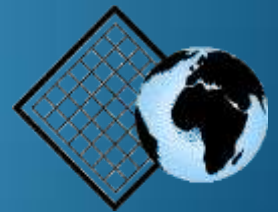


Spektrální chování objektů



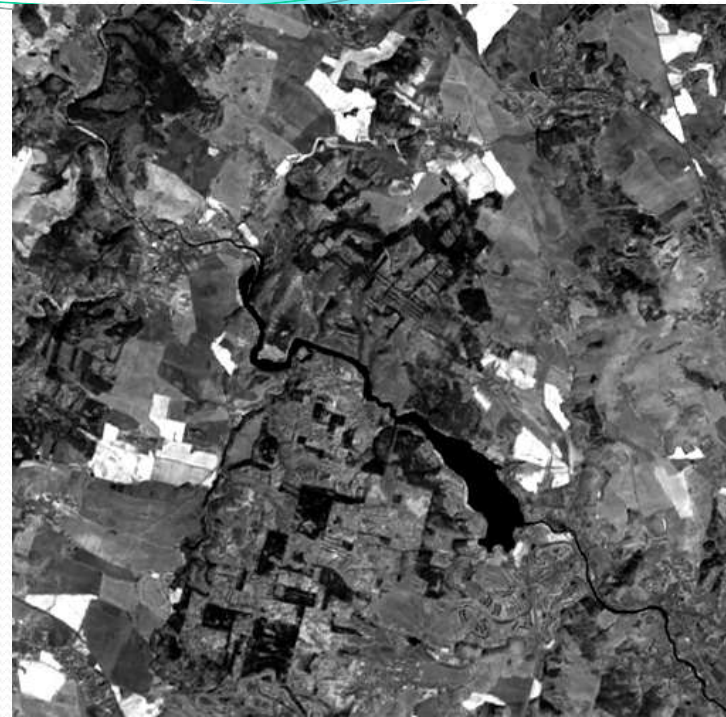
Faktory ovlivňující intenzitu záření

Elektromagnetické záření je při průchodu atmosférou i po svém dopadu na zemský povrch významně modifikováno (odražení, pohlcení, částečný průchod, částečný rozptyl, ohyb-refrakce, vlastní emitace objektu).

Intenzita odraženého krátkovlnného záření, ale i intenzita emitovaného záření dlouhovlnného závisí především na těchto **třech skupinách faktorů**:

- **na druhu látky či objektu (na jeho chemickém složení, apod.)**
- **na jeho fyzikálním stavu (obsahu vlhkosti, zhutnění povrchu, atd.)**
- **na stavu jeho okolí (na propustnosti atmosféry, apod.)**

Statické a dynamické parametry



Spektrální odrazivost

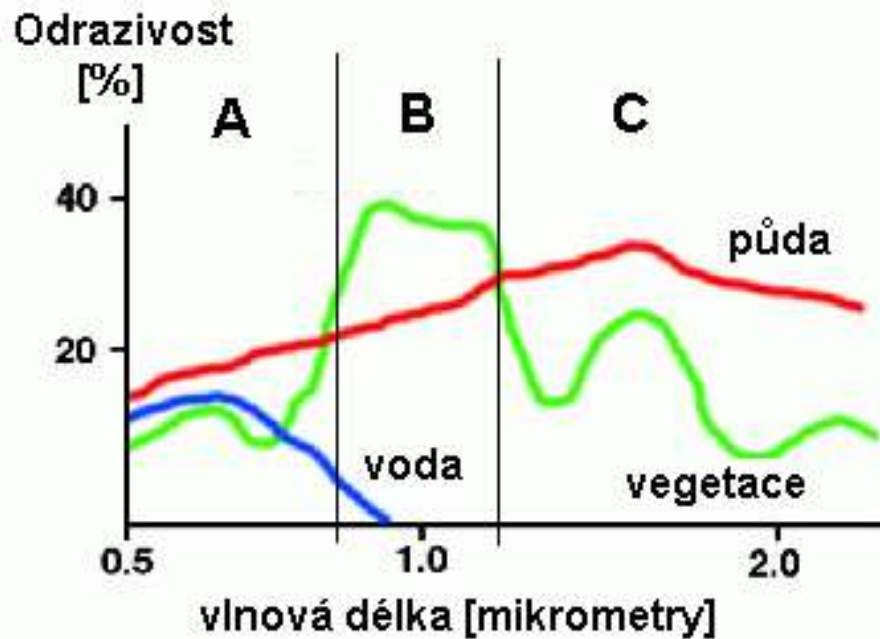
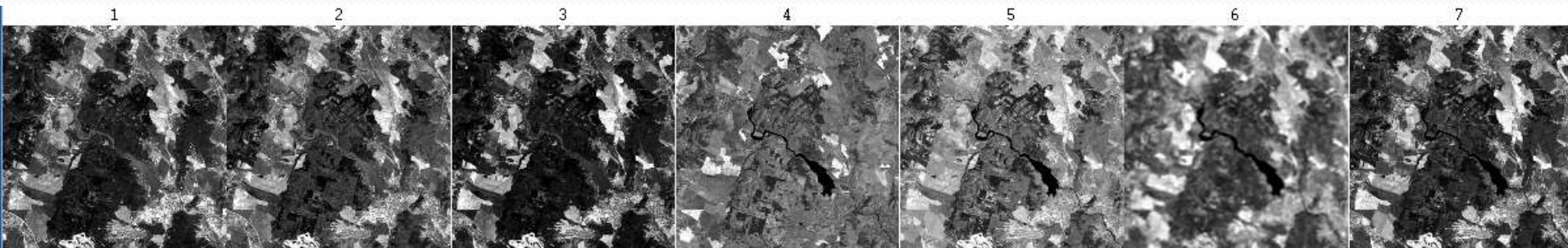
Množství odraženého záření lze charakterizovat tzv. **spektrální odrazivostí** $\rho(\lambda)$, kterou lze definovat jako poměr intenzity odraženého záření (M_r) a intenzity záření dopadajícího (M_i) na určité vlnové délce (λ) udávaný např. v procentech, tedy:

$$\rho(\lambda) = \frac{M_r(\lambda)}{M_i(\lambda)} \cdot 100[\%]$$

Přes všechny vlivy, které způsobuje atmosféra a interakce záření na zemském povrchu i přes všechny vlivy, které jsou způsobeny fyzikálním stavem objektů, lze konstatovat, že každá látka na zemském povrchu se vyznačuje svoji vlastní **spektrální charakteristikou**, která může být časově proměnná (jedinečný soubor specifických spektrálních čar spojený s předáváním energie mezi fotony dopadajícího záření a elektrony v elektronových obalech atomů objektu)

Spektrální chování

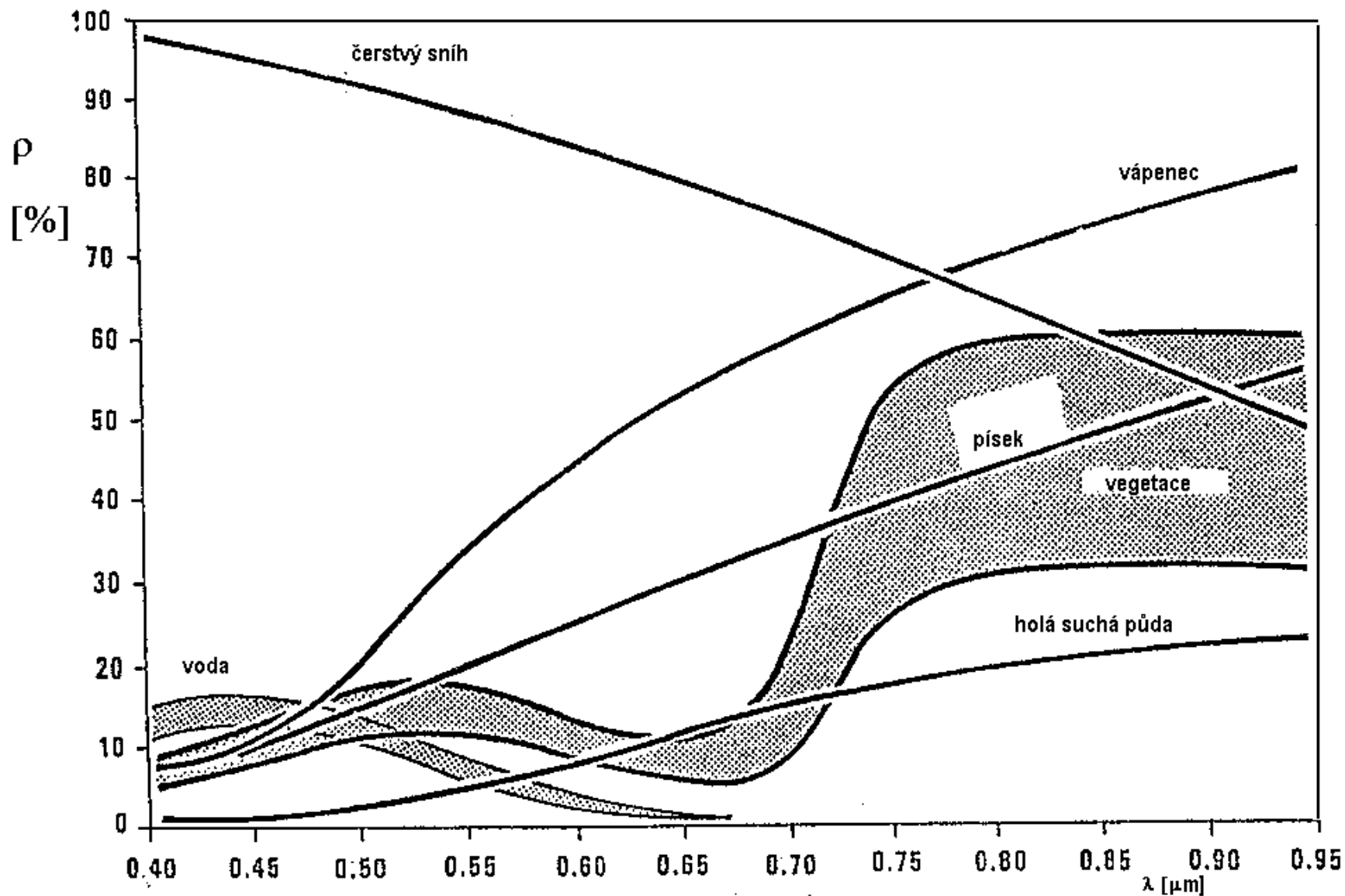
Většina druhů povrchů má na snímcích z různé části spektra jiný odstín šedi - odráží různé množství záření



