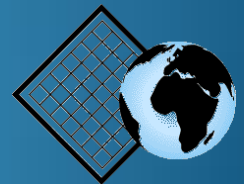
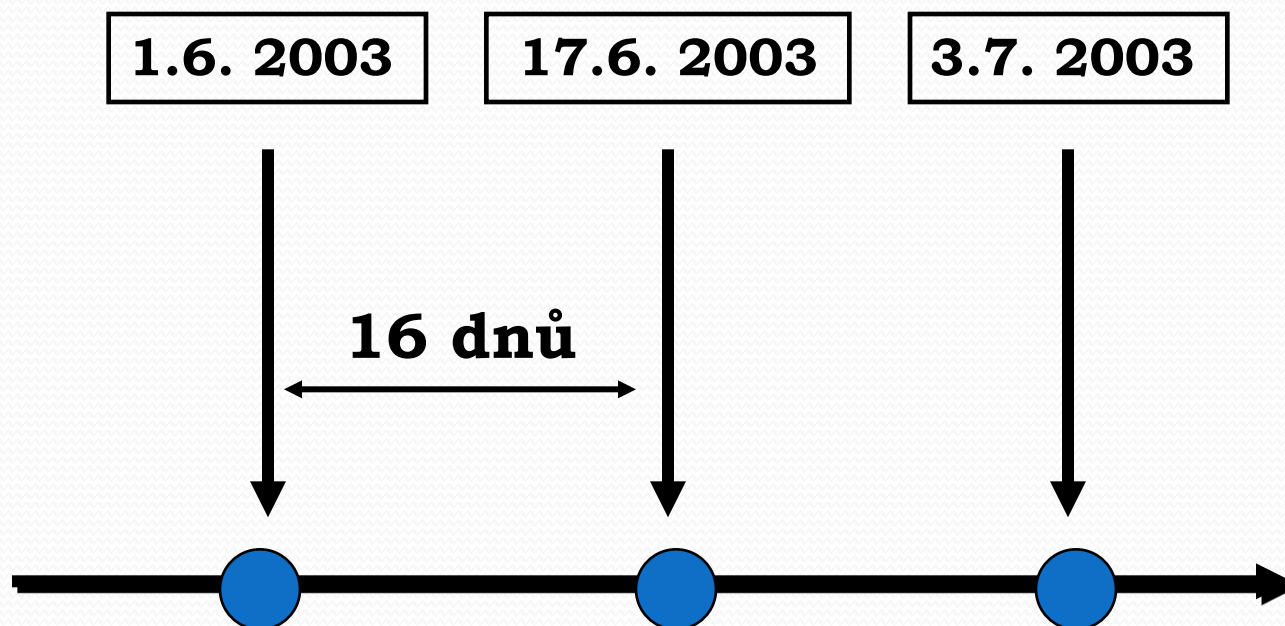


Metody zjišťování změn na obrazových materiálech

Modelování s obrazovými daty DPZ



Multitemporální přístup



Časové rozlišení snímků z LANDSATu

Družice	Časové rozliš.	Šířka scény	Pixel
METEOSAT 7	15 minut	polokoule	2,5-5 km
NOAA 17	12 hodin	2600 km	1,1 km
QuickBird 2	2-4 dny	11 km	0,65 m
LANDSAT 7	16 dnů	185 km	30 (15) m
Sentinel 2	5-6 dnů	290km	10,20,60 m
SPOT 5	26 dnů	60 km	2,5 (10) m

V závislosti na časovém rozlišení série snímků lze postihnout jevy s různou dynamikou

Základní předpoklad

Základním předpokladem identifikace změn objektů v krajině pomocí údajů DPZ je **existence změny v chování objektů či jejich vlastnostech, kterou zaznamená snímací zařízení.**

- Stejný objekt či jev zaznamenaný na více snímcích z různých okamžiků bude vykazovat různé hodnoty naměřené radiometrické charakteristiky.
- Tento rozdíl může mít řadu příčin a pouze některé jsou těmi, které se snažíme odhalit v analýze změn.
- Změny způsobí i jiná geometrie pohledu, změna dynamických parametrů apod. Tyto změny jsou nepodstatné.

Základní druhy změn identifikovatelné na snímcích:

- Objekt si zachoval za sledované období téměř nezměněné spektrální charakteristiky, změny se týkají jenom jeho prostorových charakteristik, například se změnil jeho plošný rozsah.
- U objektu došlo ke změně spektrálních charakteristik, zůstaly však zachované jeho prostorové charakteristiky, například došlo ke kvalitativní změně objektu za dané období.
- Došlo ke změně spektrálních i prostorových charakteristik objektu, například sledovaný objekt přestal existovat a je nahrazen jiným.

Multitemporální analýza by měla splňovat následující podmínky:

- obrazy tvoří chronologicky uspořádanou řadu nejméně dvou členů
- obrazy jsou pořízeny snímacím zařízením, které má pravidelnou periodu přeletů a zaznamenává stejnou část zemského povrchu
- obrazy jsou pořízeny ve stejnou denní a roční dobu
- data jsou pořízena ve stejném měřítku, pod stejným úhlem záběru a jsou eliminovány vlivy reliéfu na radiační hodnoty objektů
- data jsou pořízena ve stejných spektrálních pásmech a se stejným radiometrickým rozlišením

Algoritmy pro detekci změn

- obrazové rozdíly
- obrazové podíly
- tvorba multitemporálních syntéz
- porovnání výsledků klasifikace
- analýza vektoru spektrální změny

Obrazové rozdíly

$$d_{i,j,k} = DN_{i,j,k} (1) - DN_{i,j,k} (2) + c$$

$d_{i,j,k}$ - hodnota změny obrazového elementu

$DN_{i,j,k} (1)$ - radiační hodnota prvního snímku

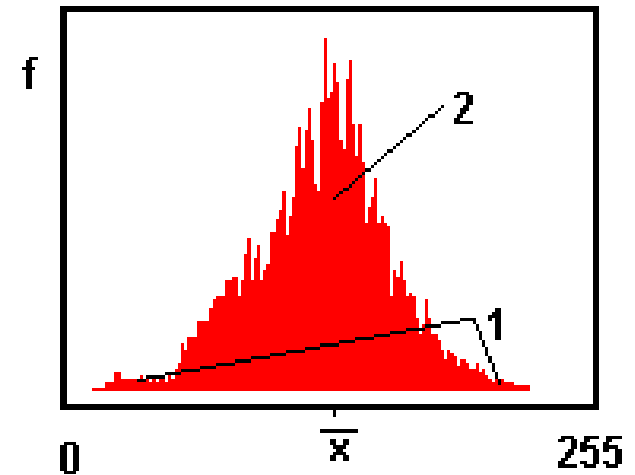
$DN_{i,j,k} (2)$ - radiační hodnota druhého snímku

i,j - souřadnice obrazového elementu (řádek, sloupec)

k - spektrální pásmo

c - konstanta

- Výsledkem jsou kladné nebo záporné hodnoty v oblastech se změnou radiačních charakteristik a nulové hodnoty v oblastech beze změny.
- Pixely vykazující podstatné změny tvoří okraje normálního rozdělení
- Metodou prahování je nutné oddělit změny podstatné od nepodstatných



