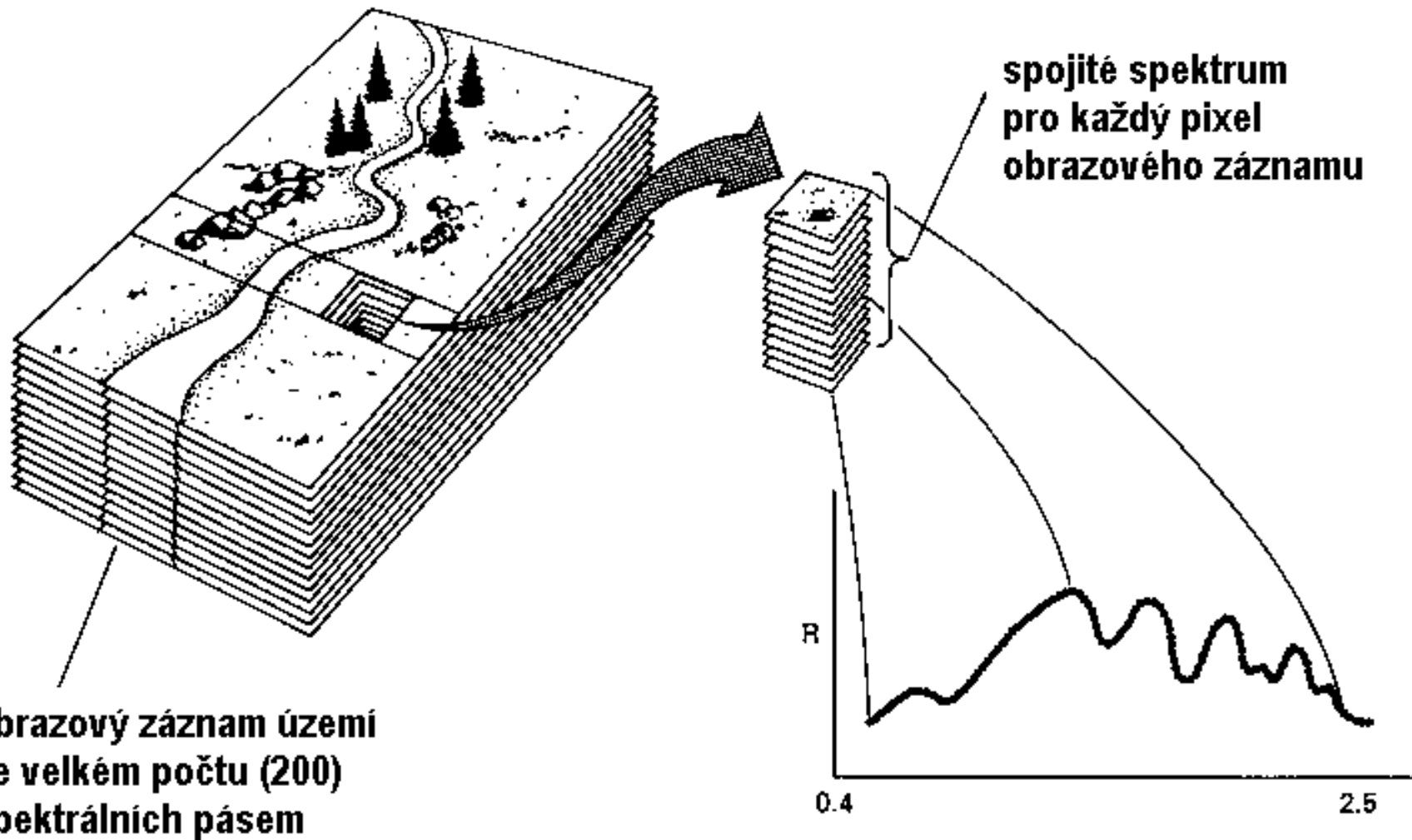


Analýza dat obrazové spektrometrie

Zpracování hyperspektrálních dat

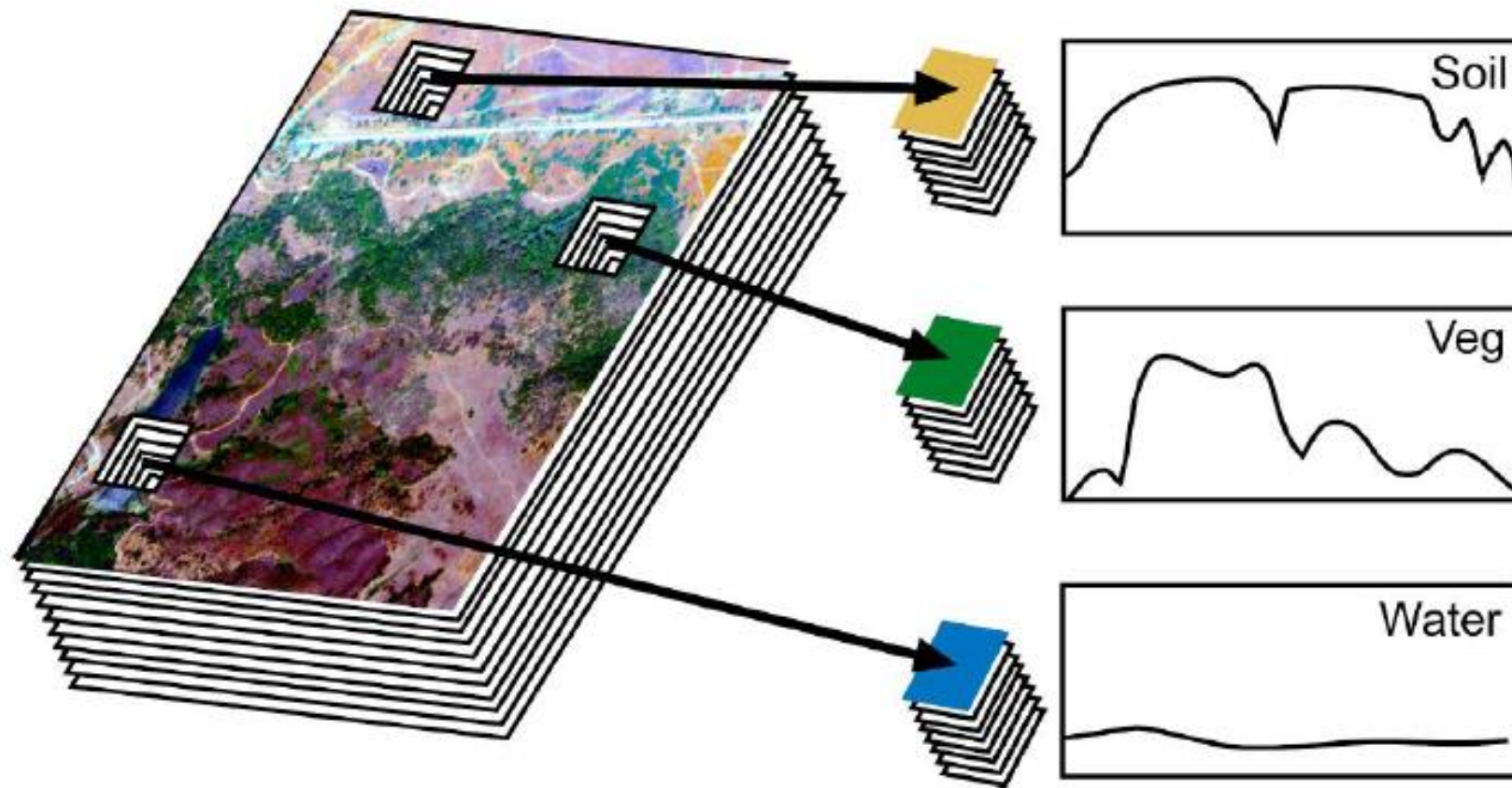
Princip hyperspektrálního snímání



Introduction to Hyperspectral Image Analysis

Peg Shippert, Ph.D.

Earth Science Applications Specialist, <http://spacejournal.ohio.edu/pdf/shippert.pdf>

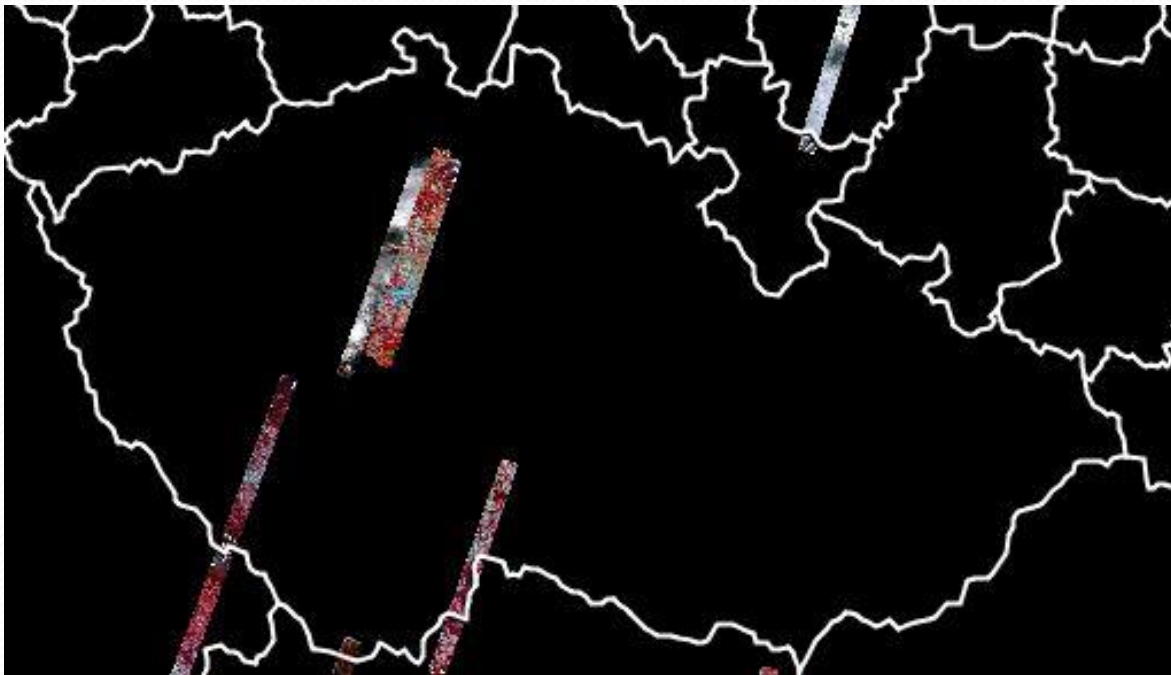


Příklady konkrétních systémů - družice



Družice EO-1 (NASA), skener HYPERION –
hyperspektrální skener s 242 pásmy v rozsahu 0,4 -
2,5 μm s rozlišením 30 metrů a velikostí scény 7,7 x
42 resp. 185 km, časové rozlišení 16 dní

<https://eo1.usgs.gov/sensors/hyperioncoverage>



Fuji (Jap), Palo Alto, Cal)

Příklady konkrétních systémů - letadla

Sensor	Organization	Country	Number of Bands	Wavelength Range (μm)
AVIRIS	NASA	United States	224	0.4 - 2.5
AISA	Spectral Imaging Ltd.	Finland	286	0.45 - 0.9
CASI	Itres Research	Canada	288	0.43 - 0.87
DAIS 2115	GER Corp.	United States	211	0.4 - 12.0
HYMAP	Integrated Spectronics Pty Ltd	Australia	128	0.4 - 2.45
PROBE-1	Earth Search Sciences Inc.	United States	128	0.4 - 2.45

AVIRIS (Airborne Visible - Infrared Imaging Spectrometer).

CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager).

