

Dálkový průzkum Země

Spektrální vlastnosti krajinných objektů (spektrometrie),
vegetační indexy

RNDr. Ladislav Plánka, CSc.

Institut geodézie a důlního měřictví, Hornicko-geologická fakulta, VŠB - TU Ostrava

*Podkladové materiály pro přednáškový cyklus předmětu „Dálkový průzkum Země“
(jazyková ani odborná korektura neprovedena)*

Intenzita odraženého a emitovaného záření ...

... závisí na elektromagnetických vlastnostech látek, které závisejí na:

- druhu látky (objektu) - **druhov**é parametry
- okamžitém stavu látky/objektu - **stavov**é parametry (**druhov**é + **stavov**é parametry = **vnitřní parametry**)
- na druhu a stavu okolí (**vnějš**í parametry)

Znalost elektromagnetických vlastností látek a jejich okolí umožňuje z naměřených hodnot (odrazivosti, emisivity) určit, o jakou látku jde a v jakém je stavu. Pro určitou třídu objektů (vodní plocha, půda aj.) nabývá odrazivost v určité části spektra (pro určitou vlnovou délku) typických hodnot.

Každý objekt, každá látka má své specifické spektrální chování.

Určování odrazivosti

Optické vlastnosti prostředí lze určovat v reálném prostředí obtížně, a proto se i odrazivost často zjišťuje experimentálně.

Měření celkové odrazivosti znamená z téže plochy změřit intenzitu:

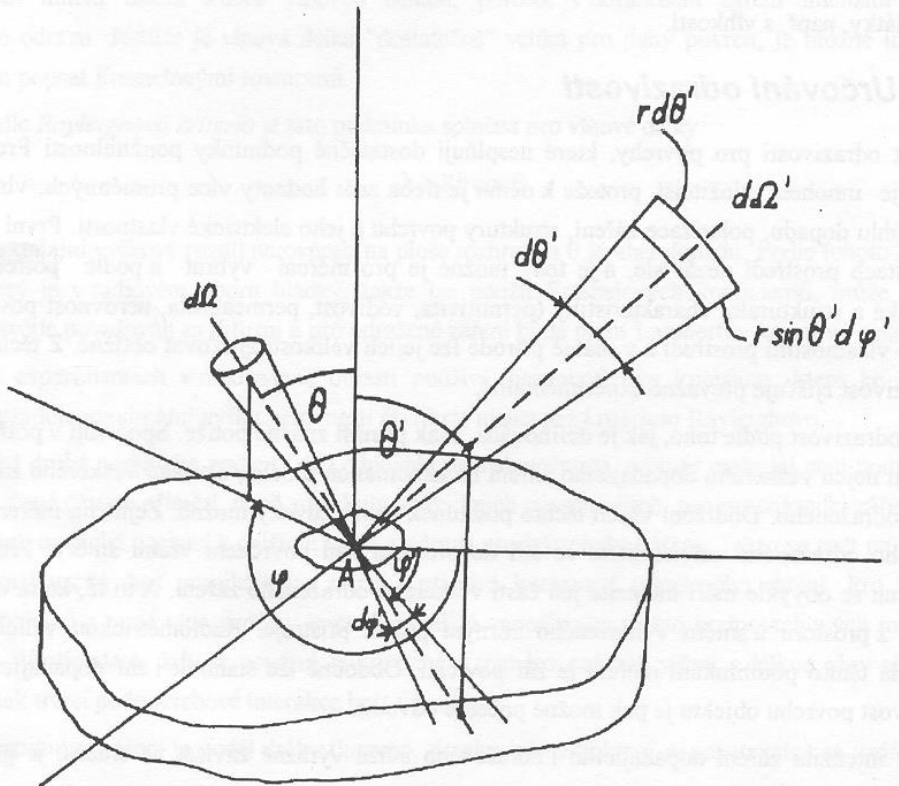
- veškerého dopadajícího záření a
- veškerého odraženého (a emitovaného) záření.

Určování odrazivosti

- V DPZ se měří intenzita pouze části odraženého záření, a to té části, která dopadá do přístroje z prostoru vymezeného zorným polem přístroje.
- Bývá měřena zář povrchu a zář dopadajícího záření.
- Pak lze odvodit odrazivost ρ z poměru odraženého a dopadajícího zářivého toku, tedy ze vztahu:

$$\rho = \frac{M_{\rho}}{E}$$

Určování odrazivosti



θ - zenitový úhel dopadajícího záření

φ - azimut směru dopadajícího záření

Ω - prostorový úhel dopadajícího záření

θ' - zenitový úhel odraženého záření

φ' - azimut směru odraženého záření

A – měřená plocha

$d\Omega = \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\varphi$ - elementární velikost prostorového úhlu

Určování odrazivosti

Odrazivé vlastnosti ozářené plochy popisuje **rozdělovací funkce odrazivosti** ve tvaru:

$$f(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = \frac{dL'(\theta', \varphi')}{dE(\theta, \varphi)}$$

θ/θ' - zenitový úhel dopadajícího/odraženého záření

φ/φ' - azimut směru dopadajícího/odraženého záření

E - intenzita ozáření plochy A

L' - zář plochy A

Určování odrazivosti

Po substituci

$$dE(\theta, \varphi) = L \cdot \cos \theta \cdot d\Omega = L \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \, d\theta \cdot d\varphi$$

má rozdělovací funkce odrazivosti tvar:

$$f(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = \frac{dL'(\theta', \varphi')}{L(\theta, \varphi) \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi}$$

Z tvaru rovnice vyplývá složitost a často i neproveditelnost měření záře přímo na povrchu.

Určování odrazivosti

Nejblíže má k odrazivosti tzv. dvousměrová odrazivost, kterou lze v diferenciálním tvaru formalizovat takto:

$$d\rho(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = \frac{dL'(\theta', \varphi') \cdot \cos \theta' \cdot d\Omega'}{L(\theta, \varphi) \cdot \cos \theta \cdot d\Omega}$$

Jsou při ní porovnávány velikosti intenzit odraženého a okamžitého dopadajícího záření

Určování odrazivosti

Z porovnání odrazivosti a rozdělovací funkce vyplývá, že:

$$d\rho(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = f(\theta, \varphi, \theta', \varphi') \cdot \cos \theta' d\Omega'$$

Pokud se intenzita záření uvnitř prostorového úhlu nemění je:

$$\rho(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = f(\theta, \varphi, \theta', \varphi') \cdot \cos \theta' \cdot \Omega'$$

Nevýhodou dvousměrové odrazivosti je závislost na Ω' , tedy na přístrojové technice.

Koeficient záře

Koeficient záře R je definován poměrem záře zkoumaného objektu L' k záři srovnávacího standardu L'_s , a to:

- při stejné intenzitě,
- při stejných geometrických podmínkách.

$$R(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = \frac{L'(\theta', \varphi')}{L'_s(\theta', \varphi')}$$

Koeficient záře

Pro srovnávací standard platí:

- a) $M_s = \pi \cdot L_s$,
- b) látka je dokonalý odražeč,
- c) $M_s = E$.

Rozdělovací funkce odrazivosti standardu má tvar:

$$f_s = 1/\pi.$$

Z praktického hlediska je srovnávací standard realizován vrstvou síranu barnatého nebo oxidu magnéziového.

Vztah mezi koeficientem záře a rozdělovací funkcí odrazivosti:

Protože platí $f_s = 1/\pi$, je:

$$R = \frac{f \cdot E}{f_s \cdot E} = \frac{f}{f_s} = \pi \cdot f$$

Protože platí $R = \pi \cdot f$ a $d\rho(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = f(\theta, \varphi, \theta', \varphi') \cdot \cos \theta' d\Omega$,
je:

$$d\rho(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = 1/\pi R(\theta, \varphi, \theta', \varphi') \cos \theta' \cdot d\Omega'$$

Směrová odrazivost

Směrová odrazivost je integrální veličinou dvousměrové odrazivosti přes všechny příspěvky odraženého záření

$d\rho(\theta, \varphi, \theta', \varphi') = 1/\pi R(\theta, \varphi, \theta', \varphi') \cos \theta' \cdot d\Omega'$, tedy:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\rho \cdot d\theta' \cdot d\varphi' = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} R \cdot \cos \theta' \cdot \sin \theta' \cdot d\theta' \cdot d\varphi'$$

$$\rho(\theta, \varphi, 2\pi) = R(\theta, \varphi, 2\pi)$$

Směrová a poloprostorová odrazivost

- Veličina $\rho(\theta, \varphi, 2\pi)$ je směrová odrazivost.
- Poloprostorová odrazivost je součet směrových odrazivostí od každého směru dopadajícího záření. Lze ji popsat známým vztahem:

$$\rho = \frac{M_{\rho}}{E}$$

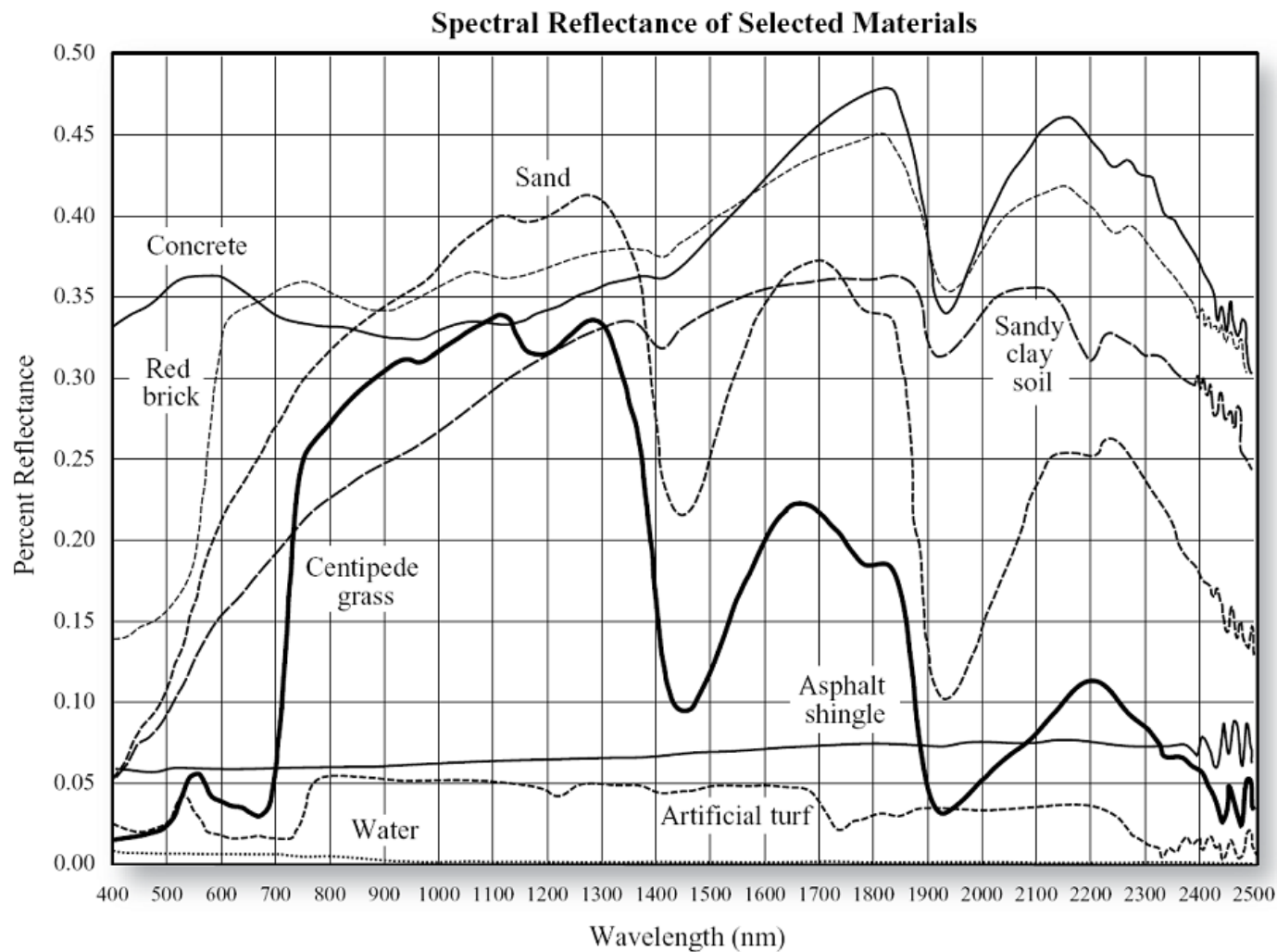
Diagram odrazivosti

(Viz DPZ_02_FYZIKA)