Obrazové podíly

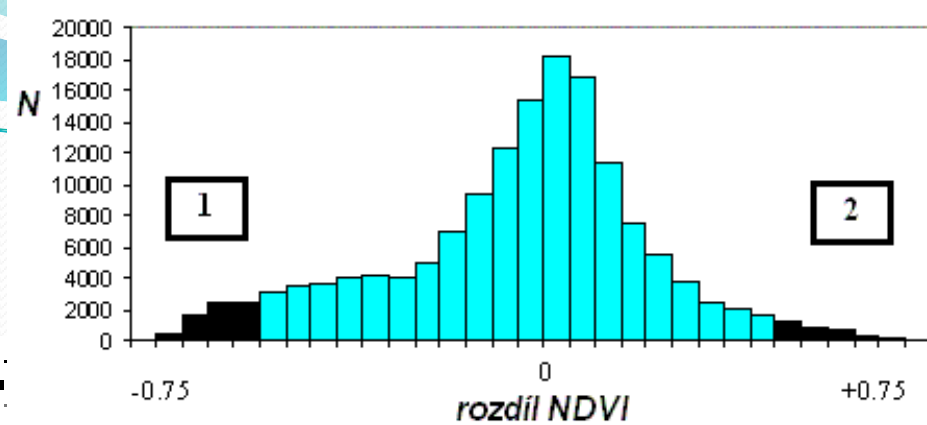
$$d_{i,j,k} = \frac{DN_{i,j,k} (1)}{DN_{i,j,k} (2)}$$

Analogie metody rozdílů.

Metoda eliminuje změněné podmínky snímání, například změny v poloze Slunce.

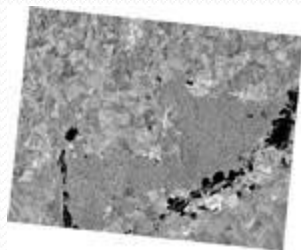
Obě metody dávají lepší výsledky, použijí-li se namísto původních pásem multispektrálního obrazu pásma transformovaná, jejichž DN hodnoty nesou tzv. ordinální data – například hodnoty vegetačních indexů.

Jih Brna: NDVI₉₄ – NDVI₈₆

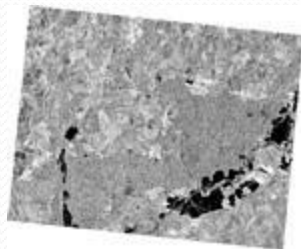


Legenda: 1 – pokles NDVI, 2 – vzrůst NDVI

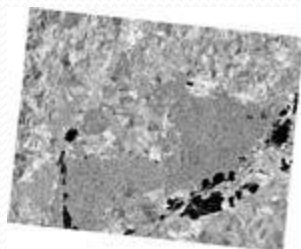
Multitemporální barevná syntéza



14.7.1997



24.7.1997



27.7.1997

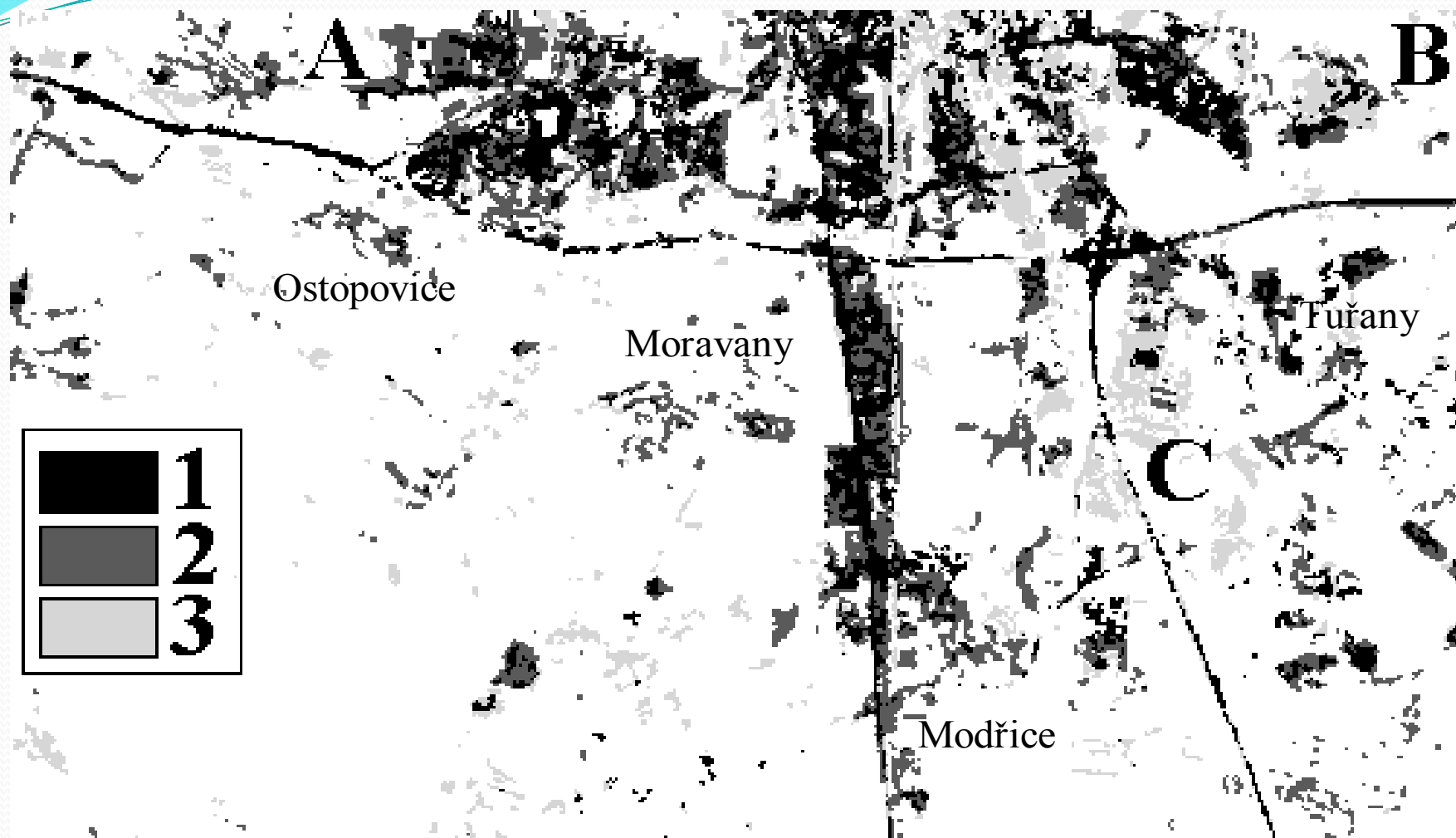
**Barevná syntéza ze tří
časových horizontů**