Hyperspektrální vybavení na CzechGlobe

			
Senzor	CASI-1500	SASI-600	TASI-600
Spektrální oblast	VNIR	SWIR	LWIR
Spektrální rozsah [nm]	380-1050	950 – 2450	8 000 – 11 500
Počet prostorových pixelů	1500	600	600
Max. spektrální rozlišení [nm]	3.2	15	110
Zorný úhel [°]	40	40	40

Základní etapy analýzy dat obrazové spektrometrie

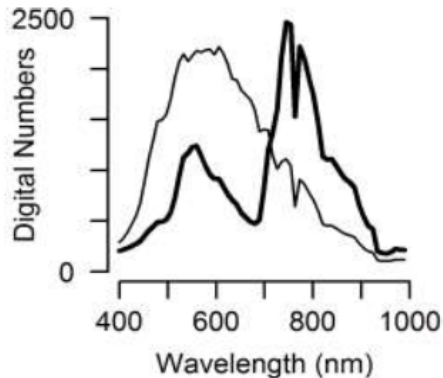
- kalibrace dat (radiometrické, spektrální, atmosférické)
- tvorba spektrálních knihoven
- vizualizace hyperspektrálních dat a knihoven spekter
- redukce dimenzionality, výběr (transformace) pásem
- automatické porovnání spekter
- definování elementárních povrchů (tzv. endmembers)
- analýza a automatická klasifikace heterogenních pixelů

Kalibrace dat

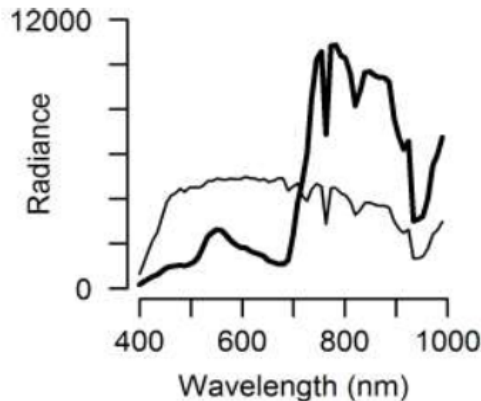
- radiometrické, atmosférické korekce a korekce na vlivy topografie jsou nezbytnou prvotní částí zpracování
- cílem je převést naměřená data, která obsahují charakteristiky celkového vyzařování objektů (angl. **radiance**), na data charakterizující odrazové vlastnosti objektů (angl. **reflectance**), radiometrické a spektrální korekce viz přednáška CzechGlobe

Korekce hyperspektrálních dat

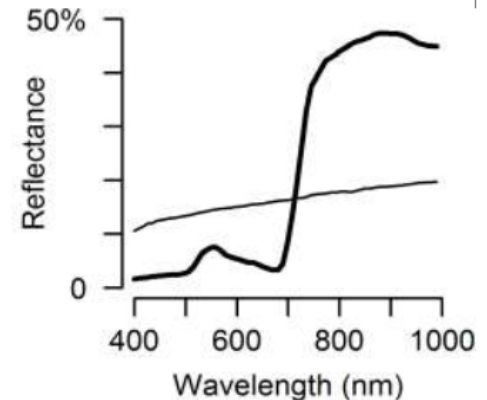
- Radiometrické korekce
- Atmosférické korekce



DN hodnoty
Graf zobrazuje spektrální profil jednoho nasnímaného pixelu



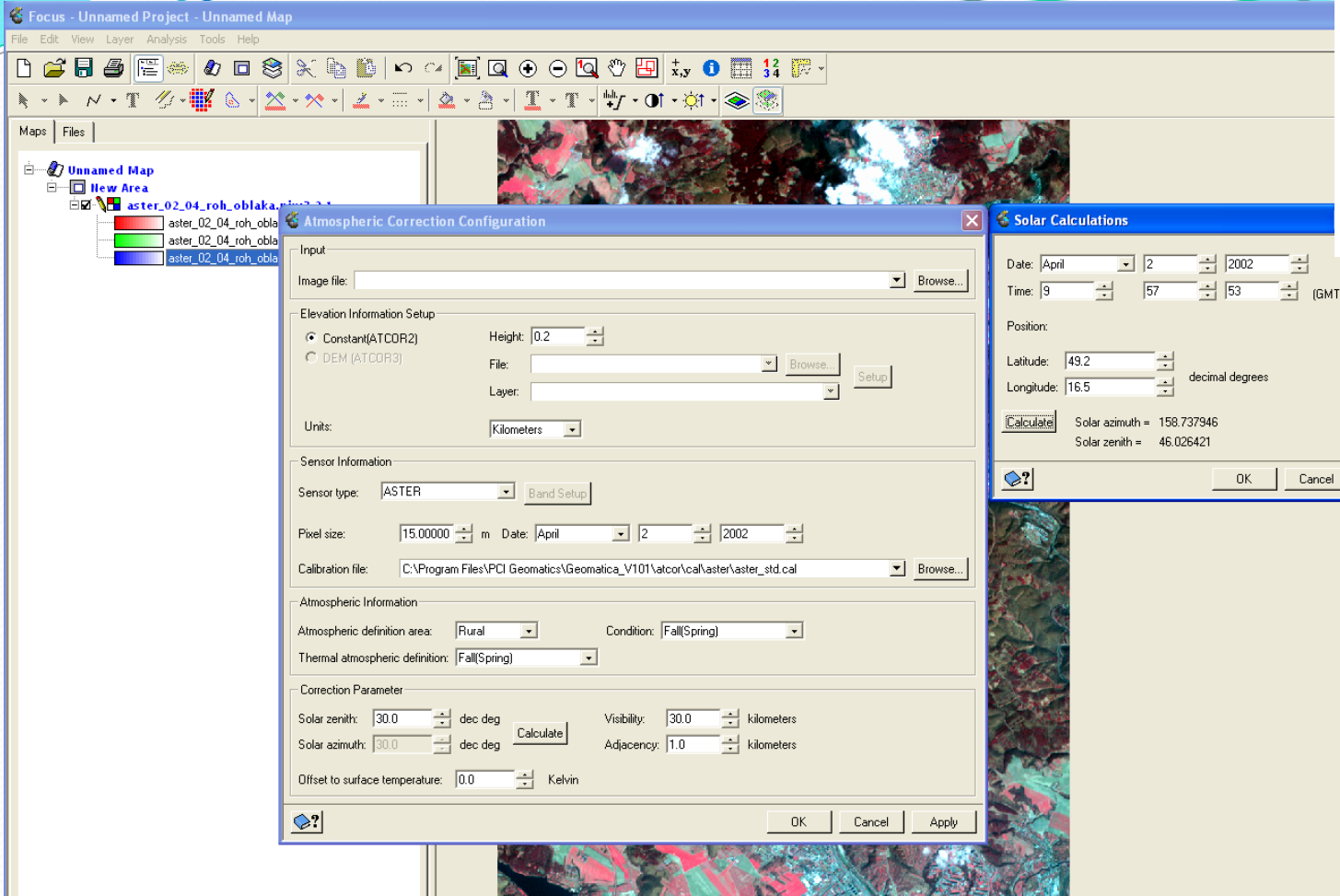
Radiance
Graf zobrazuje spektrální profil jednoho nasnímaného pixelu po radiometrických korekcích



Reflektance
Graf zobrazuje spektrální profil jednoho nasnímaného pixelu po atmosférických korekcích

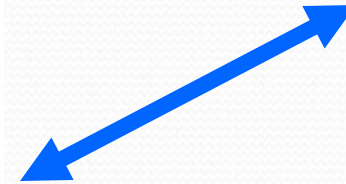
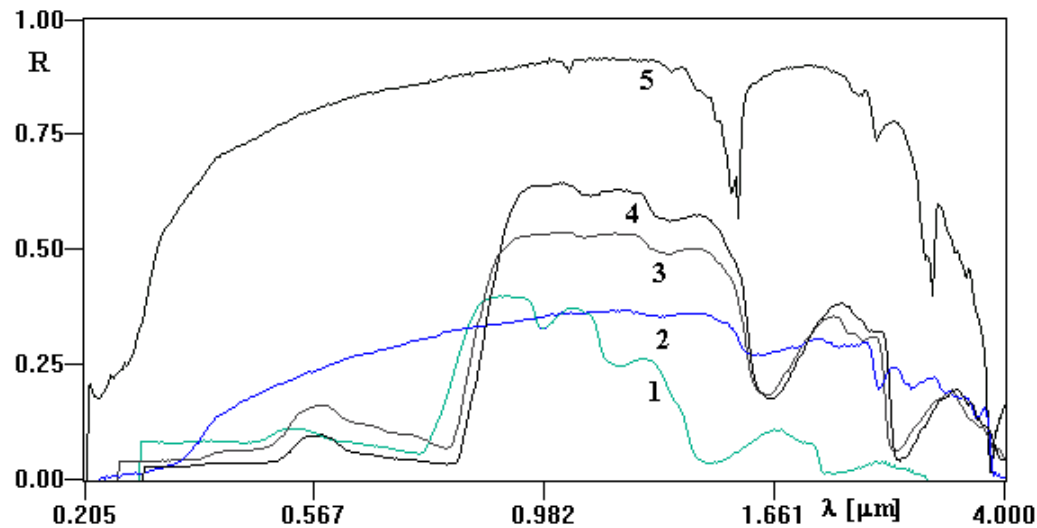
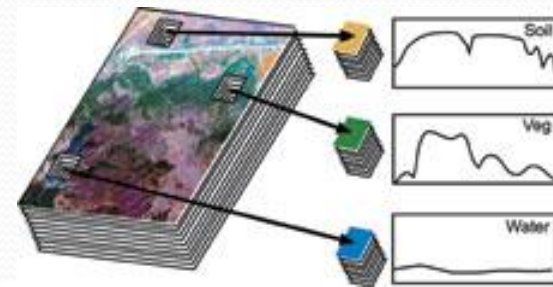
Atmosférické korekce – modelování

- ATCOR 2/3
- ATCORN
- ATREM
- FODIS
- a další



Využití pozemních meteorologických metod – kalibrace, regresní analýza, referenční plochy (sunphotometr, pozemní spektrometr)

Spektrální knihovny a automatické rozpoznávání objektů



Příklady záznamů ze spektrální knihovny pro pět vybraných materiálů. Na ose X jsou vlnové délky, na ose Y normalizované hodnoty odrazivosti (R). (1 - smrkové jehličí, 2 - suchý travnatý povrch, 3 - listy vlašského ořechu, 4 - listy javoru, 5 - kaolinit)

Tvorba spektrálních knihoven

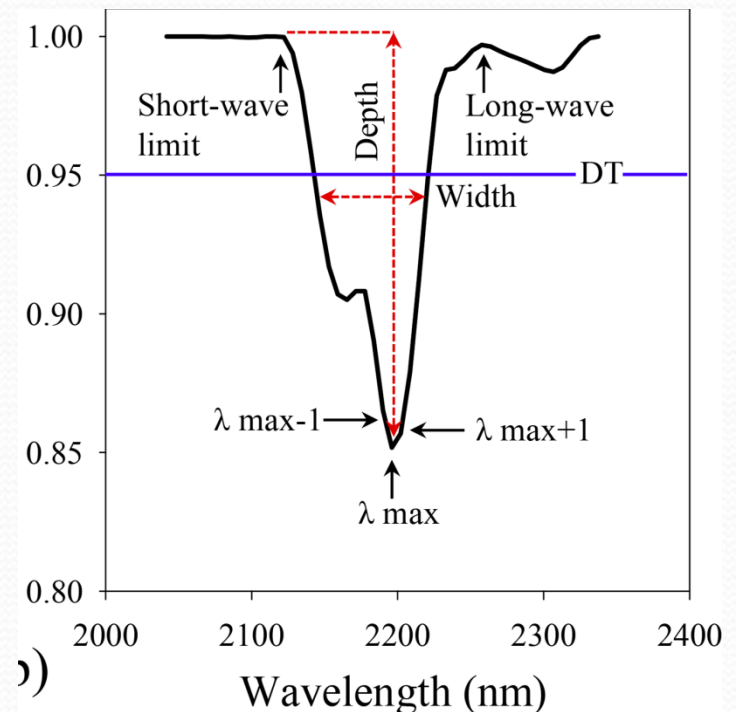
- Uchovávají laboratorně zjištěná spektra odrazivosti stovek nejběžnějších materiálů a druhů povrchů
- Obsahují údaje o absolutních hodnotách odrazivosti, lze jich využívat obecně jako určitých „vzorových“ spekter
- Mají význam interpretačních klíčů.

