

## Vybrané kapitoly z DPZ

Petr Dobrovolný



## Úvod, základní pojmy

- Současné možnosti DPZ jako metody sběru, analýzy a prezentace prostorově lokalizovaných dat
- Role Dálkového průzkumu země v době Google Earth?
- Role DPZ v době digitální fotogrammetrie?



## Úvod, základní pojmy

- Environmental Remote Sensing
- Global Remote Sensing
- Satellite photogrammetry
- Quantitative Remote Sensing
- Urban Remote Sensing



## Úvod, základní pojmy

Global Change master directory <http://qcmd.gsfc.nasa.gov/>

Global Change Master Directory <http://qcmd.gsfc.nasa.gov/>

DAY LAND TEMPERATURE JULY 2006

Surface Temperature (°C)

<http://earthobservatory.nasa.gov/>

## Úvod, základní pojmy



<http://www.ldeo.columbia.edu/~small/Urban.html>

[http://sedac.ciesin.org/urban\\_rs/](http://sedac.ciesin.org/urban_rs/)



## Urban Remote Sensing

- Ve vyspělých státech žije ve městech až 75 % populace
- Malá rozloha zastavěných ploch (5 – 7 % plochy souše)
- Značná koncentrace obyvatelstva
- Značný podíl na celkové produkci energie (UHI)
- Dynamický rozvoj suburbánních oblastí
- Zvyšující se riziko ztrát na lidských životech a velkých materiálních škod v případě přírodních extrémů
- Konflikt příroda – společnost jako obecný problém?

Je možné k řešení uvedených problémů využít metod DPZ?

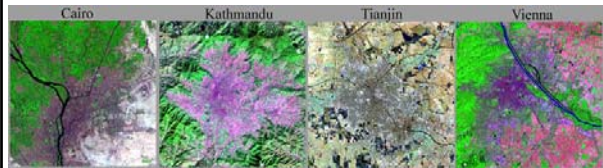
## Urban Remote Sensing

Co umožňují formování URS?

- Zlepšování kvality obrazových dat DPZ (co definuje kvalitu těchto dat?)
- Dostupnost, efektivita využití dat
- Nové možnosti analýzy (jaké metody, jaké principy?)
- Formování kvantitativního DPZ (QRS)
- ...?
- Existuje společenská objednávka?
- ...?

## Urban Remote Sensing

limity dosavadního rozvoje

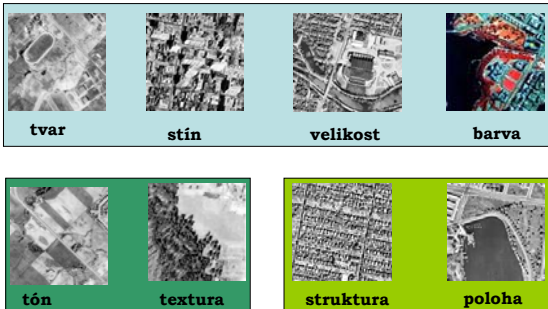


<http://www.ldeo.columbia.edu/~small/Urban.html>

The physical properties of the individual components of the urban mosaic control the mass and energy fluxes through the urban environment. These fluxes, in turn, control the aggregate physical characteristics and dynamics of the urban environment thereby impacting the climatic, hydrologic and ecologic processes linking the urban environment to its surrounding environments. Understanding the dynamics of these processes in coupled urban, suburban, and perurban systems is central to our ability to predict, and influence, the behaviour of the systems. The research presented here focuses on the use of optical remote sensing to characterize the physical properties of urban and non-urban environments and to understand the relationships between the optical characteristics, physical properties and energy fluxes through the urban system.

## Urban Remote Sensing

Které znaky vhodně resp. nevhodně charakterizují plochy měst?



## Urban Remote Sensing



Které znaky vhodně resp. nevhodně charakterizují plochy měst?  
Které znaky používáme na základě zkušenosti?  
Které znaky lze vhodně formalizovat pro metody digitálního zpracování obrazu?