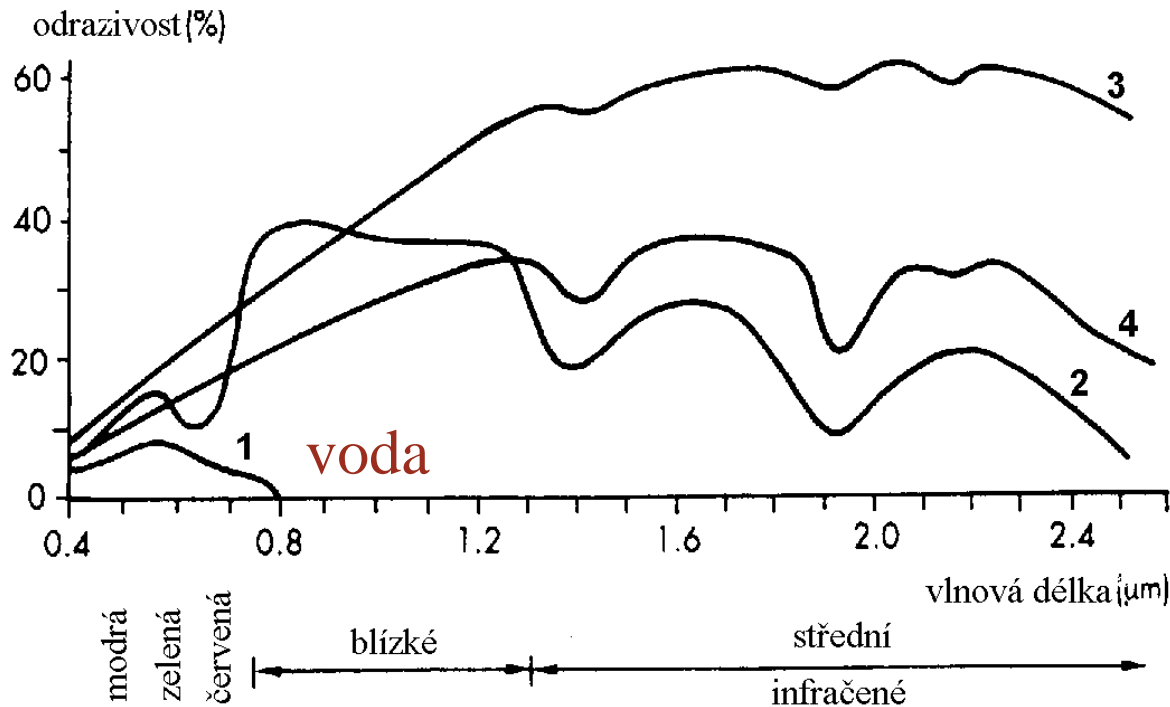
Vliv na velikost naměřených hodnot koeficientu záře nebo intenzity odraženého záření má:

- terénní nerovnost
- azimutální úhel směru měření (hraje významnou roli u zrcadlových a rýhovaných povrchů:
 - V intervalu $0 < \varphi' < \pi/2$ se může měnit koeficient záře 2 – 3 x u přírodních povrchů, v případě velkých terénních nerovností to může být až 5 – 6 x,
 - U zrcadlového odrazu vody je nárůst až 10x – odrazivost vody je nízká , ale při zrcadlovém odrazu je vysoká

Typické spektrální křivky odrazivosti vybraných povrchů



Křivky spektrální odrazivosti elektromagnetického záření

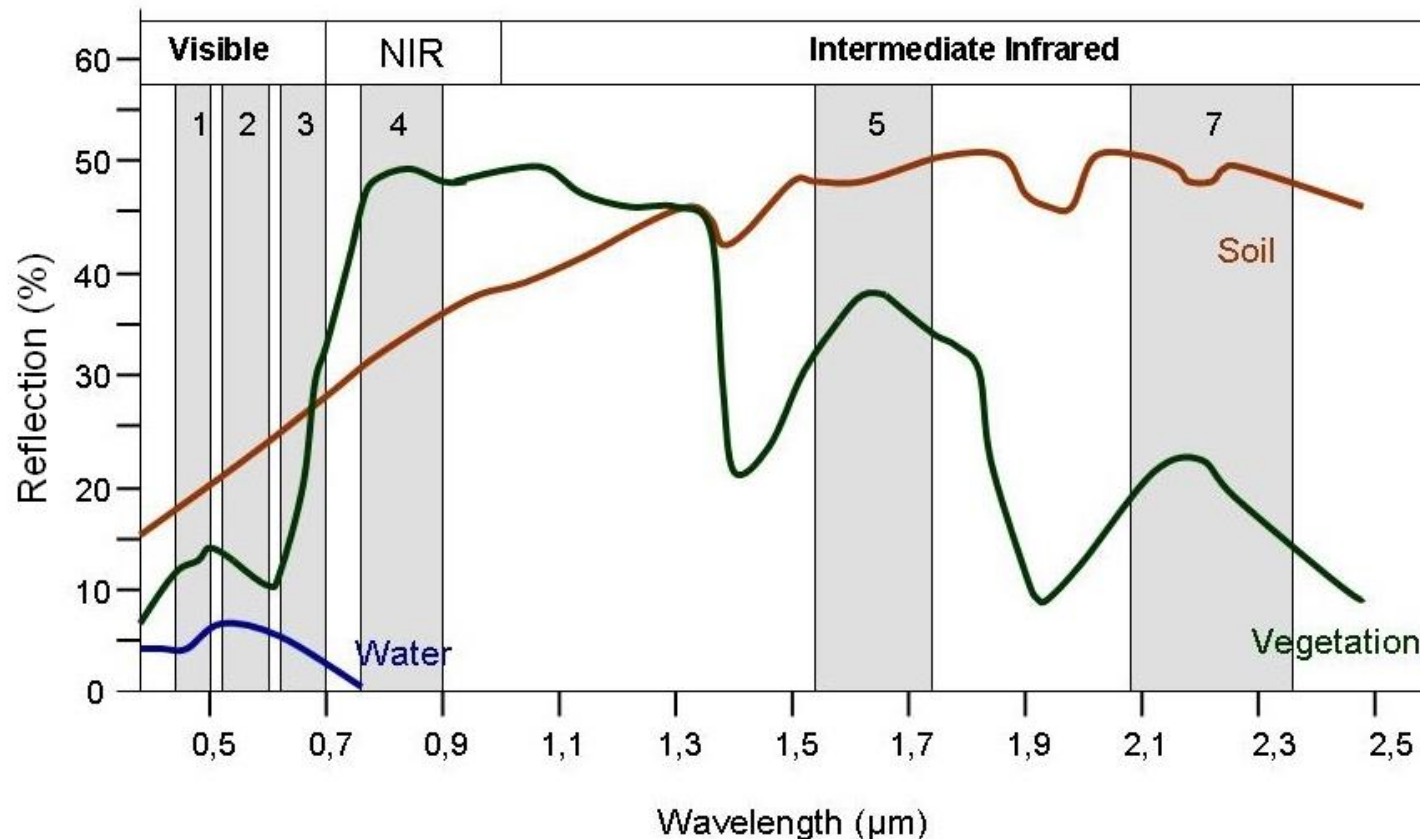


suchá půda

vlhká půda

vegetace

Křivky spektrální odrazivosti elektromagnetického záření



Typické spektrální křivky odrazu základních skupin přírodních objektů s vyznačením spektrálního rozlišení senzorů Landsat 7, <http://www.seos-project.eu/modules/remotesensing/images/Reflexionskurven.jpg>

Spektrální odrazivost vegetace

Spektrální odrazivost vegetace ...

Závisí na:

- obsahu vody v rostlině,
- obsahu minerálů v rostlině,
- hustotě a vrstevnatosti vegetačního krytu,
- ...

Spektrální odrazivost vegetace ...

... je výslednicí odrazivých a emisních vlastností i jednotlivých částí rostlin. **Největší vliv mají listy rostlin.**

Odrazivé vlastnosti listů jsou určeny:

- buněčnou tekutinou,
- celulózou,
- množstvím tuků, ligninu, proteinů, cukrů a olejů.

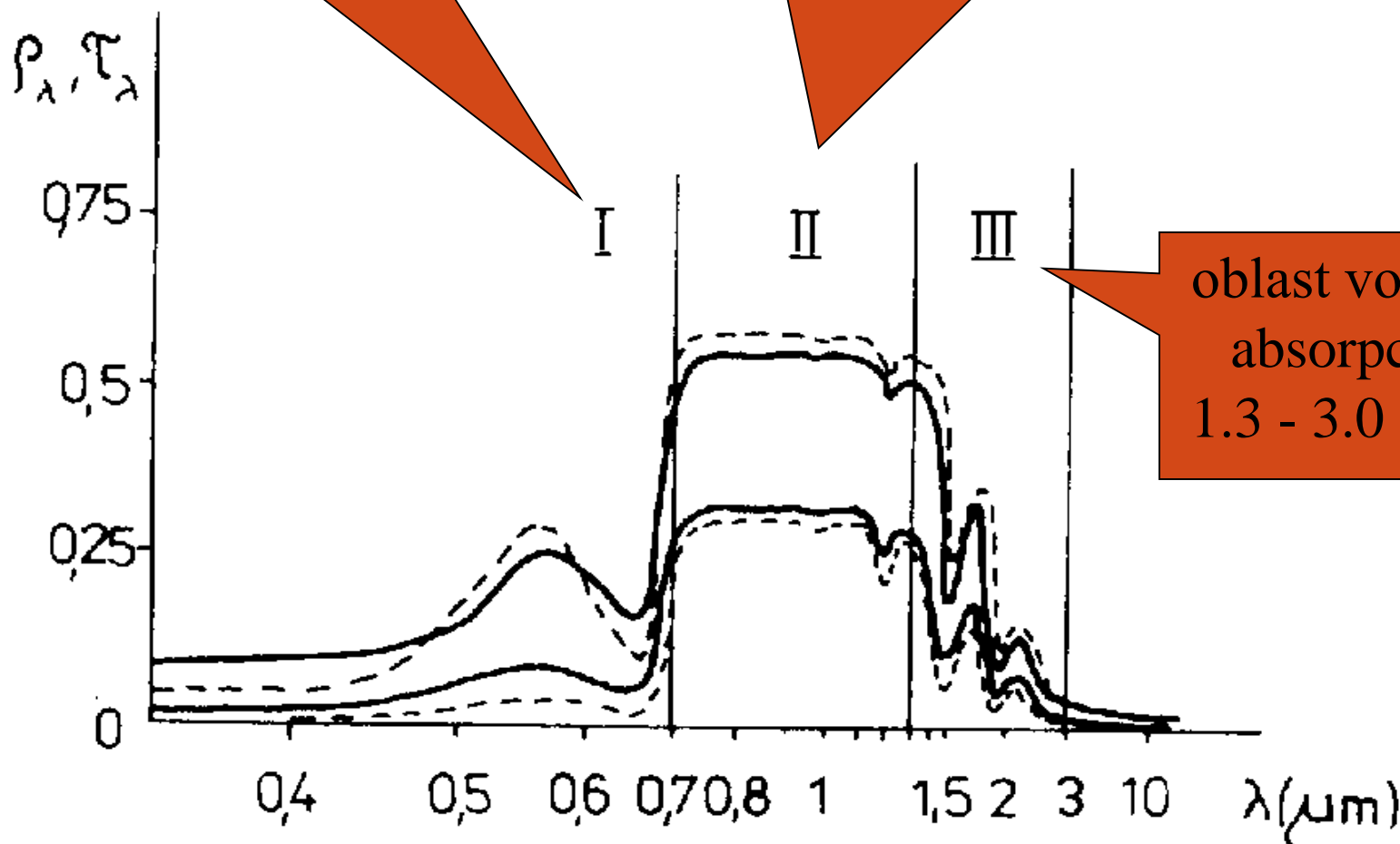
Odrazivost vegetace se obvykle sleduje ve třech základních částech spektra, a to v:

