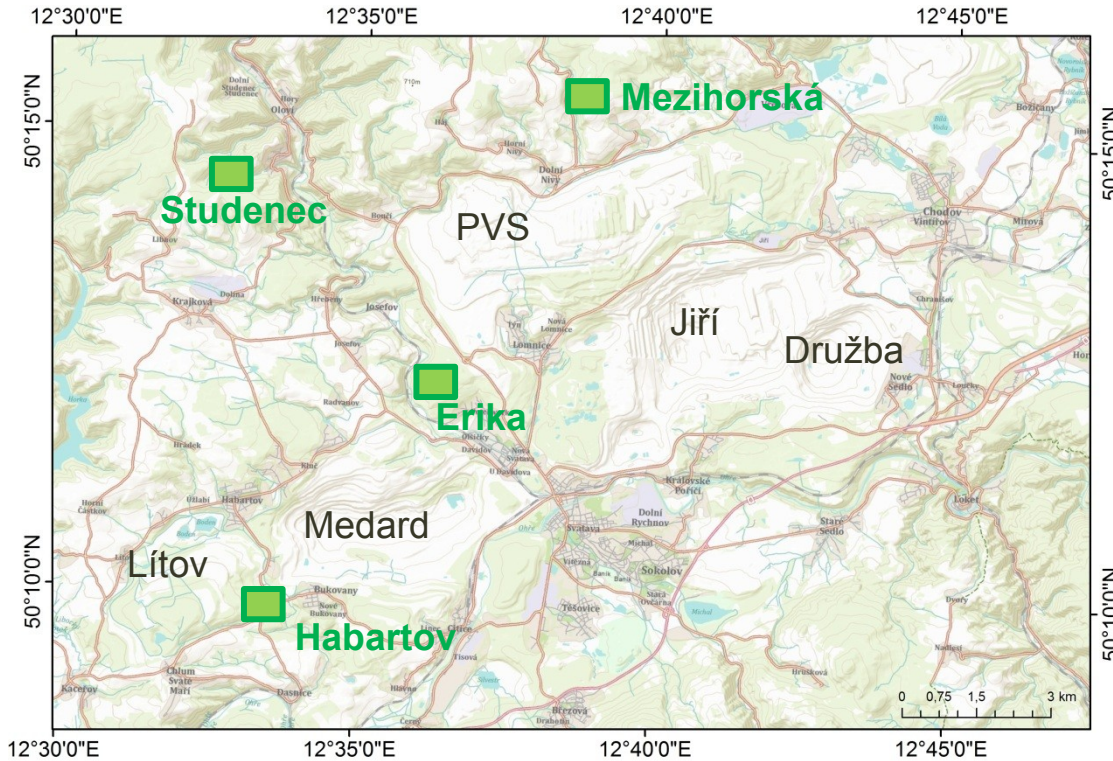
Odraz: spekulární vs. difusivní



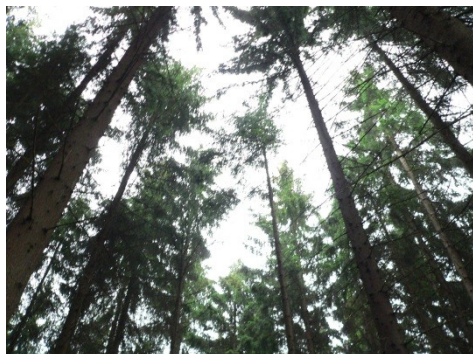
BRDF Bi-directional reflectance distribution function



TESTOVACÍ LOKALITA: SOKOLOV



- Open-cast lignite mining
- Mines under operation as well as abandoned mines and dumps



VÝZKUMNÉ GRANTY - UZAVŘENÉ (2009-2013)

2009: Grant GAČR 205/09/1989 **Vyhodnocení environmentálních vlivů povrchové těžby postavené na analýze dat hyperspektrálního sensoru (HYPSO: hyperspectral Sokolov) 2009-2012**



Institute of Systems Biology
and Ecology
ACADEMY OF SCIENCES
OF THE CZECH REPUBLIC, v.v.i.



Geoscience for a sustainable Earth
brgm



2010: FP7 projektu (**EO-MINERS: Earth Observation for Monitoring and Observing Environmental and Societal Impacts of Mineral Resources Exploration and Exploitation**) 2010-2012



Sokolovská uhelná, právní společnost, a.s.
SOKOLOV, ČR

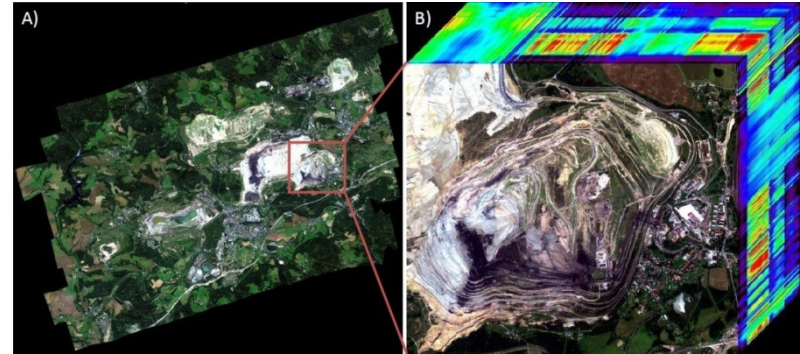


2011: DeMinTIR (EUFAR): CGS, DLR, TAU, (AHS, INTA) program EUFAR, navazuje na práce provedené v oblasti Sokolovské hnědouhelné pánve během projektů HypSo a EO-Miners, letecká termální obrazová data AHS s vysokým spektrálním rozlišením AHS (airborne hyperspectral scanner): 80 pásem z oblasti TIR (8 - 13 μm)

SOKOLOV – POŘÍZENÁ DATA (2009-2011)

Flight campaigns

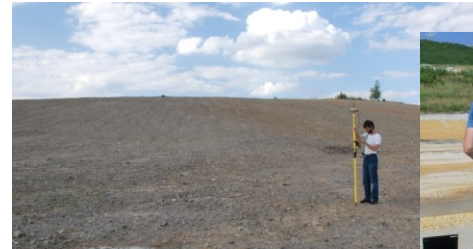
- 2009, 2010, 2011



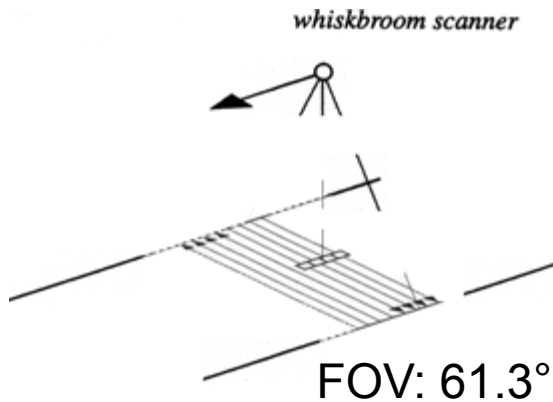
Cal/Val campaigns

Ground truth

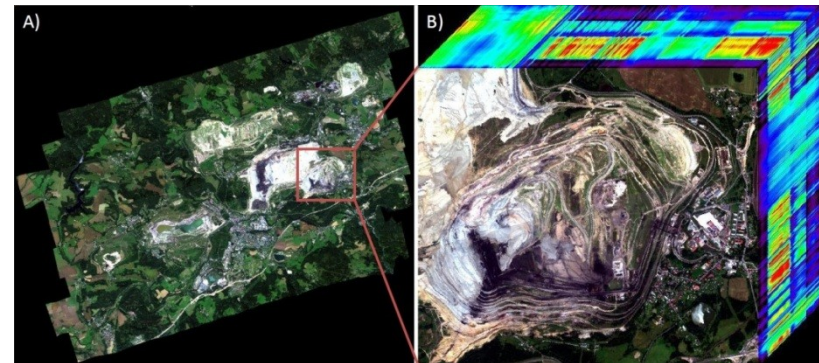
- (2009-2011)



HS AERIAL DATA : HYMAP



- Australian sensor (HyVista)
- 126 bands
- 0.4-2.5 μm
- 5 m pixel



Sokolov: 07/2009 and 08/2010

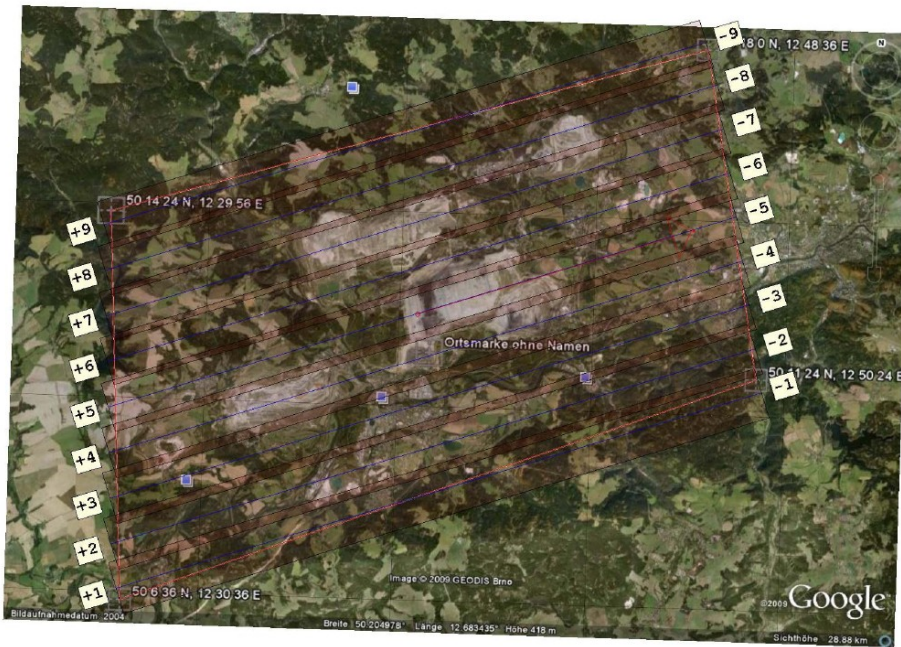


Spectral Configuration – 126 channels			
Module	Spectral range	Bandwidth across module	Average spectral sampling interval
VIS	0.45 – 0.89 μm	15 – 16 nm	15 nm
NIR	0.89 – 1.35 μm	15 – 16 nm	15 nm
SWIR1	1.40 – 1.80 μm	15 – 16 nm	13 nm
SWIR2	1.95 – 2.48 μm	18 – 20 nm	17 nm

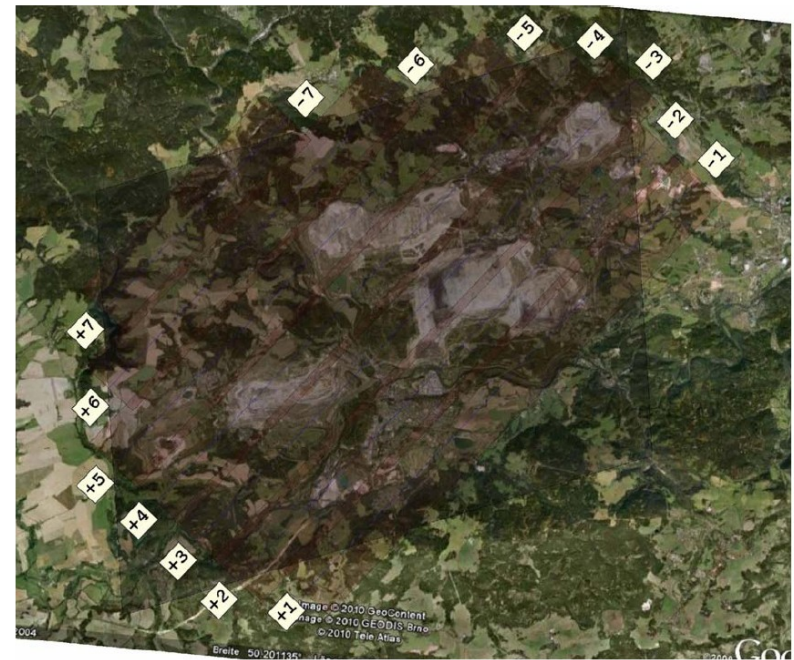
HYMAP DATA

HYMAP (07/2009, 08/2010) – optimization due to the strong BRDF effect in 2009 data