## Specifika městského prostředí ve vztahu k metodám DPZ

- Specifické druhy povrchů (nepropustné – „impervious“)
- Jak lze charakterizovat povrchy ve městech – heterogenita, proměnlivost, hierarchie
- Odlišná radiační, teplotní, vodní bilance – formování městského klimatu
- Problém zastíněných ploch
- Značná dynamika
- Znečištění životního prostředí
- ...

## Urban Remote Sensing

Co je příčinou malé efektivity klasických přístupů k analýze obrazu?

- Jak lze charakterizovat „klasické“ přístupy k analýze obrazu?
- Jaké charakteristiky jsou přenositelné do prostředí URS?
- Jak by bylo možné specifikovat vlastnosti nově navrhovaných metod?
- Mixture pixel – hlavní problém při mapování LU/LC klasickými přístupy metodami DPZ.
- Composite signatures x např. MAXLIKE – předpoklad „pure signatures“

## Urban Remote Sensing

### Možné přístupy k řešení problému

- Obrazová spektrometrie
- Spectral mixture analysis
- Texture analysis, GLCM
- Objektově orientovaná klasifikace, kontextuální,
- Geostatistické přístupy, míry autokorelace
- ... (?)

## Urban Remote Sensing

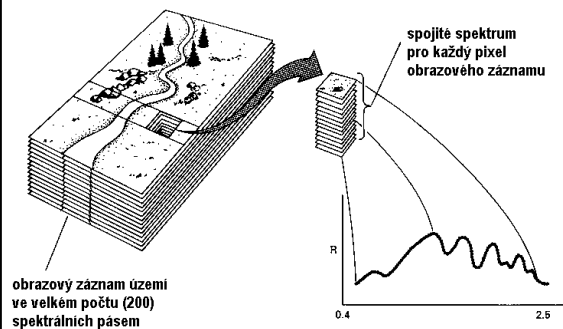
### zdroje obrazových dat

- Optická data – very high resolution (spatial)
- Hyperspektrální data
- Data pořizovaná aktivními metodami – RADAR, LIDAR, SODAR
- Termální DPZ
- ?

## Hyperspektrální DPZ (obrazová spektrometrie)

- Kontinuální záznam odrazových vlastností povrchů v optické části spektra
- Možnost podchytit specifika především u povrchů spektrálně „čistých“
- Identifikace jevů, které v krajně souvisejí se změnami chemického složení
- Identifikace a lokalizace tzv. absorpčních pásů
- Identifikace antropogenních tvarů a procesů
- .....

## Hyperspektrální DPZ - princip



## Příklady konkrétních systémů - letadla

Systém	Počet snímků	Interval vlnových délek [μm]	Velikost pixelu [m]
AVIRIS	224	0,4 - 2,45	4 ~ 20 *)
AIS	128	1,2 - 2,4	8
CASI	228	0,4 - 0,9	?

AIS (Airborne Imaging Spectrometer)

AVIRIS (Airborne Visible - Infrared Imaging Spectrometer).

CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager).

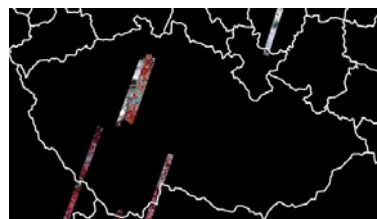
\*) v závislosti na výšce letu

AISA Eagle – [www.usbe.cas.cz](http://www.usbe.cas.cz)

64 spektrálních pásů, prostorové a spektrální rozlišení přibližně 0,4 m a 10 nm

## 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



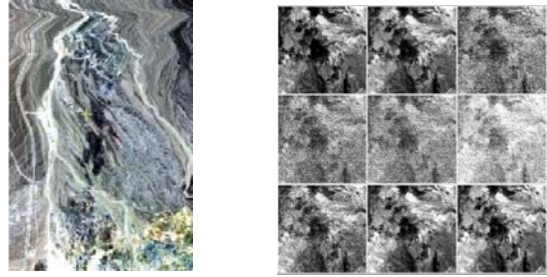
Fuji (Jap), Palo Alto, Cal)