<http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06/>

<http://speclib.jpl.nasa.gov>

Důležité prvky křivky odrazivosti (reflectance spectra) jsou absorpční pásy a jejich parametry:

- vlnová délka
- hloubka
- šířka
- asymetrie

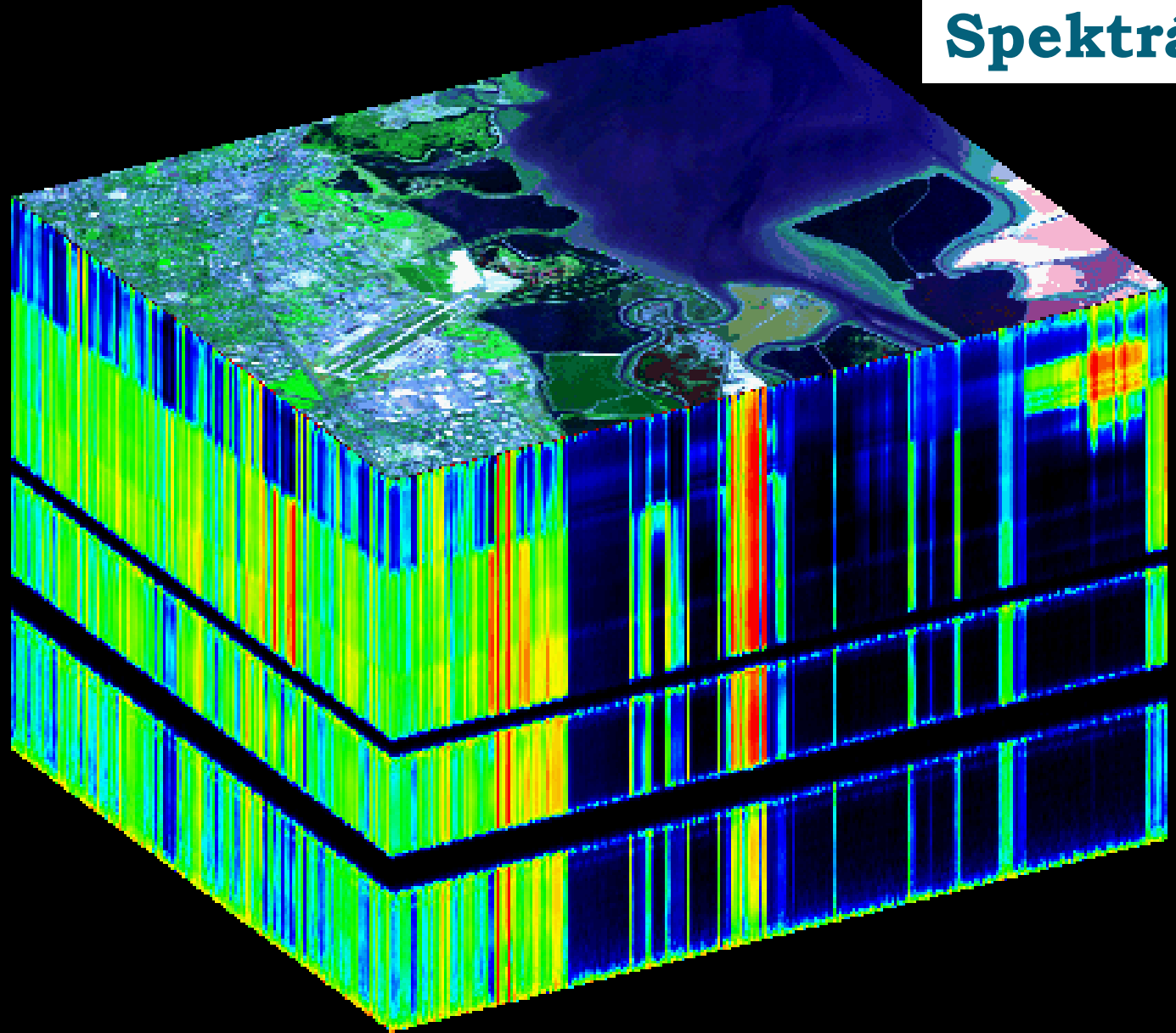


)

Vizualizace dat

- Spektrální kostka
- Spektrální profily
- Vektor ve vícerozměrném prostoru (viz. klasifikace spektrálním úhlem)