07/2009 (HypSo)



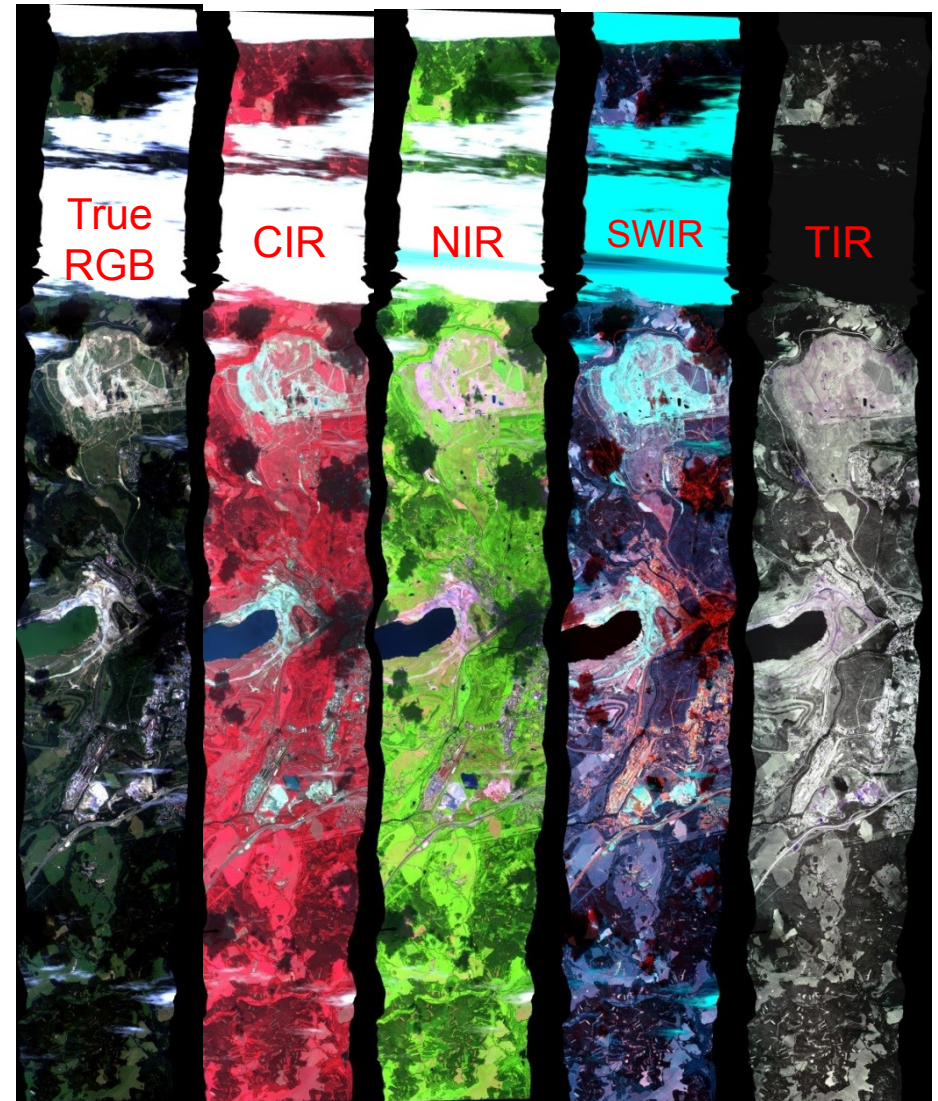
08/2010 (EO-MINERS)



CASI & AHS DATA (07/2011)

Obrazová data:

- **AHS (day + night data)**
 - VIS (11 bands; 0.44-0.74 μm)
 - NIR (9 bands; 0.78-1.00 μm)
 - SWIR (43 bands; 1.59-2.55 μm)
 - MIR (7 bands; 3.17-5.25 μm)
 - TIR (10 bands; 8.31-12.95 μm)
- **CASI (only day data)**
 - VIS+NIR (96 bands; 0.36-1.050 μm)



Optical - range	reflective range	0.3 - 2.5
TIR (thermal infrared)	emissive range	2.5 - 14.0

POZEMNÍ KAMPAŇ (CAL/VAL)



sand



artificial grass



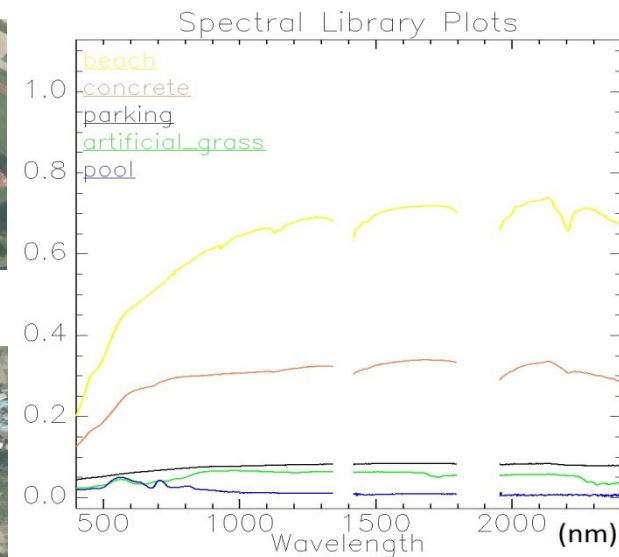
asphalt



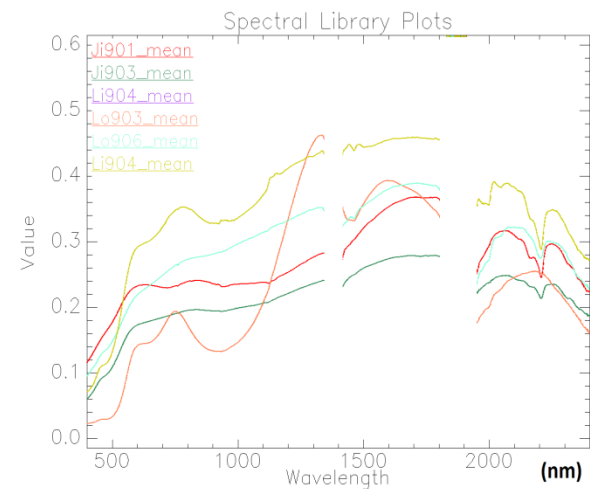
concrete



water



calibration



Validation

POZEMNÍ DATA (GROUND TRUTH)

- **Field measurements and sampling**
- ASD FieldSpec-3, μ fTIR, SR5000
 - In-situ spectroscopic measurements (0.350-2.500 μ m, 7.500-12.000 μ m)
- **Samples of surface material (0-1 cm depth)**
 - Dried and sieved (<2 mm)
 - Trace elements, heavy metals, XRD analysis, pH, sulfur, total organic carbon (TOC)
- **Water samples**
 - pH, dissolved organic matter, conductivity, suspension
- **Dust samples**
- **Soil profiling**
 - Trace elements and heavy metals, Carbon, Sulphur, pH
- **Vegetation samples**
 - Leaf pigments, water content, heavy metals, trace elements etc.

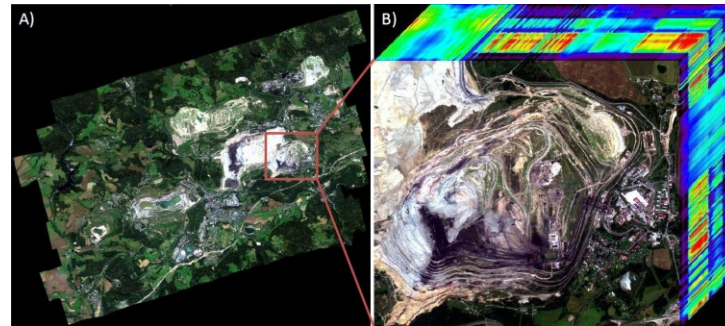


APLIKACE OBRAZOVÉ SPEKTROSKOPIE

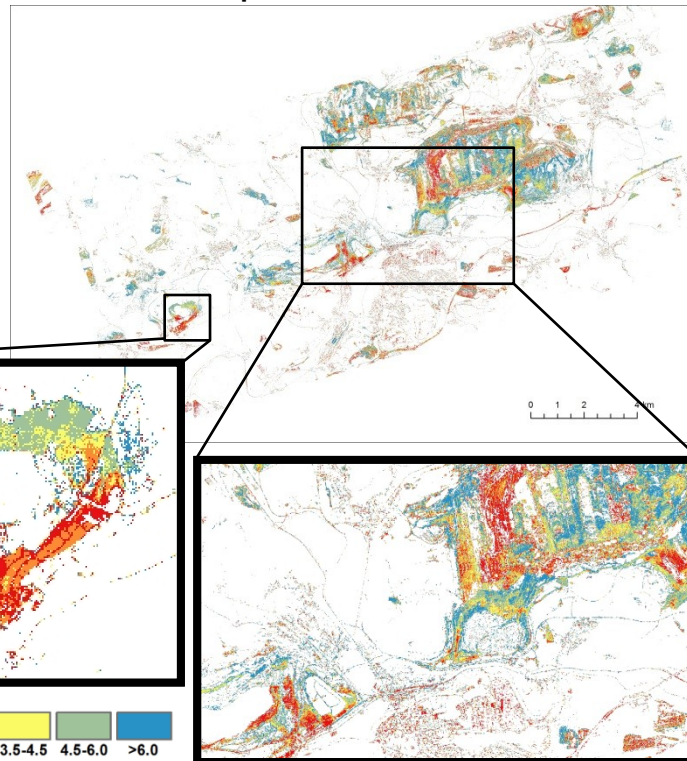
Pracoviště DPZ ČGS - aplikaci metod **obrazové spektroskopie jako moderního nástroje pro environmentální monitoring**, přičemž se zaměřuje na **modelování vybraných geochemických a biochemických parametrů**