## Základní etapy analýzy dat obrazové spektrometrie

- předzpracování dat
- kalibrace dat
- tvorba spektrálních knihoven
- vizualizace hyperspektrálních dat a knihoven spekter
- automatické porovnání spekter
- definování elementárních povrchů (tzv. endmembers)
- analýza a automatická klasifikace heterogenních pixelů

## Předzpracování dat

- úprava geometrie snímků, odstranění páskování (stripping), potlačení šumu

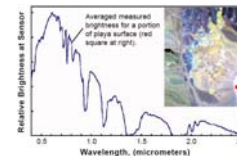


## Kalibrace dat

### (DN hodnoty – radiance – reflectance)

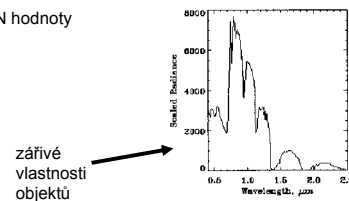
- atmosférické korekce a korekce na vlivy topografie jsou nezbytnou prvotní částí zpracování
- cílem je převést naměřená data, která obsahují charakteristiky celkového vyzářování objektů (angl. **radiance**), na data charakterizující odrazové vlastnosti objektů (angl. **reflectance**)
- **Zář (radiance)** – množství dopadající na plochu čidla (senzoru)
- **Odráživost (reflectance)** – podíl mezi množstvím odražené elektromagnetické energie a množstvím energie dopadající na studovaný povrch

## Vztah mezi DN, zářivými a odrazovými vlastnostmi povrchů

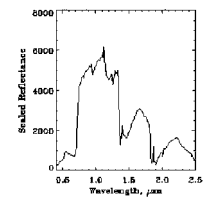


Skutečné odrazové vlastnosti objektů

DN hodnoty

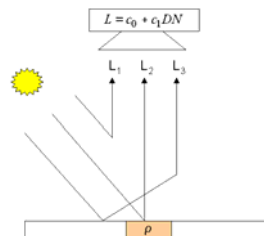


zářivé vlastnosti objektů



## Vztah mezi DN, zářivými a odrazovými vlastnostmi povrchů

- DN
- L - zář [W.m<sup>2</sup>.sr<sup>-1</sup>] (radiance)
- ρ - odráživost (reflectance)



- L1 : záření rozptýlené atmosférou „path radiance“
- L2 : záření odražené snimaným povrchem
- L3 : záření odražené a rozptýlené okolními objekty
- c0, c1 : (offset, gain) – kalibrační konstanty

## Vztah mezi DN, zářivými a odrazovými vlastnostmi povrchů

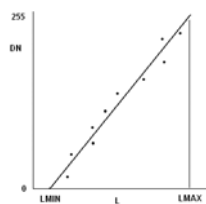
$$L = \frac{\rho ET}{\pi} + L_2 \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{(L - L_2) \cdot \pi}{ET}$$

- L – zář měřená senzorem
- ρ – odráživost
- E – intenzita ozařování (irradiance) [W.m<sup>-2</sup>]
- T – propustnost (transmisivita) atmosféry
- L<sub>2</sub> – path radiance

## Empirické určení zářivých a odrazových vlastností povrchů

$$L = c_0 + c_1 DN$$

$$L = \left( \frac{LMAX - LMIN}{255} \right) \cdot DN + LMIN$$



LMIN, LMAX – kalibrační konstanty pro dané pásmo

## Modely atmosférické korekce

- Fyzikální modely, které simulují procesy pohlcování a rozptylu záření v atmosféře
- Potřebují meteorologická data