Spektrální kostka



0,4 μm

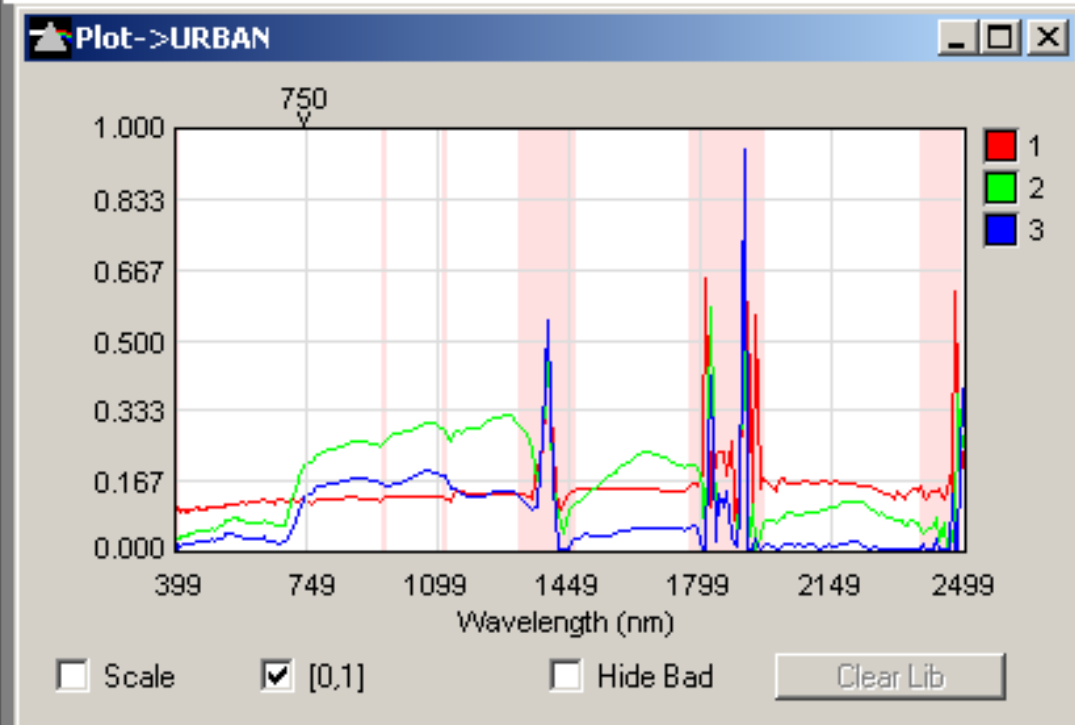
224
snímků

vlnová
délka

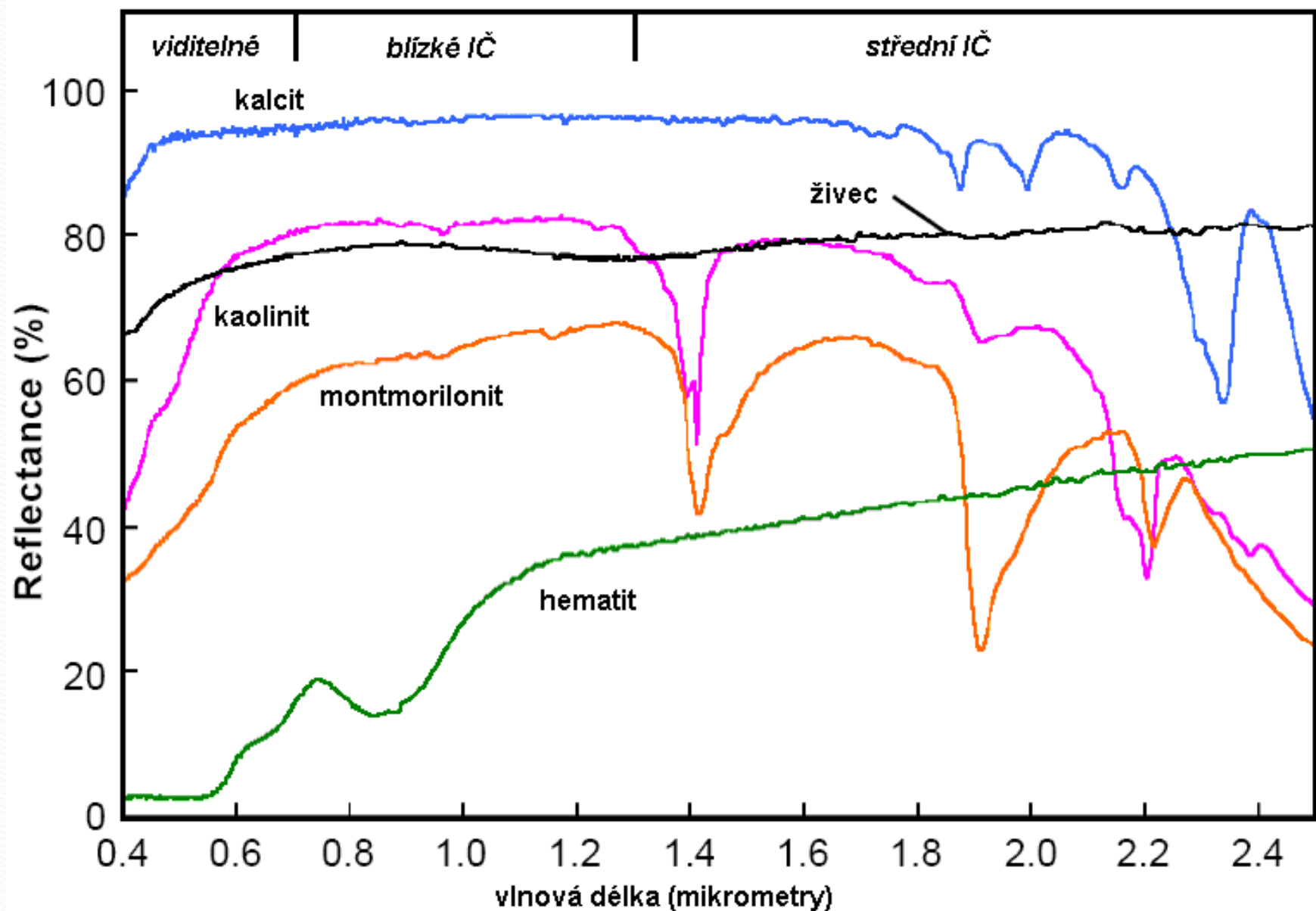
2,45 μm

Software
HyperCube

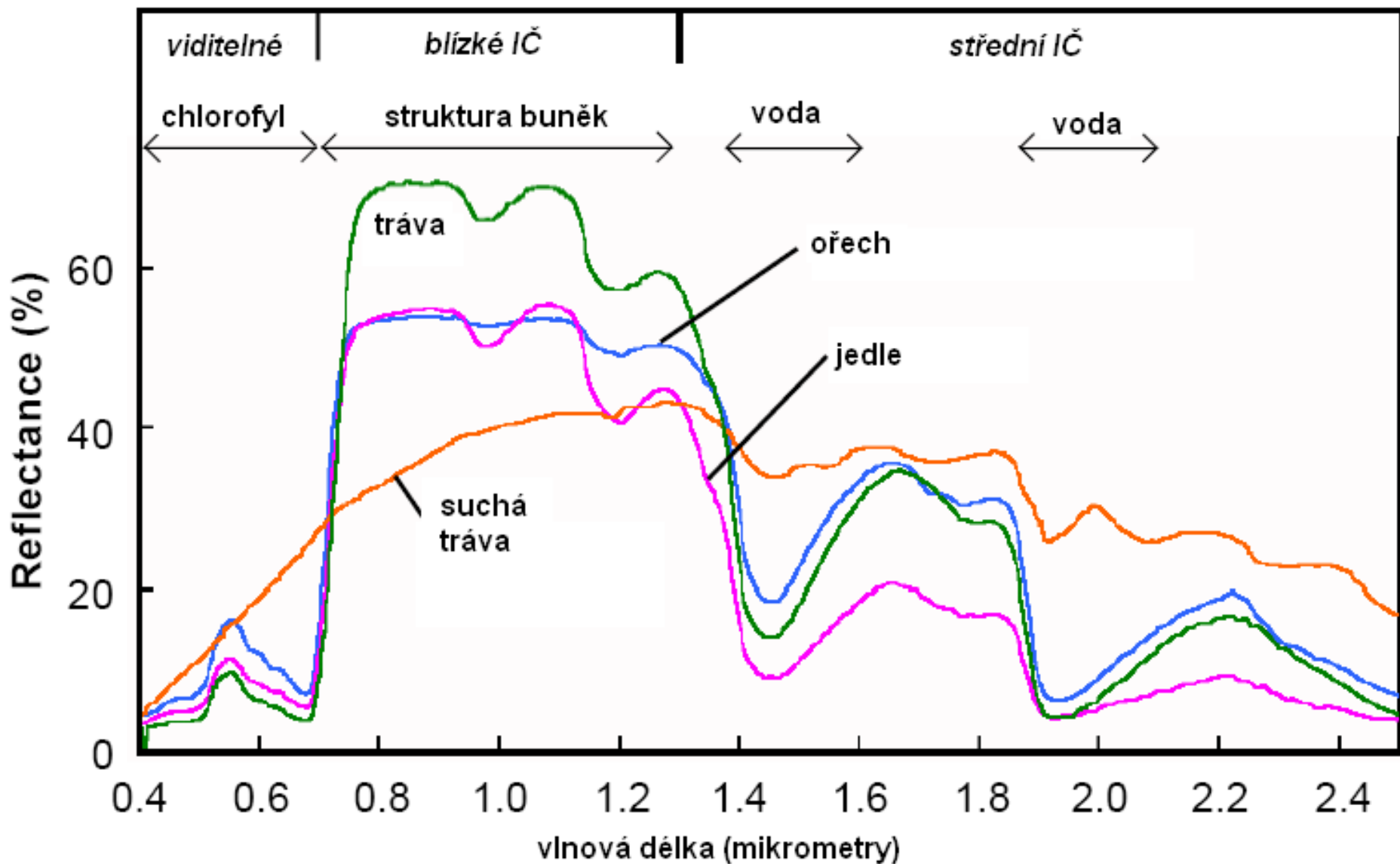
Spektrální profily



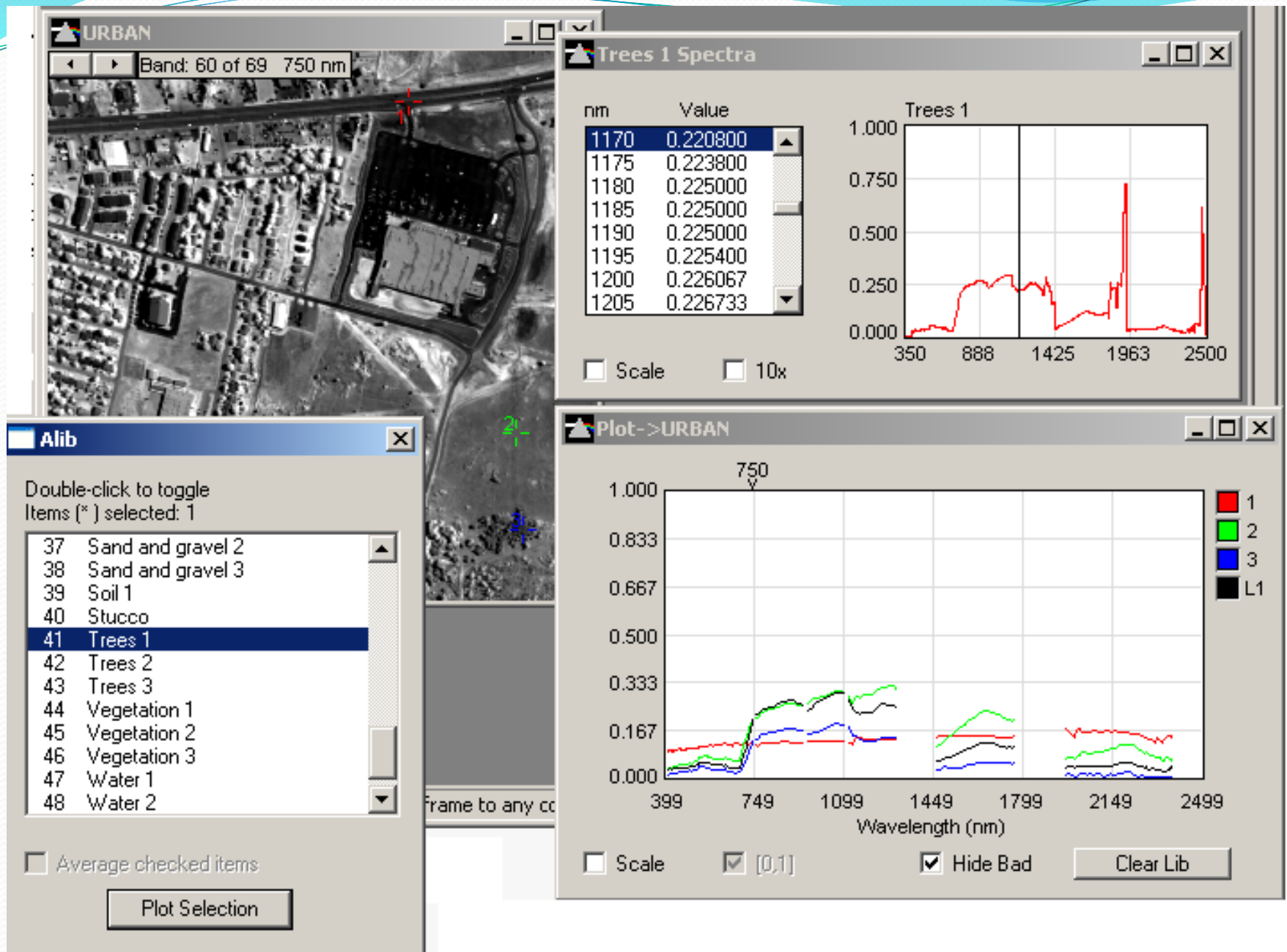
Druhy minerálů - příklady spektrální odrazivosti



Druhy vegetace - příklady spektrální odrazivosti

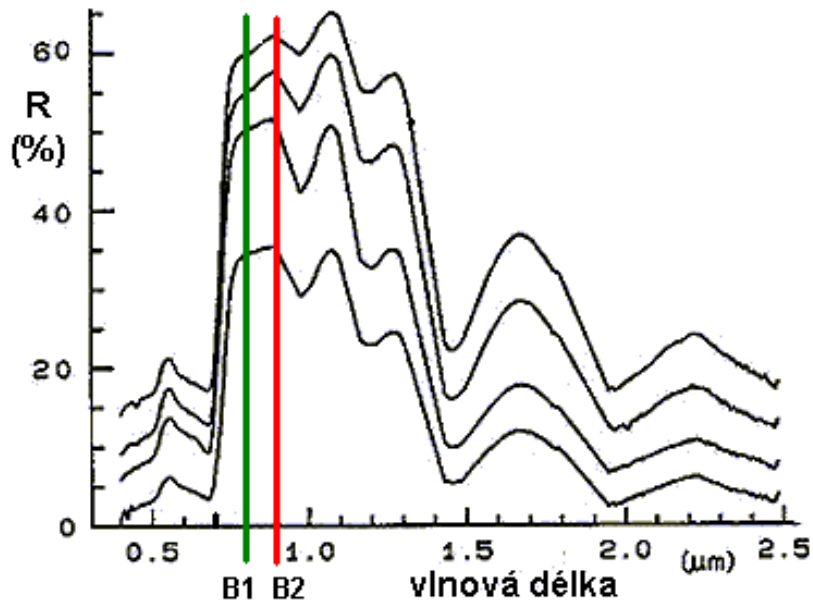


Porovnávání spekter (simple spectral matching)

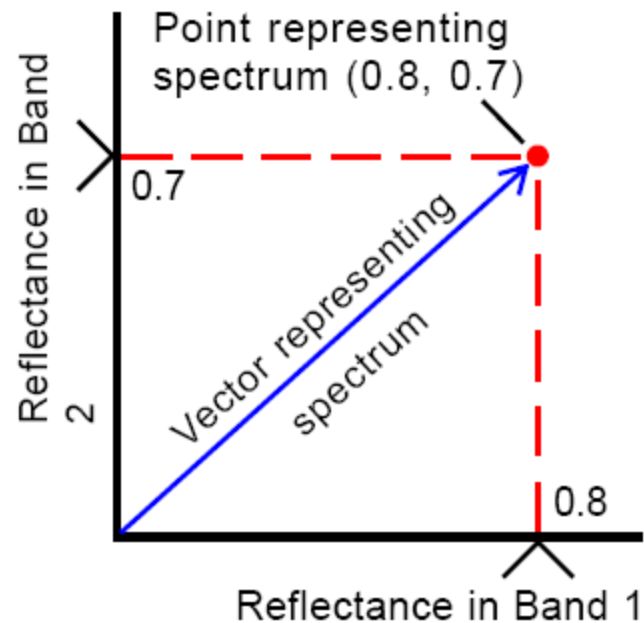


Klasifikace tzv. „spektrálním úhlem“

(Spectral Angle Mapper)



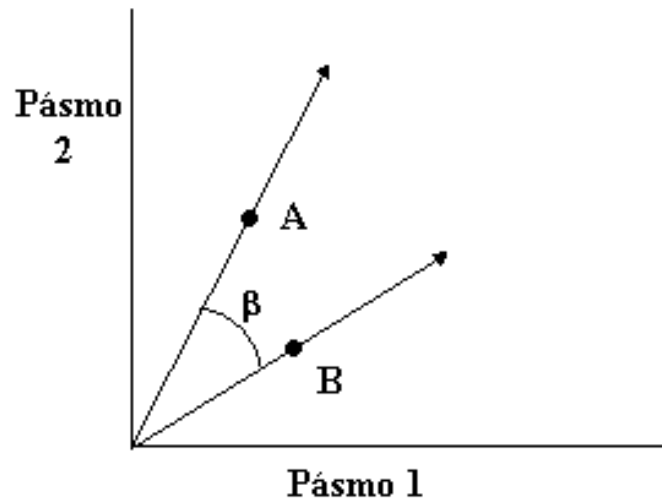
Vektor reprezentující spektrum
ve 2D spektrálním prostoru