- oblast pigmentační absorpce (0,4 – 0,7 μm),
- oblast vysoké odrazivosti buněčné struktury (0,7 – 1,3 μm),
- oblast vodní absorpce (1,3 – 3,0 μm)

Spektrální odrazivost vegetace

oblast pigmentační
absorpce
0.4 - 0.7 μm

oblast vysoké odrazivosti buněčné
struktury
0.7 - 1.3 μm



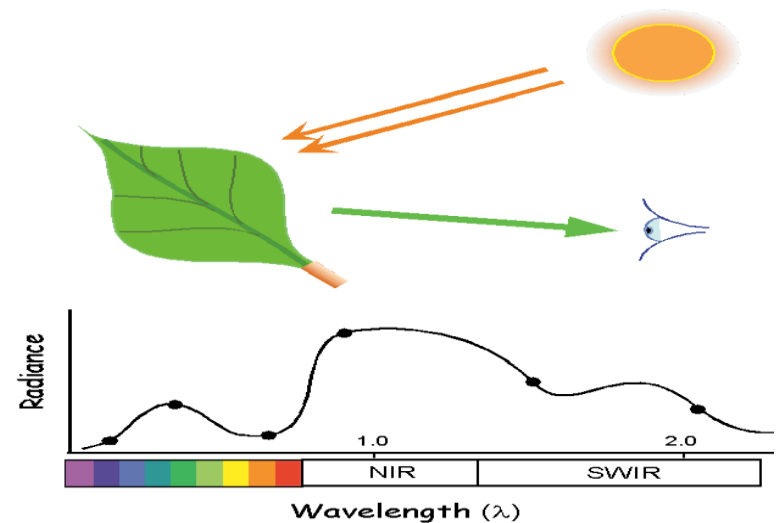
oblast vodní
absorpce
1.3 - 3.0 μm

Spektrální odrazivost vegetace

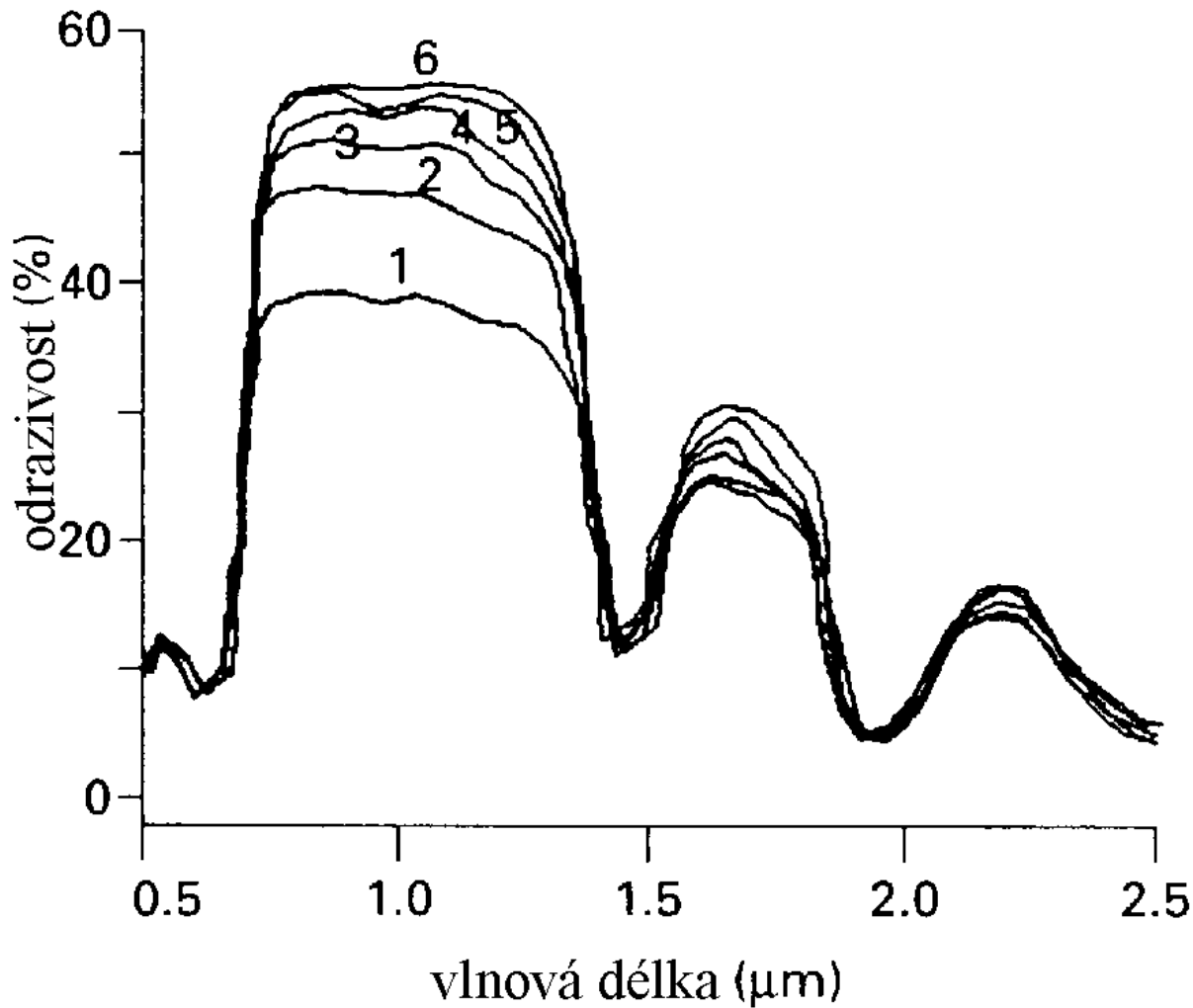
Vysoká odrazivost vegetace v blízkém infračerveném (NIR) pásu je dána několikanásobným odrazem záření uvnitř listu a jeho nízkou pohltivostí.

- chlorofyl - zelený pigment (pohlčuje v modrém pásu $0,45 \mu\text{m}$ a v červeném pásu $0,65 \mu\text{m}$, maximum pohltivosti v $0,54 \mu\text{m}$)
- karoten - žlutý pigment (absorpční pásmo $0,45 \mu\text{m}$)
- xanthofyly - žluté zbarvení listů, anthokyany - červené zbarvení

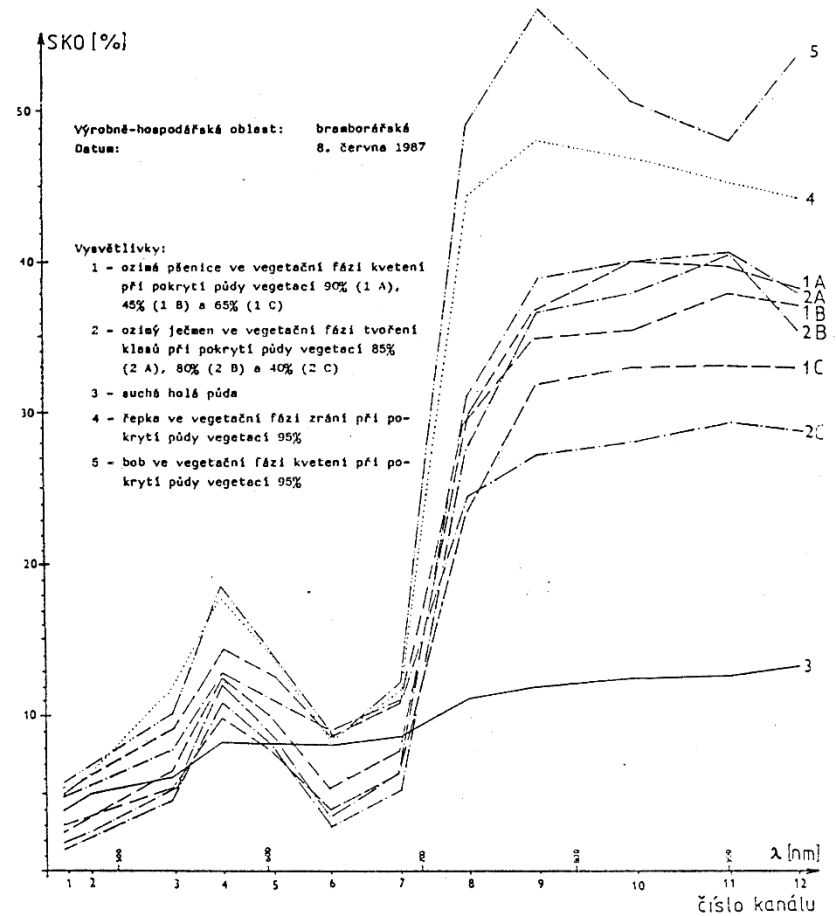
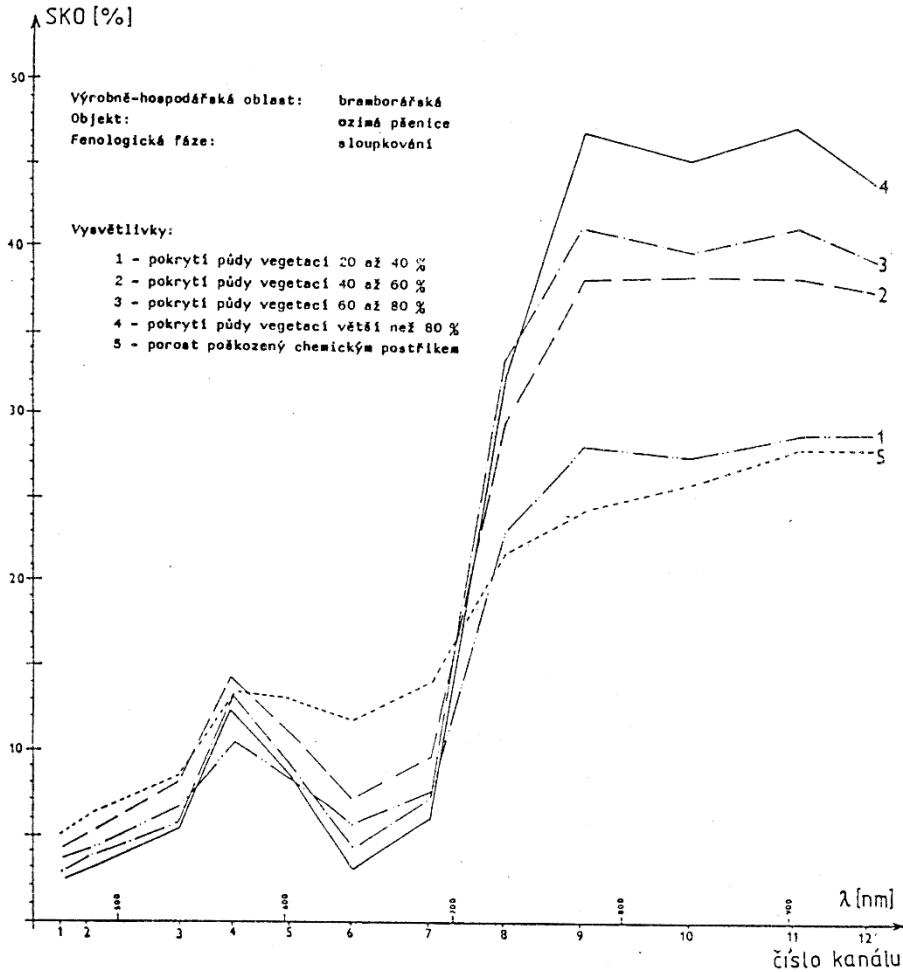
Pozn.: Stárnutí rostlin znamená úbytek chlorofylu a nárůst množství anthokyanu