Morava, červenec 1997

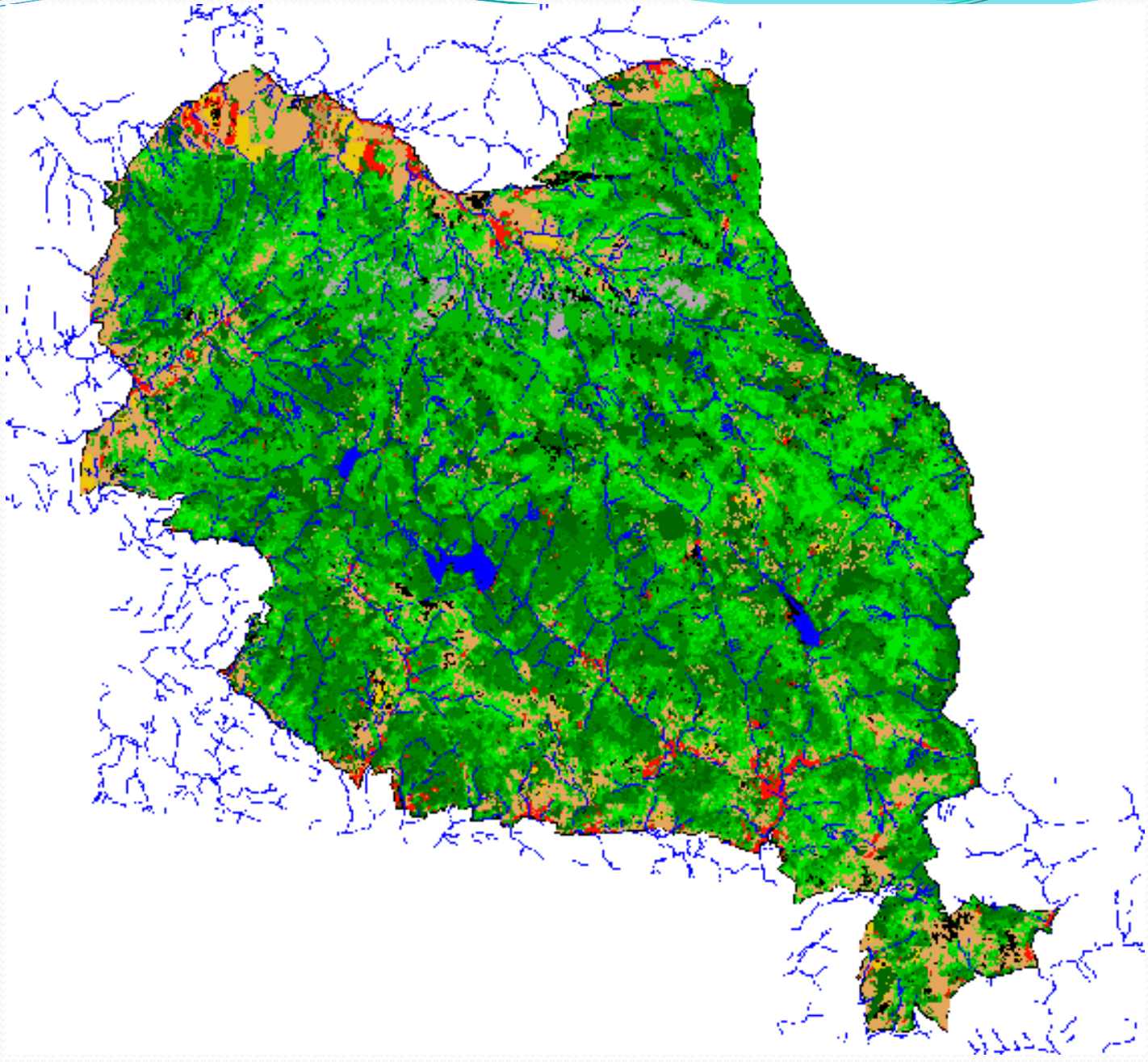
**snímky z družice
RADARSAT**

Porovnání výsledků klasifikace

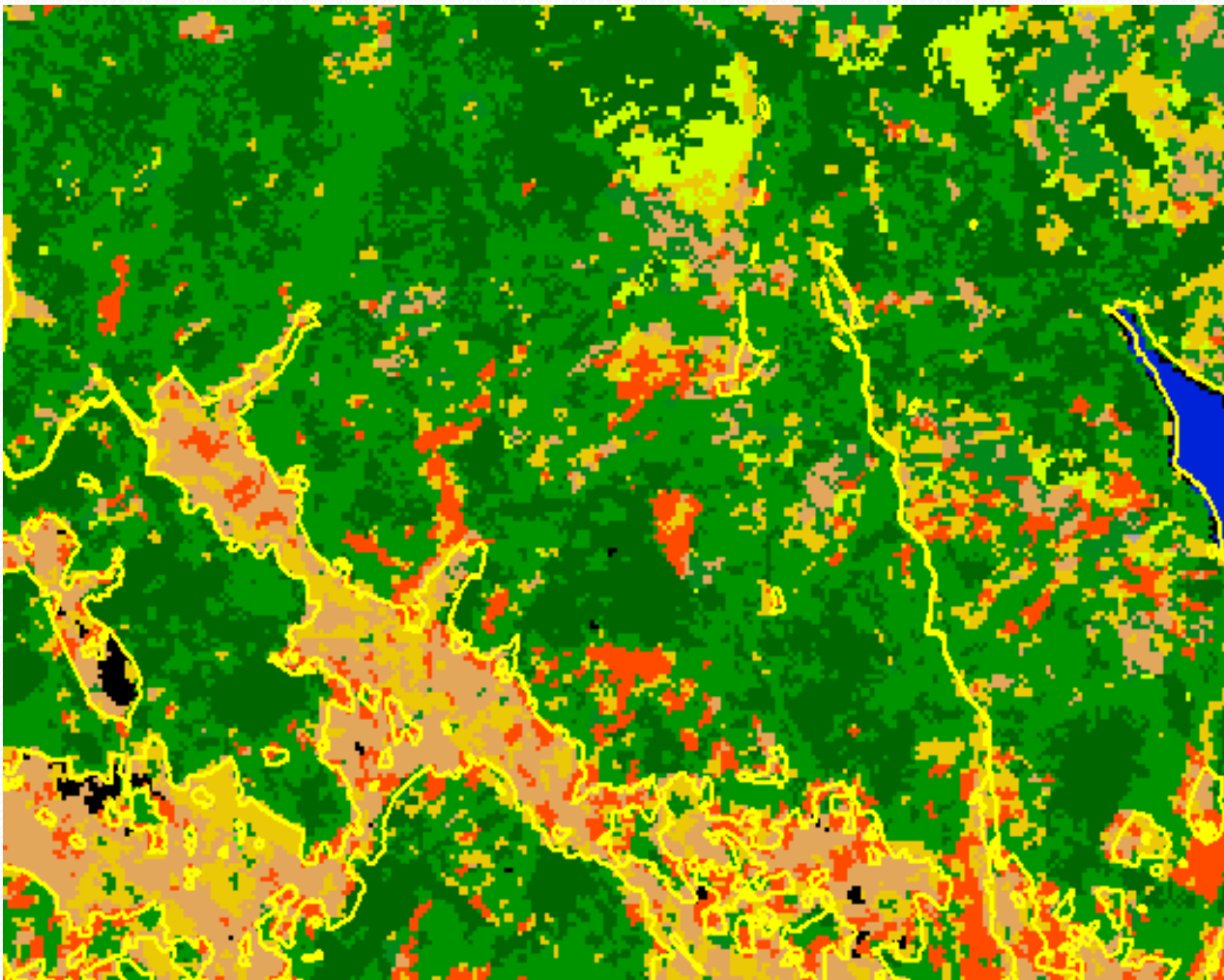


- 1 – zastavěné plochy v r. 1986 i 1994
- 2 – zastavěné plochy v r. 1994
- 3 – zastavěné plochy v r. 1986