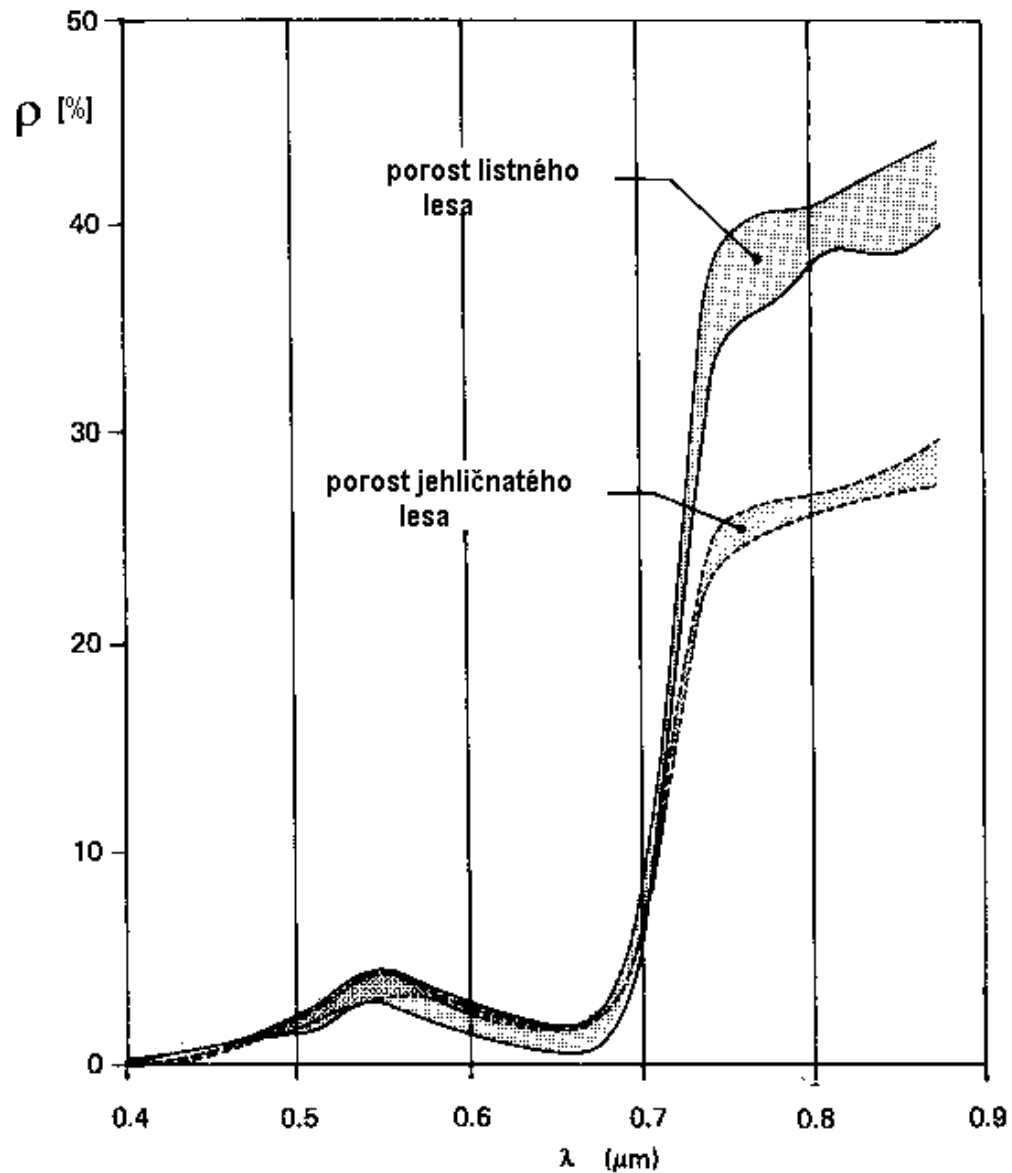
Spektrální chování objektů

- Pro každý objekt lze sestavit závislost mezi jeho odrazivostí a vlnovou délkou a průběh této závislosti bude pro tento objekt více méně typický.
- Tuto charakteristiku označujeme jako tzv. **spektrální křivku odrazivosti**.
- Křivka odrazivosti je projevem tzv. **spektrálního chování** objektů. Tvar křivky má velký vliv na výběr vlnové délky, ve které je vhodné data o objektu získávat.
- Křivky spektrálního chování mají pro stejnou třídu objektů (vegetace, holá půda) vždy typický průběh.

Spektrální chování vybraných druhů povrchů



Odrazivost vybraných druhů dřevin



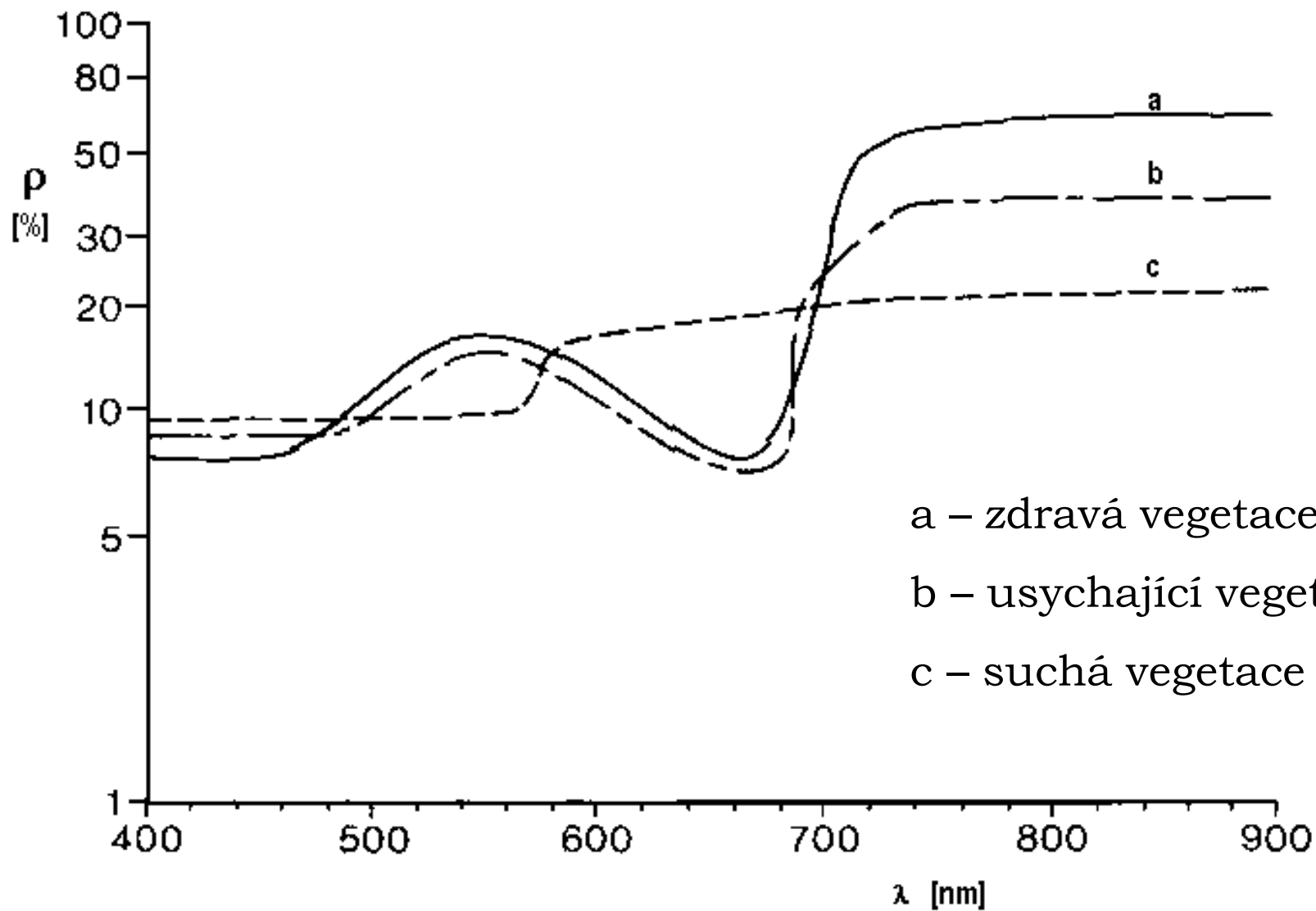


Snímek ve viditelné části spektra



Snímek v blízké infračervené části spektra

Odrazivost vegetace vystavené stresu



Praktický význam spektrálního chování

- Pomocí křivky spektrálního chování lze pro identifikaci daného povrchu vybrat vlnovou délku, ve které se tento povrch bude na pořízeném snímku zobrazovat nejlépe.
- Dále lze vhodně porovnávat více druhů povrchů – lze zvolit interval vlnových délek, ve kterém se bude nejlépe odlišovat od svého okolí - od jiných látek.
- Znalost spektrálního chování dovoluje indikovat procesy, které jsou v krajině patrné až později.
- Poznání mechanismů spektrálního chování je základním nástrojem pro rozpoznávání jednotlivých druhů povrchů a jejich mapování metodou dálkového průzkumu.

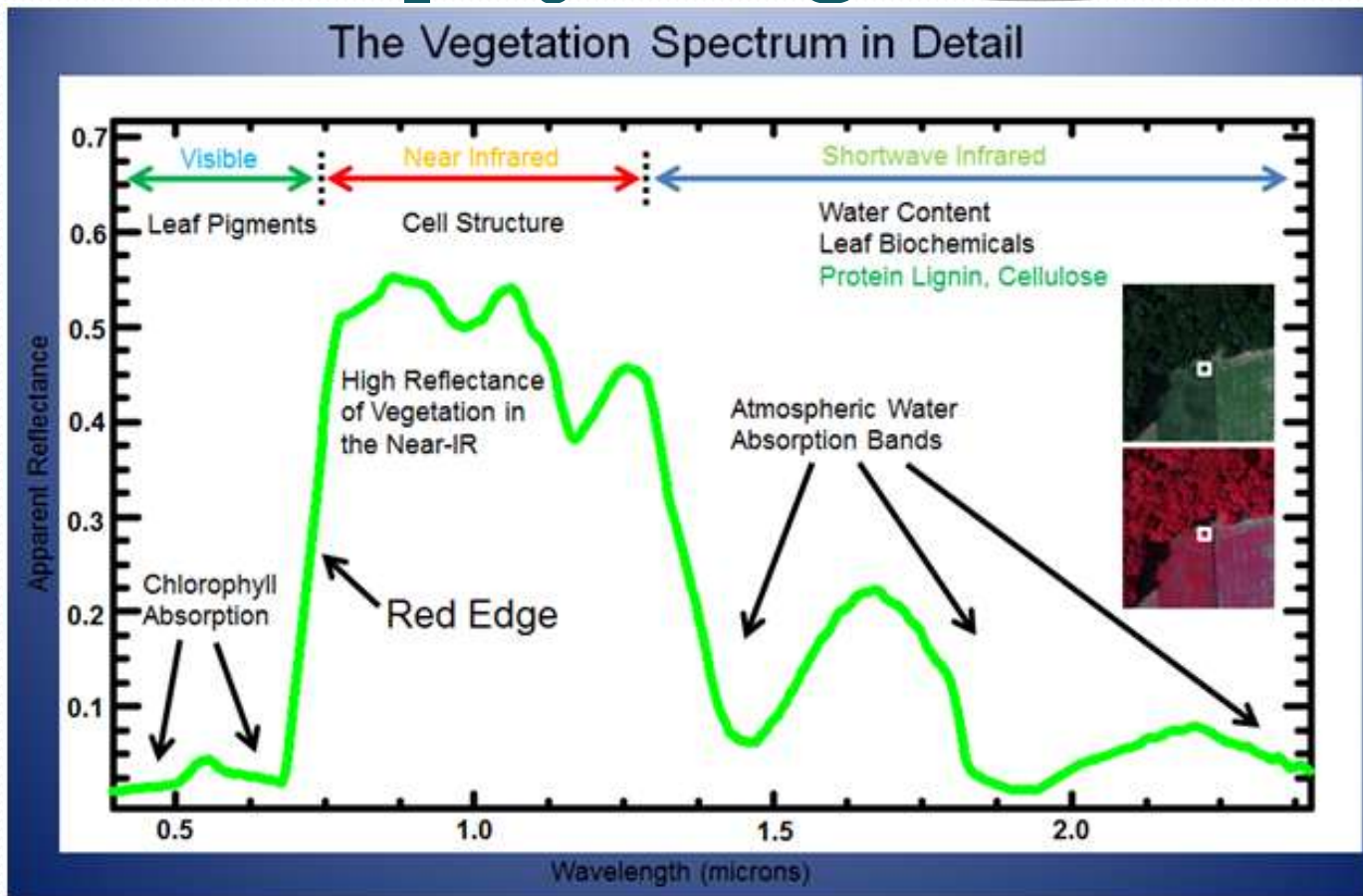
Spektrální projev vegetace

Odrazové vlastnosti vegetačního krytu jsou formovány především následujícími faktory:

- **vnější uspořádání vegetačního krytu**
- **vnitřní struktura jednotlivých částí rostlin**
- **vodní obsah**
- **zdravotní stav**
- **vlastnosti půdního substrátu**

Předmětem zkoumání bývají obvykle rostlinná společenství jednoho druhu – spektrální projev je výsledkem odrazivých a emisních vlastností všech částí rostliny a jejího okolí, dominující je však **podíl listů**.

Spektrální projev vegetace

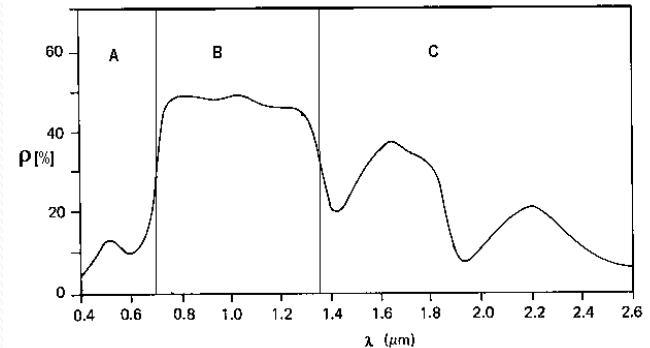


- A – oblast pigmentační absorpce v pásmu 0,4 - 0,7 μ m**
- B – oblast buněčné struktury v pásmu 0,7 – 1,3 μ m**
- C – oblast vodní absorpce v pásmu 1,3 - 3 μ m**

Spektrální projev vegetace I.