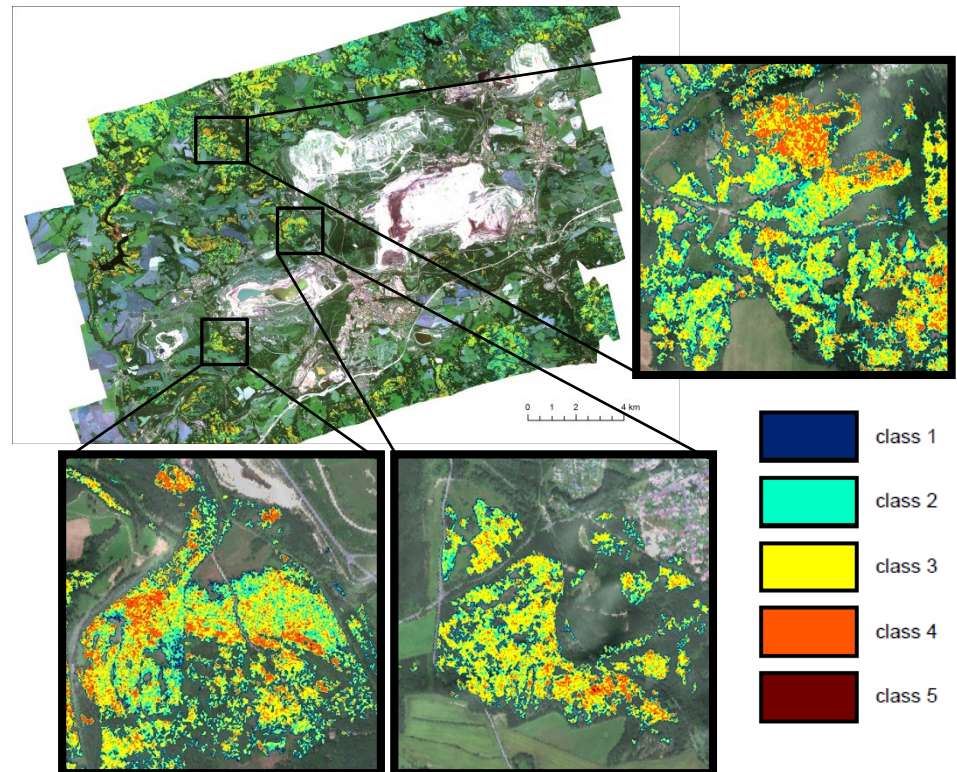
Sokolovská pánev: letecká data HyMap



Povrchové pH



Zdraví smrkových porostů

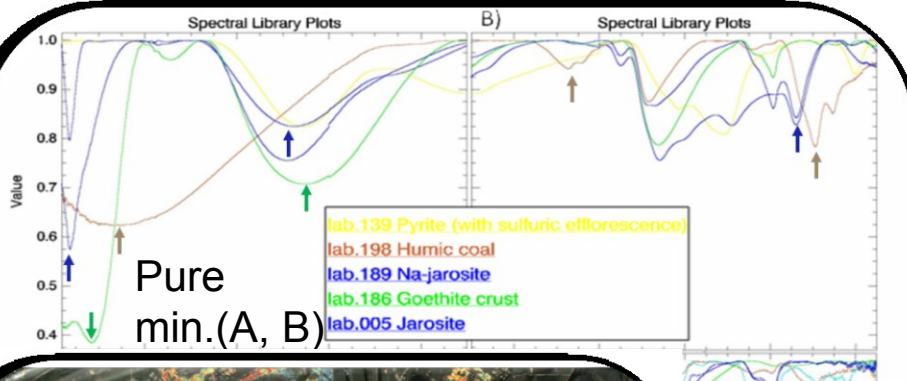
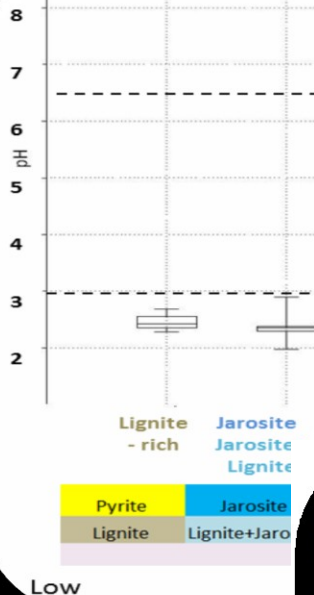


- Vlastnosti povrchových vod

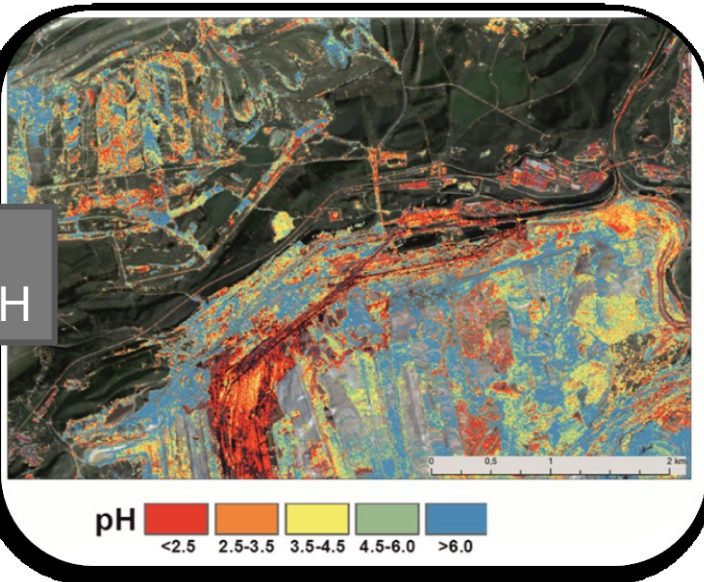
POVRCHOVÉ PH HETEROGENNÍHO PROSTŘEDÍ

Indikativní minerály ve vztahu k pH

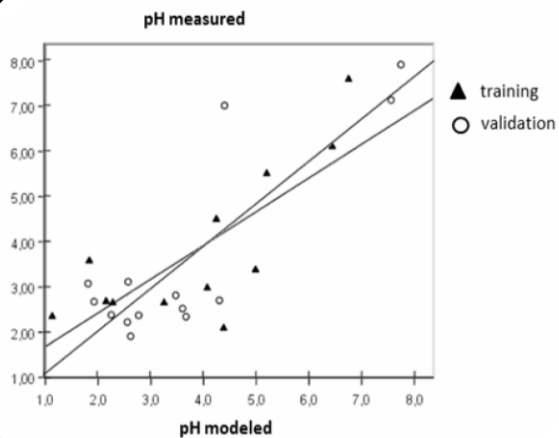
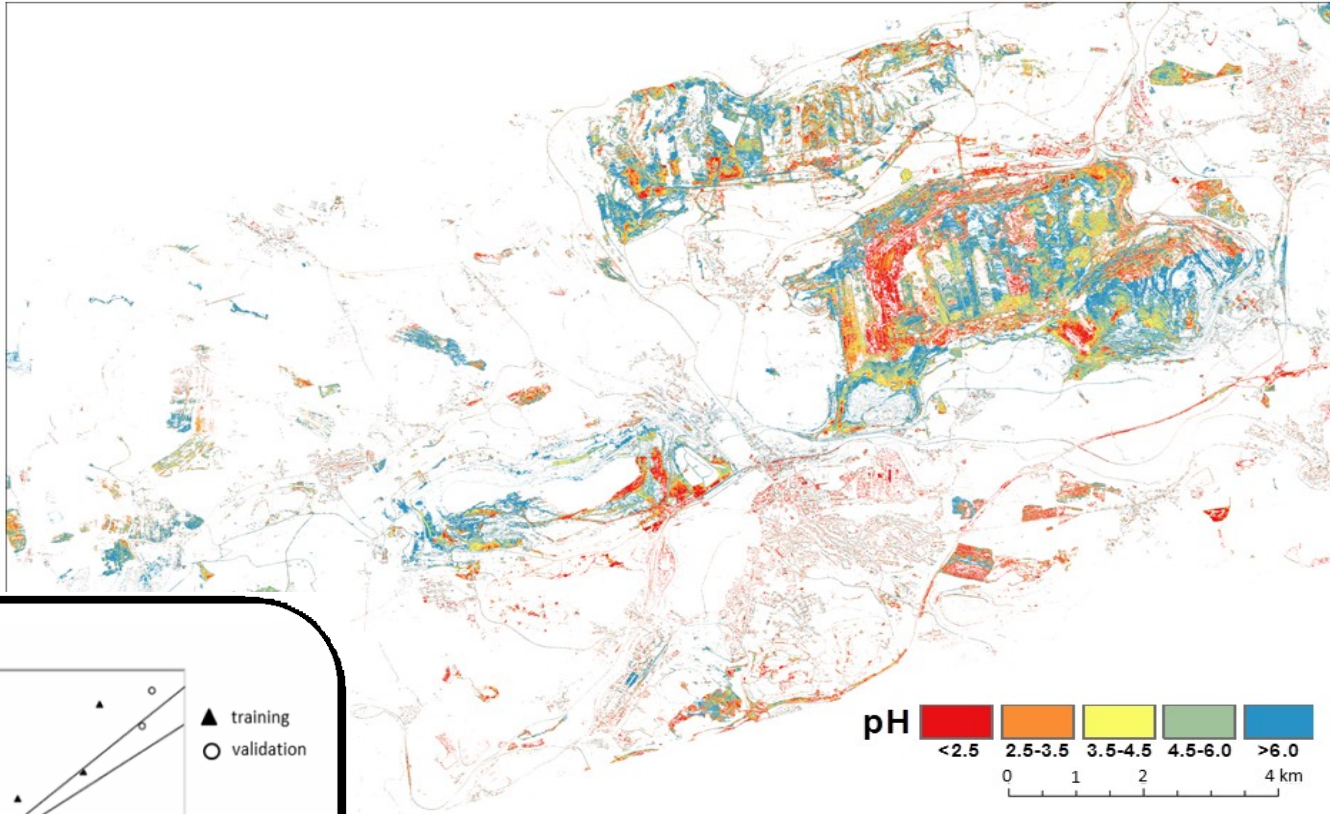
Specifické spektrální projevy umožňující identifikaci těchto minerálů i ve formě směsí