Porovnání výsledků klasifikace

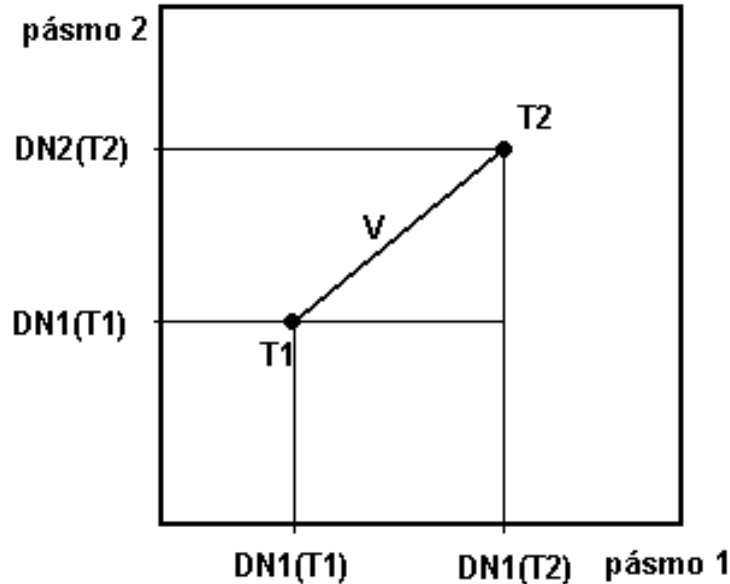


Porovnání výsledků klasifikace



Analýza vektoru spektrální změny

(change vector analysis)



V - velikost vektoru - hodnota pixelu ve výsledném obraze

DN1 - DN hodnota pixelu v prvním použitém pásmu

DN2 - DN hodnota pixelu v druhém použitém pásmu

T1 - první zpracovávané datum

T2 - druhé zpracovávané datum

$$V = \sqrt{(DN1(T1) - DN1(T2))^2 + (DN2(T1) - DN2(T2))^2}$$

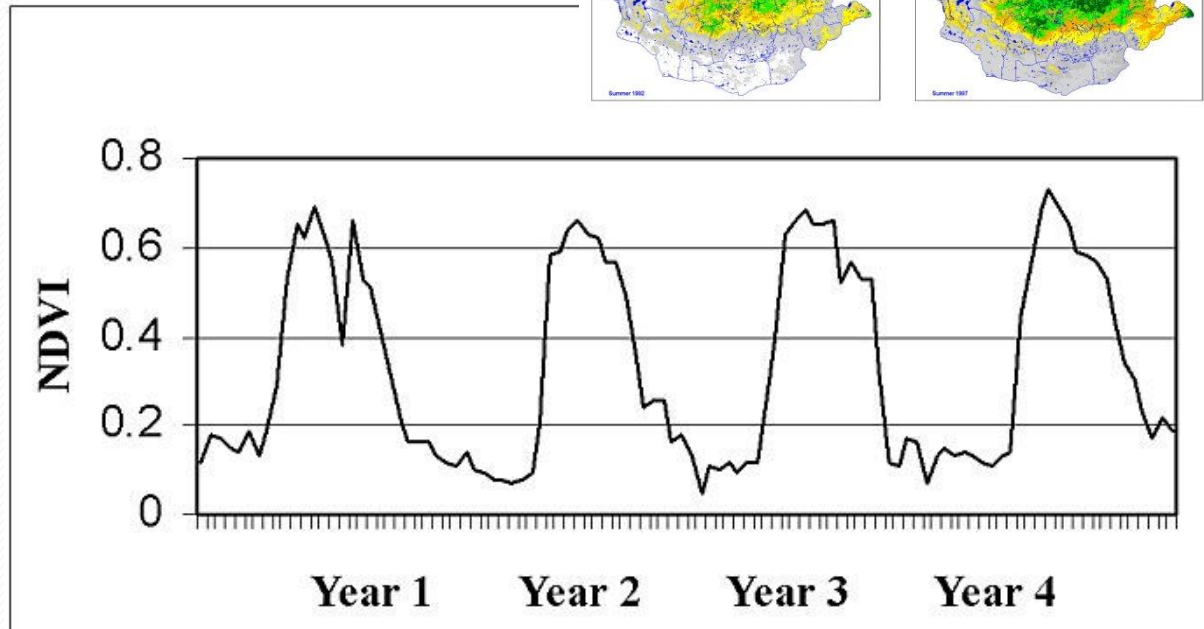
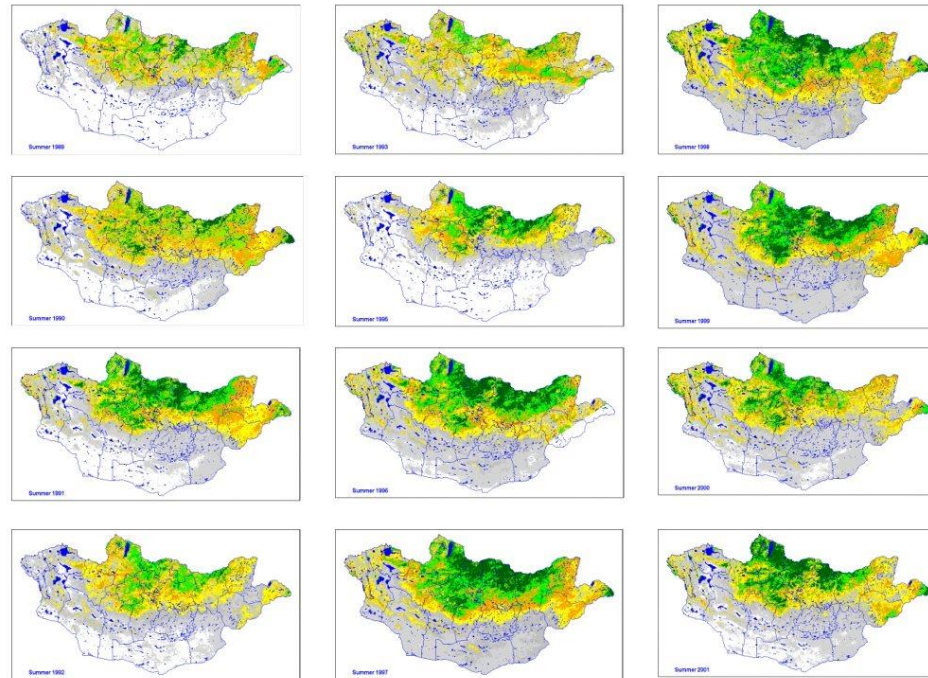
- K nalezení podstatných změn je nutné definovat prahovou hodnotu
- Typ změny je popsán směrem vektoru a lze ho určit jako úhel, který svírá vektor spektrální změny s určitým počátečním směrem - například s osou Y.