Vliv počtu vegetačních vrstev na odrazivost



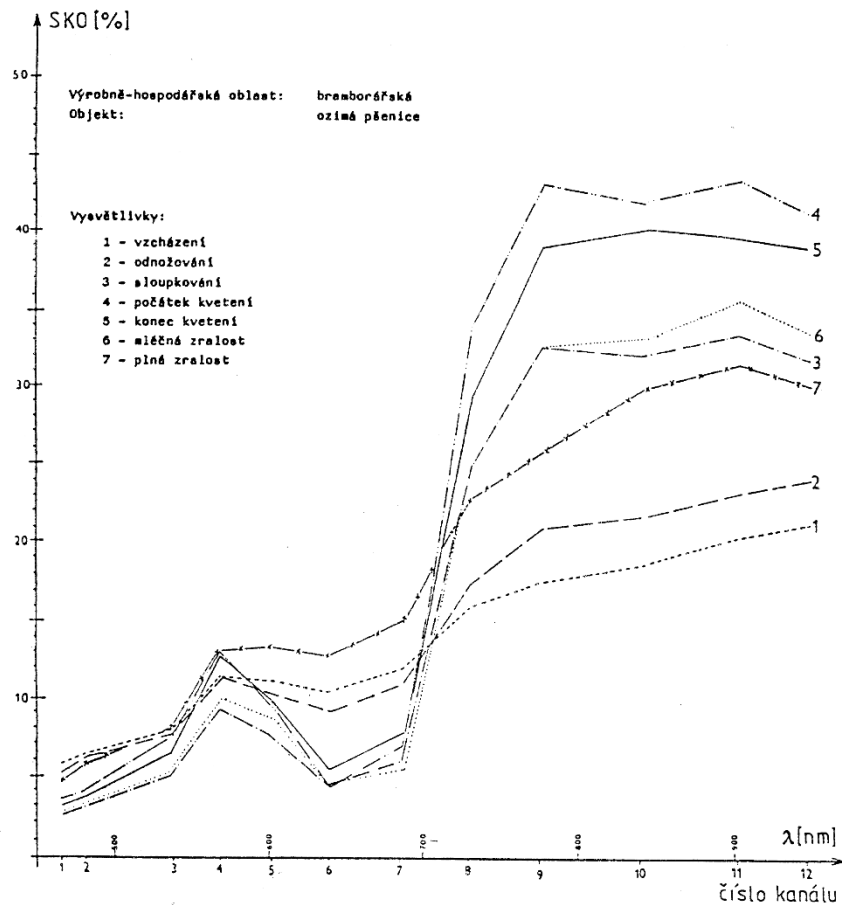
Bramborářská oblast



Pšenice ve fázi sloupkování; % pokrytí půdy vegetací

Všechny objekty, 8.6.1987

Bramborářská oblast, ozimá pšenice



Vývoj SKO v jednotlivých fenologických fázích

Spektrální/vegetační indexy

Vegetační indexy obecně

- Maximalizují citlivost na biofyzikální parametry rostlin tak, aby z výsledku bylo možno hodnotit stav a vegetační podmínky.
- Eliminují rušivý vliv externích činitelů – atmosféry, půdy aj.
- Pro validaci jsou navázány na některý z měřitelných parametrů vegetace (obsah chlorofylu, celková biomasa aj.)

Vegetační indexy obecně

R_{NIR} odrazivost v blízkém infračerveném pásmu (ve vzorcích uvádím NIR),

R_{R} odrazivost v červeném pásmu viditelného záření (ve vzorcích uvádím RED)

Konkrétní rozsahy vlnových délek, které vcházejí do výpočtů jsou různé, mnohé vegetační indexy jsou šité na konkrétní spektrometry na konkrétních družicích.

Spektrální/vegetační indexy

- Aritmetické operace s dvěma či více spektrálními pásmy.
- Cíl: na základě znalosti spektrální odrazivosti zvýraznit vegetační složku a její vlastnosti.

Rozdělení indexů:

- rozdílové (DVI)
- poměrové (jednoduché, NDVI, upravené NDVI),
- ortogonální (vzniklé lineární kombinací spektrálních pásem).

Rozdílové vegetační indexy

Difference Vegetation Index

$$DVI = NIR - RED$$

Poměrové vegetační indexy

Poměrové indexy lze počítat z dat všech systémů, které poskytují obrazové záznamy ve viditelné červené a blízké infračervené části spektra. Tyto indexy mohou korelovat s dalšími parametry vegetační složky, jako je například tzv. index listové pokrývnosti (LAI – Leaf Area Index), který udává celkovou plochu horní strany listů na horizontální jednotku plochy. LAI je kvantitativním ukazatelem celkové listové plochy, která v dané vegetaci může absorbovat záření potřebné pro proces fotosyntézy.

Jednoduché poměrové vegetační indexy:

- **Simple Ratio (SR)** byl první používaný vegetační index. Ze systému Landsat se pro jeho výpočet využívaly kanály TM3 a TM4.
- **Ratio Vegetation Index (RVI)**
- **Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI)**

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

$$SR = \frac{TM4}{TM3}$$

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

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$$

NDVI

NDVI, neboli Normalized Difference Vegetation Index (normalizovaný diferenční vegetační index) je dán obecným vztahem:

- $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$,

nebo jeho modifikací pro konkrétní spektro(radio)metr, jako je např. TM v systémech Landsat:

- $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$

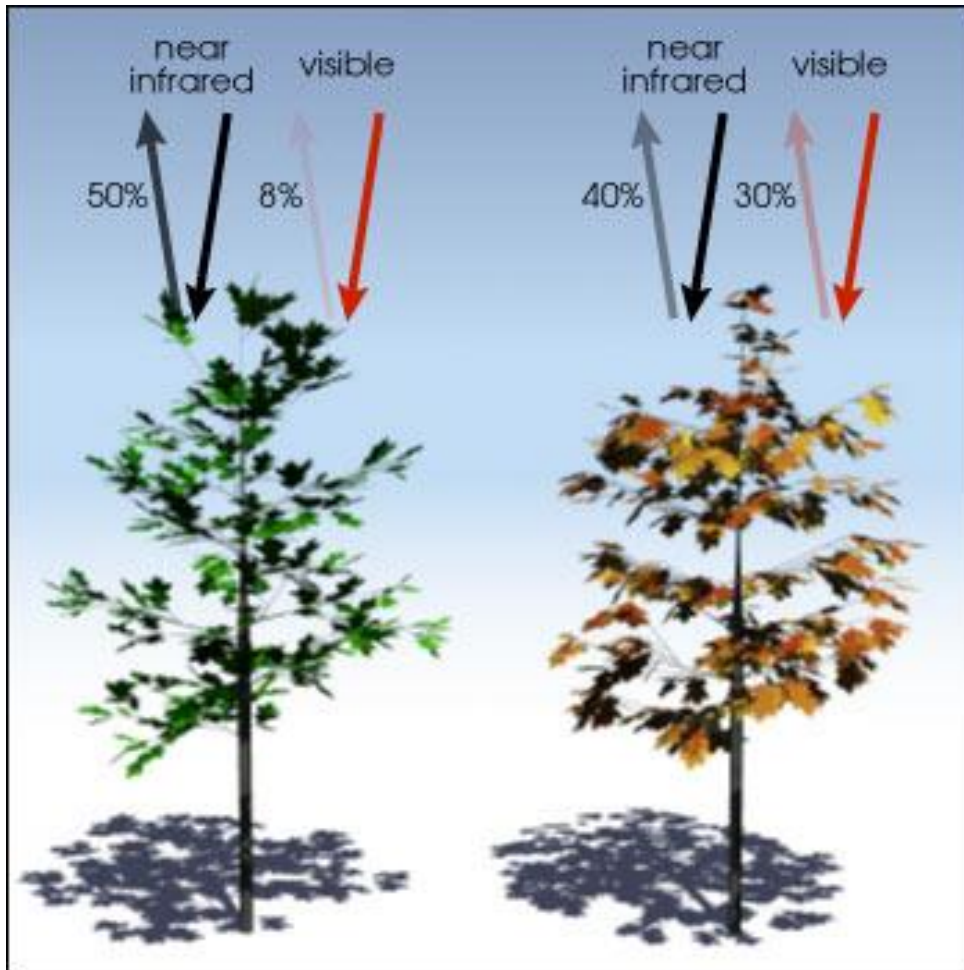
Nabývá hodnoty v intervalu [-1; +1] a je velmi využívaný pro přehledné mapování stavu vegetace.

NDVI

Typické hodnoty (skener AVHRR):

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

NDVI



$$\frac{(0.50 - 0.08)}{(0.50 + 0.08)} = 0.72$$

$$\frac{(0.4 - 0.30)}{(0.4 + 0.30)} = 0.14$$

(viz <http://earthobservatory.nasa.gov>)

NDVI

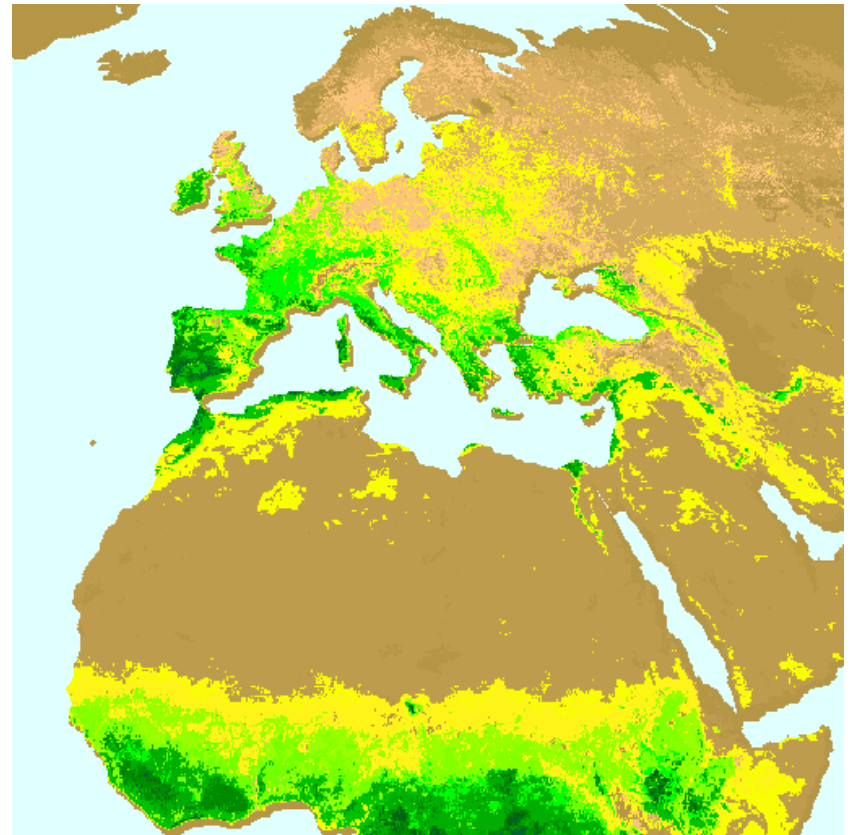
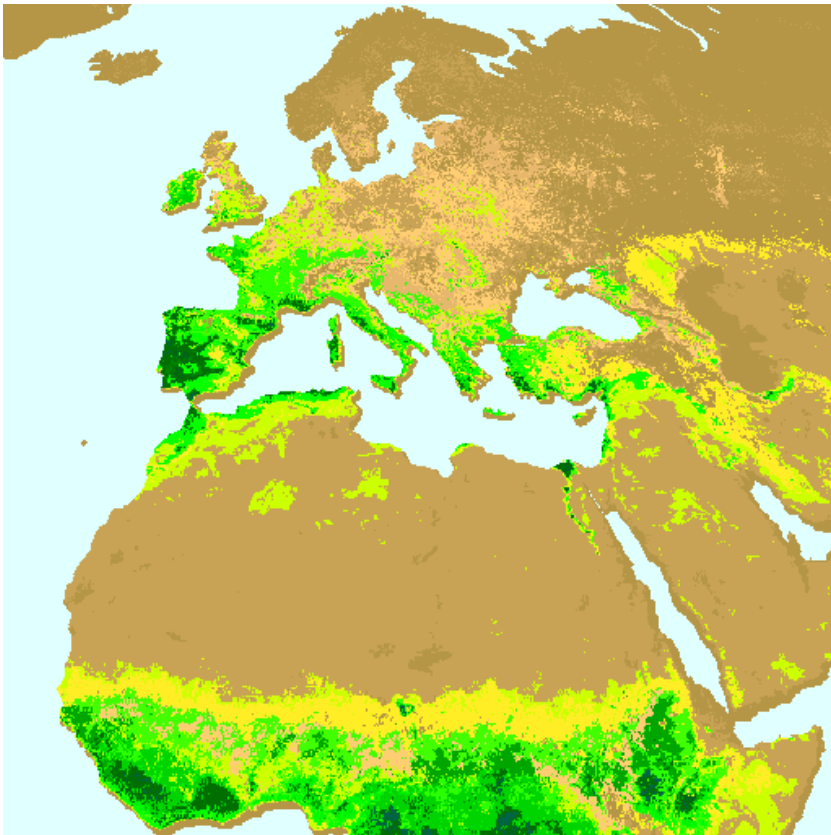