Model povrchového pH

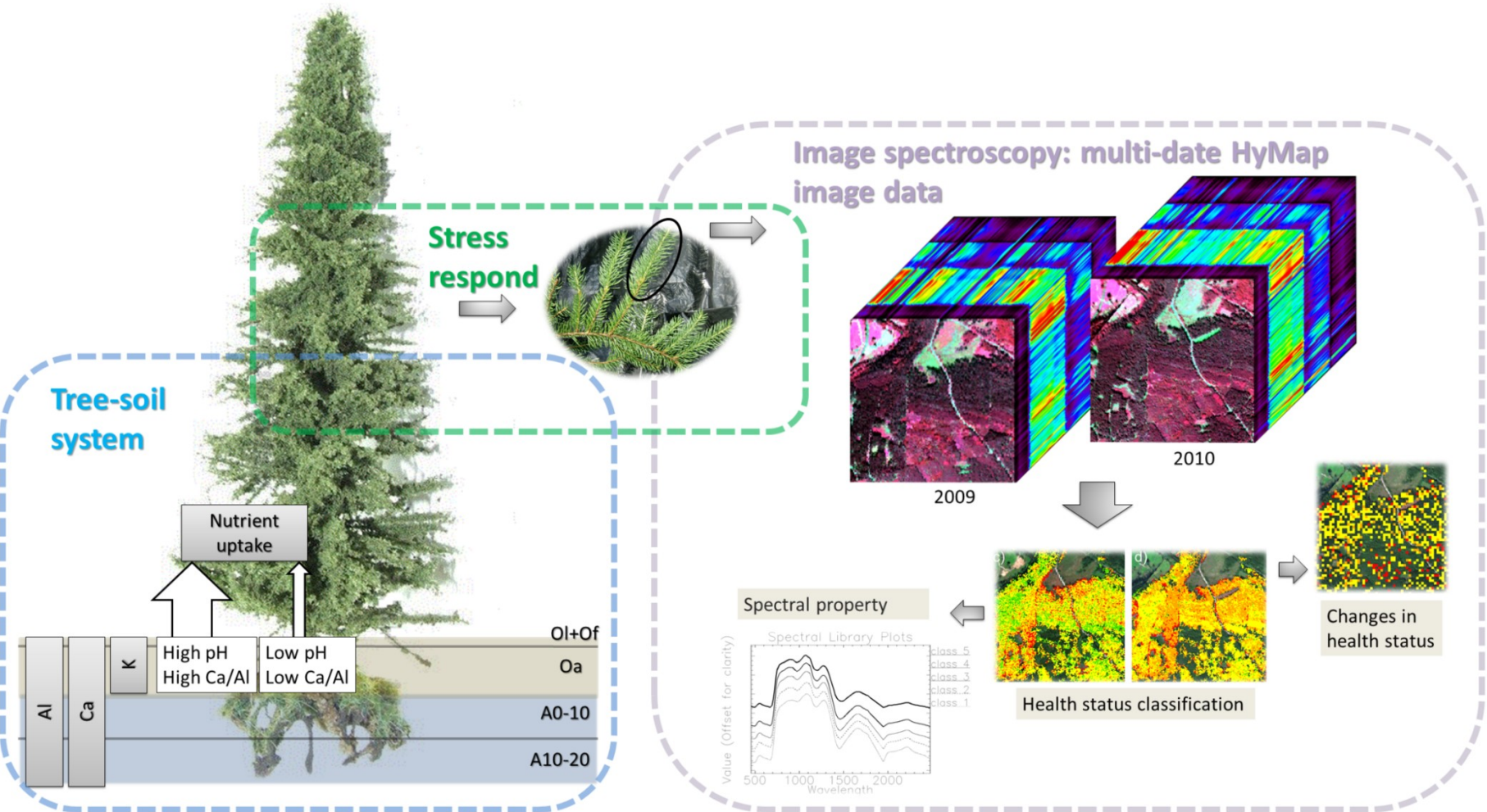


POVRCHOVÉ PH HETEROGENNÍHO PROSTŘEDÍ POVRCHOVÝCH DOLŮ

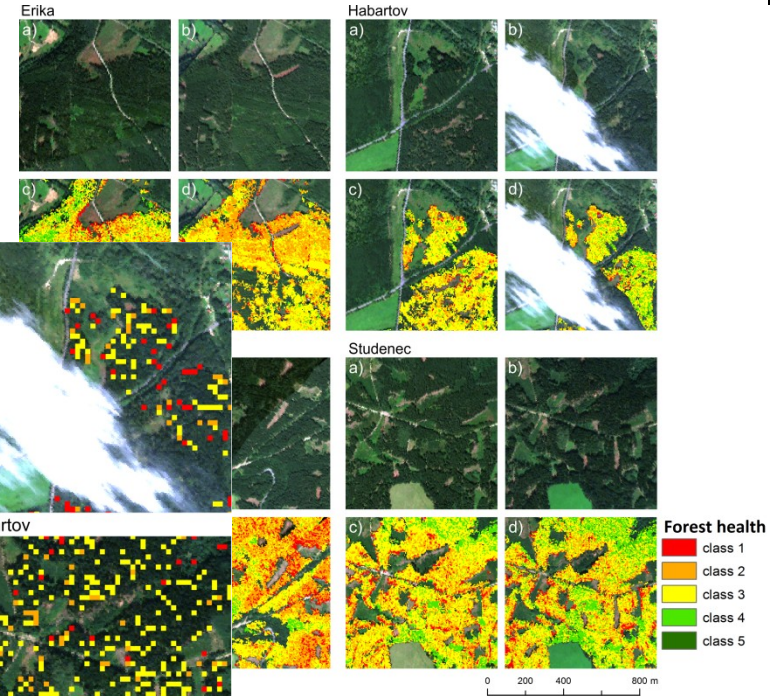
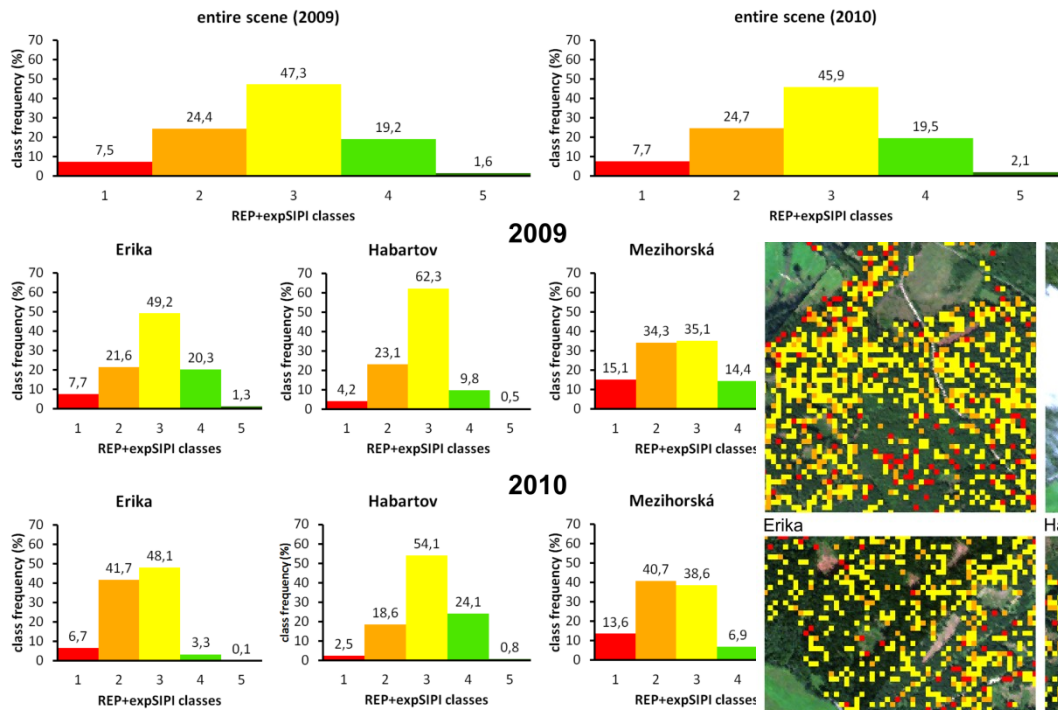


R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate	Sig.
Training				
,779	,606	,567	1,140	,003
Validation				
,873	,763	,744	1,138	,000

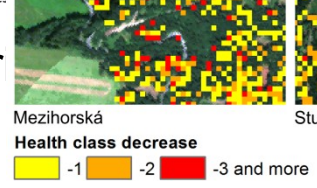
ZHODNOCENÍ FYZIOLOGICKÉHO STAVU SMRKOVÝCH POROSTŮ A IDENTIFIKOVAT VEGETAČNÍ STRESS



ZHODNOCENÍ FYZIOLOGICKÉHO STAVU SMRKOVÝCH POROSTŮ A IDENTIFIKOVAT VEGETAČNÍ STRESS



Histogram: zastoupení tříd, symetr

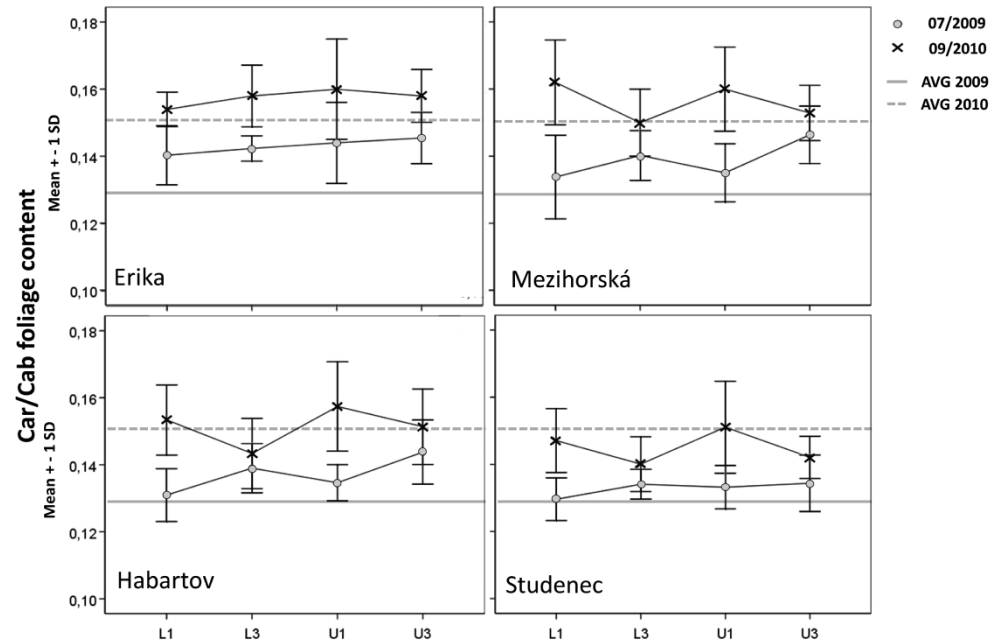
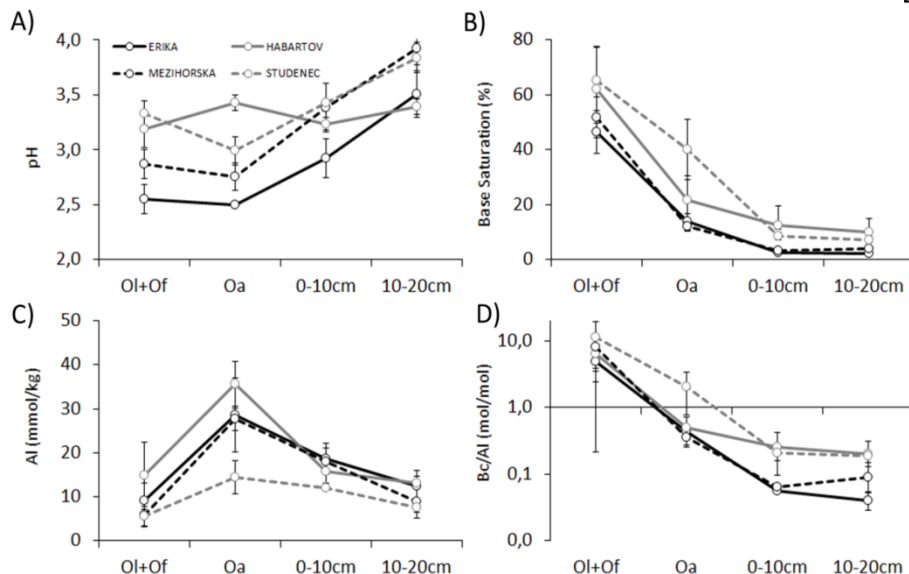


fotosyntetické pigmenty (Car/Cab) - dravotní třídy

Změna zdravotních tříd (diferenční obraz mezi 2009 a 2010)

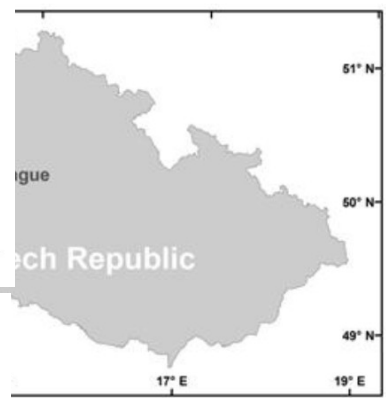
PŮDA VS. VEGETAČNÍ STRES

- Both sites, **Erika and Mezhorská**, had **low pH, base saturation (BS) and Bc/Al ratios** compared to Habartov and Studenec
- Erika: underlain by **sandstone and quartzite** - extremely low BC
- Mezhorská: underlain by **granite** with a low content of BC and low weathering rate

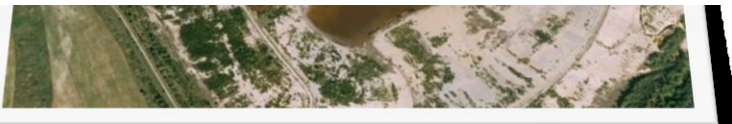


- Larger differences can be observed in the Car/Cab ratios
- higher values characterize the samples taken in 09/2010
- Erika exhibits the highest Car/Cab for both years followed by the Mezhorská site**