Oblast pigmentační absorpce

(0,4-0,7 μm).



- Pro spektrální chování listů ve viditelné části spektra jsou nejdůležitější pigmentační látky - z nich především chlorofyl a karoteny.
- Chlorofyl pohlcuje 70% až 90% dopadajícího záření v modré a červené části spektra.
- Mezi těmito absorpčními pásy se nachází lokální maximum odrazivosti v zelené části spektra
- To je příčinou zelené barvy rostlin ve vegetačním období.



Spektrální projev vegetace II.

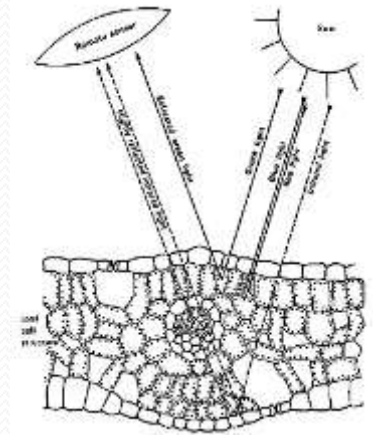
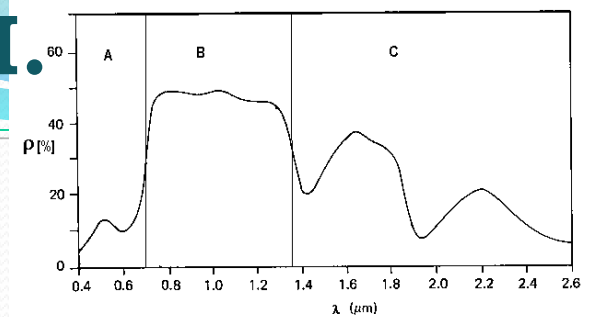
Oblast buněčné struktury

(0,7-1,3 μm)

- Pro vegetaci je typický výrazný nárůst odrazivosti ve vlnových délkách kolem 0,7 mikrometrů. (**Red Edge** oblast rychlé změny v odrazivosti vegetace mezi pásmem pigmentační absorpce a buněčné struktury)

- Odrazivost v této části spektra ovlivňuje morfologické utváření listu, které je velmi proměnlivé u jednotlivých druhů rostlin.

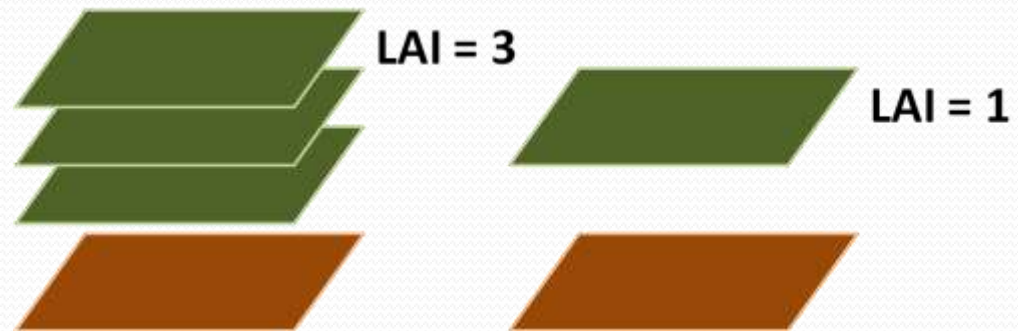
- Proto obrazové materiály pořízené v této části spektra poskytují největší možnosti pro dobré odlišení ploch pokrytých vegetací a ploch ostatních, ale také i pro odlišení jednotlivých druhů rostlin, které mohou být z hlediska svých odrazových vlastností ve viditelné části spektra velmi podobné.



http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Sect3/Sect3_1.html

Index listové pokrývnosti

- Více vrstev listů způsobuje opakovaný odraz záření v infračervené části spektra, odrazivost je potom maximální při 6-8 vrstvách listů
- Odrazivosti v blízké infračervené části spektra lze využít k charakterizování míry hustoty vegetačního krytu prostřednictvím tzv. indexu listové pokrývnosti (LAI - leaf area index).
- Je to bezrozměrné číslo, které udává, kolikrát je plocha všech listů větší než jednotková plocha sloupce, ve kterém se listy nacházejí.



Vegetační indexy

- Rozdílné odrazivosti vegetace ve viditelné červené (0,6-0,7 μm) a blízké infračervené části spektra (kolem 0,8 μm) se využívá k výpočtu tzv. vegetačních indexů.
- Vegetační index je ukazatelem míry přítomnosti zelené hmoty, těsně koreluje s množstvím biomasy.
- Vegetační index je ukazatelem zdravotního stavu vegetace
- Maximalizují citlivost na biofyzikální parametry rostlin tak, aby z výsledku bylo možno hodnotit stav a vegetační podmínky
- Eliminují rušivý vliv externích činitelů – půdy, atmosféry aj.

Vegetační indexy

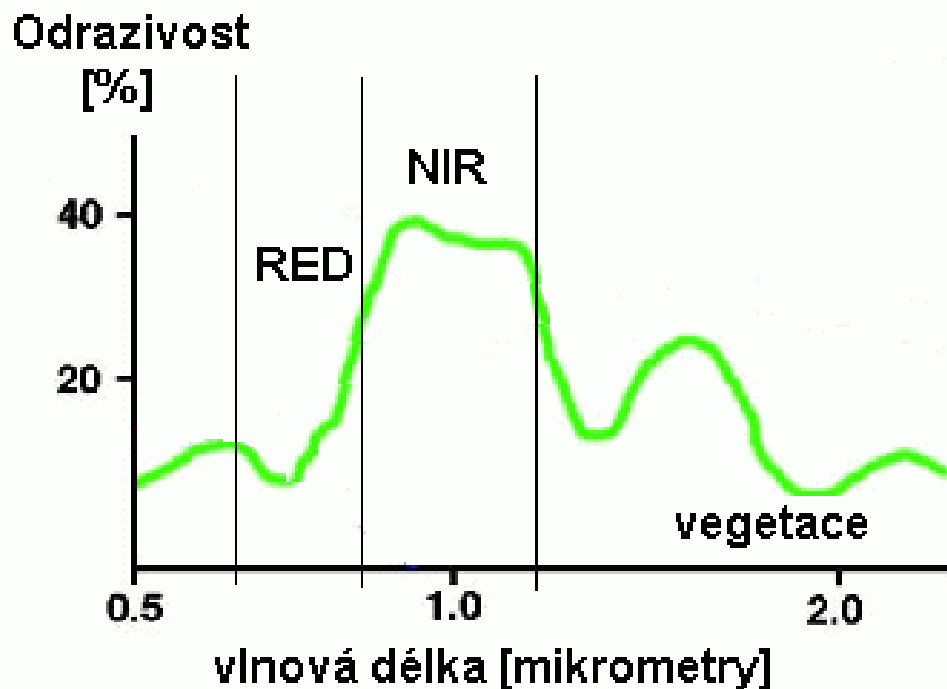
Jednoduchý poměrový vegetační index (RVI - Ratio Vegetation Index):

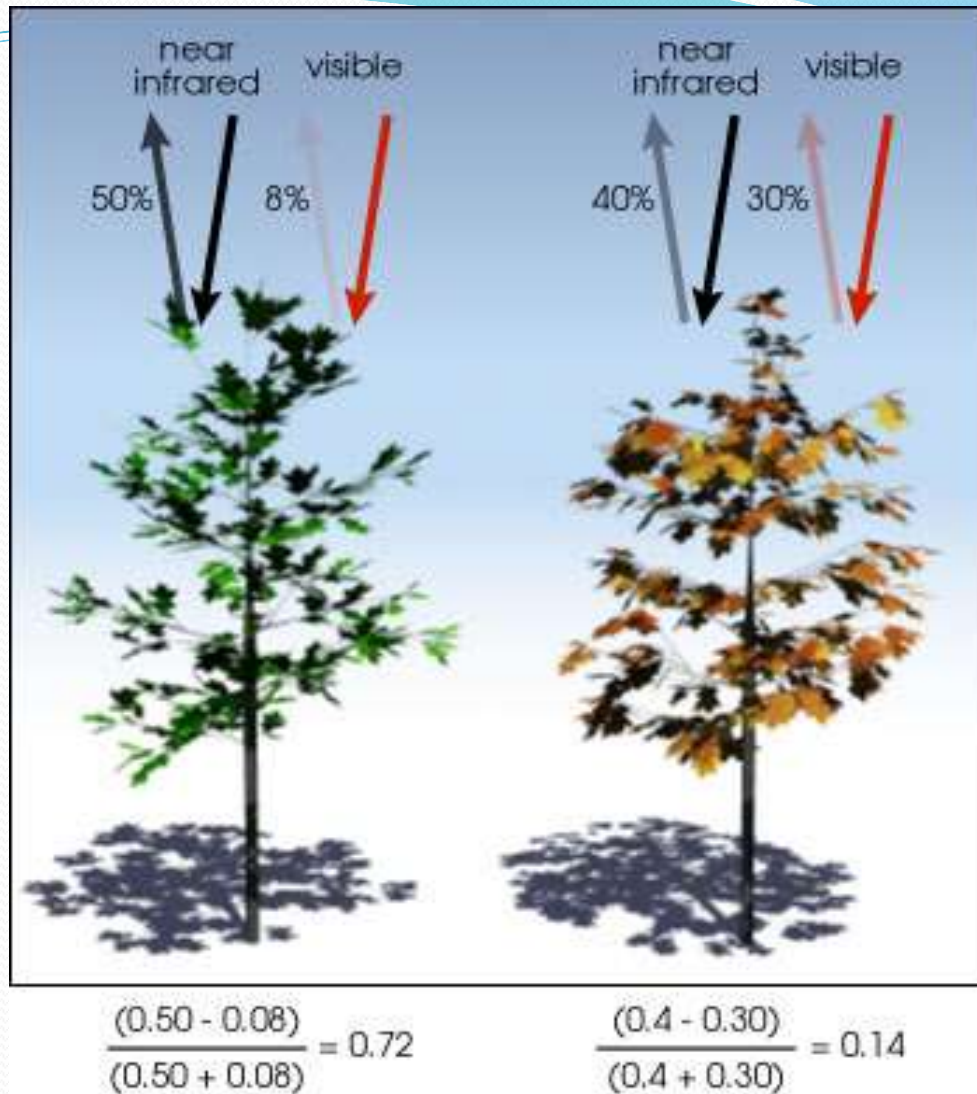
$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Může nabývat hodnot v intervalu [-1;+1], používá se v systémech Landsat TM (TM3 a TM4), NOAA AVHRR (pásmo 1,2)





zdroj:
http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

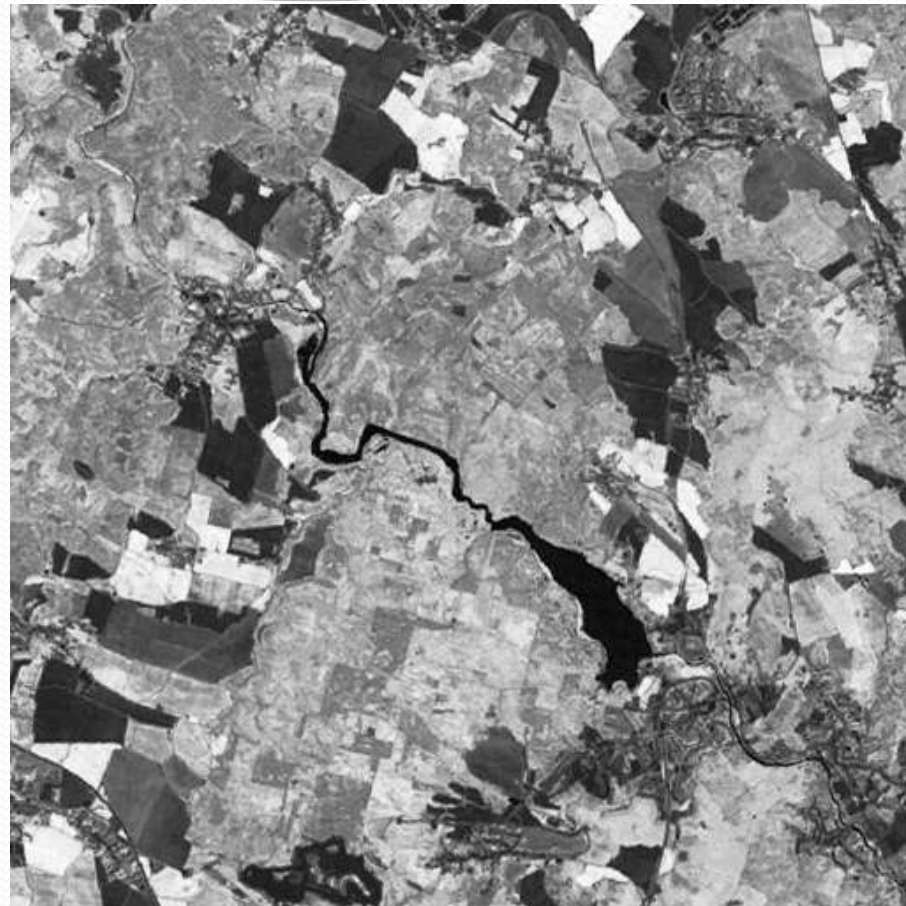
Vegetační indexy NDVI

- Typické hodnoty (AVHRR, podle Williams, 1995)