Vektor spektrální změny



Analýza časových řad vegetačních indexů

Time-series NDVI images between 1989-2001, Mongolia. NOAA/AVHRR



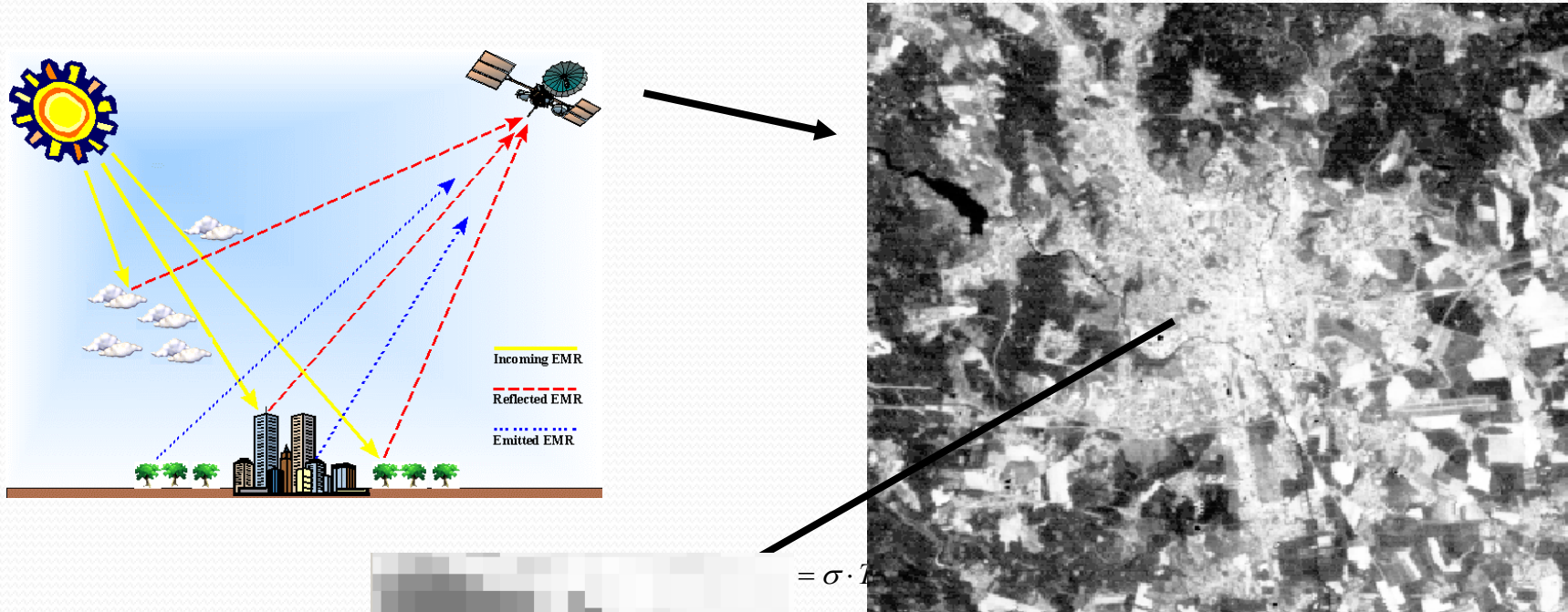
Možné přístupy k modelování

1. **Fyzikální modelování** – kvantifikace parametrů ovlivňujících modelovanou veličinu. Cíl – získat **absolutní hodnoty odrazivosti resp. vyzařování**.

$$M = \sigma \cdot T^4$$

2. **Empirické modelování** - vztah mezi daty DPZ a biofyzikálními parametry objektů je formulován většinou na základě např. regresní závislosti, sestavené mezi daty pozemního měření zkoumaných veličin a obrazovými daty z družice, kde se dá poloha pozemních dat lokalizovat
3. **Kombinovaný přístup** - přepočítání hodnot pixelů na absolutní hodnoty a jejich korelační a regresní analýza s pozemními měřeními.

1. Detekce tepelného ostrova města (příklad fyzikálního modelování)



DN hodnoty

131	131	132	132	140	140	144
131	131	132	132	140	140	144
129	129	128	128	132	132	135
129	129	128	128	132	132	135
131	131	131	131	132	132	132
131	131	131	131	132	132	132
135	135	131	131	135	135	134

„Kvantitativní“ dálkový průzkum

$$DN = f(T)$$

Množství energie vyzářené
objektem je funkcí jeho teploty
(Stefan-Boltzmannův zákon)

$= \sigma \cdot T^4$

Obecný postup mapování teploty aktivních povrchů



1. Převod hodnot zaznamenaných družicí (DN) na **spektrální hustotu** (L)

$$L_{(\lambda)} = \frac{L_{\min(\lambda)} + (L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)})Q_{DN}}{Q_{\max}}$$

2. Výpočet tzv. **radiační teploty** (T_{rad}) z hodnot spektrální hustoty (L)

$$T_{rad} = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_{(\lambda)}}\right)}$$

$$K_1 = 666,09 \text{ W m}^{-2}\text{sr}^{-1}$$

$$K_2 = 1282,7 \text{ K}$$

3. Převod T_{rad} na **teplotu aktivního povrchu** (T_{LS}) (land surface temperature)

$$T_{LS} = \frac{T_{rad}}{1 + \left(\frac{\lambda T_{rad}}{\alpha}\right) \ln \varepsilon}$$

$$\alpha = 1,438 \text{ mK}$$

ε = emisivita

Atmosférické korekce

MODTRAN - model radiačního transferu



$$L_T = \frac{L_{TOA} - L_u - \tau(1 - \varepsilon)L_d}{\tau\varepsilon}$$

L_T - spektrální hustota záření absolutně černého tělesa o teplotě T , L_{TOA} - spektrální hustota zářivého toku na horní hranici atmosféry (Top Of Atmosphere - TOA), L_u je záření atmosféry (upwelling radiance), L_d je zpětné záření atmosféry (downwelling radiance), τ je koeficient propustnosti atmosféry (atmospheric transmission) a ε je emisivita.

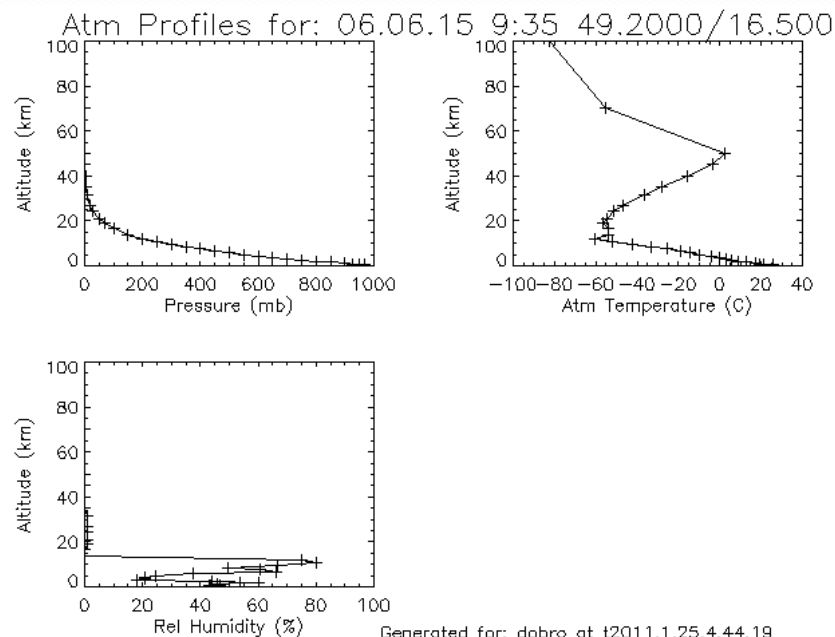
<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

(Barsi et al. 2005)