Severozápad Brněnské
aglomerace, květnový
snímek, Landsat

http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html

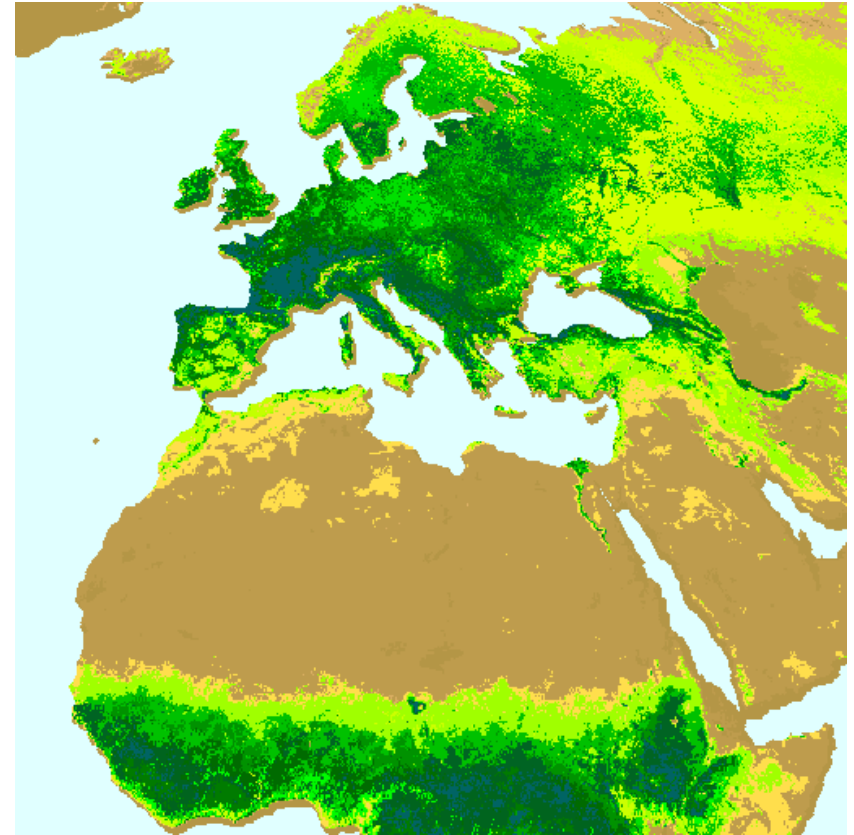
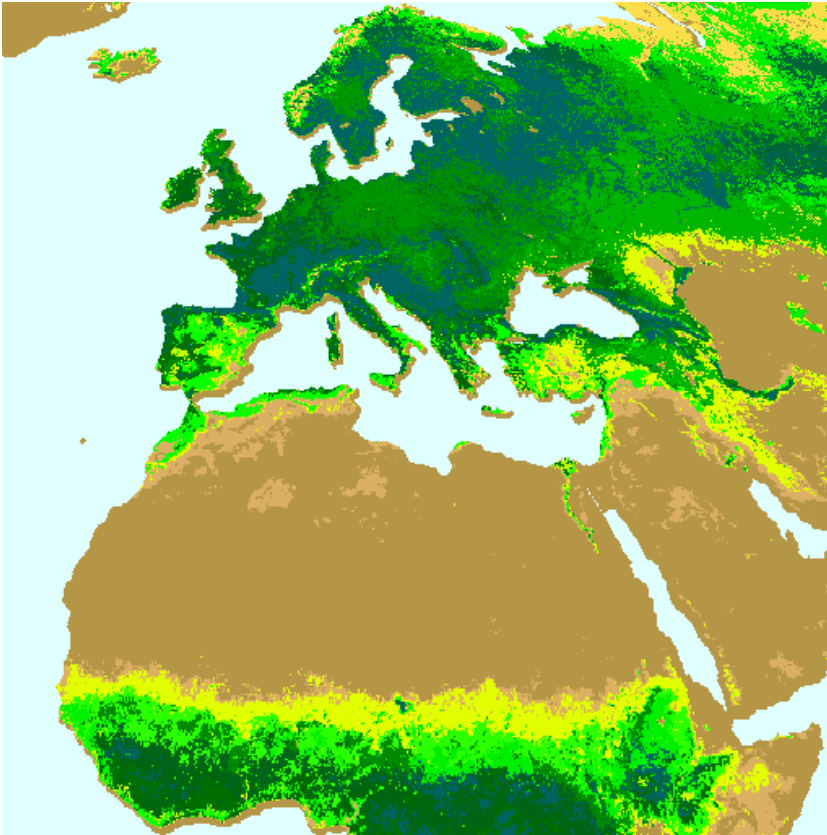
NDVI (1/2)

Změny NDVI v průběhu vegetačního období v Evropě, v severní Africe a v oblasti Sahelu.



Rozvoj vegetace na počátku roku (vlevo) a na konci března (vpravo)

NDVI (2/2)



Rozvoj vegetace na konci června (vlevo) a situace z konce září (vpravo)

Příklady dalších poměrových indexů

- **Infrared index**

- $II = (TM4 - TM5) / (TM4 + TM5)$

- Citlivější na změny biomasy rostlin a vodní stres vegetace než NDVI.

- **Mid IR index**

- $Mid\ IR = TM5 / TM7$

- Vysoká korelace s obsahem půdní vláhy.

Příklady dalších poměrových indexů

Zpřesňují (upravují) NDVI:

- Transformed Vegetation Index (TVI)
- Corrected Transformed Vegetation Index (CTVI)
- Thiam's Transformed Vegetation Index

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} + 0,5}$$

$$CTVI = \frac{NDVI + 0,5}{|NDVI + 0,5|} \cdot \sqrt{|NDVI + 0,5|}$$

$$TTVI = \sqrt{|NDVI + 0,5|}$$

Příklady dalších poměrových indexů

- **Moisture Stress Index** (Rock et al., 1986)

$$MSI = \frac{TM 5}{TM 4}$$

- **Leaf Water Content Index** (Hunt et al., 1986)

$$LWCI = \frac{-\log[1 - (TM 4 - TM 5)]}{-\log[1 - TM 4 - TM 5]}$$

Ortogonalní vegetační indexy

Ortogonalní vegetační indexy

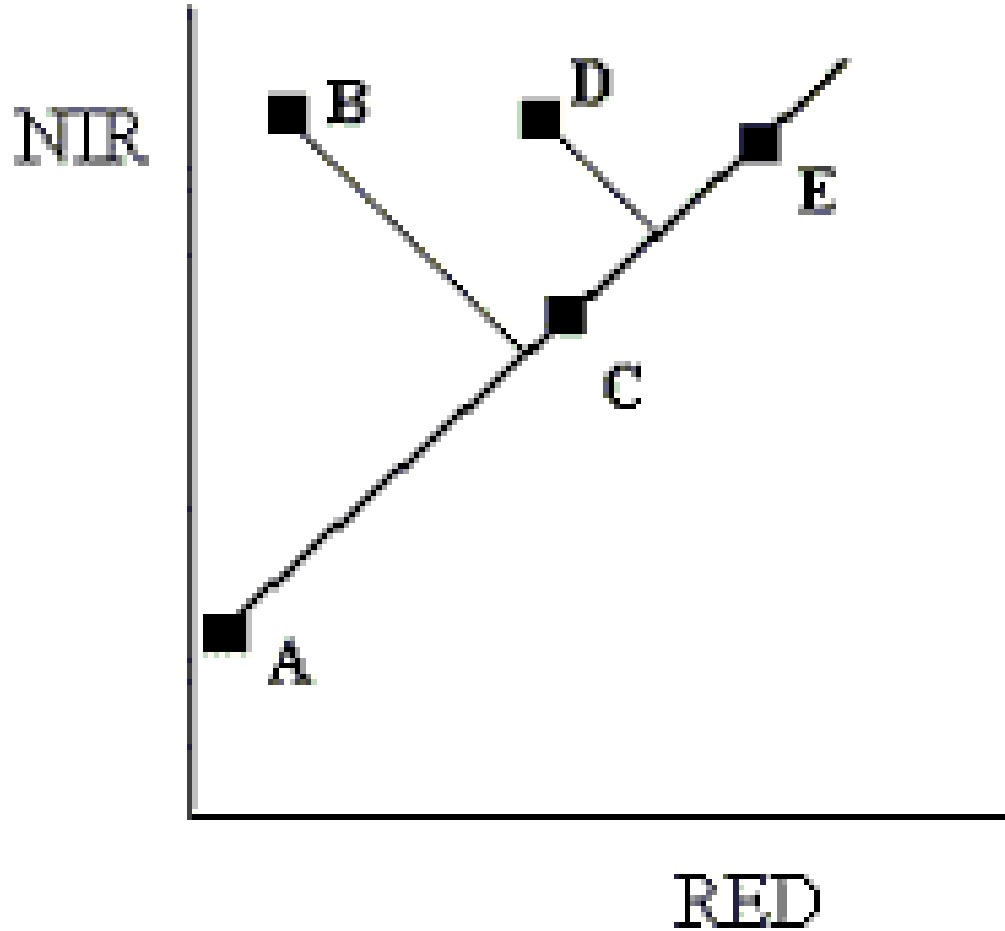
- Ortogonalní indexy jsou lineární kombinací původních pásem multispektrálního obrazu.
- Zástupcem této skupiny indexů je index **PVI (perpendicular vegetation index)**, pomocí kterého lze do značné míry odlišit odrazivost vegetace a půdního substrátu.

Princip výpočtu PVI je znázorněn na následujícím snímku (podle

http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html)

(RED - odrazivost v červené viditelné části spektra, NIR - odrazivost v blízké infračervené části spektra. A,C,E - linie půdy, B,D - pixely s různým zastoupením vegetace. Vzdálenost od linie půdy určuje hodnotu PVI).