• Při korekcích je nutné zohlednit také změny atmosférických vlivů v závislosti na vlnové délce ale také na geometrii snímání

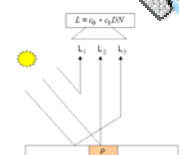
• princip atmosférických korekcí – transformace DN hodnot ve dvou krocích:

1. Převod zaznamenaných DN hodnot na zářivé vlastnosti (RADIANCE)
2. Převod zářivých vlastností na skutečné odrazivé vlastnosti snímaného povrchu (REFLECTANCE)

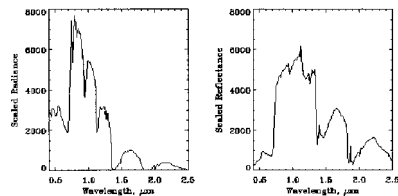
## Atmosférické korekce - modelování

Ad 1) L jako lineární kombinace DN hodnot

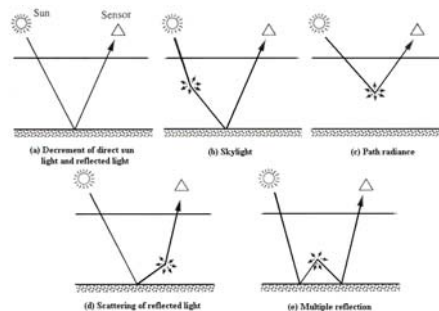
$$L = c_0 + c_1 DN$$



Ad 2) odhad (výpočet) optických vlastností atmosféry a výpočet skutečné odrazivosti



## Atmosférické korekce - modelování



## Atmosférické korekce - modelování

Obecné vyjádření modelu:

$$F^* = F_0 \tau + F_a$$

$F^*$  - zdánlivá (pozorovaná) velikost radiometrické veličiny

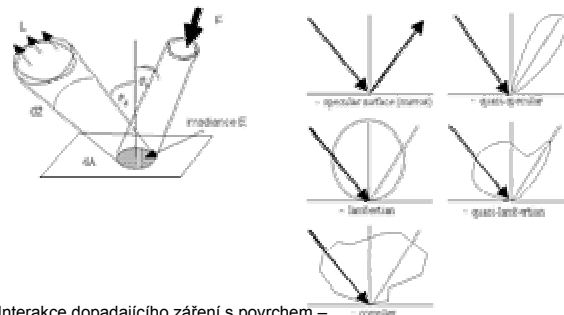
$F_0$  - velikost radiometrické veličiny na zemském povrchu

$\tau$  - spektrální propustnost atmosféry (vyjadřuje absorpční vlastnosti atmosféry)

$F_a$  - vlastní záření atmosféry

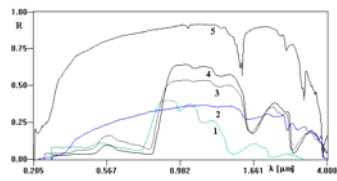
## Korekce na geometrii snímání

The Bidirectional Reflection Distribution Function (BRDF)



Interakce dopadajícího záření s povrchem – idealizované povrchy (zrcadlový, lambertovský)

## 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

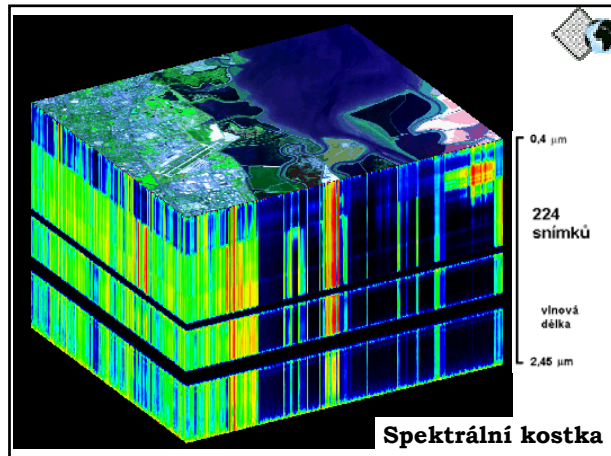
- Uchovávají laboratorně zjištěná spektra odrazivosti stovek nejběžnějších materiálů a druhů povrchů
- Obsahují údaje o absolutních hodnotách odrazivosti, lze jich využívat obecně jako určitých „vzorových“ spekter
- Mají význam interpretačních klíčů.