Atmospheric Correction Parameter Calculator

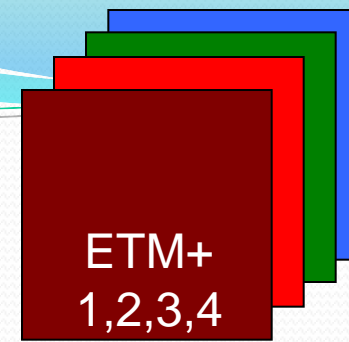
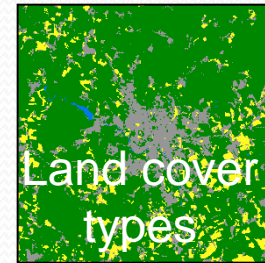
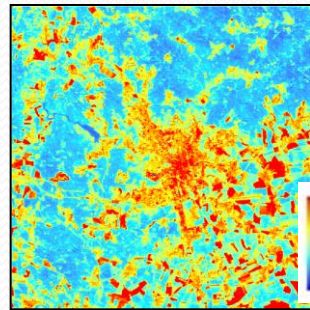
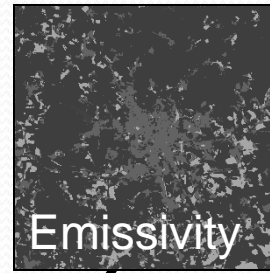
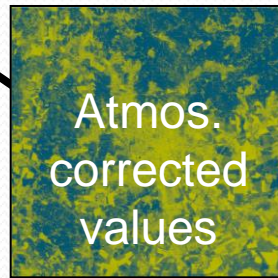
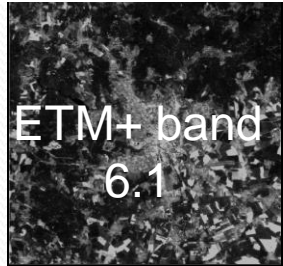
Date (yyyy-mm-dd): 2006-06-15
Input Lat/Long: 49.200/ 16.500
Profile lat/long: 49.000/ 16.000
GMT Time: 9:35
L5 Spectral Response Curve from handbook
Mid-latitude summer standard atmosphere
User input surface conditions
Surface altitude (km): -999.000
Surface pressure (mb): -999.000
Surface temperature (C): -999.000
Surface relative humidity (%): -999.000

Band average atmospheric transmission: 0.79
Effective bandpass upwelling radiance: 1.55 W/m²/sr/um
Effective bandpass downwelling radiance: 2.54 W/m²/sr/um



Odvození LST z dat LANDSAT

$$L_{\text{sensor},\lambda} = \left[\varepsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T_s) + (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{\text{atm},\lambda}^{\downarrow} \right] \tau_{\lambda} + L_{\text{atm},\lambda}^{\uparrow}$$

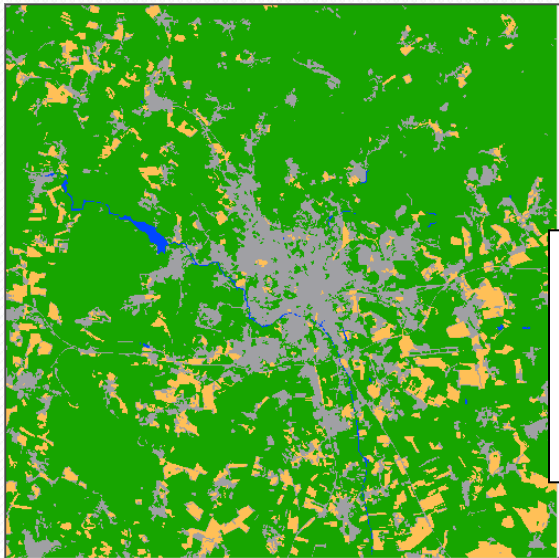
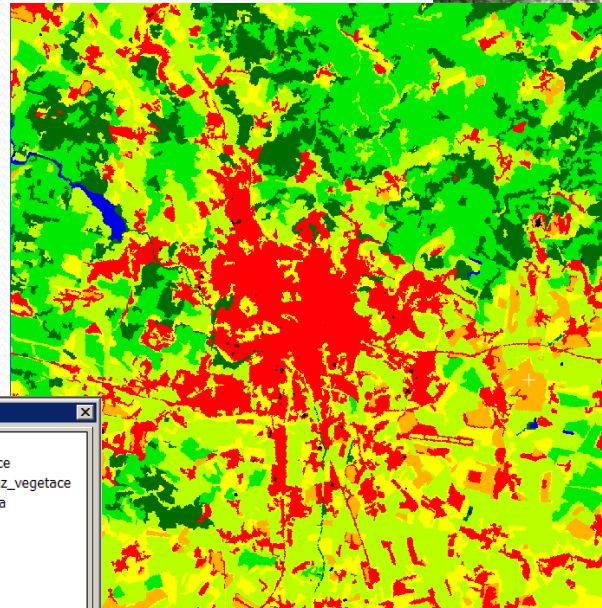
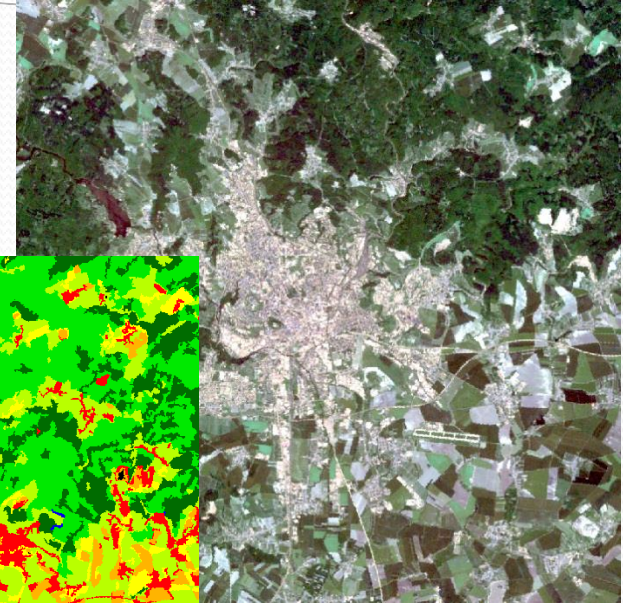


MODTRAN

- transmissivity
- upwelling radiance
- downwelling radiance (Barsi et al. 2005)