POVRCHOVÉ VODY

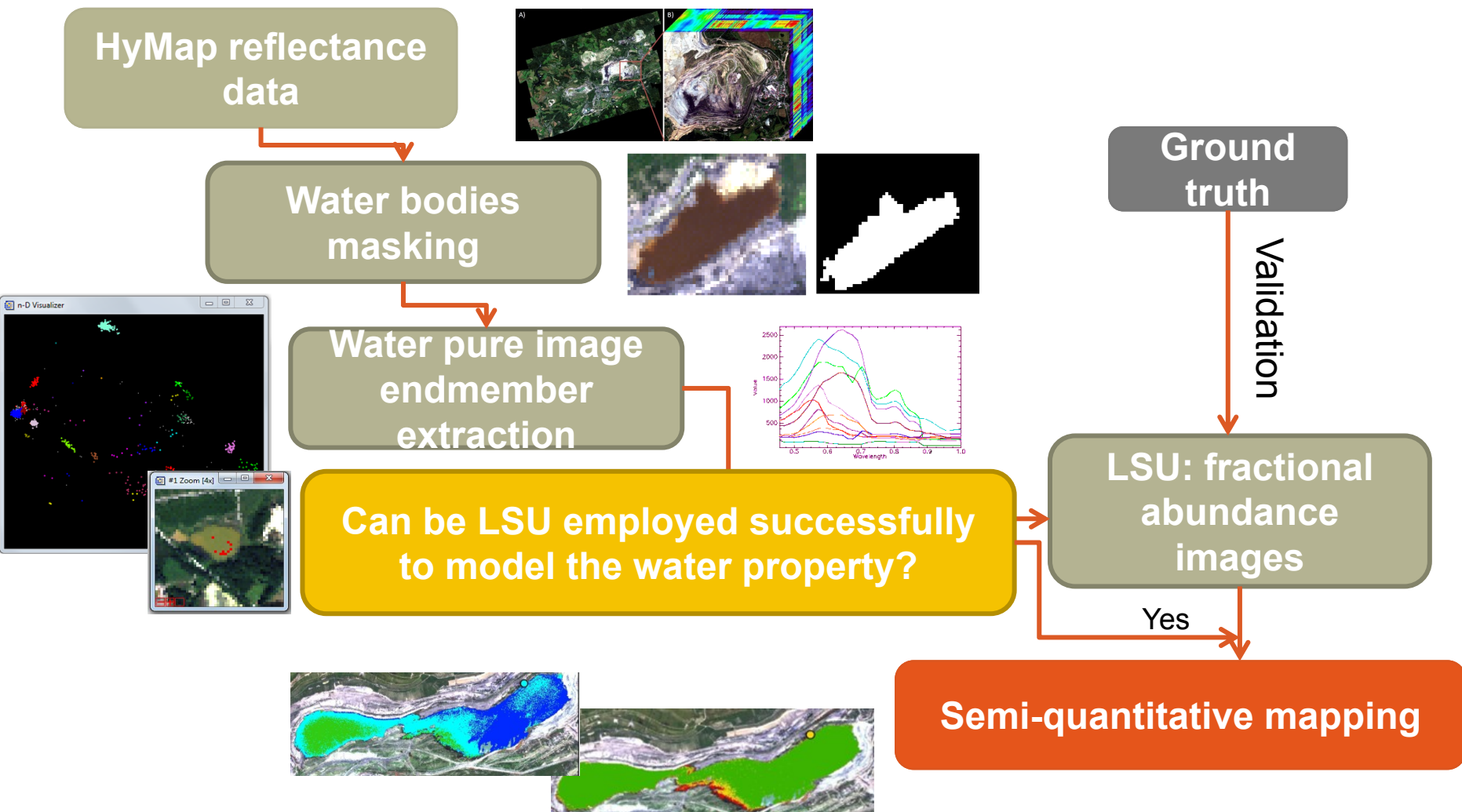


- Open-cast lignite mining
- Mines under operation as well as abandoned mines and dumps



Physical parameters	pH, redox, conductivity, suspension
Anions	$(\text{HCO}_3)_-$, $(\text{NO}_3)_-$, F^- , $(\text{SO}_4)_2^-$, Cl^-
Cations	Li^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Al , K^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^+ , Zn^{2+} , Sr^{2+} , SiO_2
Trace elements, HM	V, Cr, Co, Cu, As, Cd, Pb
Other chemical parameters	NH_4^+ , dissolved organic C (DOC)

PROCESNÍ SCHÉMA



HYPERALGO: NOVÝ PŘÍSTUP K ALGORITMIZACI A AUTOMATIZACI POSTUPŮ ZÍSKÁVÁNÍ INFORMACÍ Z HYPER SPEKTRÁLNÍCH DAT SE ZAMĚŘENÍM NA PŮDNÍ A ENVIRONMENTÁLNÍ APLIKACE

2013-2014, MŠMT, Kontakt II (LH 13266)

Česká geologická služba / Univerzita Tel Aviv: Prof. Eyal Ben-Dor

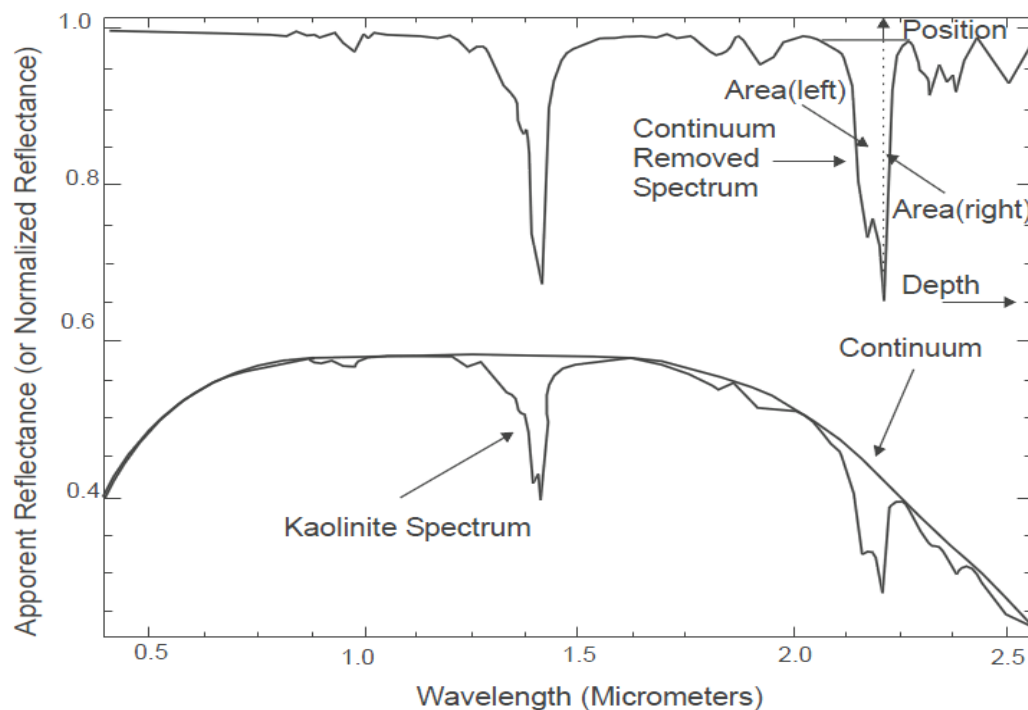


OBLAST VÝZKUMU

- **testování a validaci lineárních a nelineárních statistických přístupů (all-possibilities approach: APA) v prostředí PARACUDA**
- **tvorbu nových algoritmů a nástrojů pro kvantitativní analýzu a klasifikaci hyperspektrálních dat (IDL - programovací jazyk SW ENVI)**
- **Využita jsou data pořízená v rámci předcházejících výzkumných projektů na Sokolově (EO-MINERS, DeMinTIR, HypSo)**

TVORBA NOVÝCH ALGORITMŮ A SKRIPTŮ V IDL (PROGRAMOVACÍ JAZYK SW ENVI)

vývoj nástrojů, které umožňují automatickou detekci vícečetných absorpčních maxim, princip detekce je postaven na analýze trendu spektrálního záznamu



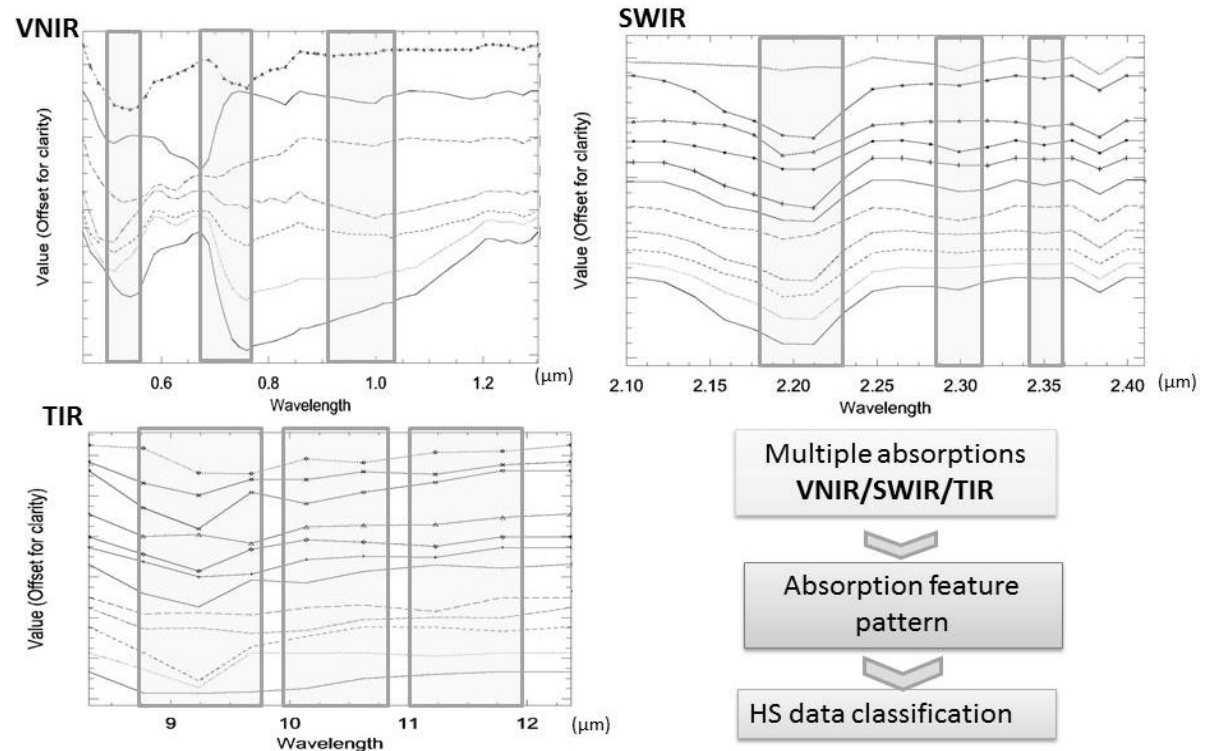
vlnová délka, na které dochází ke **specifické absorpci**, určuje, o jaký **materiál** se jedná, přičemž **hloubka absorpce** pak odráží množství (přímá úměra).

V heterogenních (směsných materiálech) – **vícečetné absorpce**, pokud je jsme schopni detekovat, můžeme určit složení směsného materiálu

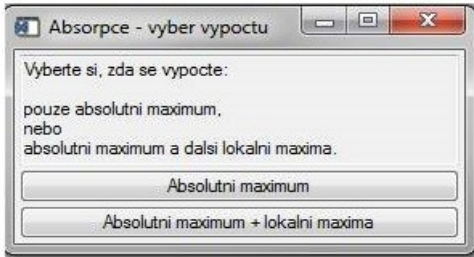
QUANTOOLS: MINERALOGICKÉ DETEKCE S VYUŽITÍM SPEKTRÁLNÍCH REGIONŮ VNIR/SWIR/TIR

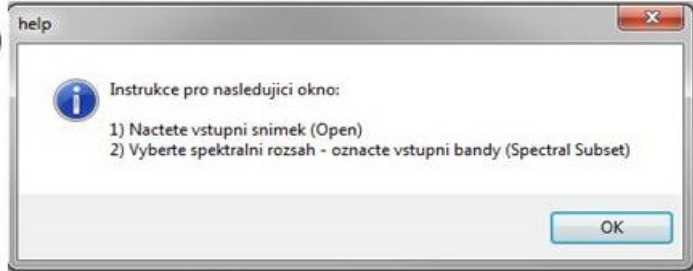
QAUNTools rychlá identifikace dle absorpčního záznamu, mohou být také využity jako nástroj pro rychlou fúzi informace obsažené v různých spektrálních regionech:

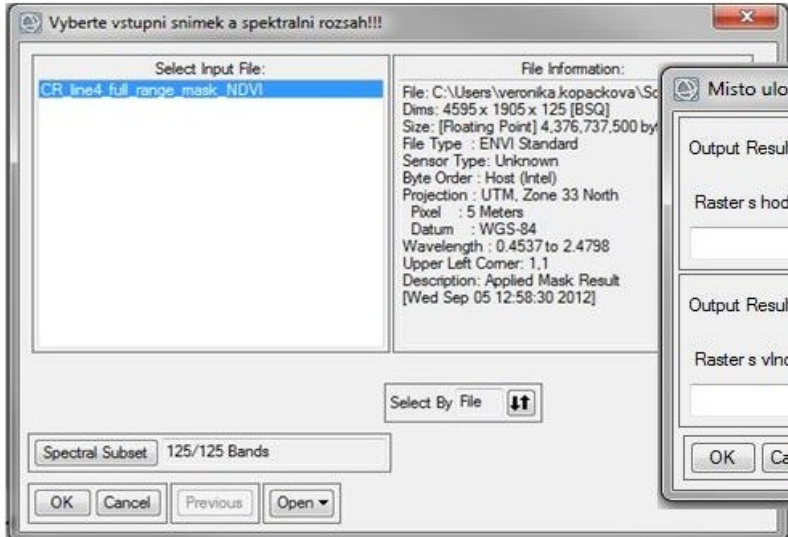
- detekce dominantních absorpcí v různých regionech elektromagnetického spektra (VNIR/SWIR/TIR),
- absorpční záznam v rámci VNIR/SWIR/TIR pak lze libovolně kombinovat a dále klasifikovat.