<http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib04/spectral-lib04.html>

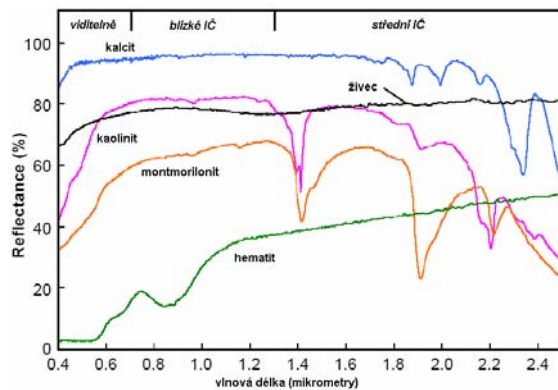
<http://speclib.jpl.nasa.gov>

## Vizualizace hyperspektrálních dat

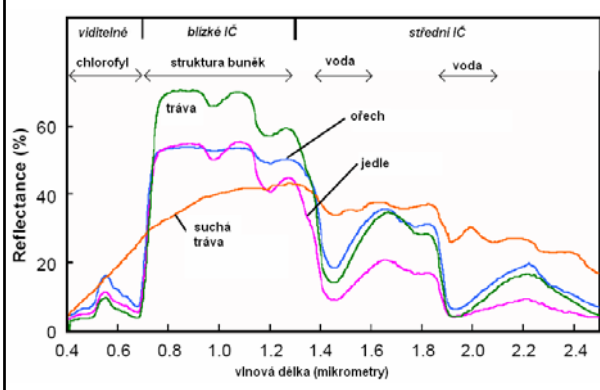
- Thumbnails
- Band cycling
- Data cube (Spektrální kostka)
- Spektrální profily
- Spektra jako vektory ve spektrálním prostoru



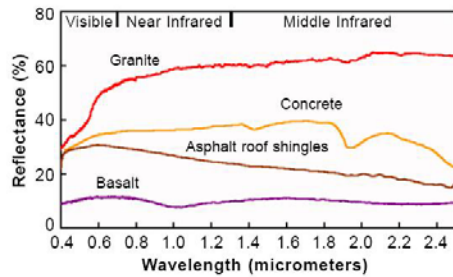
## Spektrální profily vybraných druhů minerálů



## Spektrální profily vybraných druhů vegetace

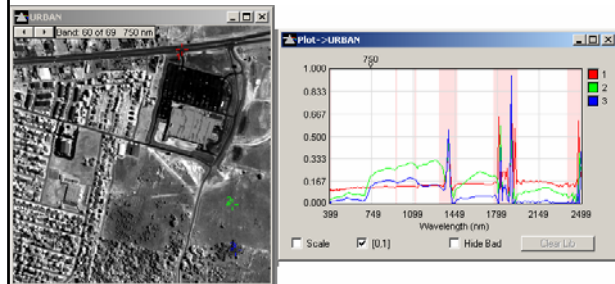


## Spektrální profily vybraných umělých povrchů



target spectra - typické příklady (z knihoven)  
Image spectra – reálné povrchy (často smíšené)

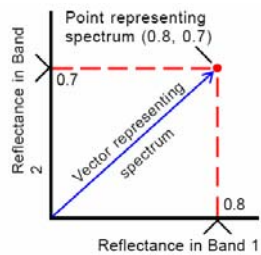
## Spektrální profily



## Spektra jako vektory ve spektrálním prostoru

Spektrální profily jsou vhodné pro vizualizaci a porovnávání několika málo spekter