Mapa emisivity základních druhů povrchů



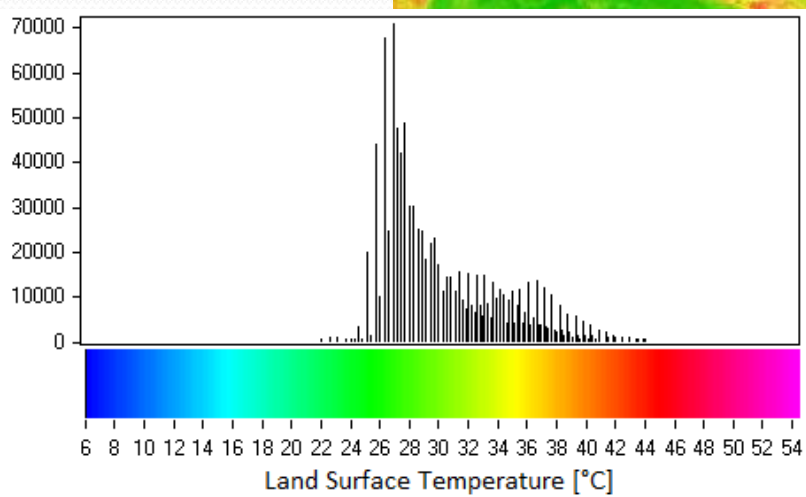
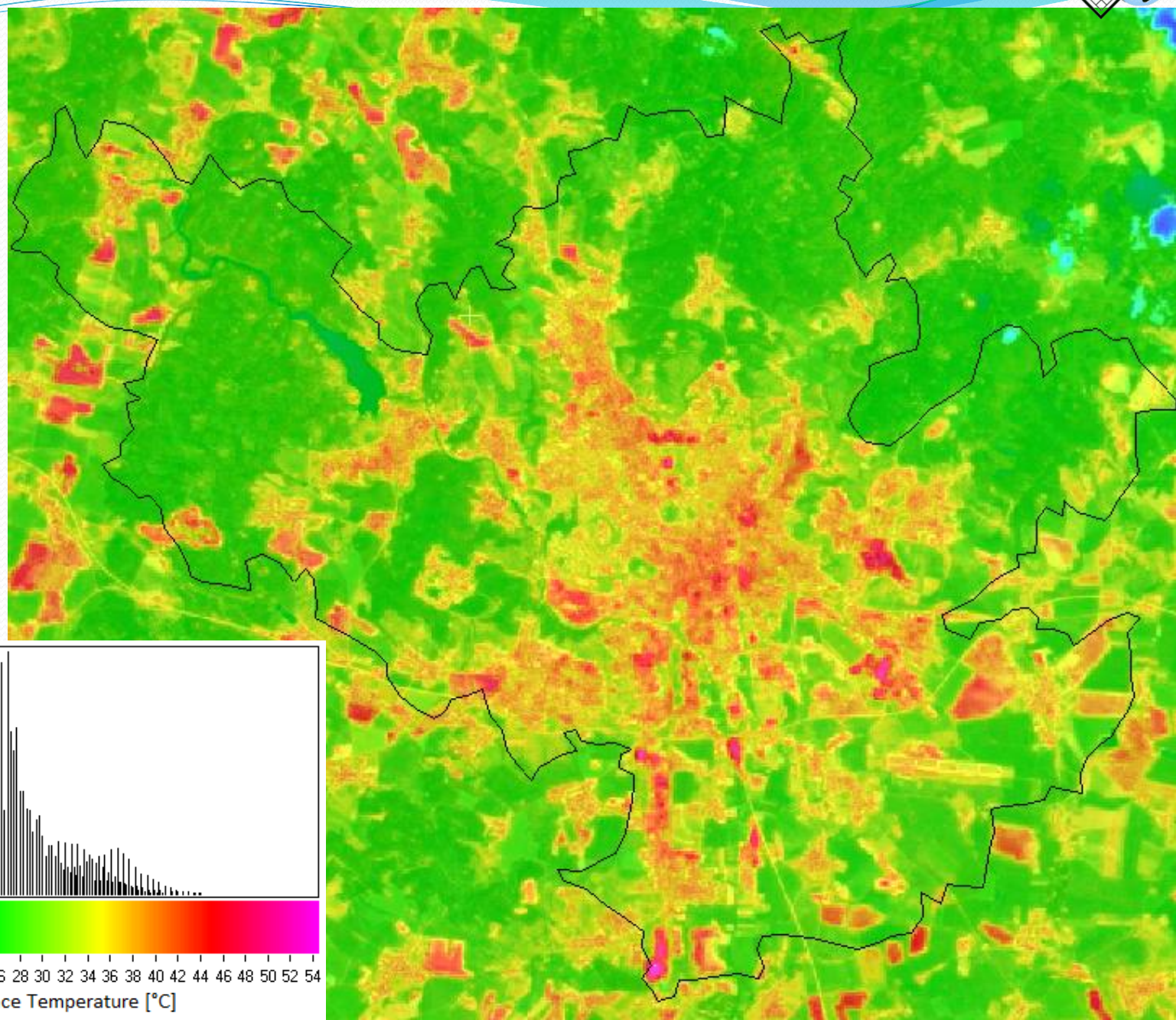
Class Hierarchy

- not voda
- not vegetace
 - pole_bez_vegetace
 - zástavba
- vegetace
- vodní plocha
- vodní tok

<i>water</i>	<i>0,98</i>
<i>bare ground</i>	<i>0,97</i>
<i>vegetation</i>	<i>0,94</i>
<i>built-up area</i>	<i>0,925</i>

**Hodnoty emisivity
(Snyder et al. 1998)**

LST, Brno, 15 červen 2006



Intenzita tepleného ostrova a LST různých druhů povrchů



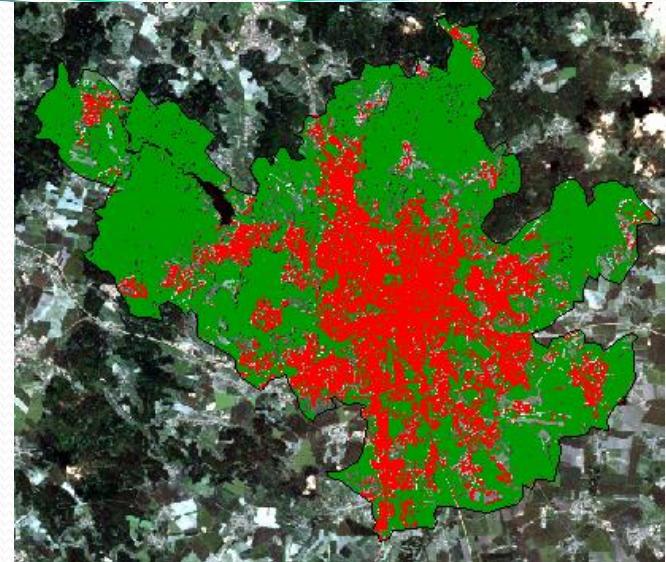
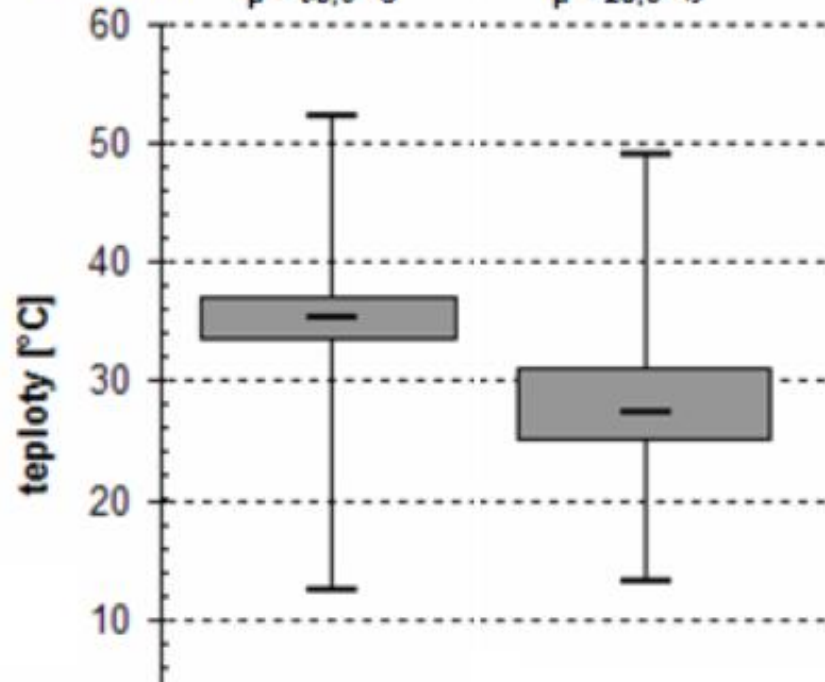
Landsat