QUANTOOLS: ENVI/IDL (V 5.0)

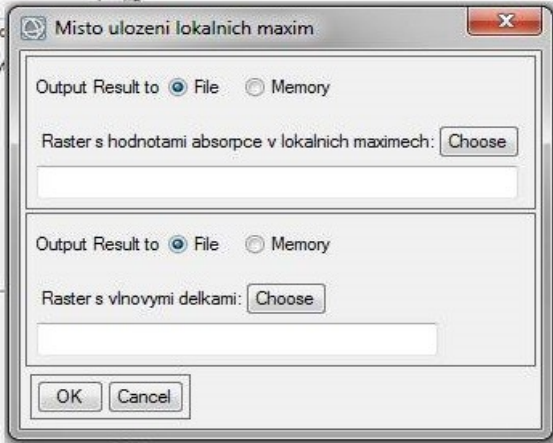
A) 

B) 

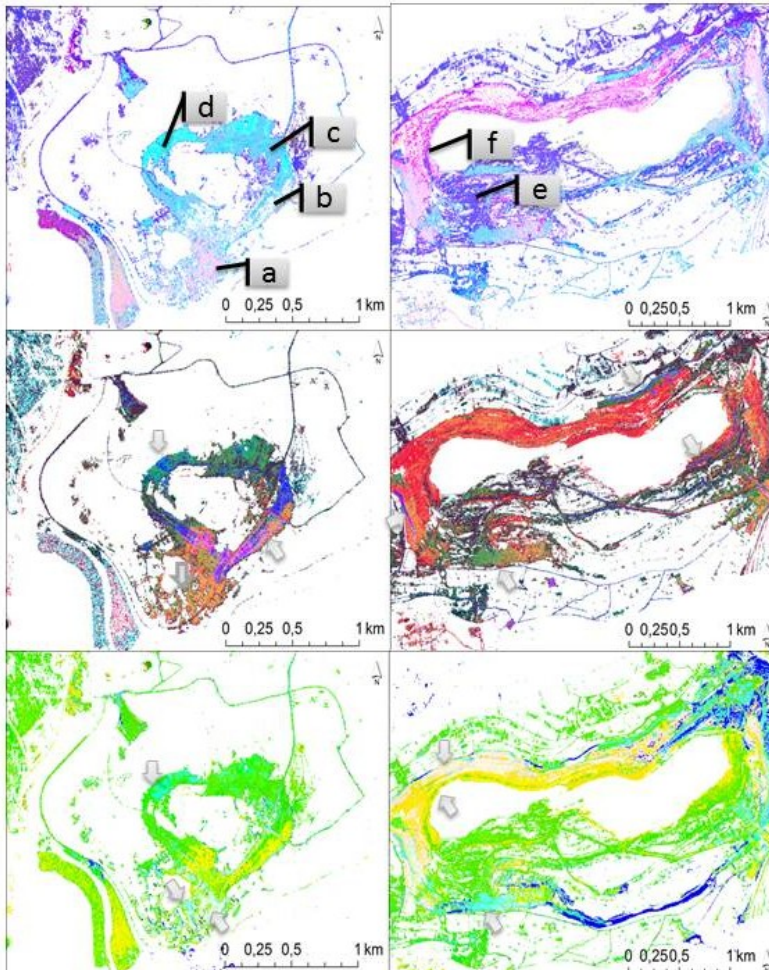
C) 

File Information:
File: C:\Users\veronika.kopackova\Sc...
Dims: 4595 x 1905 x 125 [BSQ]
Size: [Floating Point] 4,376,737,500 by...
File Type : ENVI Standard
Sensor Type: Unknown
Byte Order : Host (Intel)
Projection : UTM, Zone 33 North
Pixel : 5 Meters
Datum : WGS-84
Wavelength : 0.4537 to 2.4798
Upper Left Corner: 1,1
Description: Applied Mask Result
[Wed Sep 05 12:58:30 2012]

Spectral Subset 125/125 Bands

D) 

QUANTOOLS: MINERALOGICKÉ DETEKCE S VYUŽITÍM SPEKTRÁLNÍCH REGIONŮ VNIR/SWIR/TIR



VNIR: HyMap 2009

RGB

- 2 major absorptions VNIR
- 1 major absorption SWIR

VNIR/SWIR: HyMap 2009

RGB

- 1 major absorption VNIR
- 2 major absorption SWIR

VNIR/SWIR: HyMap 2009 and
TIR: AHS 2011

RGB

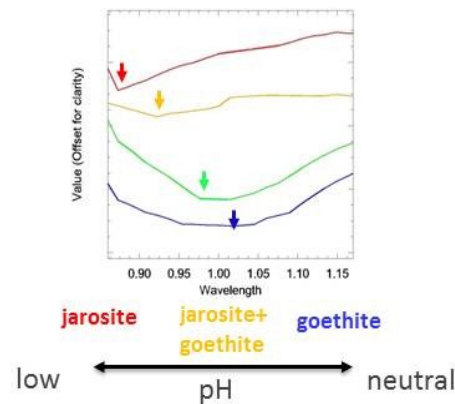
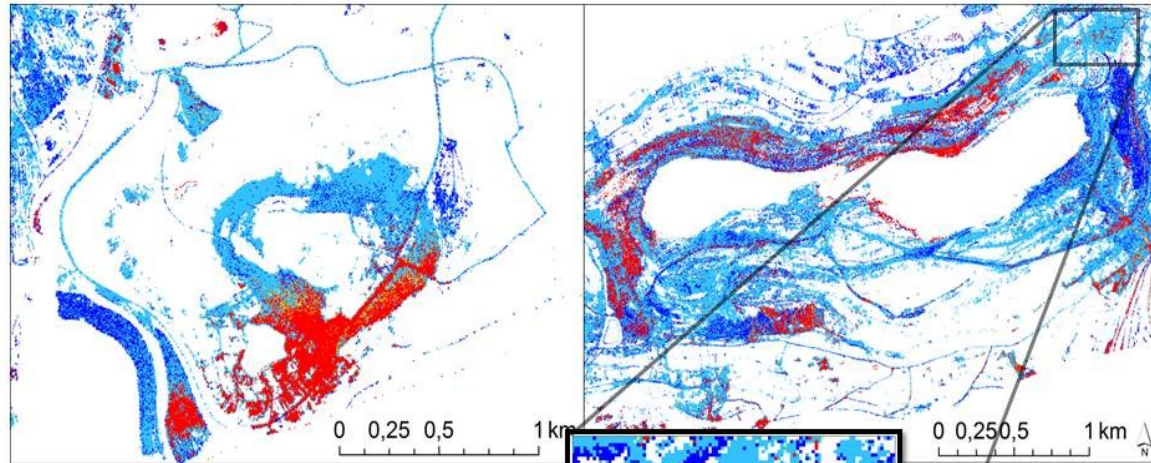
- 1 major absorption VNIR
- 1 major absorption SWIR
- 1 major absorption TIR

Expertní klasifikační systém

- Fuze dat/informace z různých spektrálních regionů (VNIR/SWIR/TIR)
- Detekované dominantní absorpce v těchto třech regionech pak lze zobrazit v jednoduché RGB kombinaci a dále jednoduše klasifikovat pomocí běžně používaných klasifikátorů.

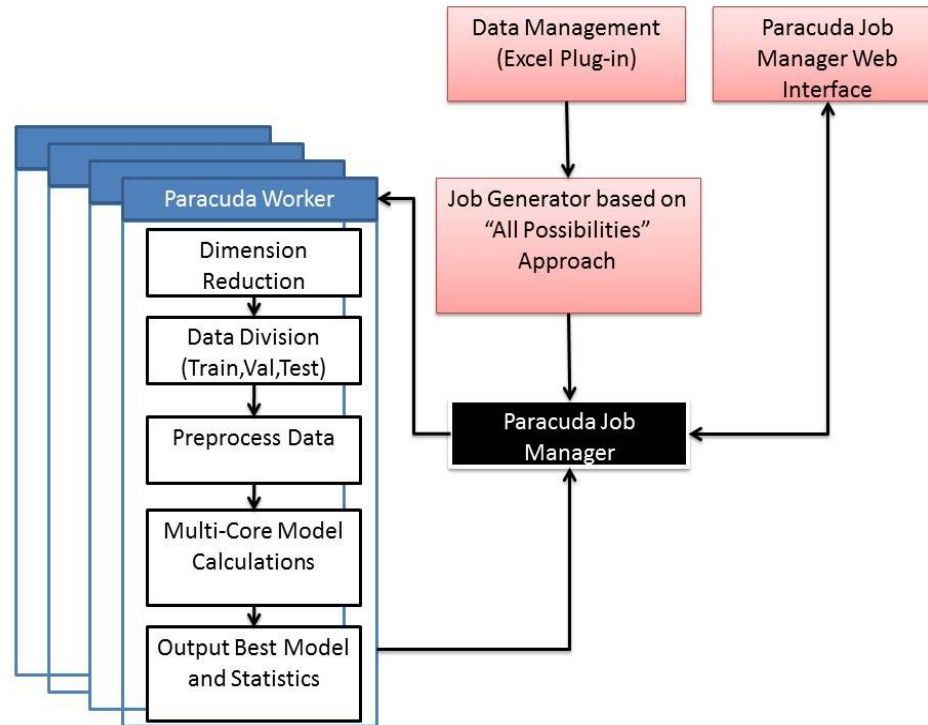
QUANTOOLS: MINERALOGICKÉ DETEKCE S VYUŽITÍM SPEKTRÁLNÍCH REGIONŮ VNIR/SWIR/TIR

- QUNTools - přesná detekce specifické absorpce.
- Pomocí posunu typologické absorpce lze identifikovat různé minerály s Fe^{3+} kationtem (jarosit a goethite, tyto minerály a jejich asociace jsou stabilní pouze v určitém rozsahu pH a lze je tak využít např. pro modelování pH (Kopačková, 2014)



- Ferric minerals: pH indicators

PARACUDA



PARACUDA (prototyp TAU): SW prostředí, jež umožňuje testování a validaci **lineárních i nelineárních** statistických přístupů (**velké množství modelů, automatizace a standardizace**), s využitím tohoto systému lze nalézt a vybrat ty modely, které dosahují **při validaci nejlepších výsledků**.