Povrch	NDVI
Velmi hustá vegetace	0.500
Středně hustá vegetace	0.140
Řídká vegetace	0.090
Holá půda	0.025
Oblačnost	0.002
Sníh a led	-0.046
Voda	-0.257



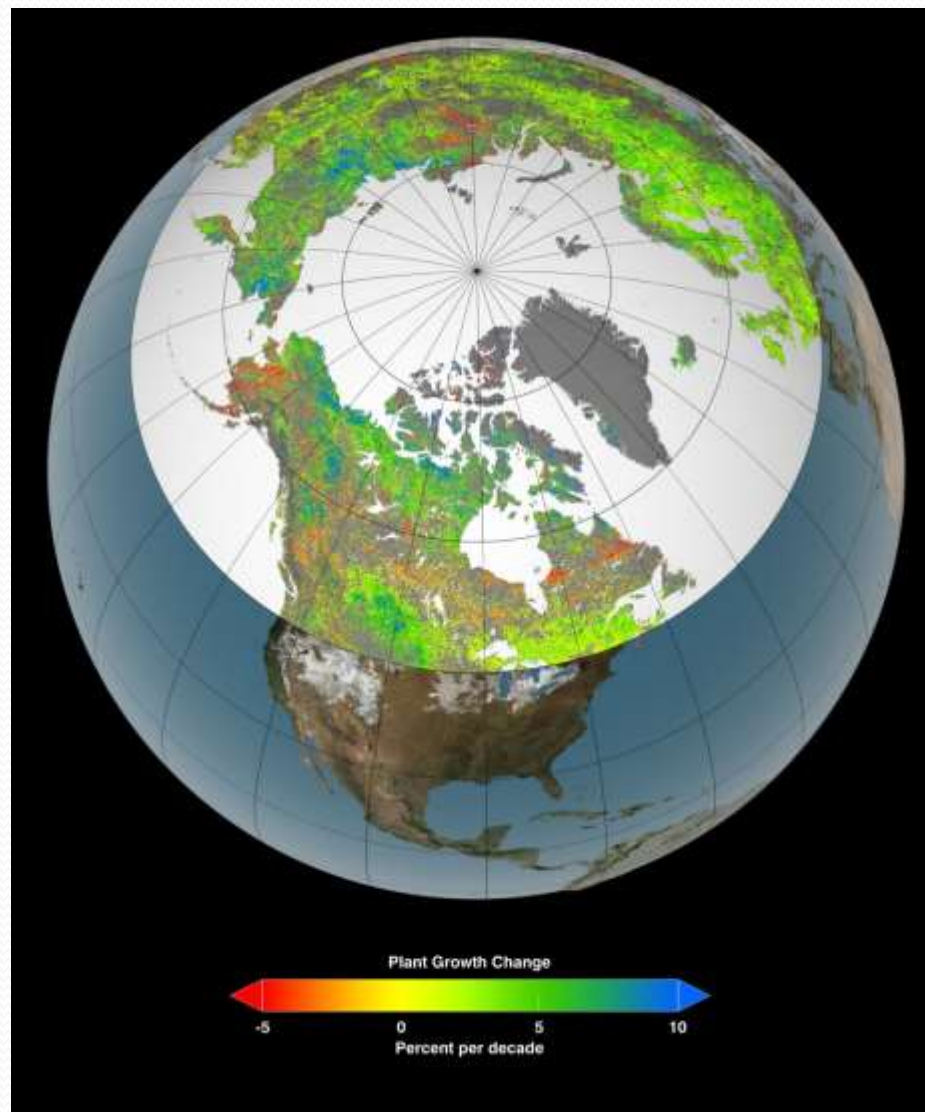
**Barevná syntéza snímků
v přirozených barvách**



**Vegetační
index**

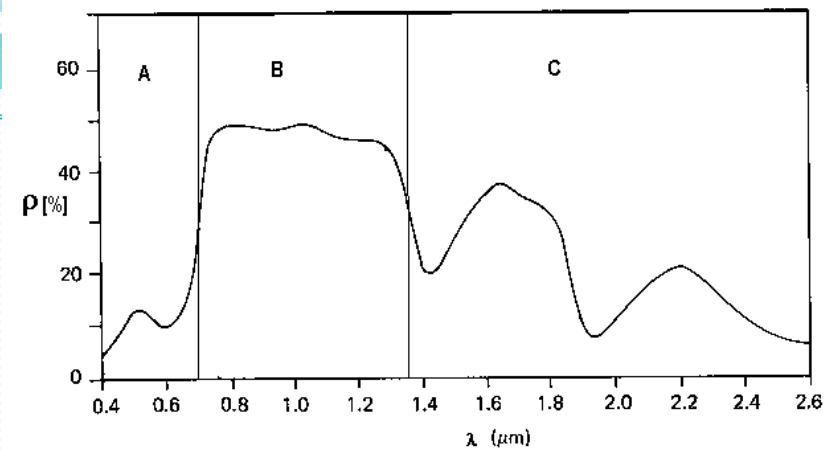
Dlouhodobé monitorování NDVI

- http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD13A2_E_NDVI&date=2015-01-01
- Nosič MODIS satelit Terra
- severně od 40 stupně s.z.š. dochází k postupnému nárůstu hodnot vegetačního indexu a také k pozvolnému prodlužování délky vegetačního období, které od počátku 80. let 20. století činí již několik dní
- k výraznějšímu růstu hodnot vegetačního indexu dochází v oblasti Euroasie, k pozvolnějšímu v oblasti Severní Ameriky



Spektrální projev vegetace III.

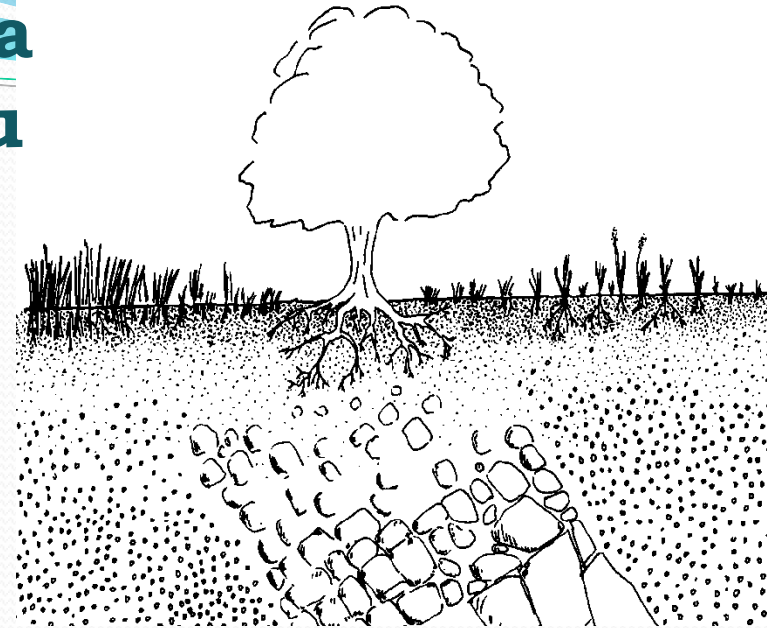
Oblast vodní absorpce (1,3-3,0 μm).



- **Odrazivost je formována absorpčními pásy vody se středy na vlnových délkách 1,4 , 1,9 a 2,7 μm .**
- **Lokální maxima odrazivosti se vyskytují na vlnových délkách 1,6 a 2,2 μm .**
- **V této části spektra je odrazivost přibližně nepřímo úměrná obsahu vody v listu.**
- **Změny ve vodním obsahu - tedy například vodní stres rostlin - se projeví nejvíce právě v těchto vlnových délkách.**

Spektrální projev vegetace a vlastnosti půdního substrátu

- **Odrazivost vegetace formuje složení půdy, obsah živin, přítomnost některých minerálů.**



- **Nedostatek Fe či Mg se projeví ve sníženém obsahu chlorofylu a vede tedy ke změně spektrálního chování (žloutnutí listů), některé prvky (Bor) způsobují naopak nadměrný růst rostlin tzv. gigantismus**

- **Spektrálních projevů rostlin může být částečně využito ke zjišťování přítomnosti některých druhů minerálů či hornin.**

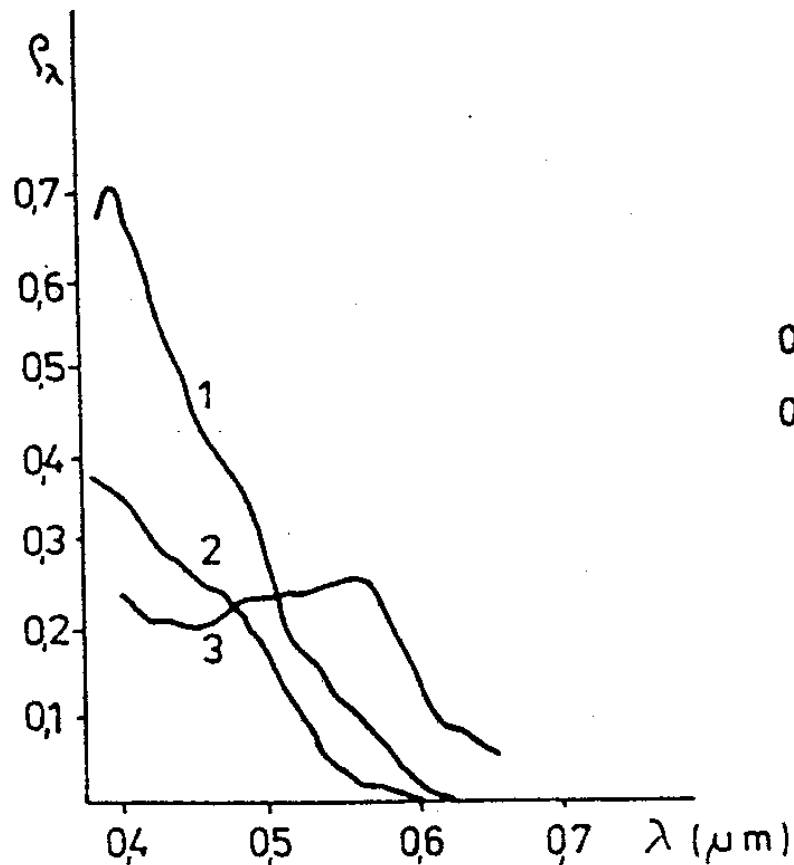
Spektrální projev vody

Z hlediska odrazových vlastností jsou pro vodu důležité především následující skutečnosti:

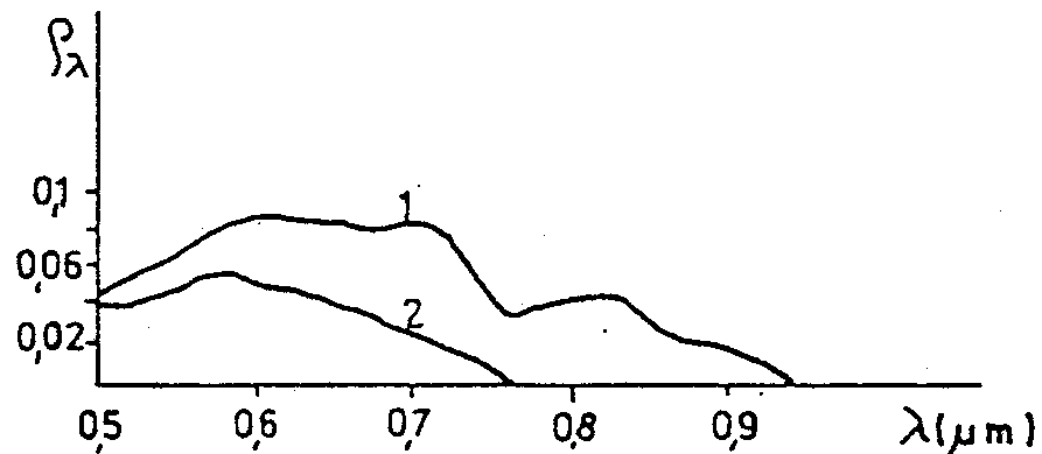
- Oproti jiným materiálům či povrchům jde o látku poměrně homogenní**
- Může se na snímcích vyskytovat v různých skupenstvích, jejichž odrazové vlastnosti se liší**
- Její odrazové vlastnosti jsou odlišné od jiných běžných povrchů**
- Modifikuje spektrální chování všech látek v nichž je přítomna**
- Spektrální projev závisí na povrchu hladiny (hladký, drsný)**