Perpendicular Vegetation Index (PVI)



Perpendicular Vegetation Index (PVI)

Ze spektrálního chování půdy nepokryté vegetací plyne, že její odrazivost v červené viditelné (RED) a blízké infračervené (NIR) části spektra vykazuje kladnou korelaci a hodnoty pro různé vzorky holé půdy vynesené do dvourozměrného grafu mají tendenci vytvářet přímku - tzv. linii půd (soil line). Pixel A tak může reprezentovat vlhkou, pixel E naopak suchou půdu. Rovnice přímky reprezentující linii půd lze sestavit například metodou nejmenších čtverců ze vztahu:

$$NIR_p = a \cdot RED_p + b$$

kde NIR_p - odrazivost půdy v blízké infračervené části spektra, RED_p - odrazivost půdy v červené viditelné části spektra, a , b - koeficienty rovnice přímky.

Perpendicular Vegetation Index (PVI)

V případě spektrálního chování vegetace je však odrazivost vysoká v blízkém infračerveném pásmu a naopak daleko nižší v pásmu viditelném. Pixely, na jejichž odrazivosti se v různé míře podílí vegetace, se budou v grafu umísťovat nad uvedenou linií půd.

Kolmá vzdálenost daného pixelu od linie půd je potom definována právě jako PVI (vysvětlení viz další snímek):

$$PVI = \sqrt{(RED_p - RED_v)^2 + (NIR_p - NIR_v)^2}$$

Perpendicular Vegetation Index (PVI)

NIR_p - odrazivost půdy v blízké infračervené části spektra

RED_p - odrazivost půdy v červené viditelné části spektra

NIR_v - odrazivost vegetace v blízké infračervené části spektra

RED_v - odrazivost vegetace v červené viditelné části spektra

Na hodnoty indexu PVI mají velký vliv takové vlastnosti půdního substrátu jako vlhkost půdy či drsnost povrchu. Koeficienty rovnice linie půdy i hodnoty indexu PVI mají tedy časově i místně omezenou platnost

Tasseled Cap (TC)

- Je výsledkem transformace původních pásem multispektrálního obrazu.
- Z původních pásem multispektrálního obrazu jsou vypočtena lineární kombinací pásma nová, která zvýrazňují určité vlastnosti povrchů.
- Koeficienty transformace byly odvozeny empiricky a jejím výsledkem jsou obvykle tři nová pásma (indexy) – viz dále.

Tasseled Cap (TC)

- **TC1 (Brightness index) – odrazivost půdy**

Na odrazivosti se podílí holá půda (vysoká hodnota indexu - světlé oblasti), vegetace a vodní plochy (nízký index – tmavé oblasti). Pásmo TC1 je orientováno ve směru maximálního rozptylu hodnot odrazivosti půdy.

- **TC2 (Greenness Index) – vegetační index**

Pásmo (TC2) je kolmé k ose pásma TC1 a je orientováno ve směru největšího kontrastu mezi viditelnou a blízkou infračervenou částí spektra. Je tedy ukazatelem množství zelené hmoty. Nejvyšší hodnoty a nejsvětější tóny patří oblastem s rozvinutým vegetačním krytem.

- **TC3 (Wetness Index) – vodní obsah**

TC3 koreluje s vlhkostí půdy a vegetace. Nejvyšší hodnoty vykazují vodní plochy, holá půda a vegetace jsou tmavé (téměř opak TC1).

Modifikace Tasseled Cap pro Landsat TM

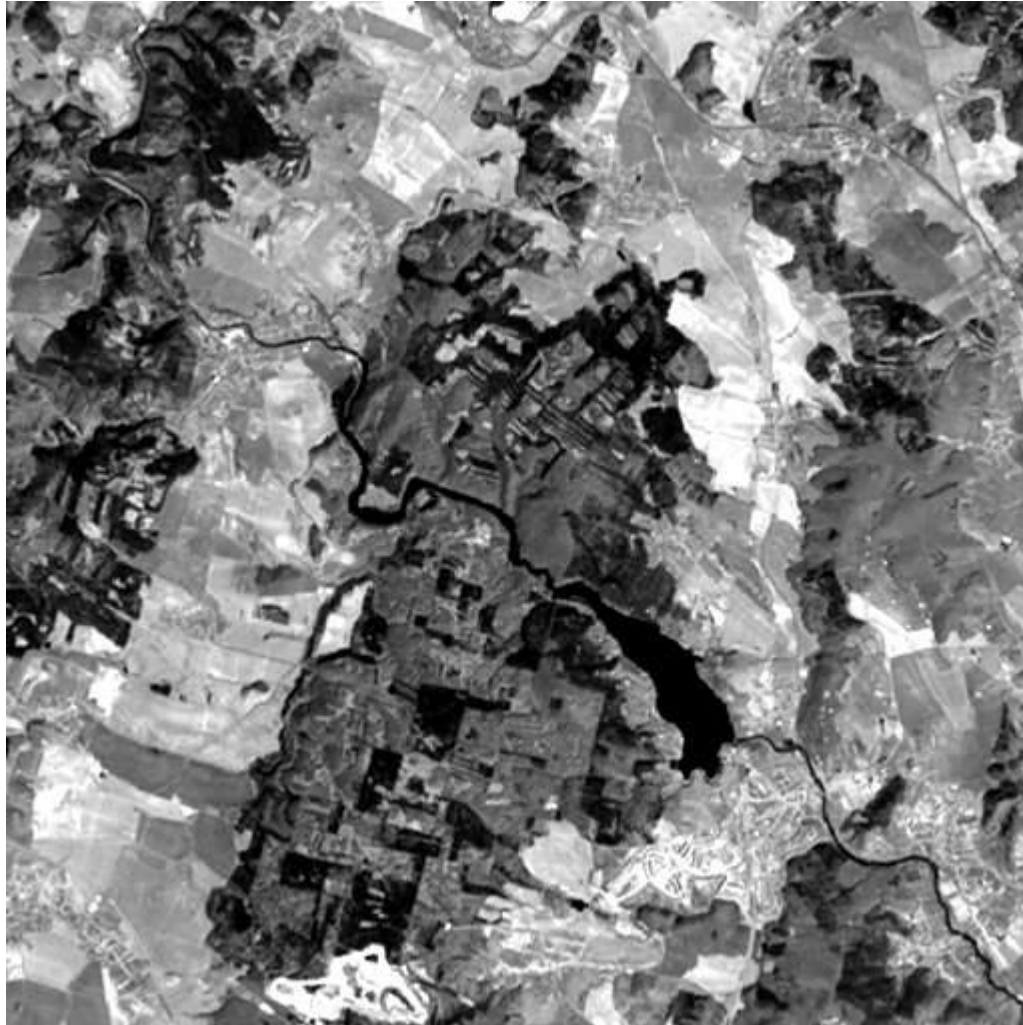
Hodnoty koeficientů TC1, TC2 a TC3 pro skener TM družice LANDSAT 5 mají následující tvar (LILLESAND a KIEFER 1994):

$$TC1 = .2043TM1 + .4158TM2 + .5524TM3 + .5741TM4 + .3124TM5 + .2303TM7$$

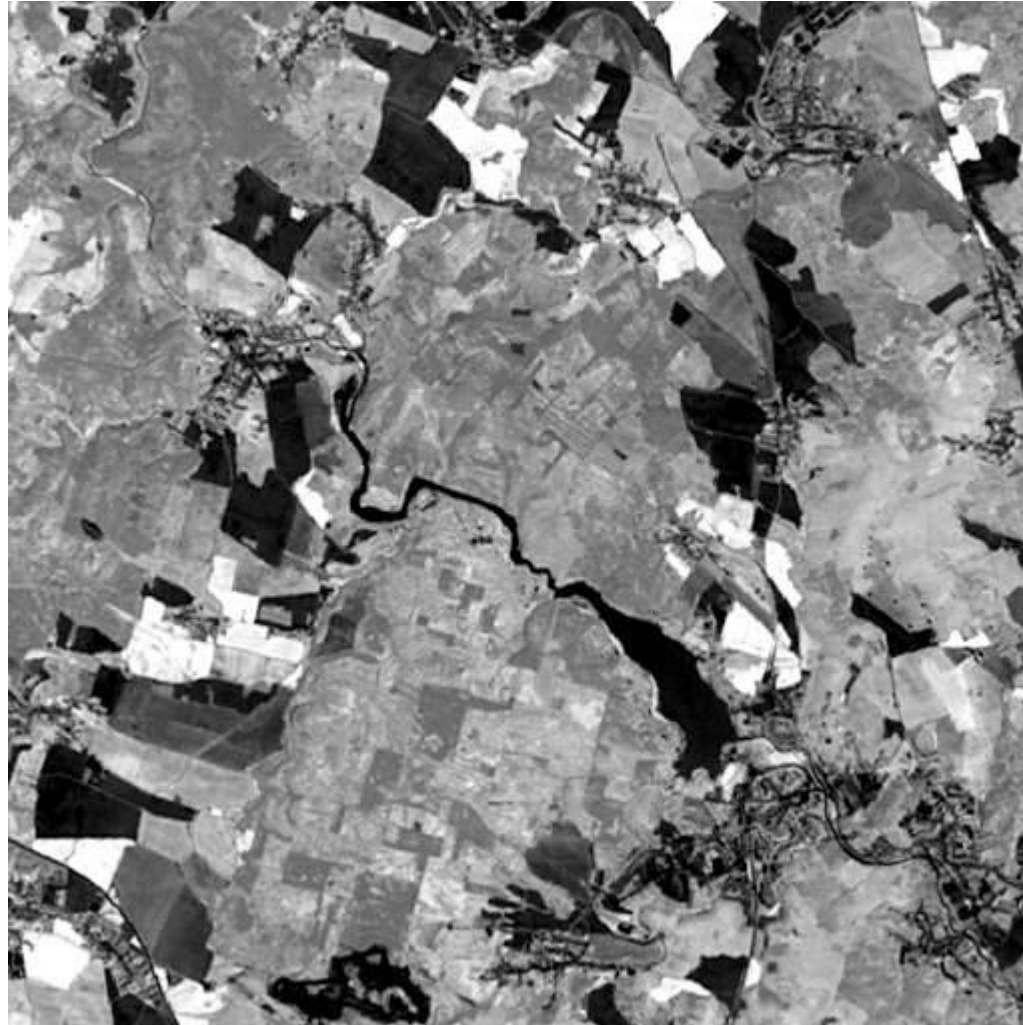
$$TC2 = -.1603TM1 -.2819TM2 -.4934TM3 + .7940TM4 -.0002TM5 -.1446TM7$$