PARACUDA

Systém PARACUDA byl českým týmem využit pro testování následujících témat:

- **Porovnání lineárních a nelineárních přístupů pro modelování takových půdních parametrů, které nevykazují přímé absorpční příznaky: pH, CEC (celková výměnná kapacita), BC (obsah bazických kationtů) a As (arzén), tyto parametry nelze identifikovat přímo pomocí specifických indikativních absorpčních příznaků, jedná se obecně o parametry, které jde ve spektroskopii modelovat poměrně obtížně.**
- **Testování, zda u těchto parametrů vylepší výsledky modelování záznam pořízení ve středně-vlnné (MWIR) a dlouho-vlnné (LWIR) části infračerveného záření (termální region, spektrometr BRUKA)**

PARACUDA: UKÁZKA ÚLOHY

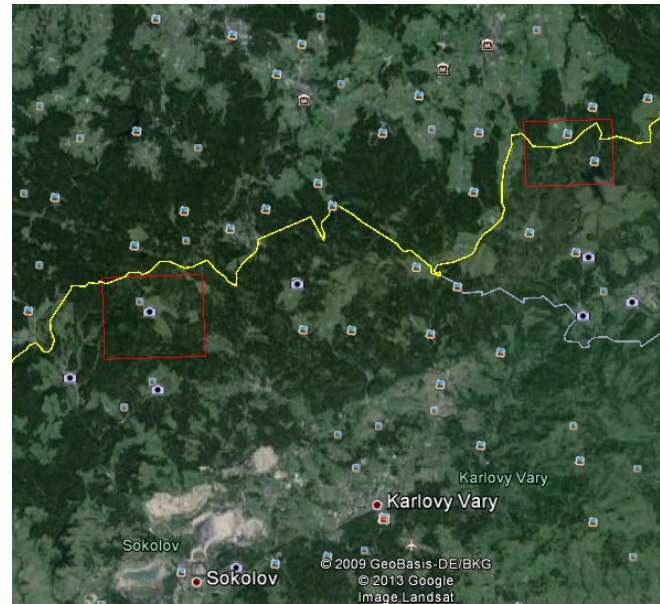
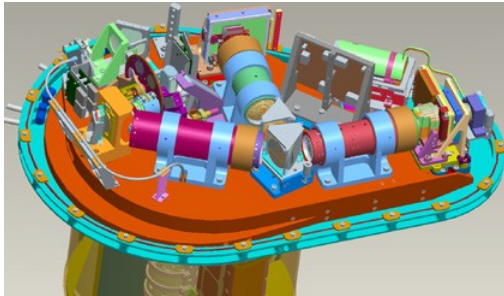
- Vybrané půdní parametry (pH, CEC, BC a As), dva druhy modelů – **PLS regrese** (PLSR: Partial least squares regression, lineární přístup) a **neuronové sítě** (NN: Neuron Network, nelineární přístup), u kterých byly navzájem kombinovány tyto úpravy vstupních spektroskopických dat:
 - Vyhazení spektrální křivky (Smoothing)
 - Převod na absorbanci (Absorbance)
 - Metoda odstranění trendu kontinua (Continuum Removal)
 - První derivace spektrální křivky (First Derivative)
 - Druhá derivace spektrální křivky (Second Derivative)
 - Finální vyhlazení spektrální křivky (Final Smoothing)
- Pro každý testovaný parametr bylo vytvořeno 48 různých modelových kombinací pro PLSR regresi a 48 různých modelů pro NN modelování (Celkem 384 modelů s různým zadáním)

INMON INOVACE METOD MONITORINGU ZDRAVOTNÍHO STAVU POROSTŮ SMRKU ZTEPILÉHO V KRUŠNÝCH HORÁCH S POUŽITÍM HYPER SPEKTRÁLNÍCH DAT

2012-2015: INMON (KONTAKTII, MŠMT): katedra fyziologie rostlin – PřfUK (prof. Jana Albrechtová), ČGS, Joint Center for Earth Systems Technology the University of Maryland, Baltimore County (UMBC) and the **National Aeronautics and Space Administration**, Goddard Space Flight Center: Dr. Petya Entchewa Campbell

- **Vyhodnocení aktuálního fyziologického stavu smrkových porostů v Krušných horách** pomocí kvantitativního stanovení biochemického složení a spektrálních vlastností listoví.
- **Testování vztahu mezi biochemickými parametry a spektrálními vlastnostmi listoví smrku na jedné straně a chemickým složením půd na straně druhé.** Převedení modelu z úrovně listu do prostorového a spektrálního rozlišení nově pořizovaných leteckých hyperspektrálních (HS) obrazových dat.
- **Aplikace vytvořených modelů na archivní data, která byla pořízena na konci 90. let (pořízených senzorem ASAS, NASA Goddard Space Flight Center).** Velkým přínosem této části bude i možnost srovnání výsledků získaných z obou senzorů a z obou časových úrovní. Bude tak možné provést detekci změn zdravotního stavu smrkových porostů pro období mezi pořízením leteckých dat (1998, 2013) a srovnání "využitelnosti" obou senzorů s důrazem na nové možnosti nejnovějších senzorů.

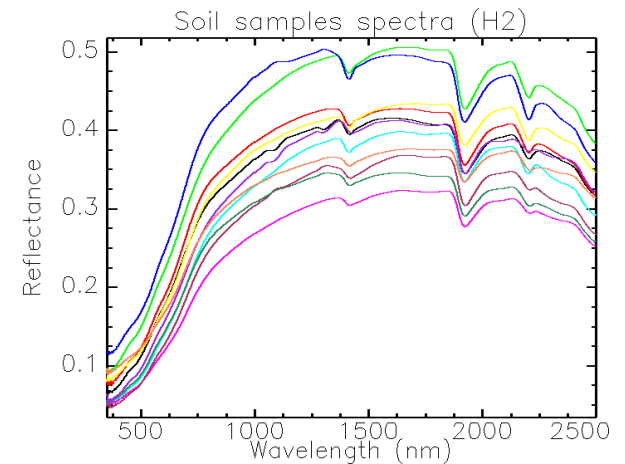
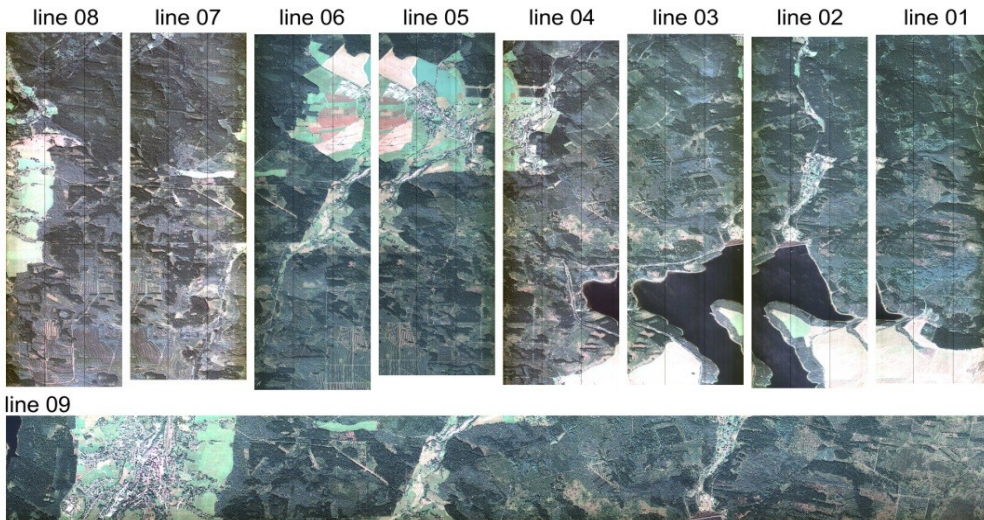
INMON



ASAS (1998) a APEX (Airborne PRISM Experiment, 2013)

Spectral range: 380-2500 nm(VNIR, SWIR)

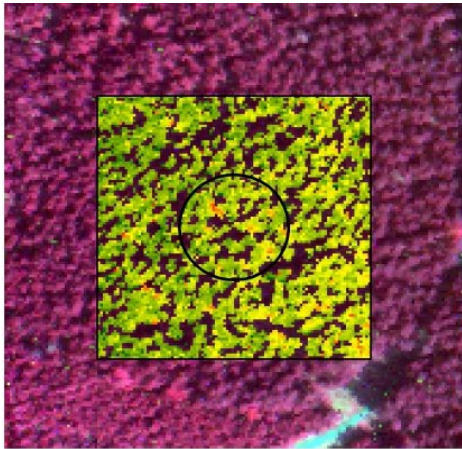
Ground resolution: 1.5 m



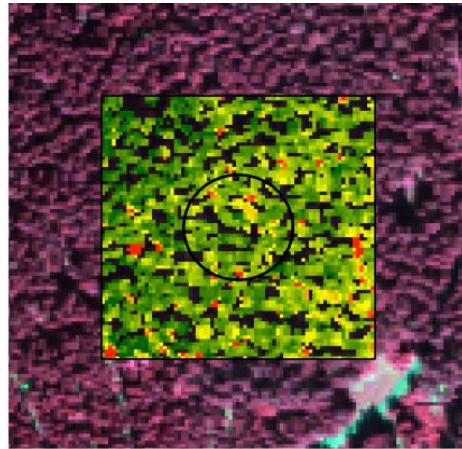
INMON

ASAS

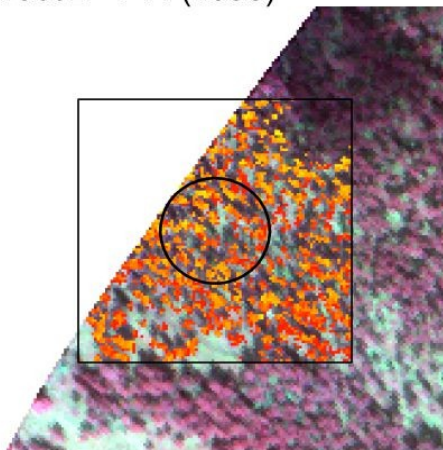
APEX



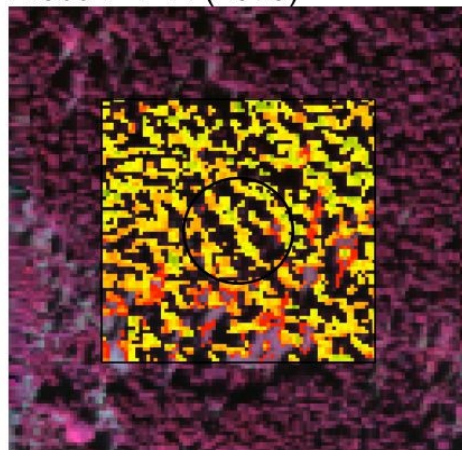
Přebuz - P11 (1998)



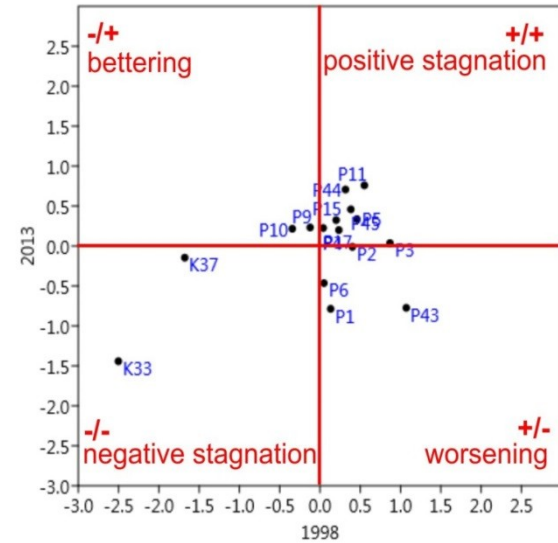
Přebuz - P11 (2013)



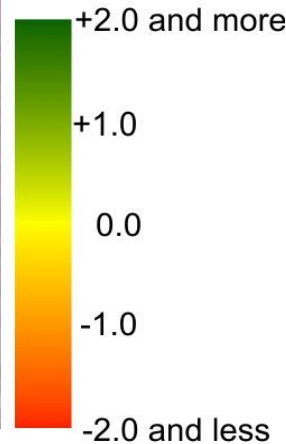
Kovářská - K37 (1998)



Kovářská - K37 (2013)



Vizualizace časových a prostorových rozdílů mezi sledovanými stanovišti pomocí normalizovaných hodnot vegetačního indexu $NDVI_{705}$



SOUČASNÉ SATELITNÍ MISE

*“this work assumes
reflectance data”*

Sensor Introduction

DigitalGlobe

AVIRIS:

- Imaging Spectrometer: 224 bands VNIR-SWIR.
- Pixels vary: 2 to 20 m.
- Used to generate WV3 simulated spectra.