Spektrální projev vody

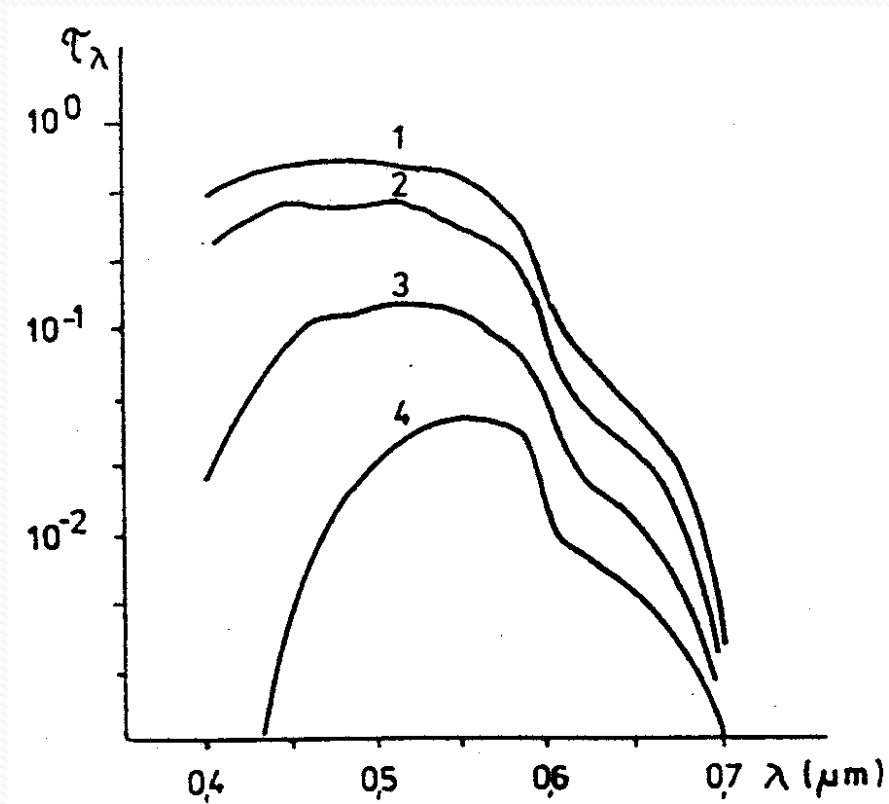
- V kapalném skupenství se voda vyznačuje velmi nízkou odrazivostí ve všech vlnových délkách.
- Maximální propustnost vody připadá na vlnovou délku kolem 0,48 μm (modré světlo).
- V těchto vlnových délkách proniká záření do hloubky až 20 metrů.
- Ve vlnových délkách 0,5-0,6 μm lze získat údaje v čisté vodě až do hloubky 10-15m, pak prostupnost klesá a v pásmu 0,8-1,1 μm dosahuje už jenom 10cm.
- V IČ části spektra se voda chová téměř jako absolutně černé těleso – intenzivně pohlcuje záření a na snímcích se jeví jako nejtmavší.
- Jakékoliv příměsi ve vodě zvyšují její odrazivost ve žlutozelené části spektra
- Růst obsahu chlorofylu se projeví poklesem odrazivosti v modré části spektra a vzrůstem v části zelené (umožňuje sledování koncentrace vodních řas)



**Spektrální odrazivost
mořské vody s různým
obsahem chlorofylu: 1 –
velmi nízký obsah, 2 –
nízký obsah, 3 – vysoký
obsah**



**Spektrální odrazivost vody s
vysokým obsahem kalu (1) a
čisté jezerní vody (2)**



Spektrální propustnost desetimetrové vrstvy vody: 1 – destilovaná voda, 2 – oceán, 3 – pobřežní vody, 4 - záliv





**Pronikání „modrého“ světla vodním sloupcem,
Havajské ostrovy**



**Mapování biologické aktivity
povrchové vody, pobřeží
Peru**

**snímek z družice AQUA
(MODIS)**

Spektrální projev vody

- V oblasti termálního záření lze z množství emitovaného dlouhovlnného záření zjišťovat radiační teplotu vodních ploch (SST).
- V oblasti mikrovln jsou odrazové vlastnosti vodních objektů výrazně závislé například na drsnosti povrchu

http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MYD28M&d2=MYDAL2_M_SKY_WV

Spektrální projev sněhu a ledu

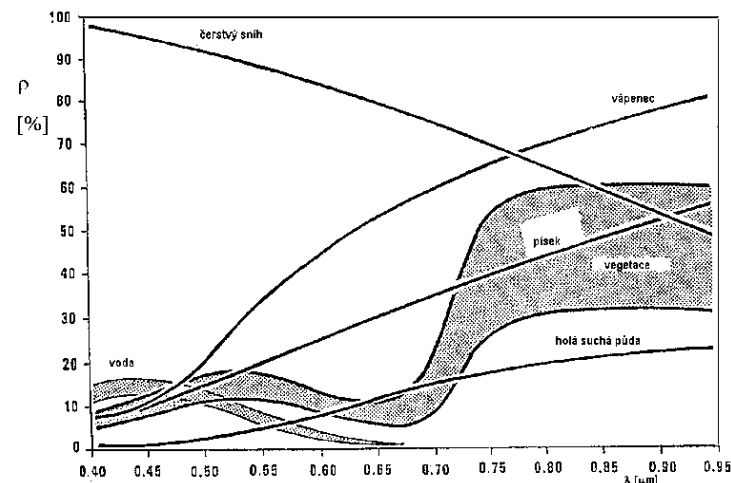
- Ve viditelné a blízké infračervené části spektra mají sníh a led vysokou odrazivost.

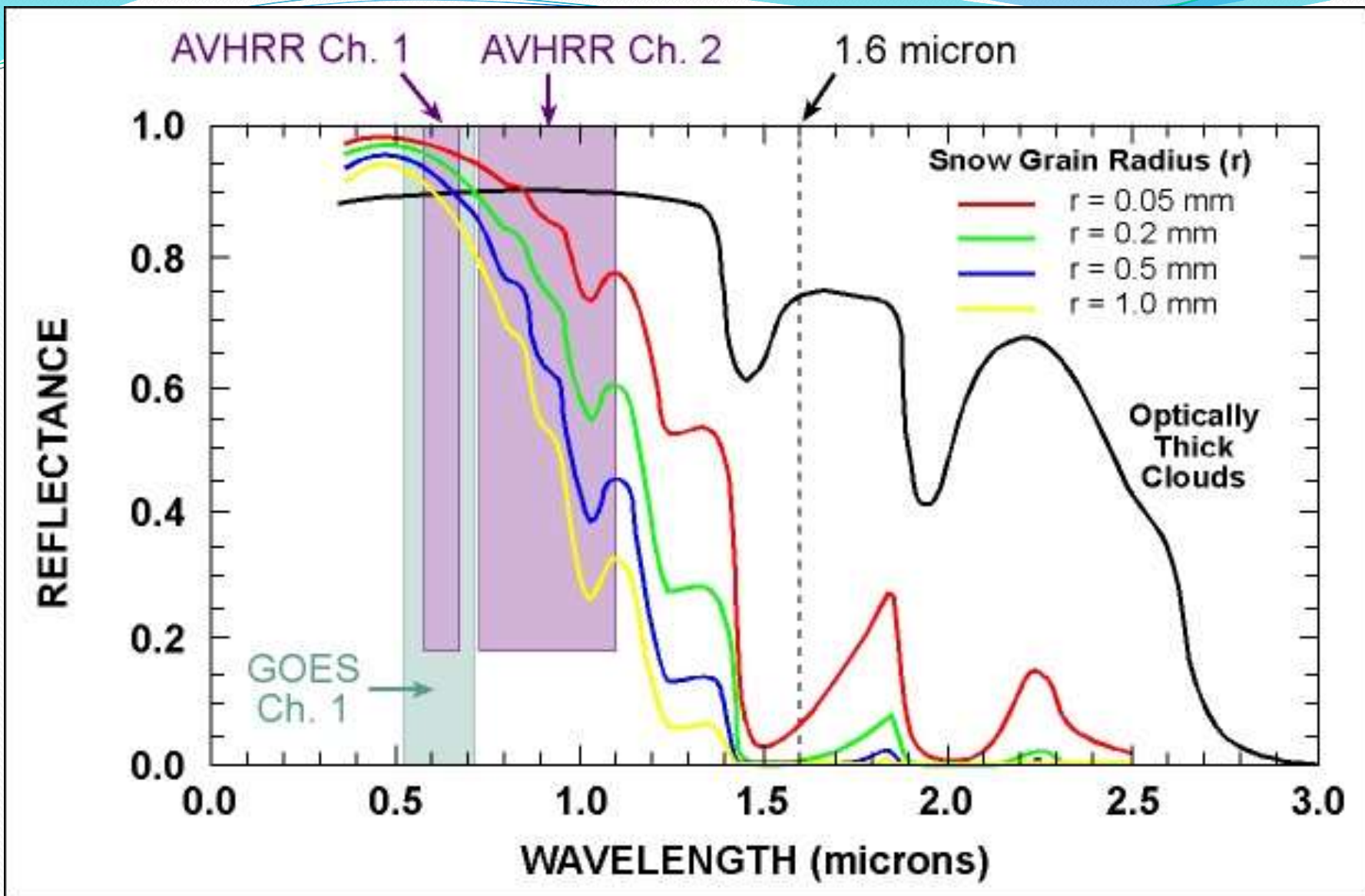
- Odrazivost čerstvě napadlého sněhu převyšuje odrazivost ostatních povrchů. Další vliv na odrazivost má velikost sněhových částic – větší částice mají nižší odrazivost.

- Podobně vysokou odrazivost mají horní vrstvy oblačnosti, tvořené ledovými krystalky.

- Odlišení oblačnosti (ledu) a sněhu lze provést ve středním infračerveném pásmu, ve kterém je odrazivost sněhu významně nižší než odrazivost oblačnosti. Sníh zde má odrazová minima v rozmezí 1,55-1,75 a 2,1-2,3 μm .

- Vodu v kapalném skupenství a led lze dobře odlišit v oblasti mikrovln (na radarových snímcích) - to umožňuje monitorování procesu tání sněhu a ledu.