$$TC3 = .0315TM1 + .2021TM2 + .3102TM3 + .1594TM4 -.6806TM5 -.6109TM7$$

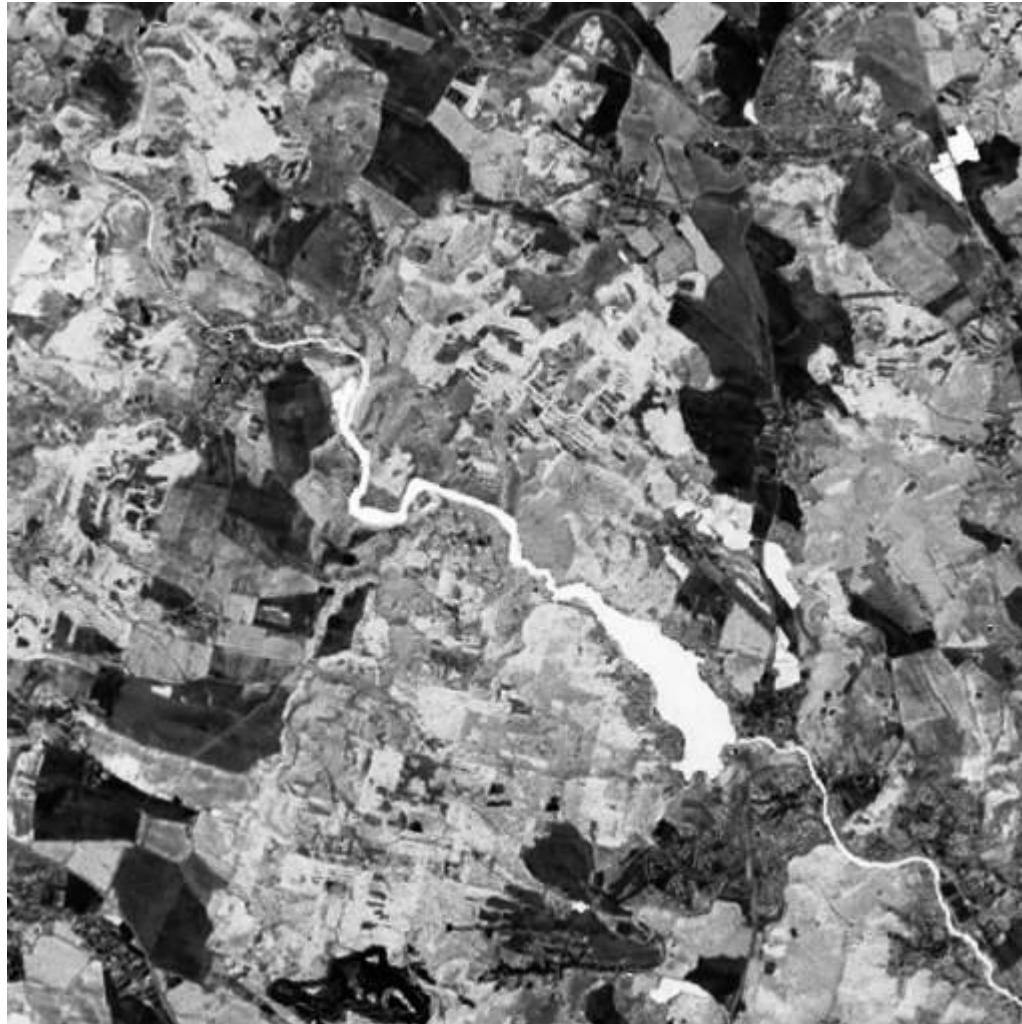
Brightness Index



Greenness Index



Wetness index



Vegetační indexy na webu

DOC | NOAA | NESDIS | OSDPD | IPD

Global Vegetation Index Products

The third generation polar Global Vegetation Index (GVI) products are used for monitoring the density and vigor of green vegetation. Useful applications of GVI products include classifying land cover, estimating crop acreage, and detecting plant stress.

The GVI products now online are weekly composites, and have a resolution of about 16 km. The [Normalized Difference Vegetation Index](#), [Fractional Vegetation](#), and the [Precipitable Water Index](#) products are now available.

A comprehensive description of GVI products (my primary information source) can be found at the National Climatic Data Center's [NOAA GVI Guide](#)

Normalized Difference Vegetation Index

The basic index for measuring the 'greenness' of the earth's surface is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which is basically a calculation of the differences between AVHRR channels 1 and 2. A reasonable estimation of the density and coverage of green vegetation can be determined by measuring how green the earth's surface is.

GVI Normalized Density Vegetation Index: OCT 5 2003

Legend: -0.10 -0.08 -0.06 -0.04 -0.02 0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10 0.12 0.14 0.16 0.18 0.20 0.22 0.24 0.26 0.28 0.30 0.32 0.34 0.36 0.38 0.40 0.42 0.44 0.46 0.48 0.50 0.52 0.54 0.56 0.58 0.60 0.62 0.64 0.66 0.68 0.700

<http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/gvi/>

Vegetační indexy na webu

- Mapování vegetace v globálním měřítku je věnována velká pozornost v rámci projektu EOS (Earth Observing System).
- Informace lze dostat mj. i na adresách:
 - <http://terra.nasa.gov/>
 - <http://vegetation.cnes.fr/> (SPOT4)
 - <http://free.vgt.vito.be/>

Jižní Amerika - NDVI

- Hodnoty od -0,1 do +0,703
- $NDVI < 0$ - vodní plochy, mraky, déšť, sníh
- $0 < NDVI < 0,1$ - skály, holá půda, pouště
- $NDVI > 0,1$ - vegetace s biomasou úměrnou NDVI



Vegetace v krátkovlnném (MW) pásmu

Záření v mikrovlnném pásmu spektra proniká do vrstev vegetace.

Využívá se především pásem:

- P ($\lambda = 75$ cm)
- L ($\lambda = 18$ cm)
- C ($\lambda = 6$ cm)

Spektrální odrazivost vody

Spektrální odrazivost vody

- Zářivé vlastnosti vody se liší významně od ostatních látek.
- Přítomnost vody ovlivňuje spektrální projev každého objektu.
- Pro infračervené záření je voda nepropustná (případné měření teploty vody ukazuje pouze hodnoty pro horní tenkou vrstvu).
- V mikrovlnném pásmu je voda dobrý odražeč (voda je odrážena směrem od přijímacího přístroje, odraz se zvětšuje s hladkostí povrchu - dobré pro odlišení vod ropnými látkami. pomocí radarových dat jsou měřeny výšky vln na mořské hladině - měření v šikmém směru pohledu radaru).

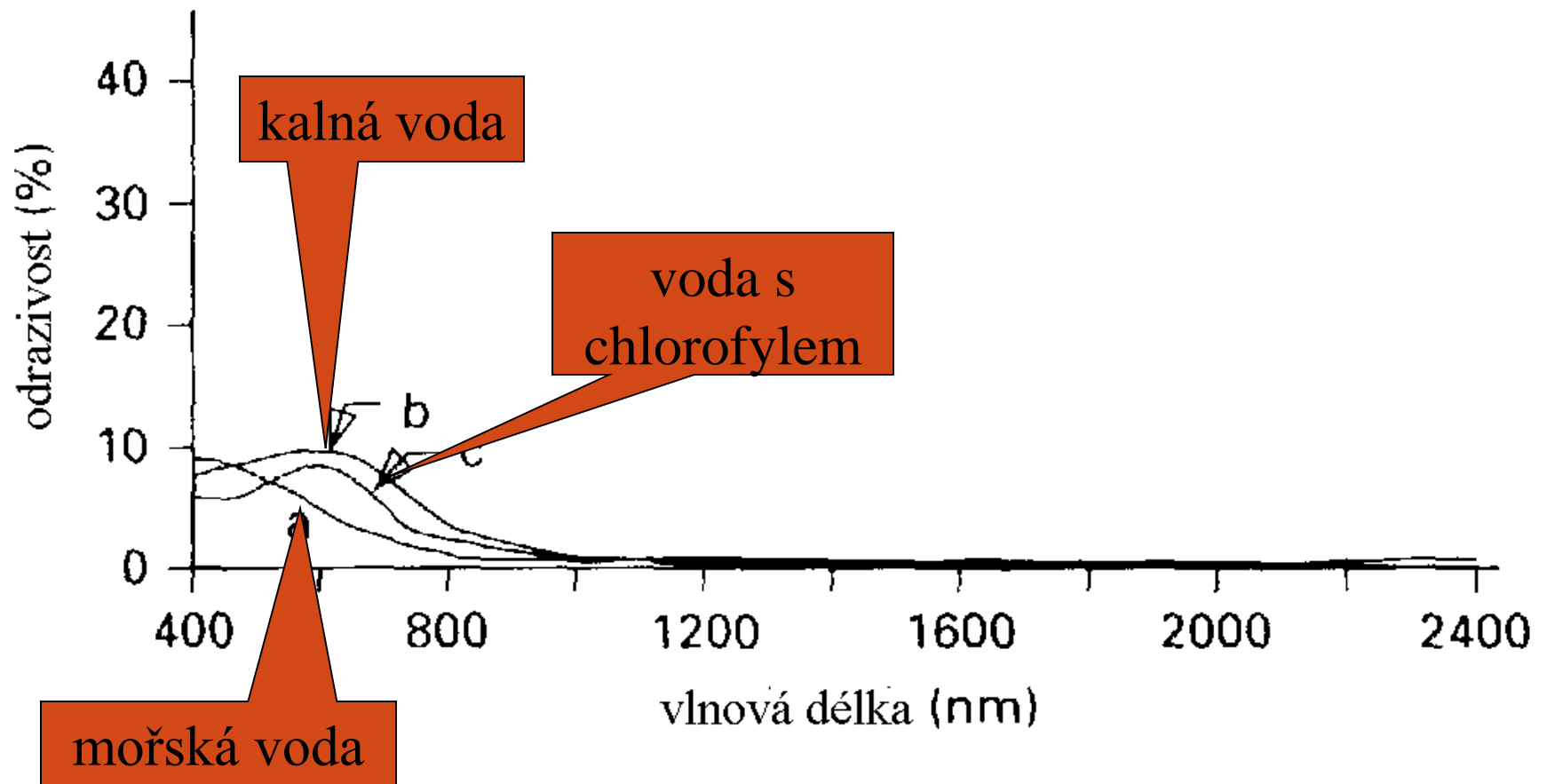
Spektrální odrazivost vody

- Nízká nebo nulová odrazivost na všech vlnových délkách.
- V nízkých vlnových délkách záření proniká pod hladinu a je absorbováno.
- Maximální propustnost v $0,48 \mu\text{m}$ (lze tedy získat informace o dnu nádrží), trvale klesá do IR vlnových délek.
- Velikost povrchové vrstvy pro $0,8 - 1,1 \mu\text{m}$ je 10 cm.

Spektrální odrazivost vody

- Plankton (s chlorofylem) snižují odrazivost v modré části spektra a zvyšují odrazivosti ve žlutozelené části spektra.
- Mechanické příměsi způsobují větší odrazivost vody a posouvají maximum odrazivosti vody k delším vlnovým délkám.

Spektrální odrazivost vody



Spektrální odrazivost sněhu a ledu

- Sníh i led mají vysoké hodnoty odrazivosti ve viditelném i infračerveném pásmu (stejně vysoká odrazivost je i u horních vrstev mraků, kde jsou krystalky ledů, spektrální odrazivost oblaků je v intervalu $0,3 - 3,0 \mu\text{m}$ téměř konstantní).
- Spektrální odrazivost sněhu má minima pro $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ až $1,75 \mu\text{m}$ a v absorpčních pásmech vody.
- Zvýšená nečistota sněhu způsobuje snížení jeho odrazivosti.
- Čím větší jsou sněhové částice, tím menší je odrazivost.
- Se stářím sněhu klesá odrazivost, protože starší sníh má vyšší vodní hodnotu.

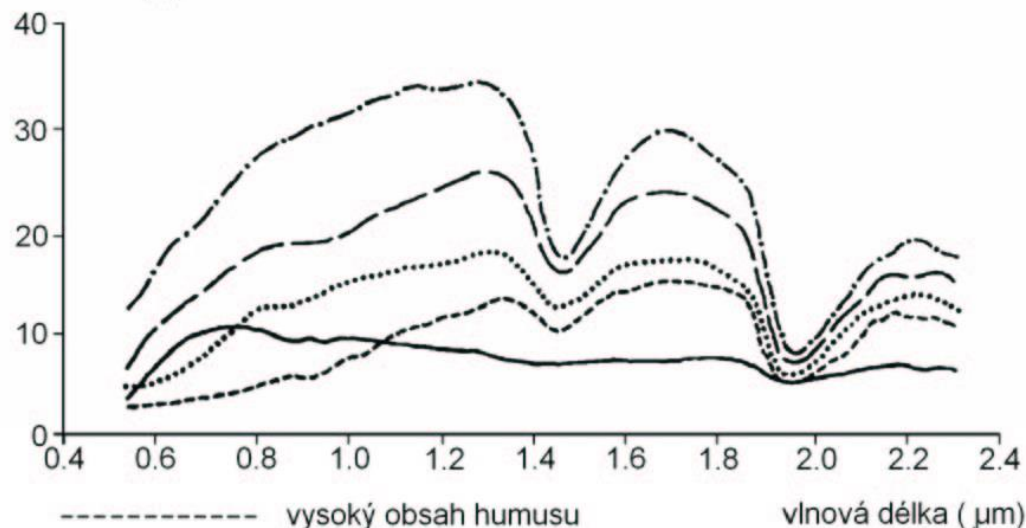
Spektrální odrazivost půdy, hornin a minerálů

Spektrální odrazivost půdy, hornin a minerálů

- Ve viditelném záření je pro spektrální křivku pevného povrchu charakteristický pozvolný vzestup odrazivosti s rostoucí vlnovou délkou. Konkrétní velikost spektrální odrazivosti je určován převážně chemickým složením a mechanickými vlastnostmi či strukturou povrchu.
- Vliv chemického složení se uplatňuje především u minerálů a hornin, protože jejich složení je z chemického hlediska mnohem homogennější než u sypkých materiálů. Pro chemické prvky jsou typické jejich absorpční pásy, které jsou umístěny zejména v infračervené části spektra.
- Postupné zvyšování odrazivosti půd s rostoucí vlnovou délkou v oboru viditelného a blízkého infračerveného záření nevykazuje žádné výraznější narušení jeho monotónnosti až k absorpčním pásům vody. K hlavním parametrům ovlivňujícím spektrální projev půdního povrchu patří vlhkost, obsah humusu, mineralogické složení, mechanické vlastnosti půdy, struktura povrchu půdy a intenzita erozních procesů.