Pro analýzu a klasifikaci většího počtu spekter – N rozměrný spektrální prostor

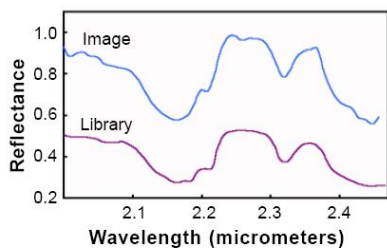


Matematicky lze tento koncept využít i pro hyper – rozměrný prostor  
Není důležitá velikost vektoru, ale jeho orientace

## Možné přístupy ke klasifikaci

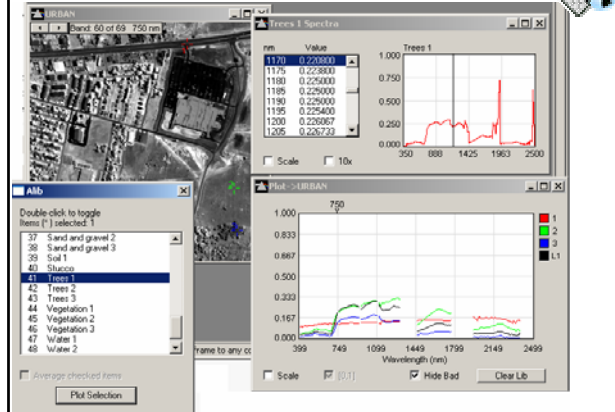
- Porovnávání spekter (Spectral matching)
- Klasifikace tzv. „spektrálním úhlem“
- Analýza smíšených pixelů (mixing)
- Metody shlukové analýzy, ...
- Self-organizing NN

## Porovnávání spekter (simple spectral matching)

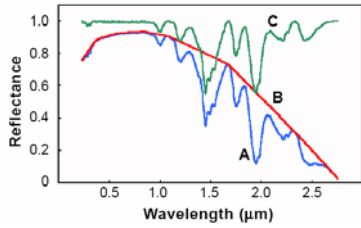


Sample image spectrum and a matched spectrum of the mineral alunite from the USGS Spectral Library (goodness of fit = 0.91).

## Porovnávání spekter (simple spectral matching)



### Porovnávání spekter (simple spectral matching)

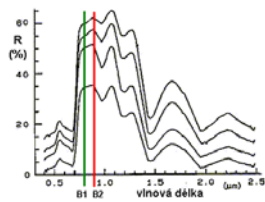


- Spektrum lze rozložit na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční informaci
- Nízkofrekvenční informaci představuje trend (tzv. continuum)
- Vysokofrekvenční informaci reprezentují tzv. absorpční pásy
- Odečtením trendu se zvýrazní absorpční pásy, které často jednoznačně identifikují daný povrch

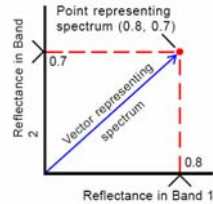
### Porovnávání spekter (simple spectral matching)

- Vyžaduje konverzi obrazových spekter na hodnoty odrazivosti
- Dobře funguje, pokud jsou v obraze větší plochy spektrálně „čistých“ povrchů
- Z vyhovujících spekter je nutné vybírat to nejhodnější – prahování resp. „fuzzy“ výsledek
- Řada povrchů je však smíšených
- Někdy vyžaduje i „mixed“ spektra ve spektrální knihovně
- Výsledek – „material map“ – mapuje dominantní druh povrchu na ploše každého pixelu.

### Klasifikace tzv. „spektrálním úhlem“ (Spectral Angle Mapper)



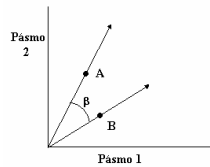
Vektor reprezentující spektrum ve 2D spektrálním prostoru



### Klasifikace tzv. „spektrálním úhlem“

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

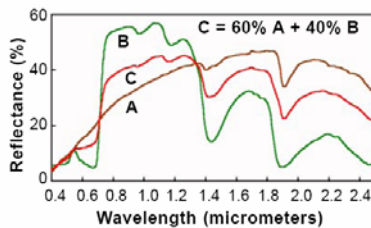
Jako míry podobnosti je využito tzv. spektrálního úhlu.