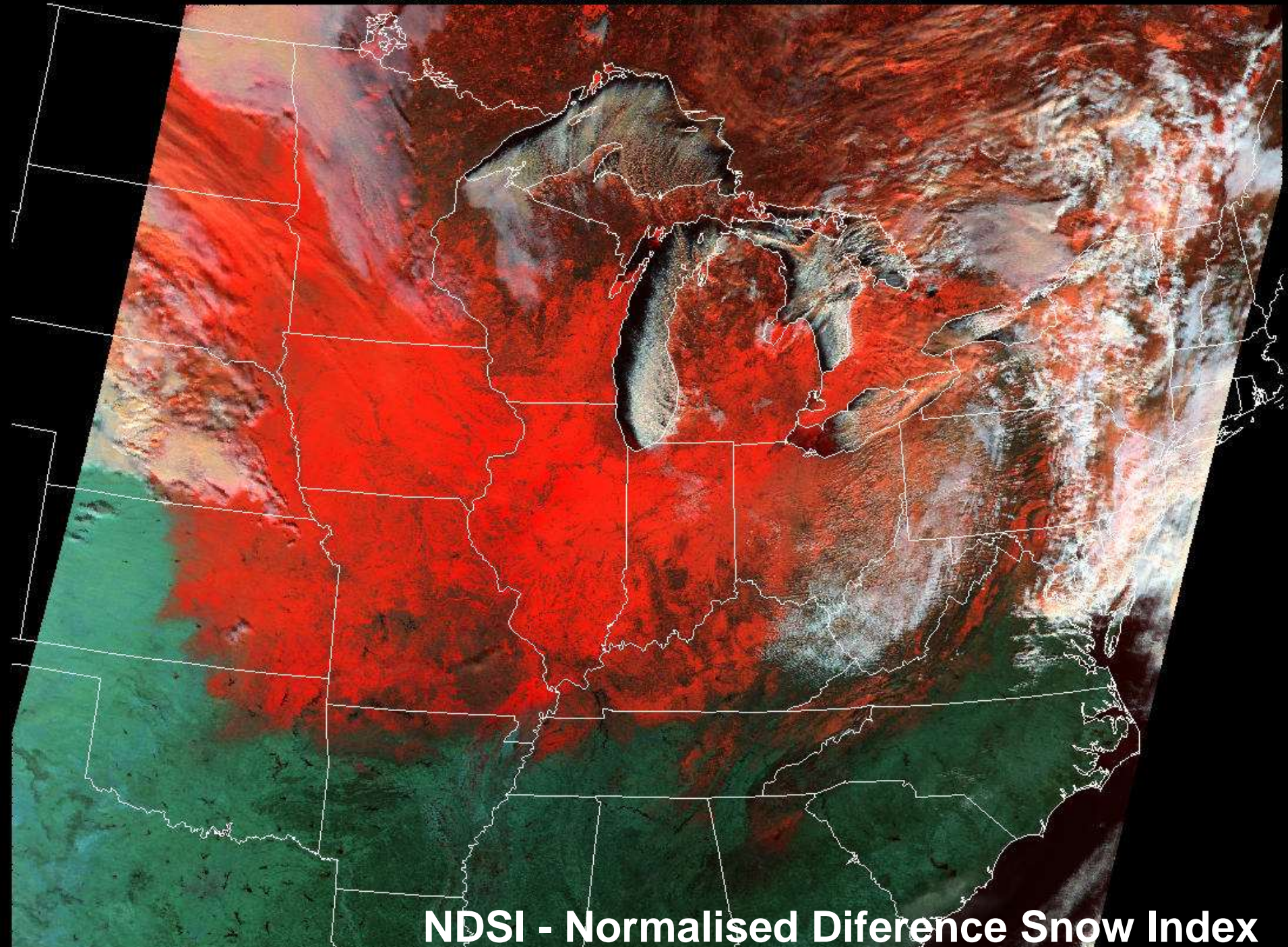
NDSI - Normalised Difference Snow Index

Princip výpočtu stejný jako NDVI - porovnání odrazivosti v pásmech se středy na vlnových délkách přibližně 0,66 μm a 1,6 μm . Atmosféra je v těchto vlnových délkách transparentní, sněhová pokrývka velmi intenzivně odráží ve viditelné části spektra, ve střední IČ její odrazivost výrazně klesá:

$$NDSI = \frac{R_{0,66} - R_{1,6}}{R_{0,66} + R_{1,6}}$$

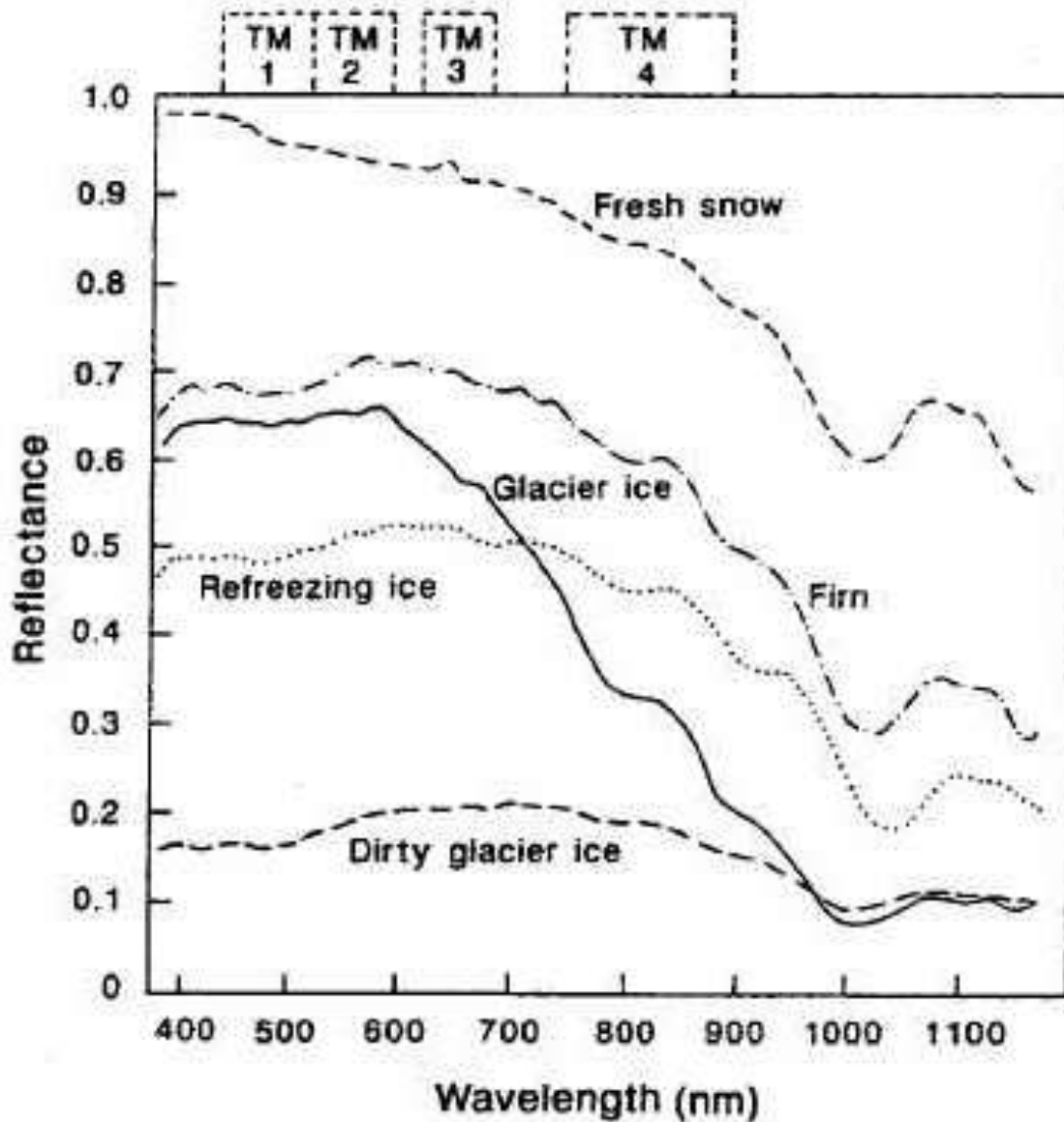
Na snímcích ve viditelné části spektra je sníh v důsledku vysoké odrazivosti velmi těžko rozpoznatelný od oblačnosti. Na 1,6 μm sníh záření výrazněji absorbuje a je tedy mnohem tmavší než oblačnost. Hodnoty NDSI menší než 0,4 indikují plochy pokryté sněhem.

http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD10C1_M_SN_OW&year=2014



NDSI - Normalised Difference Snow Index

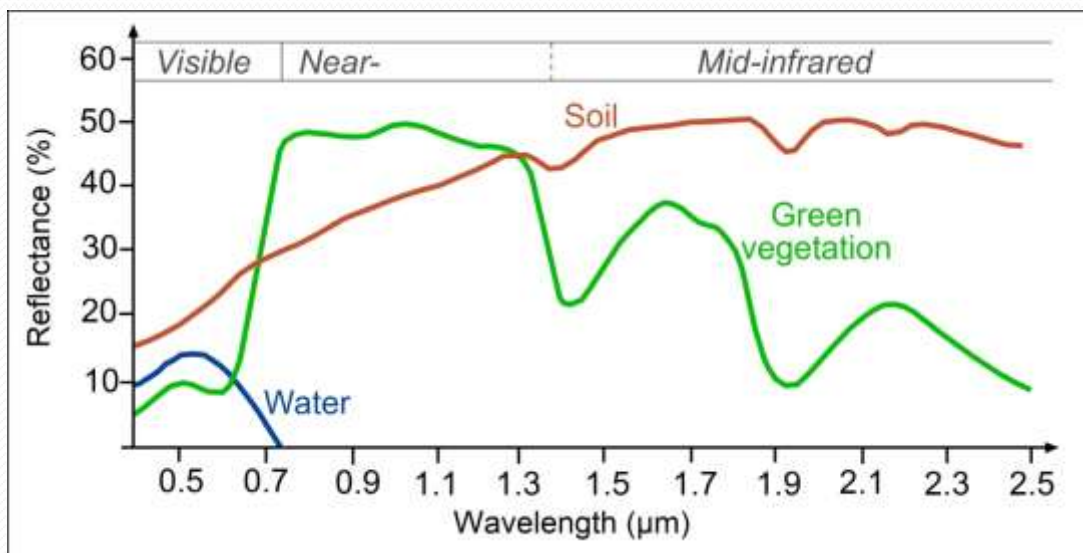
Spektrální projev sněhu a ledu různých vlastností



Spektrální projev půd

Spektrální vlastnosti půd formují především následující faktory:

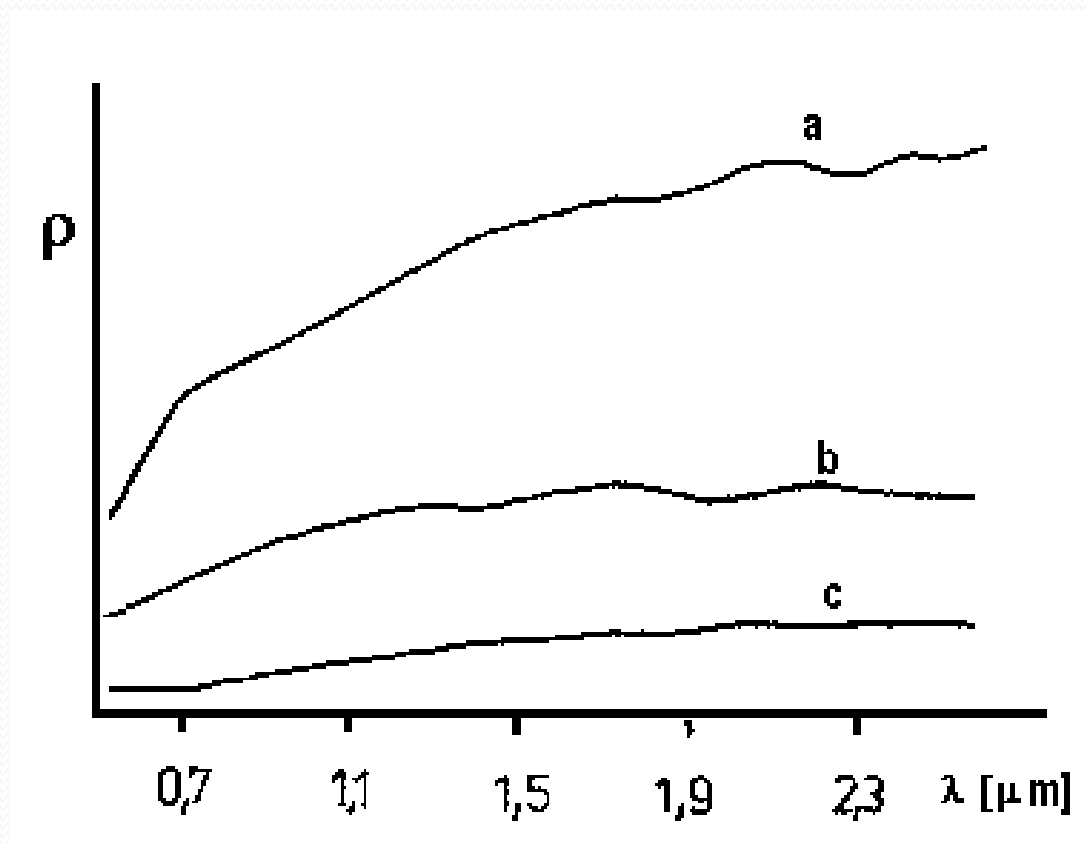
- **minerální složení**
- **půdní vlhkost**
- **obsah organických látek**
- **textura (drsnost) půdního povrchu**