Spektrální odrazivost půdy, hornin a minerálů

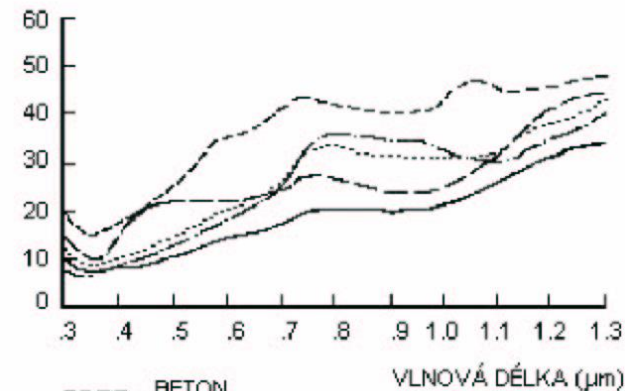
obousměrný faktor odrazivosti (%)



----- vysoký obsah humusu
..... nízký obsah humusu
- · - · - bez příměsí
----- nízký obsah železa
———— vysoký obsah železa

vlnová délka (μm)

ODRAZIVOST (%)



----- BETON
———— ASFALT
- · - · - HOLÁ PŮDA
..... ŠTĚRK
----- OBLÁZKY

VLNOVÁ DÉLKA (μm)

Spektrální křivka odrazivosti povrchů bez vegetace (vlevo) a spektrální odrazivost půd s různým obsahem humusu a železa (vpravo)

<http://artin.zcu.cz/courses/dpz/DPZ-051130.pdf>

Pozemní spektrometrování

Polní práce se spektrometrem SMZ 1B



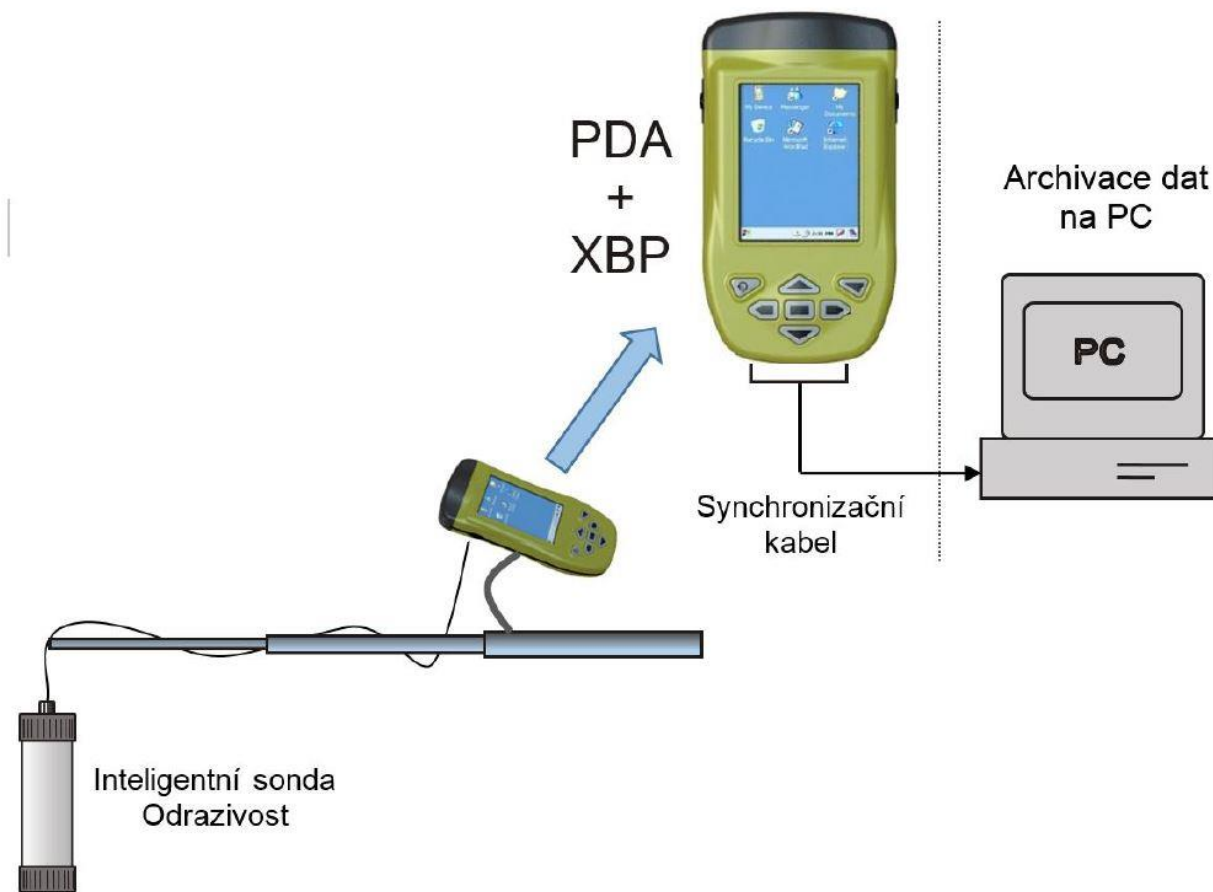
Základní charakteristiky spektrometru SMZ 1B

Číslo kanálu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Střední vlnová délka (nm)	465,1	480,8	536,2	568,2	601,0	639,0	684,9	729,9	775,2	836,8	900,1	945,4
Pološířky spektrálních pásem $\Delta\lambda$ (nm)	17,2	11,3	10,6	7,3	6,9	10,2	14,0	7,8	8,4	13,3	12,9	11,6
Spektrální koeficienty odrazivosti odrazného etalonu ρ_{in} (%)	64	63	62	61	60	59	59	58,5	58	(58) odhad	(58)	(58)

Pozemní spektrometry

- Pozemní spektrometr FieldSpec 4 společnosti ASD Inc. umožňuje sběr dat v rozsahu 350 nm - 2500 nm (Vis / NIR / SWIR). V pásmu VNIR má spektrální rozlišení 3 nm, v pásmu SWIR pak podle konkrétního typu 6, 8, 10, resp. 30 nm.
- Katedra pedologie a ochrany půd Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, ČZU v Praze (<https://katedry.czu.cz/kpop/fieldspecr-3/>) využívá polní spektrometr FieldSpec[®] 3 pracující ve třech spektrálních pásmech (350 – 700 nm s rozlišením 3 nm; 700 – 1 400 nm a 1 400 – 2 100 nm, oba s rozlišením 10 nm).
- Zařízení GRYF Magic XBP (výrobce GRYF HB, spol. s r.o.) s měřicí hlavicí XB9, se užívá pro měření spektrální odrazivosti ve 3 vlnových délkách.

GRYF Magic XBP s měřicí hlavicí XB9



Spektrální knihovny

	On-line vyhledávání záznamů	Možnost stažení celé knihovny	Podknihovny	Počet záznamů hornin a minerálů	Pomocný soubor	Počet oddělení
ASTER	Ano	Ne	Ano	1796	Ano	8
http://speclib.jpl.nasa.gov/						
USGS	Ne	Ano	Ne	800	Ano	6
ASU	Ano	Ano	Ne	150	Ano	5
RASMIN	Ano	Ne	Ne	576	Ne	2
Univerzita Parma	Ano	Ne	Ne	195	Ne	1
Univerzita Siena	Ano	Ne	Ne	113	Ne	5

Srovnání parametrů volně šířených spektrálních knihoven

Literatura a další použité zdroje

- DOBROVOLNÝ, Petr. *Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu*. Vyd. 1. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 210 s. ISBN 80-210-1812-7
- Pettorelli Nathalie: *The Normalized Difference Vegetation Index*, OUP Oxford, 2013, 224 p.
- Crist, E. P.: A TM Tasseled Cap equivalent transformation for reflectance factor data, *Remote Sensing of Environment* (ISSN 0034-4257); 17/1985; 301-306
- TÖGELOVÁ Eva: *Nasazení multispektrální kamery ADC TETRACAM při monitorování vegetačních příznaků*. Magisterská práce, Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta UP Olomouc, Olomouc, 2013, 69 s.

Literatura a další použité zdroje

- 1) PLÁNKA Ladislav: Spektrální charakteristiky zemědělských plodin a jejich využití k objektivizaci interpretace leteckých multispektrálních snímků. Zprávy GgÚ ČSAV, roč. 27, č. 2, 1990, s. 39 – 49
- 2) KLEM Karel, MÍŠA Petr, MÍŠA Marek, KŘEN Jan: Využití měření spektrální odrazivosti a odvozených specializovaných vegetačních indexů v pěstební technologii jarního ječmene (metodika pro zemědělskou praxi). Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. v Kroměříži, Agrotest fyto, s.r.o. v Brně), GRYF HB, spol. s r.o. v Havlíčkově Brodě, Mendelova univerzita v Brně. Kroměříž, Brno, Havlíčkův Brod 2014, 44. s. ISBN 978-80-87555-12-5, [online, cit. 10.11.2017]. Dostupné z <http://www.vukrom.cz/vyzkum/patenty-vzory/senzory-metodika>.
- 3) Introduction to Remote Sensing. (SEOS) Project [online, cit. 11.11.2017]. Dostupné <http://www.seos-project.eu/modules/remotesensing/remotesensing-c00-p01.html>
- 4) Viewing Images In True And False Color. University of North Georgia, [online, cit. 11.11.2017]. Dostupné z <http://faculty.ung.edu/zmiller/4350K/labs/ViewingImagesInTrueAndFalseColor.html>
- 5) PLÁNKA Ladislav, VANĚČKOVÁ Ludmila, NEČAS Petr, KNÁPEK Radimír: Sledování výskytu kokotice v porostech vojtěšky metodami DPZ. Zprávy GGÚ ČSAV, roč. 25, č. 1, 1988, s. 31 - 41, ISSN 0375-6122
- 6) PLÁNKA Ladislav (ed.): Metodika ispol'zovanija radioupravljajemych aviamodelej, neobchodimych dlja sbora dannych v processe distancionnogo zondirovanija Zemli. Sbornik statjej 3, Brno, GGÚ ČSAV 1984, 136 s.
- 7) Katalog spektrálních vlastností vybraných zemědělských plodin (Část II – tabulky). Výstup úkolu Státního plánu základního výstupu č. II-7-4-06/5 „Metody studia agrotechnického geosystému z leteckých a pozemních záznamů“. Zodpovědný řešitel: PLÁNKA Ladislav, řešitelé: BALCÁŘÍK Miloš, KŘÍŽ Blažej, PLÁNKA Ladislav, VANĚČKOVÁ Ludmila. Řešitelské pracoviště: Geografický ústav ČSAV v Brně, Brno 1990, 255 s., nečíslováno