Klasifikace tzv. „spektrálním úhlem“

Algoritmus je založen na výpočtu míry podobnosti mezi testovaným spektrálním profilem ze zpracovávaného obrazu a spektrem z knihovny

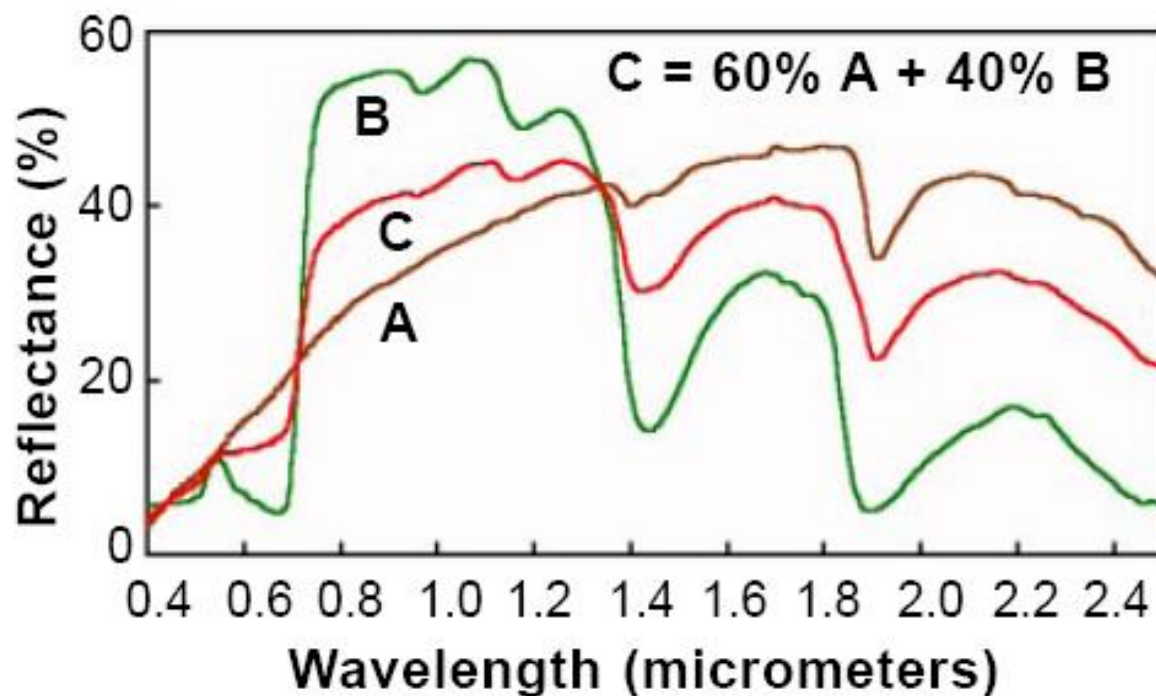
Jako míry podobnosti je využito tzv. **spektrálního úhlu**,



A - vektor známého spektra (např. z knihovny spekter), B - vektor spektra testovaného, β - spektrální úhel; data v použitých pásmech jsou korigována na vlivy atmosféry a zastínění

Analýza smíšených (heterogenních) pixelů

„tradiční“ přístup - zjednodušující předpoklad, že každý jeden obrazový prvek svoji hodnotou reprezentuje pouze jeden objekt či povrch.



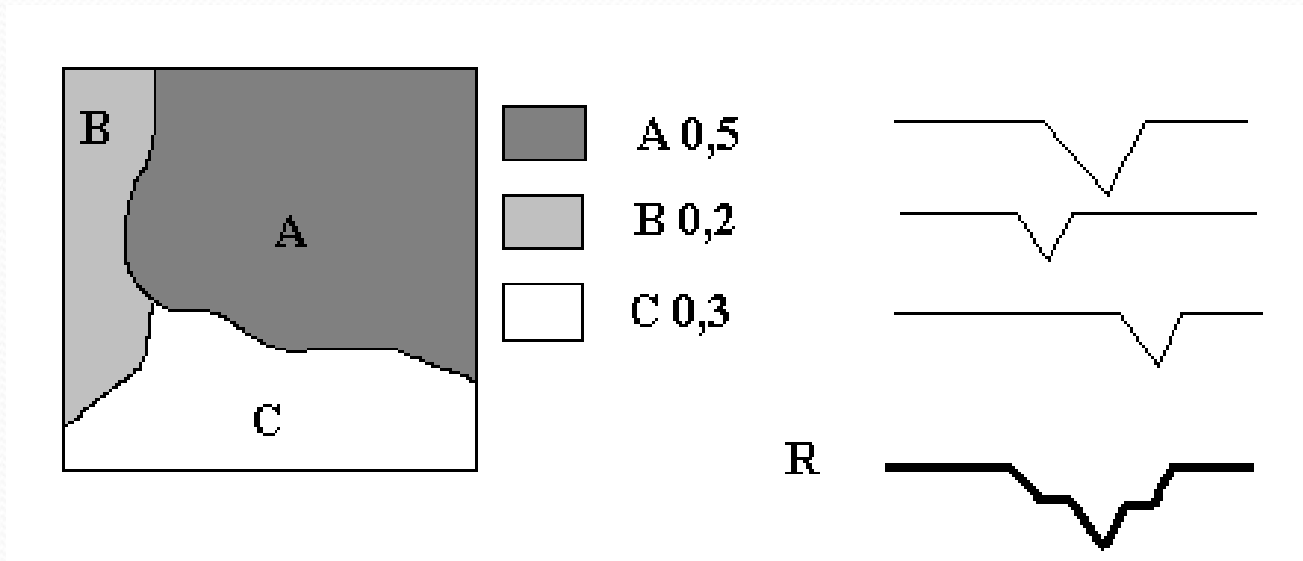
Křivka spektrálního chování heterogenního pixelu C (mixel - mixture element) je složena z jednotlivých „spektrálně čistých“ (pure) křivek **elementárních povrchů** tzv. **endmembers**. (A a B)

Možné přístupy k analýze smíšených pixelů

- linear mixing

Fyzikální model

Vychází z předpokladu, že spektrální informace smíšeného pixelu vzniká lineární kombinací spektrálního chování všech obsažených elementárních povrchů

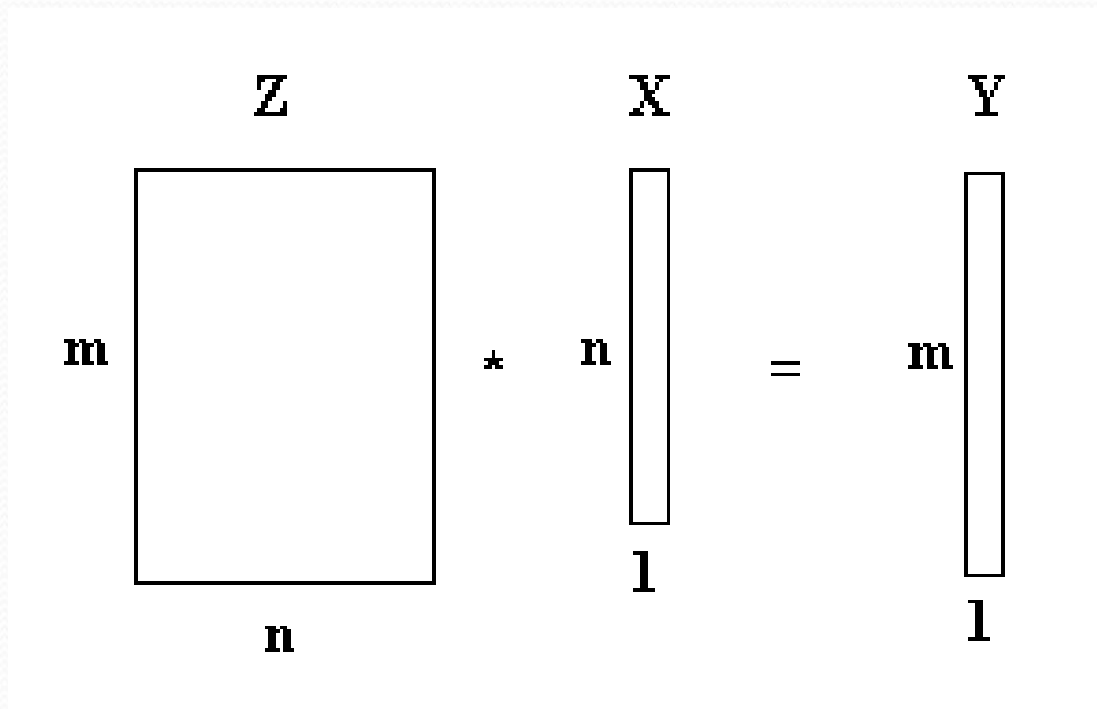


$$R = 0,5 A + 0,2 B + 0,3 C$$

Lineární kombinace spekter (linear mixing)

- Model **lineární kombinace (smíchání) spekter** - tzv. **mixing** - předpokládá, že známe spektra jednotlivých elementárních povrchů i jejich procentuální zastoupení v ploše pixelu.
- Z těchto údajů lze sestavit výsledné spektrum smíšeného pixelu.
- Analýza potom spočívá v obráceném procesu označovaném jako tzv. **un - mixing**, kdy naopak známe spektra jednotlivých elementárních povrchů a spektrum výsledné
- Z nich potom hledáme procentuální zastoupení jednotlivých elementárních povrchů.
- Předpoklady: počet elementárních povrchů je menší než počet pásem, součet všech koeficientů poměrů zastoupených elementárních (endmember) povrchů = 1, koeficienty jsou kladné

Matematický model lineárního smíchaní výsledného spektra heterogenního pixelu



n - počet elementárních povrchů
 m - počet zpracovávaných pásem

Y - výsledné spektrum

X - koeficienty určující zastoupení jednotlivých elementárních povrchů

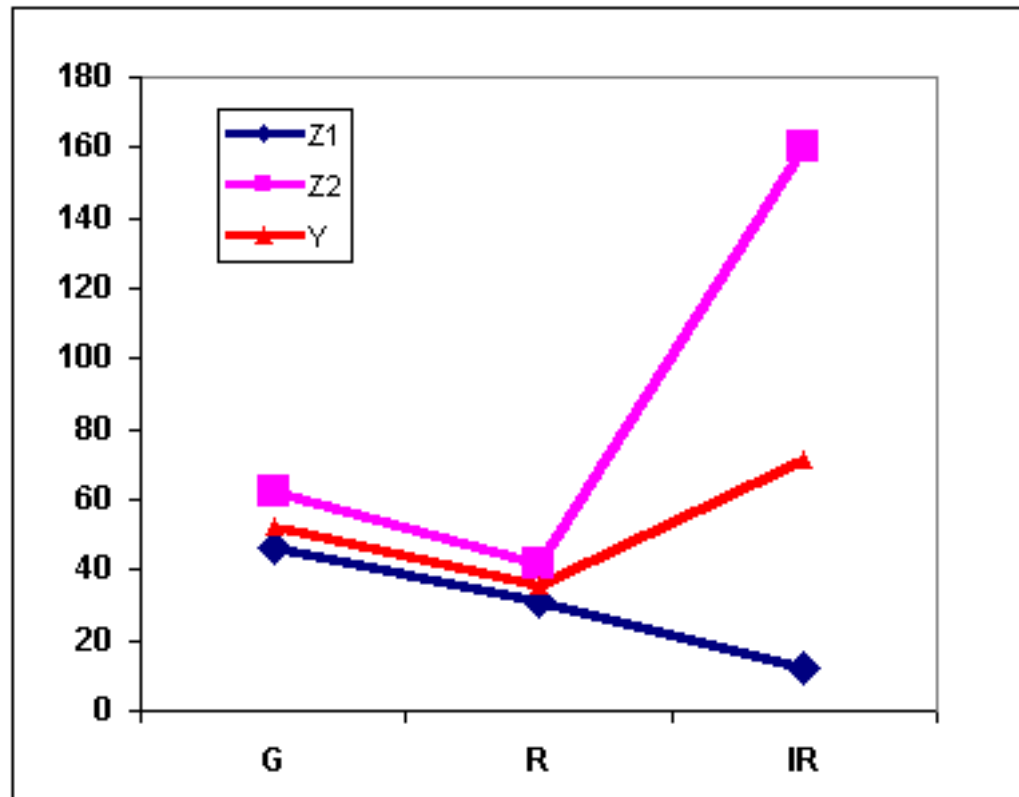
Z - spektrální chování n elementárních povrchů v m intervalech spektra (pásmech)