Spektrální projev půd

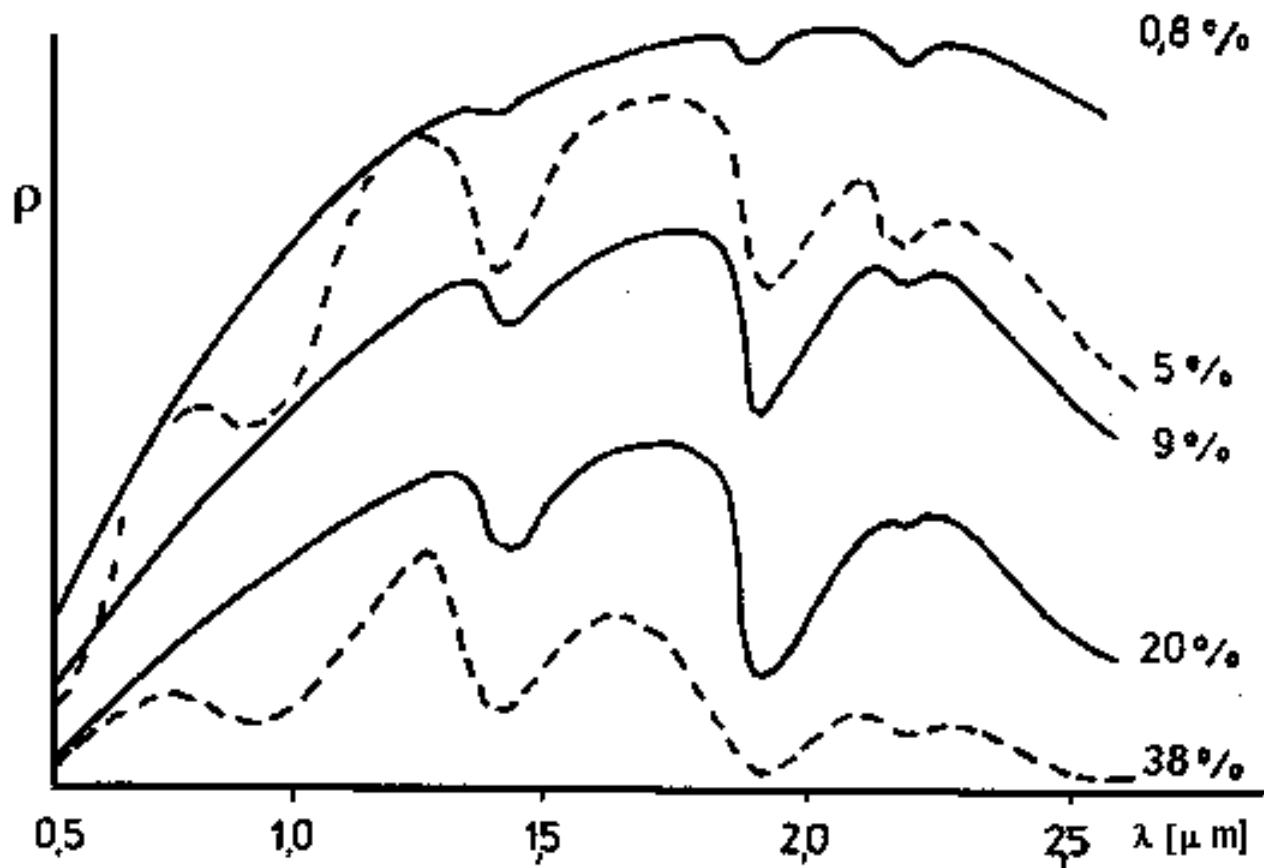
- **Půda je komplexem biotických a abiotických součástí - z hlediska spektrálních vlastností je povrchem značně heterogenním.**
- **Spektrální projev anorganického materiálu je jednodušší než u vegetace.**
- **Anorganické látky se obecně vyznačují pozvolným vzestupem odrazivosti se vzrůstající vlnovou délkou.**
- **Odchyłky od tohoto obecného schématu jsou způsobeny chemickým složením, mechanickými vlastnostmi, strukturou povrchu, erozními procesy apod.**

Schematizované spektrální chování písčité půdy (a), jílovité půdy (b) a spraši (c) v blízké infračervené části spektra



Spektrální projev půd

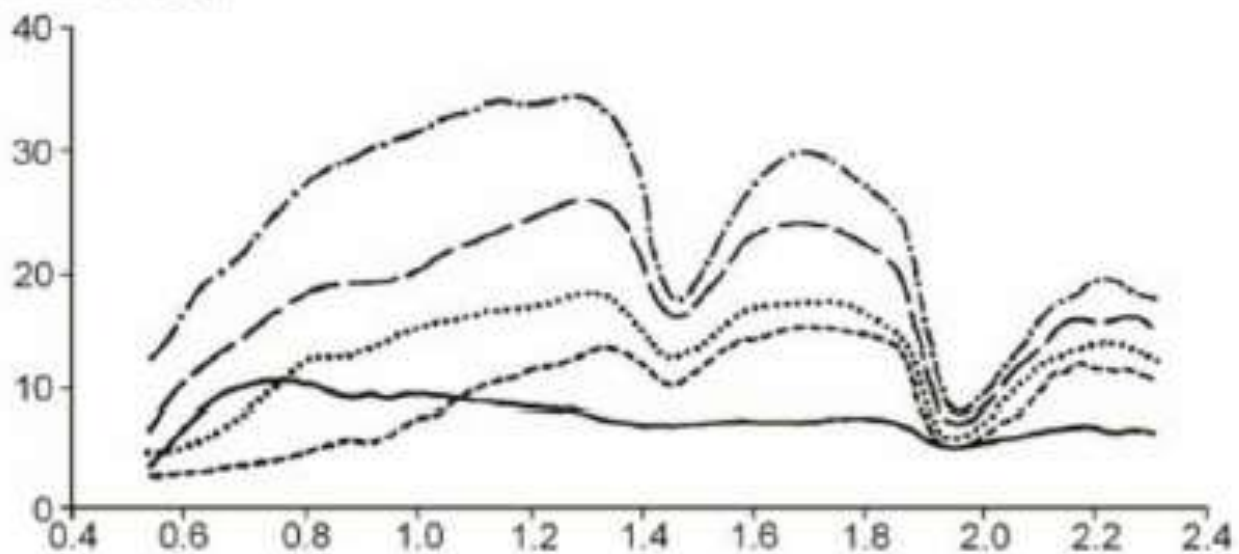
- Vyšší vlhkost půdy způsobuje její sníženou odrazivost.**
- Obsah půdní vláhy často silně koreluje s texturou půdy.**
- Hrubé písčité půdy s nízkým obsahem půdní vláhy mají vyšší odrazivost.**
- Špatně odvodňované půdy s jemnozrnnou strukturou budou mít obecně nižší odrazivost.**
- Minerální složení se projevuje v charakteristickém zabarvení půdy.**
- V oblasti mikrovln je množství odraženého či emitovaného dlouhovlnného záření ovlivňováno především vlhkostí a drsností povrchu.**



Schematizované spektrální chování různě vlhké prachovité hlíny (plná čára) a jílu (čárkovaná čára) v části viditelného a blízkého infračerveného elektromagnetického spektra

Vliv obsahu příměsí

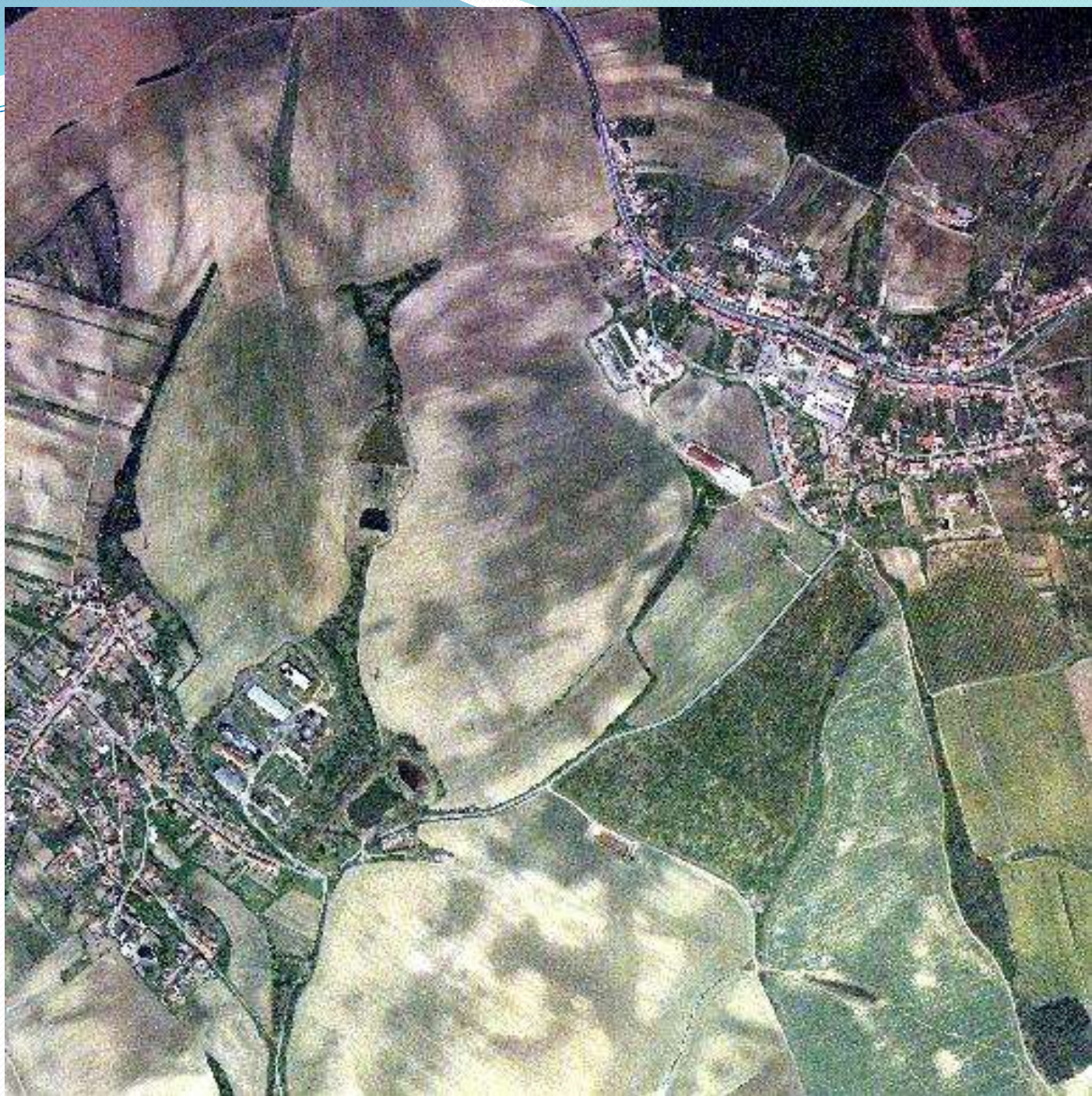
obousměrný faktor
odrazivosti (%)



- vysoký obsah humusu
- nízký obsah humusu
- bez příměsí
- nízký obsah železa
- vysoký obsah železa

vlnová délka (μm)

Spektrální odrazivost půd s různým obsahem humusu a železa



Spektrální projev minerálů a hornin

Vhodnými oblastmi spektra, ve kterých lze dobře charakterizovat odrazové vlastnosti jednotlivých hornin a především minerálů, jsou střední infračervené vlnové délky a také oblast termálního záření