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

### Analýza smíšených pixelů – „linear unmixing“

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

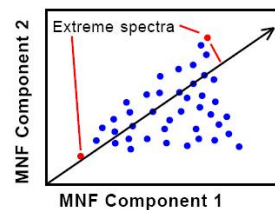


Křivka spektrálního chování heterogenního pixelu (mixel - mixture element) je složena z jednotlivých „spektrálně čistých“ křivek **elementárních povrchů** tzv. **endmembers**.

### Elementární povrchy - endmembers

Předzpracování

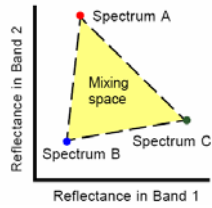
- PCA – Analýza hlavních komponent
- MNF - Minimum Noise Fraction
- PPI – Pixel Purity Index





### Koncept „linear mixing“

Předpoklad – v obraze se nachází konečný, relativně malý počet elementárních povrchů a velké množství smíšených pixelů, které jsou jejich lineární kombinací



Spektra všech povrchů, které jsou kombinací tří elementárních povrchů A, B, C musí ležet uvnitř prostoru, který tyto povrchy vymezují v spektrálním prostoru

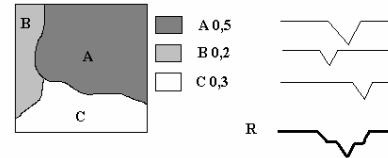
Pokud jsme schopni nalézt spektra elementárních povrchů, jsme schopni najít i jejich lineární kombinace

### 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

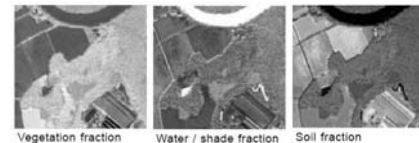


$$R = 0,5 A + 0,2 B + 0,3 C$$

### Lineární kombinace spekter (linear mixing)

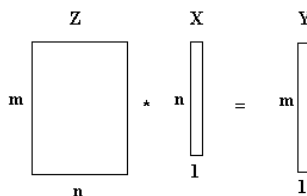
- Model **lineární kombinace (smíchání) spekter** - tzv. **mixing** - předpokládá, že známe spektra jednotlivých elementárních povrchů i jejich procentuální zastoupení v ploše pixelu.
- Z těchto informací lze „smíchat“ výsledné spektrum smíšeného pixelu
- Analýza potom spočívá v obráceném procesu označovaném jako tzv. **un - mixing**.
- Známe pouze spektrum výsledné, obrazovou analýzou hledáme spektra jednotlivých elementárních povrchů (endmembers)
- Z modelu „lineárního smíchání“ hledáme procentuální zastoupení jednotlivých elementárních povrchů v analyzovaném obraze.

### Lineární kombinace spekter (linear mixing)



„fraction images“

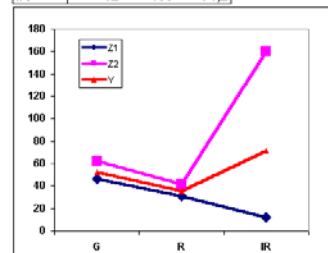
### Matematický model lineárního smíchání výsledného spektra heterogenního pixelu



- 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	m = 3
G	46	62	62,4	n = 2
R	31	42	35,4	
IR	12	160	71,2	



$$\begin{aligned}
 52,4 &= 46x_1 + 62x_2 \\
 35,4 &= 31x_1 + 42x_2 \\
 71,2 &= 12x_1 + 160x_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0,6 \\
 x_2 &= 0,4
 \end{aligned}$$