UNMIXING – určení procentuálního zastoupení elementárních povrchů

	Z1	Z2	Y
G	46	62	52,4
R	31	42	35,4
IR	12	160	71,2

$m = 3$

$n = 2$



$$52,4 = 46x_1 + 62x_2$$

$$35,4 = 31x_1 + 42x_2$$

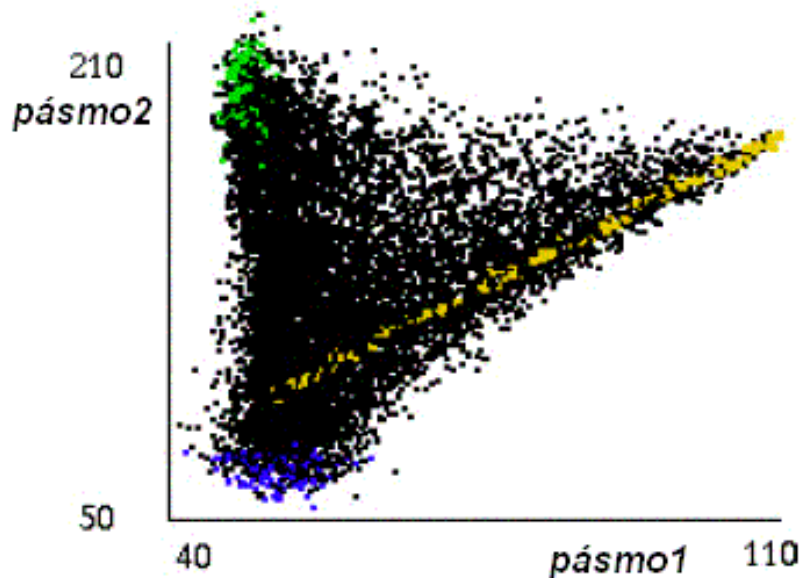
$$71,2 = 12x_1 + 160x_2$$

$$x_1 = 0,6$$

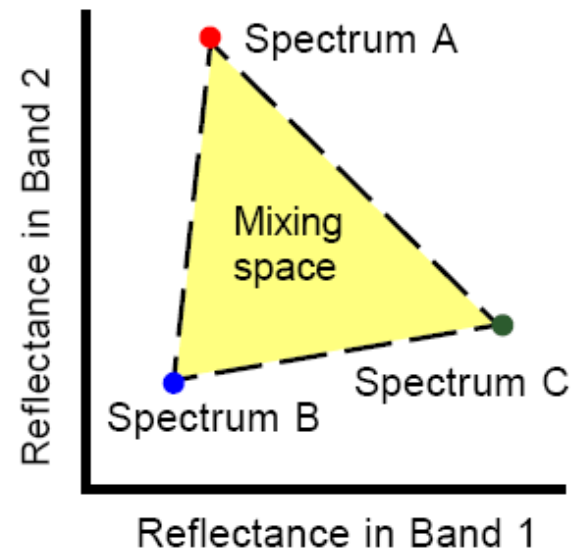
$$x_2 = 0,4$$

Geometrický model lineárního smíchaní výsledného spektra heterogenního pixelu

1. Určení počtu elementárních povrchů

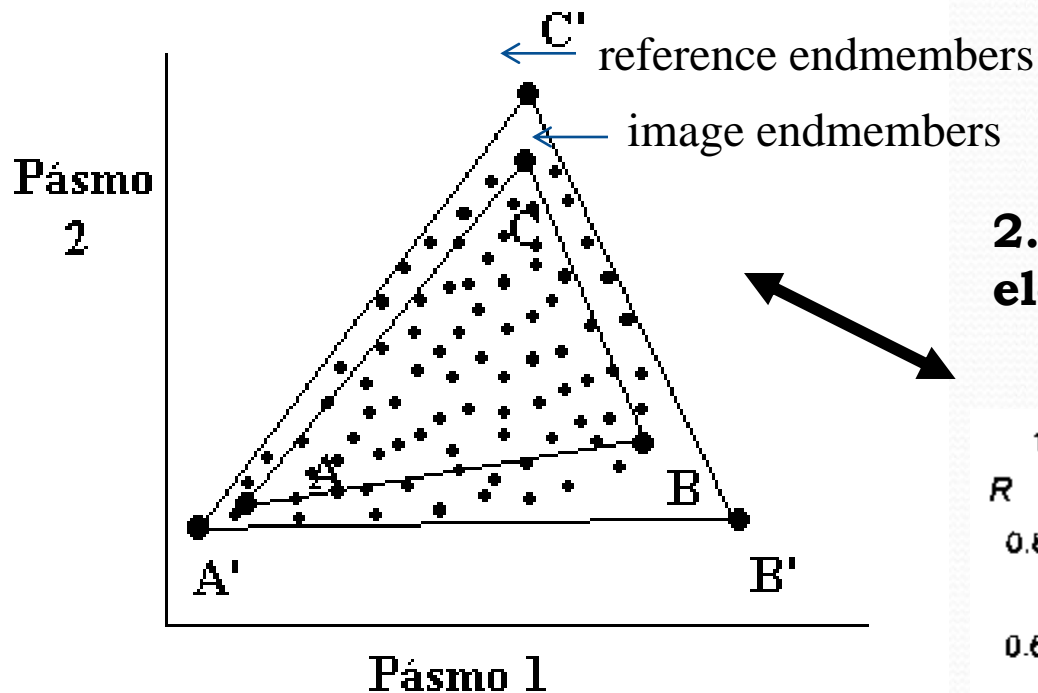


simplex

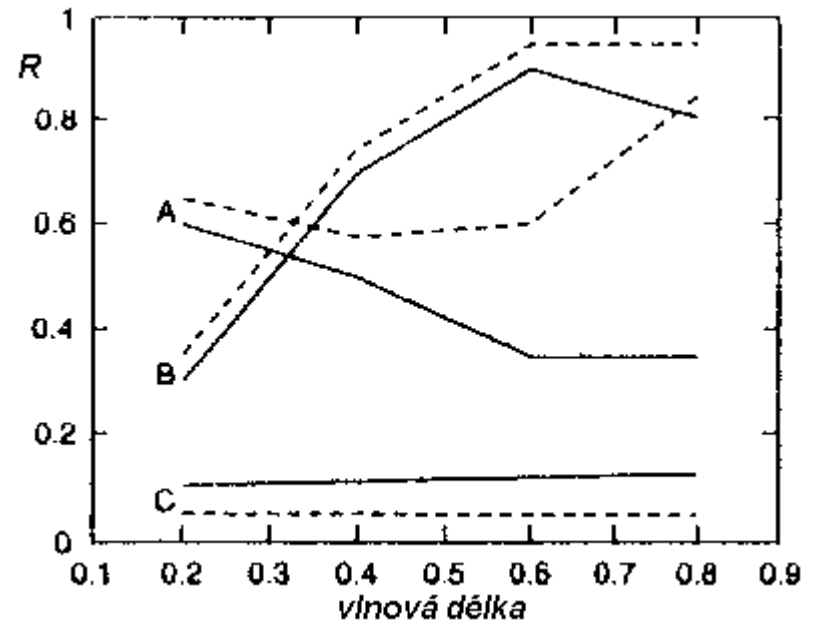


Geometrický model lineárního smíchaní výsledného spektra heterogenního pixelu

2. Určení druhu elementárních povrchů



2.1. Odhad spekter elementárních povrchů

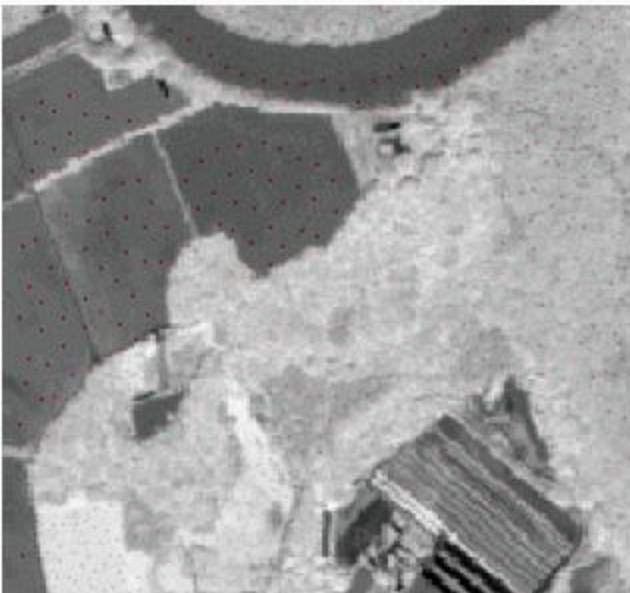


2.2. Jejich porovnání s referenčními spektry (knihovně)

Linear mixing



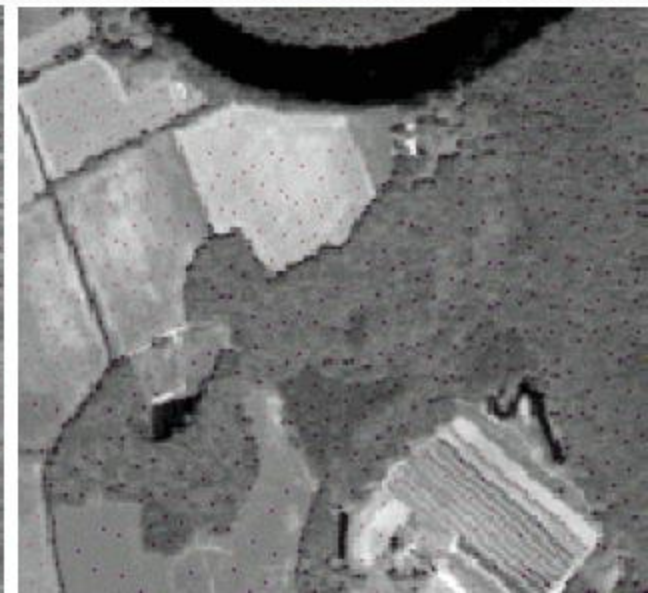
Fraction images