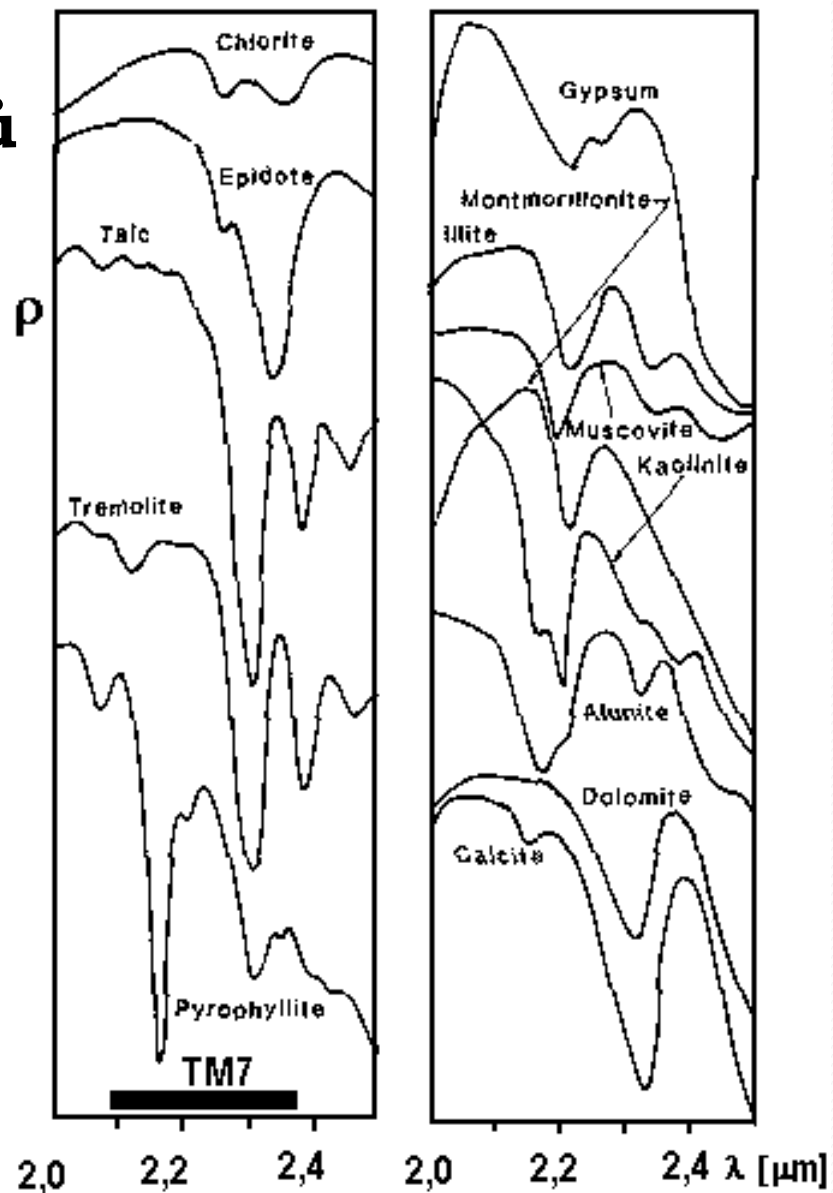
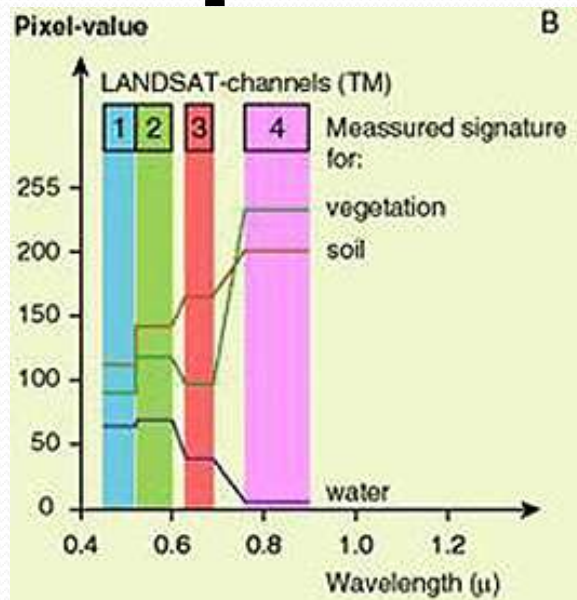
Chemické složení určuje spektrální chování hornin ve viditelném a infračerveném oboru spektra.

V oblasti termálního záření je pro jednotlivé druhy hornin charakteristická jejich tepelná kapacita.

V oblasti mikrovln ovlivňují vzhled snímků především dielektrické vlastnosti.

Spektrální projev minerálů

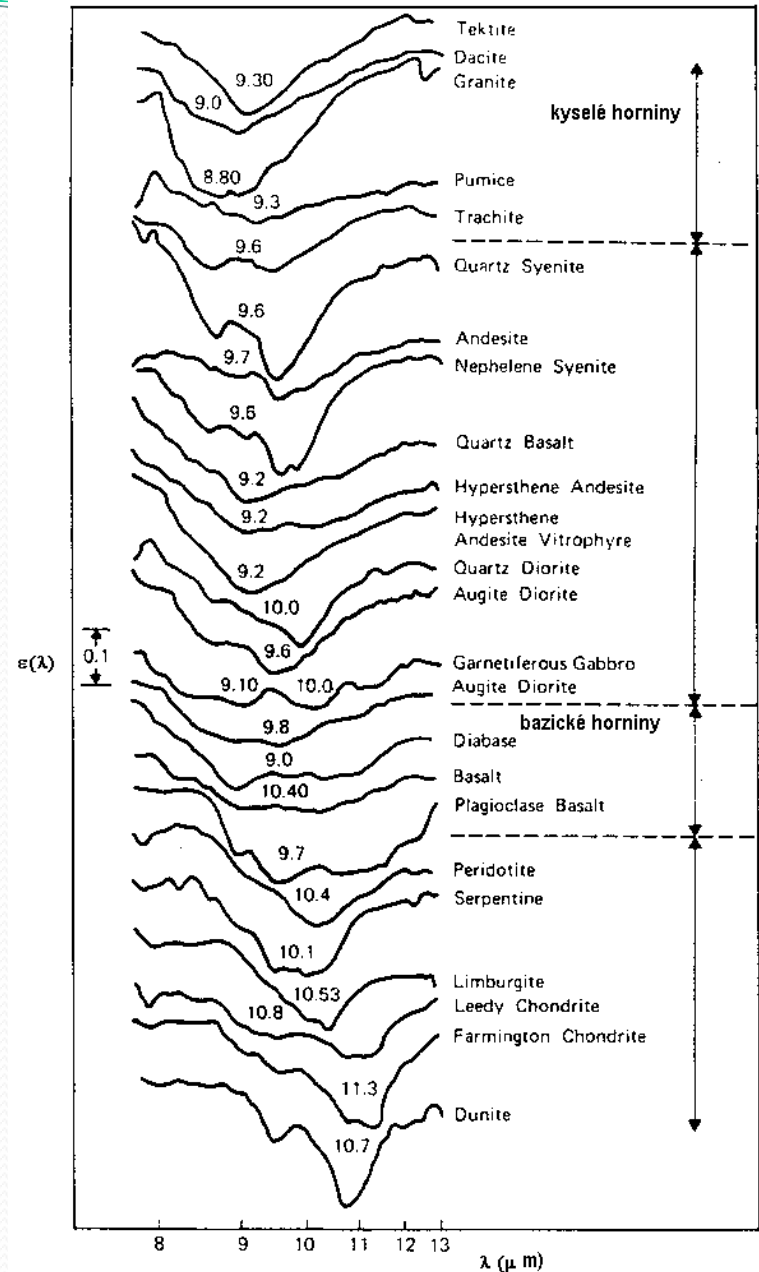
V křivkách spektrálního chování jednotlivých minerálů lze poměrně přesně lokalizovat absorpční pásy způsobené jednotlivými chemickými prvky či sloučeninami a také pásy způsobené přítomností vody



Spektrální projev hornin

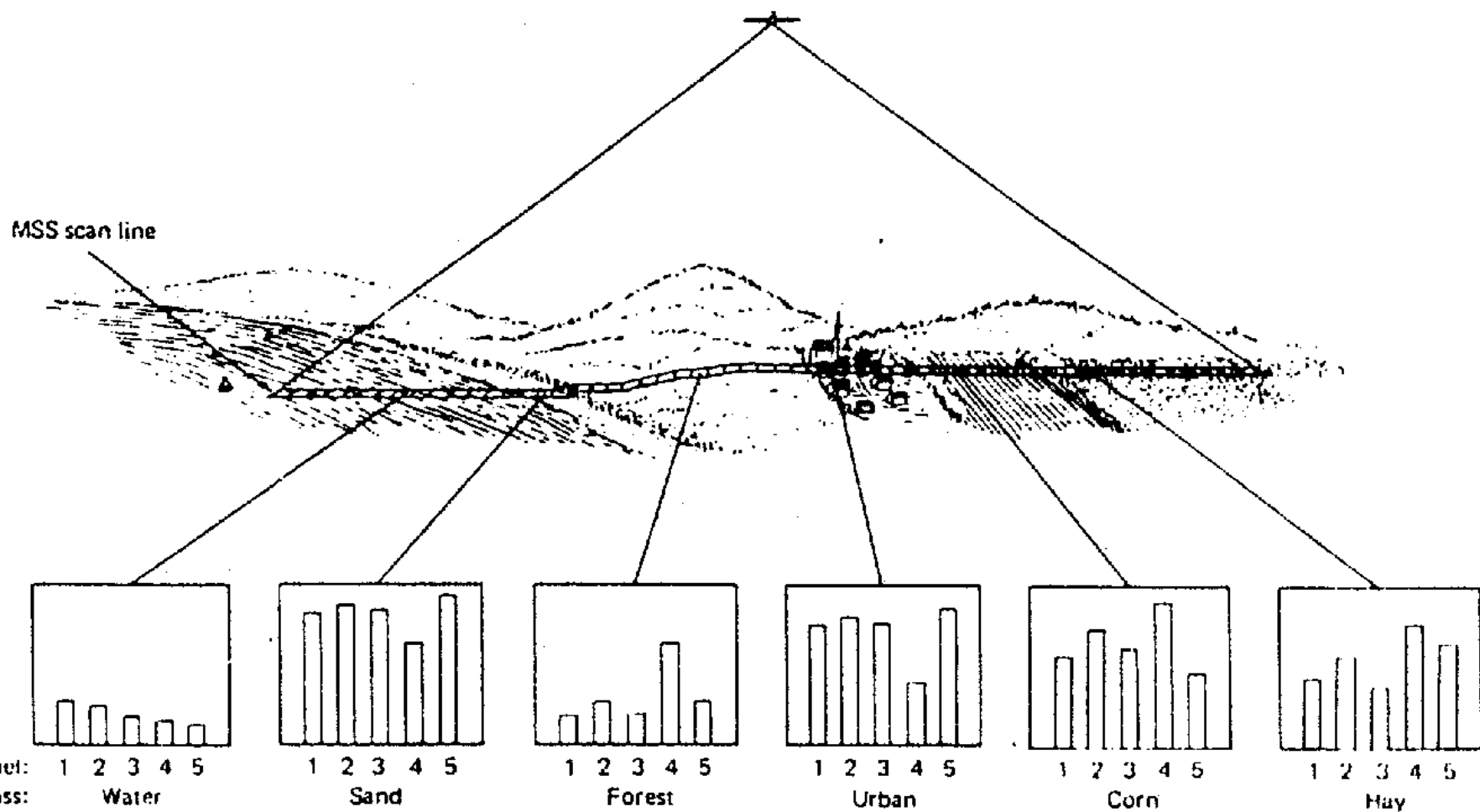
Výsledný tvar spektrální křivky odrazivosti hornin ovlivňují hlavně absorpční pásy ve spektru minerálů a jejich rozmístění je dáno chemickým složením a krystalickou stavbou.

V dlouhovlnné části spektra, ve které převažuje intenzita vyzařování nad intenzitou odraženého záření hovoříme o křivkách spektrální emisivity



Spektrální příznaky

Ze spektrálního chování tedy lze pro každý objekt odvodit tzv. **spektrální příznaky**. Tyto příznaky jsou pro daný typ povrchů typické.



Příznakový prostor

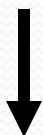
- **Jednotlivé spektrální příznaky definují osy vícerozměrného prostoru**
- **Ten označujeme jako příznakový prostor.**
- **Definování spektrálních příznaků a jejich poloha v příznakovém prostoru jsou důležitým krokem při automatickém rozpoznávání objektů na snímcích.**

1

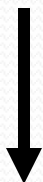
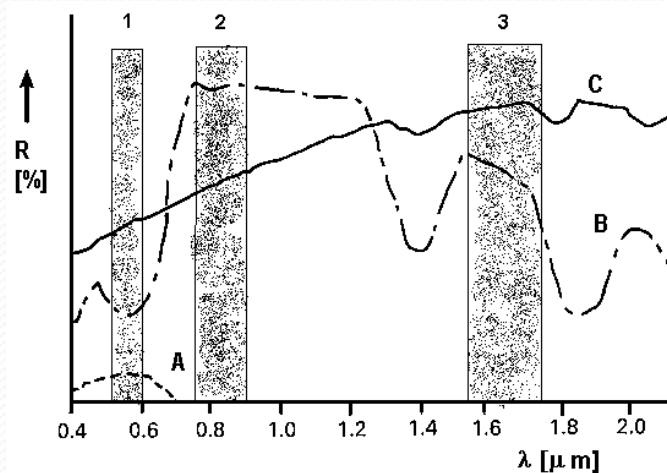
2

3

**Obrazový prostor
(Image space)**



**Spektrální prostor
(Spectral space)**



**Příznakový prostor
(Feature space)**