ASTER

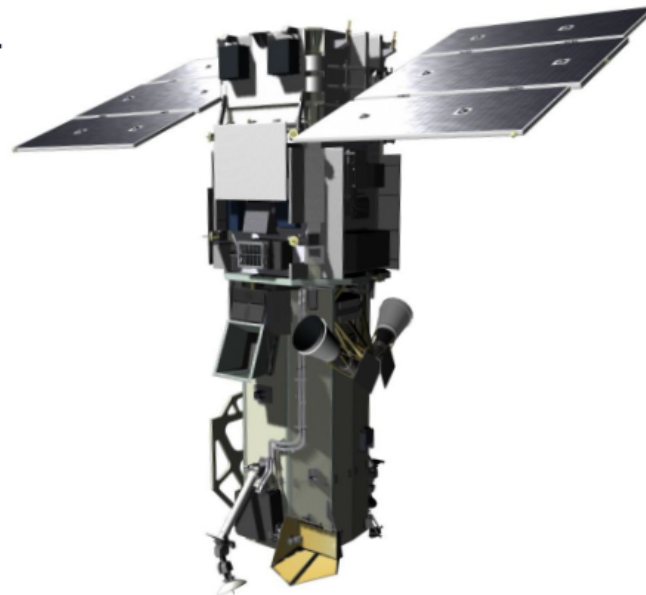
- Multispectral: 10 bands VNIR - SWIR.
- Pixels: 15, 30 m.
- SWIR failed.

Landsat (8)

- Multispectral: 8 bands VNIR - SWIR.
- Pixels: 30 m.

WorldView 3

- Multispectral: 16 bands VNIR-SWIR.
- Pixels: 1.2, 3.7 m.
- CAVIS instrument for atmospheric retrievals.



Expected launch:
mid-2014

BUDOUCÍ SATELITNÍ MISE

EnMAP
Hyperspectral Imager



Environmental Mapping and Analysis Program

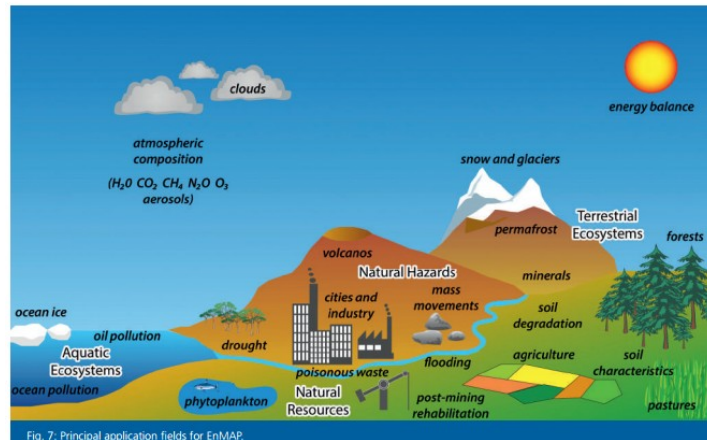
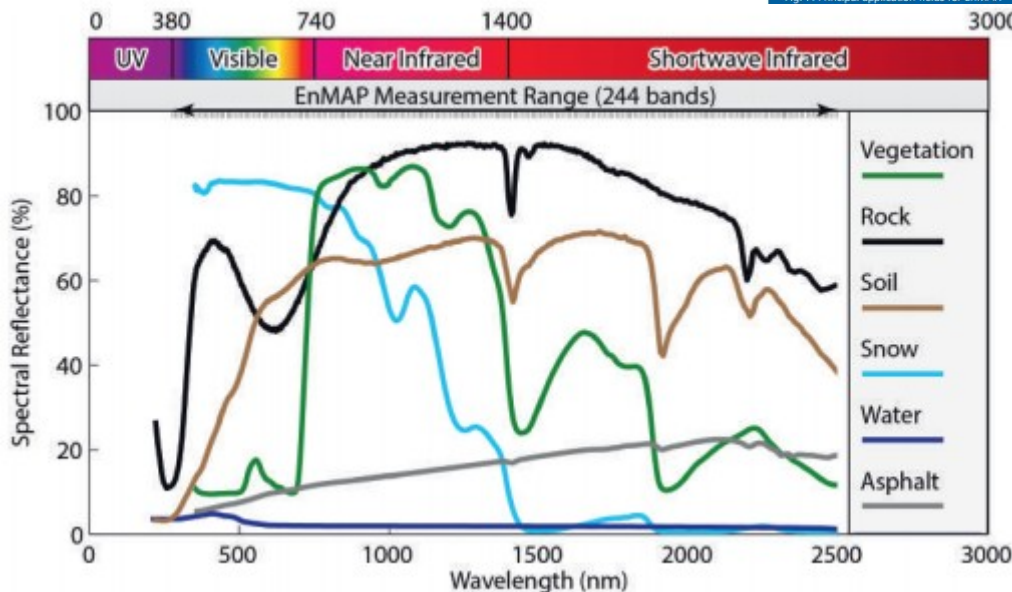


Fig. 7: Principal application fields for EnMAP

- VNIR/SWIR
- Pixel 30 m
- 244 pásem
- Snad 2017



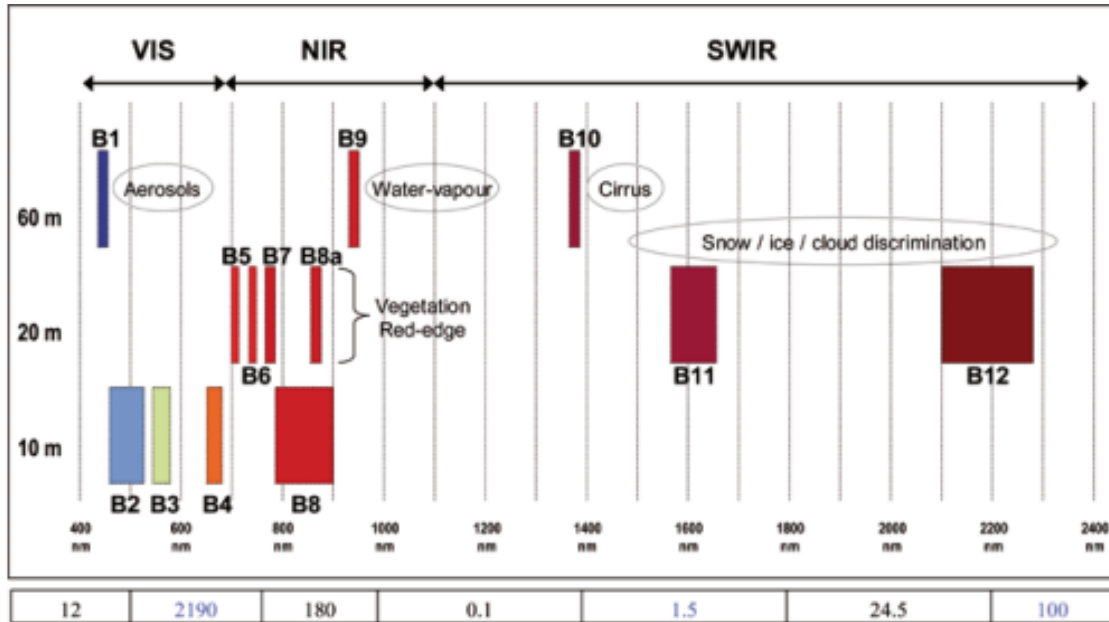
GFZ Scientific Principal Investigator
GFZ Potsdam
EnMAP Science Advisory Group

DLR Project Management
DLR Space Administration

ESA Space Segment
Sensor: Kayser-Threde | Platform: OHB

DLR Ground Segment
Operations: DLR-GSOC | Payload: DLR-DFD | Processing: DLR-IMF

SENTINEL 2



- Druhá polovina 2015
- Program Copernicus (free access)
- Časové rozlišení: 5 dní



	Landsat	SPOT	Sentinel-2	
Number in series	7+1*	5**	starting with 2	
Launch	1972 to 1999*	1986 to 2002	S2-A launch end 2013	
Measurement principle	scanner	pushbroom	pushbroom	
Earth coverage	16	26	5	days
Swath	185	2 x 60	290	km
Multispectral bands	7(8*)	4+1 (panchromatic)	13	
Spatial sampling distance	30, 60	10, 20, (2.5)	10, 20, 60	m

* LDCM mission targeted early 2013

** SPOT-6 targeted end 2012

ZÁVĚR

- **Obrazová spektroskopie – nové metody pro monitoring různých složek ŽP**
- **výzva/vize pro budoucí satelitní HS mise (EnMAP, PRISMA...)**
- **Kvalitativní a kvantitativní analýza, studium procesů – dynamika prostředí (prostorová i časová variabilita)**
- **Mezioborová disciplína – týmová záležitost**
- **Distanční metody nicméně realita na Zemi nesmí být opomenuta (cal/val/ground truth)**

VYBRANÉ PUBLIKACE

Kopačková, V., Hladíková, L.: Applying *Spectral Unmixing to Determine Surface Water Parameters in a Mining Environment*. Remote Sensing 11/2014; 6:11204-11224,

Notesco, G., Kopačková, V., Rojík, P., Schwartz, G., Livne, I., Ben-Dor, E.: *Mineral Classification of Land Surface Using Multispectral LWIR and Hyperspectral SWIR Remote-Sensing Data*. A Case Study over the Sokolov Lignite Open-Pit Mines, the Czech Republic. Remote Sensing 07/2014; 6(8):7005-7025.

Kopačková, V., Lhotáková, Z., Oulehle, O., Albrechtová, J.: *Assessing forest health via linking the geochemical properties of a soil profile with the biochemical parameters of vegetation*. International Journal of Environmental Science and Technology 01/2014,

Kopačková, V. (2014). *Using multiple spectral feature analysis for quantitative pH mapping in a mining environment*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 28, 28-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2013.10.008>,

Kopačková, V., Mišurec, J., Lhotáková, Z., Oulehle, F., & Albrechtová, J. (2014). *Using multi-date high spectral resolution data to assess the physiological status of macroscopically undamaged foliage on a regional scale*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 27, 169-186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2013.09.009>,

Lhotáková, Z., Brodský, L., Kupková, L., Kopačková, V., Potůčková, M., Mišurec, J., ... & Albrechtová, J.. (2013). *Detection of multiple stresses in Scots pine growing at post-mining sites using visible to near-infrared spectroscopy*. Environmental Science: Processes & Impacts, 15(11), 2004-2015. DOI: 10.1039/c3em00388d,

Kopačková, V., Chevrel, S., Bourguignon, A., Rojík, P., (2012): *Application of high altitude and ground-based spectroradiometry to mapping hazardous low-pH material derived from the Sokolov open-pit mine*, Journal of Maps, DOI:10.1080/17445647.2012.705544.

Mišurec, J. and Kopačková, V., Lhotáková, Z., Hanuš, J., Weyermann, J., Entcheva-Campbell, P., Albrechtová, J., (2012): *Utilization of hyperspectral image optical indices to assess the Norway spruce forest health status*, J. Appl. Remote Sens. 6(1), 063545. doi:10.1117/1.JRS.6.063545.

Děkuji za pozornost...