Vegetation fraction



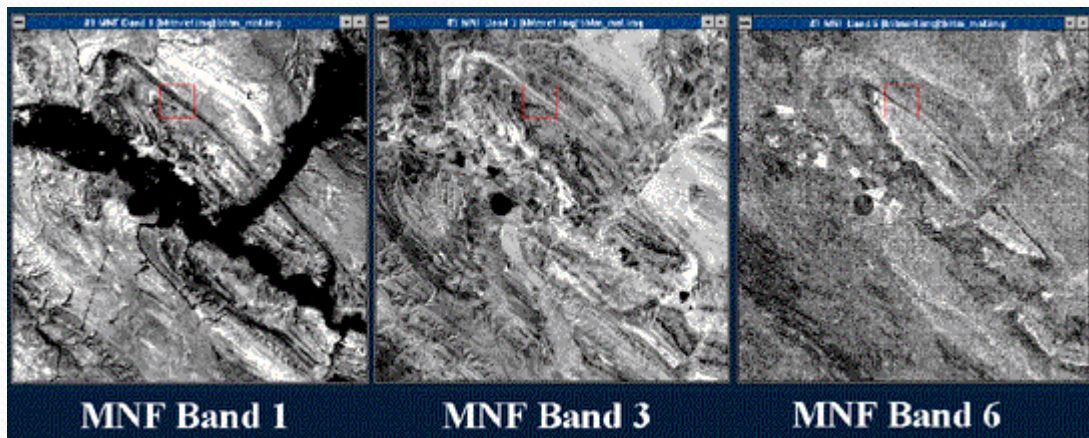
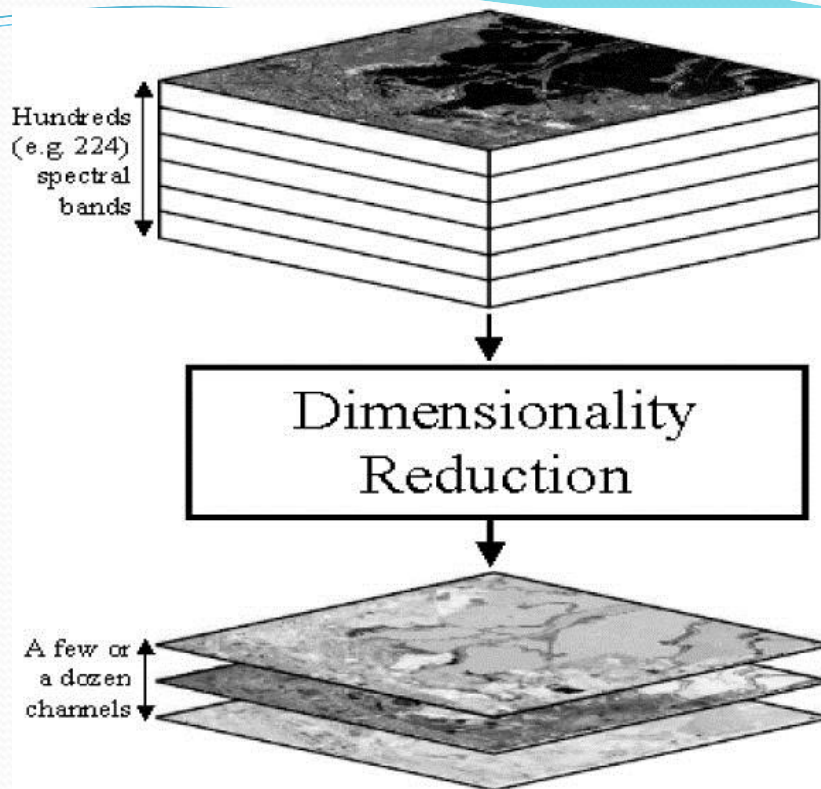
Water / shade fraction



Soil fraction

Minimum Noise Fraction (MNF) transformace (redukce dimensionality)

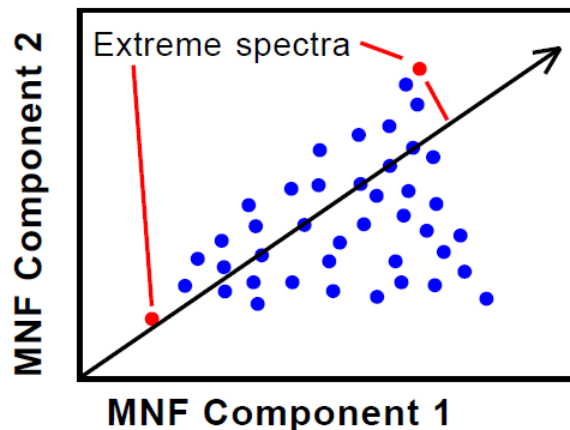
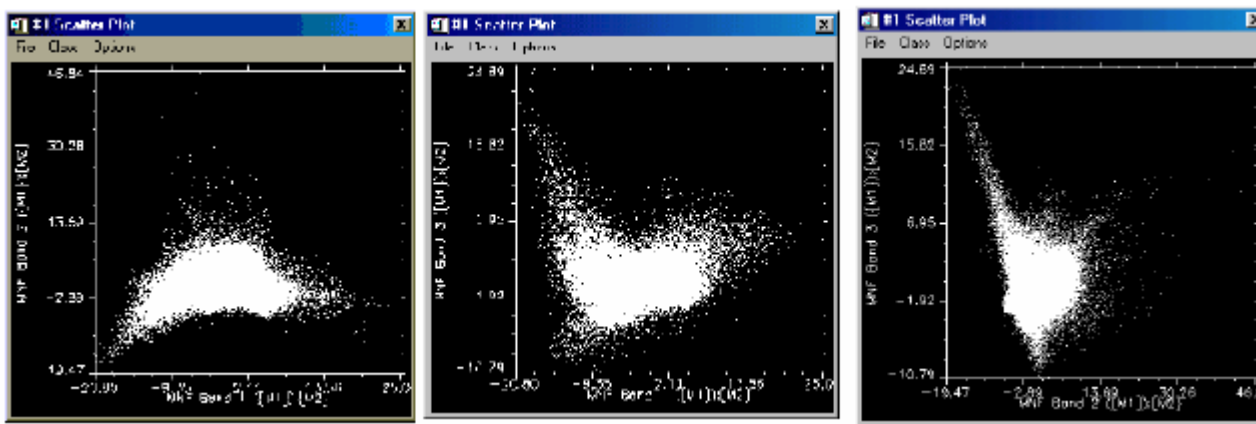
- cílem je odstranit nadbytečnou (redundantní) informaci a potlačit šum v datech
- výsledkem je menší množství tzv. MNF snímků
- aplikuje metodu PCA ve dvou krocích
 - 1) Odstraní korelaci šumové složky mezi jednotlivými pásmy a transformuje snímky tak, že šum má jednotkový rozptyl
 - 2) V nově transformovaných snímcích (MNF) odděluje užitečnou informaci od šumové složky



Hledání „endmembers“

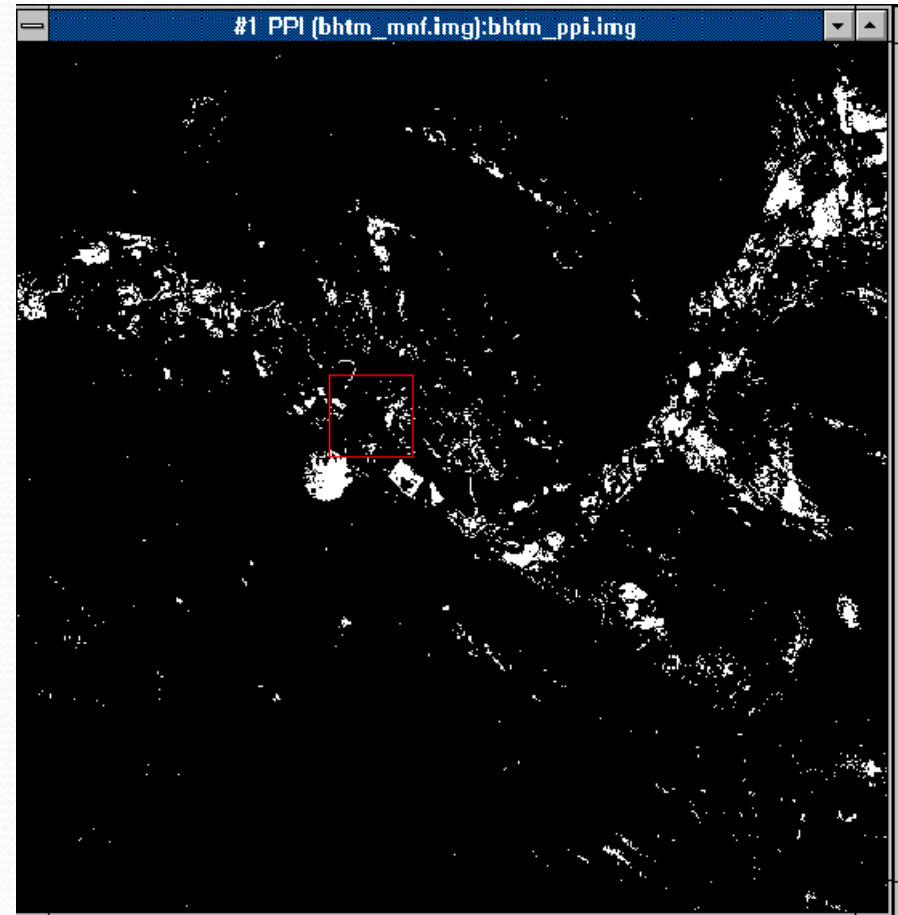
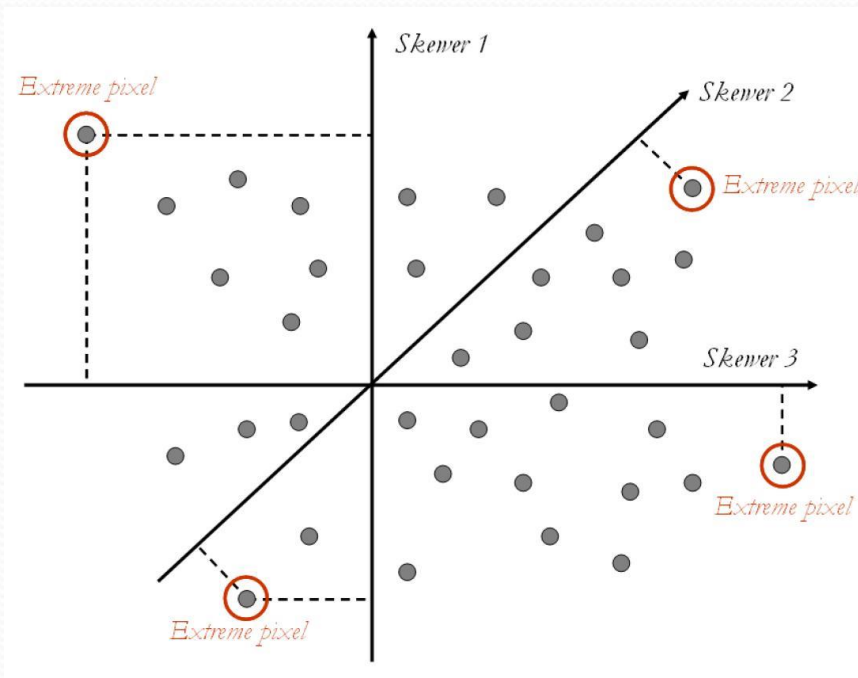
Hledání spektrálně „čistých“ pixelů na snímcích, ze kterých byl odstraněn šum metodou MNF.

Čisté pixely (endmembers) se nacházejí na okrajích příznakového prostoru



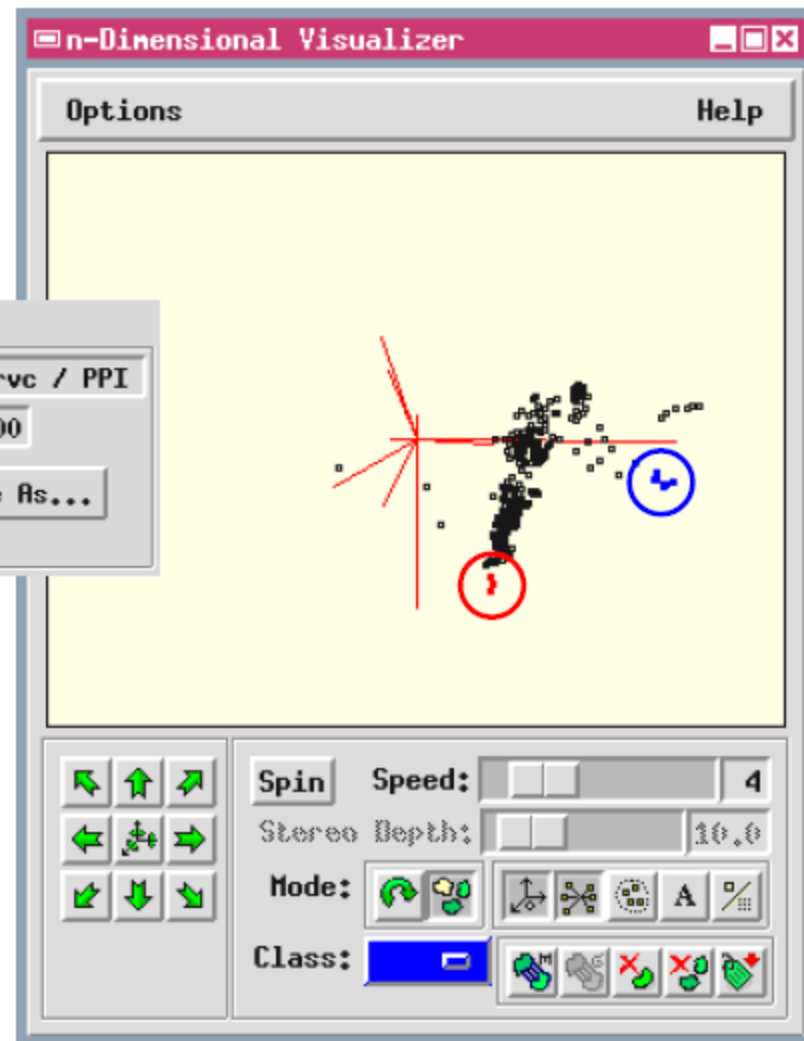
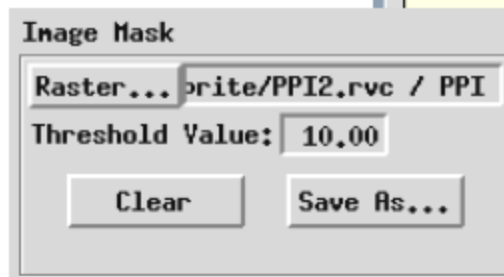
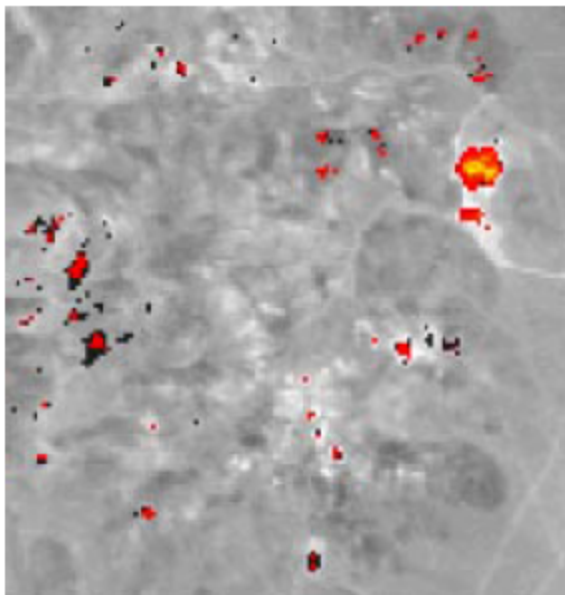
Pixel Purity Index (PPI)

Zaznamenává, kolikrát byl daný pixel nalezen na okraji (konvexním obalu) spektrálního prostoru. Následným prahováním se vybírají „čisté“ povrchy. Nejsvětlejší pixely lokalizují „čisté“ povrchy



Viualizace n-rozměrného prostoru (n-DV)

Další způsob hledání endmembers

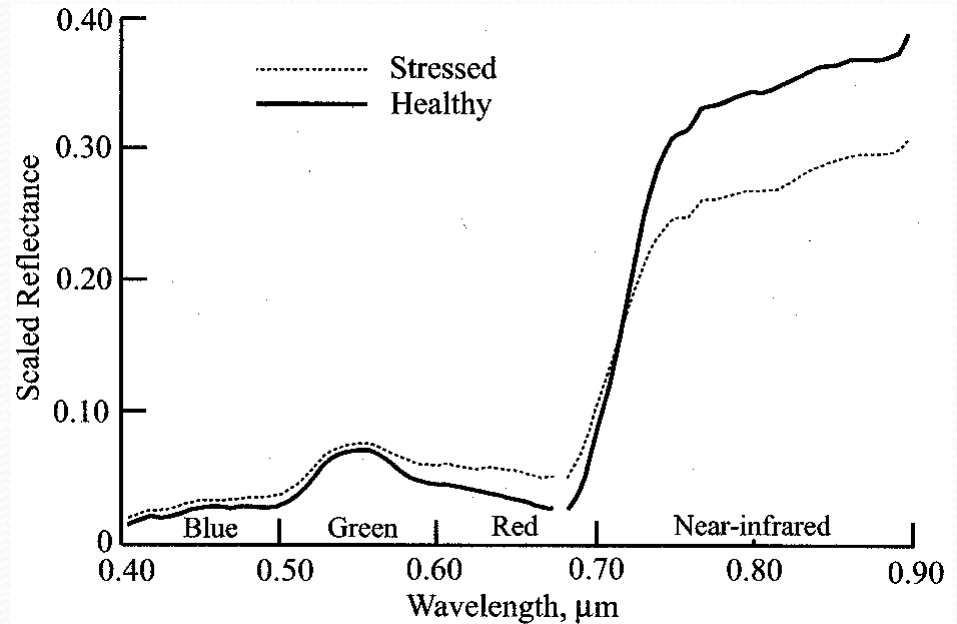


Hyperspektrální indexy

„Narrow band indices“

Hyperspectral NDVI

$$\text{NDVI}_{\text{nb}} = \frac{\rho_{860} - \rho_{660}}{\rho_{860} + \rho_{660}}$$



Red-edge Position Determination (REP)

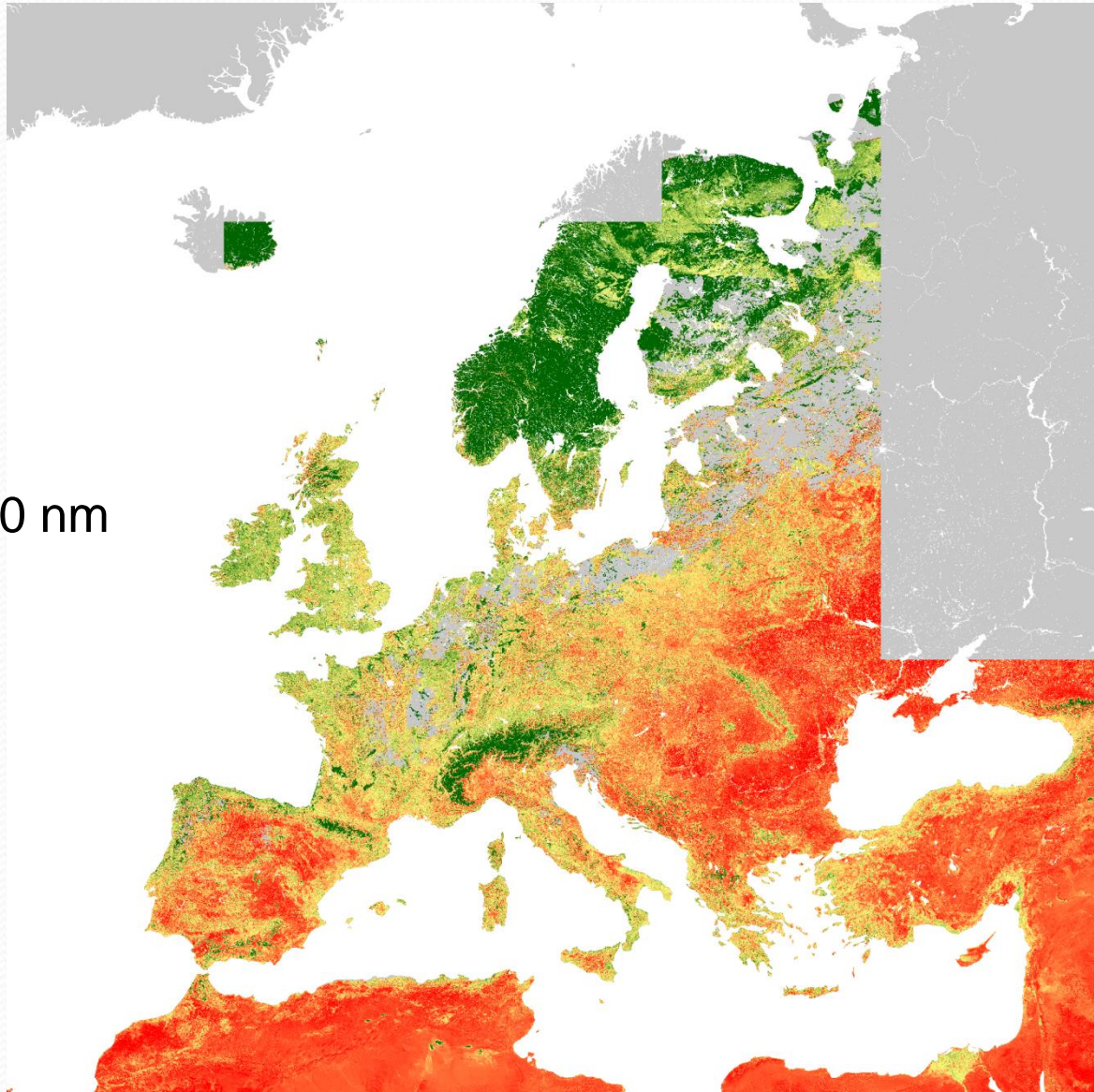
$$\text{REP} = 700 + 40 \left(\frac{R_{re} - R_{700}}{R_{740} - R_{700}} \right) \quad R_{re} = (R_{670} + R_{780}) / 2$$

Hyperspektrální indexy

Normalized Difference Water Index (NDWI)

$$NDWI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{SWIR})}{(\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})}$$

NIR = 680 nm, SWIR = 1240 nm



Hyperspektrální indexy

Summary of vegetation indices, algorithms and sources for vegetation indices used to estimate leaf area index in two shrub thickets.

Index description	Algorithm	Source
Normalized difference vegetation index(NDVI)	$\frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}}$	Rouse et al., 1974
Modified chlorophyll absorption ratio index (MCARI)	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})] \left(\frac{R_{700}}{R_{670}} \right)$	Daughtry et al., 2000
Triangular vegetation index (TVI)	$0.5[120(R_{750} - R_{550}) - 200(R_{670} - R_{550})]$	Broge & Leblanc, 2000
Modified chlorophyll absorption ratio index 1 (MCARI1)	$1.2[2.5(R_{800} - R_{670}) - 1.3(R_{800} - R_{550})]$	Haboudane et al., 2004
Modified chlorophyll absorption ratio index 2 (MCARI2)	$\frac{1.5[2.5(R_{800} - R_{670}) - 1.3(R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2R_{800} + 1)^2 - (6R_{800} - 5\sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane et al., 2004
Modified triangular vegetation index (MTVI2)	$\frac{1.5[1.2(R_{800} - R_{550}) - 2.5(R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2R_{800} + 1)^2 - (6R_{800} - 5\sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane et al., 2004
Chlorophyll index	$\frac{R_{750}}{(R_{700} + R_{710}) - 1}$	Gitelson et al., 2005