město

$\mu = 35,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

venkovská krajina

$\mu = 28,5 \text{ } ^\circ\text{C}$



zastavěné plochy

$\mu = 34,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

půda

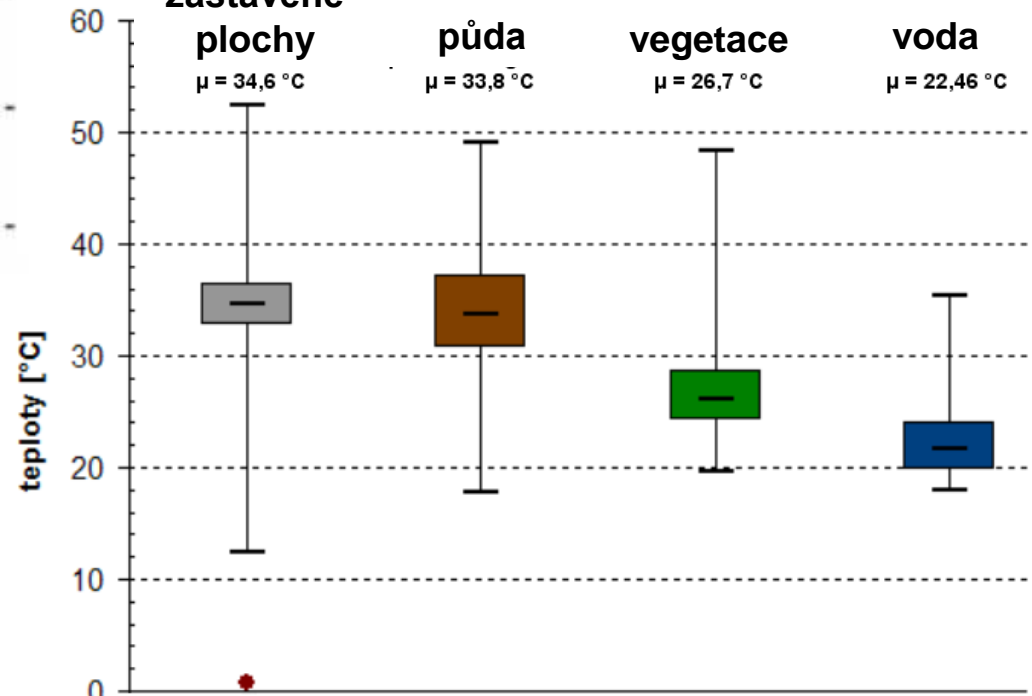
$\mu = 33,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

vegetace

$\mu = 26,7 \text{ } ^\circ\text{C}$

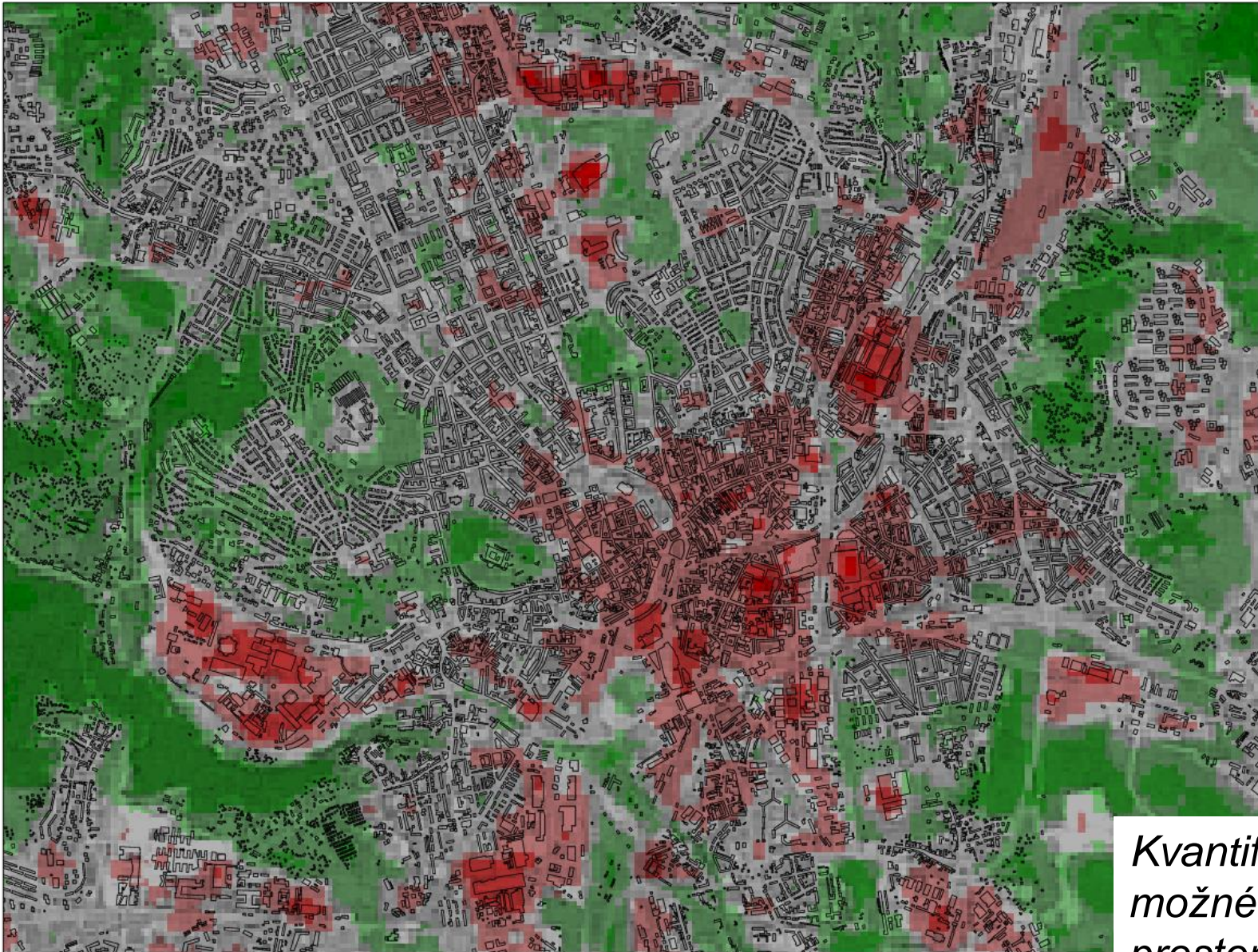
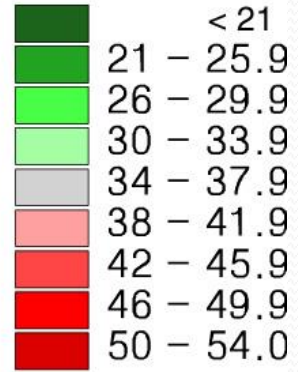
voda

$\mu = 22,46 \text{ } ^\circ\text{C}$



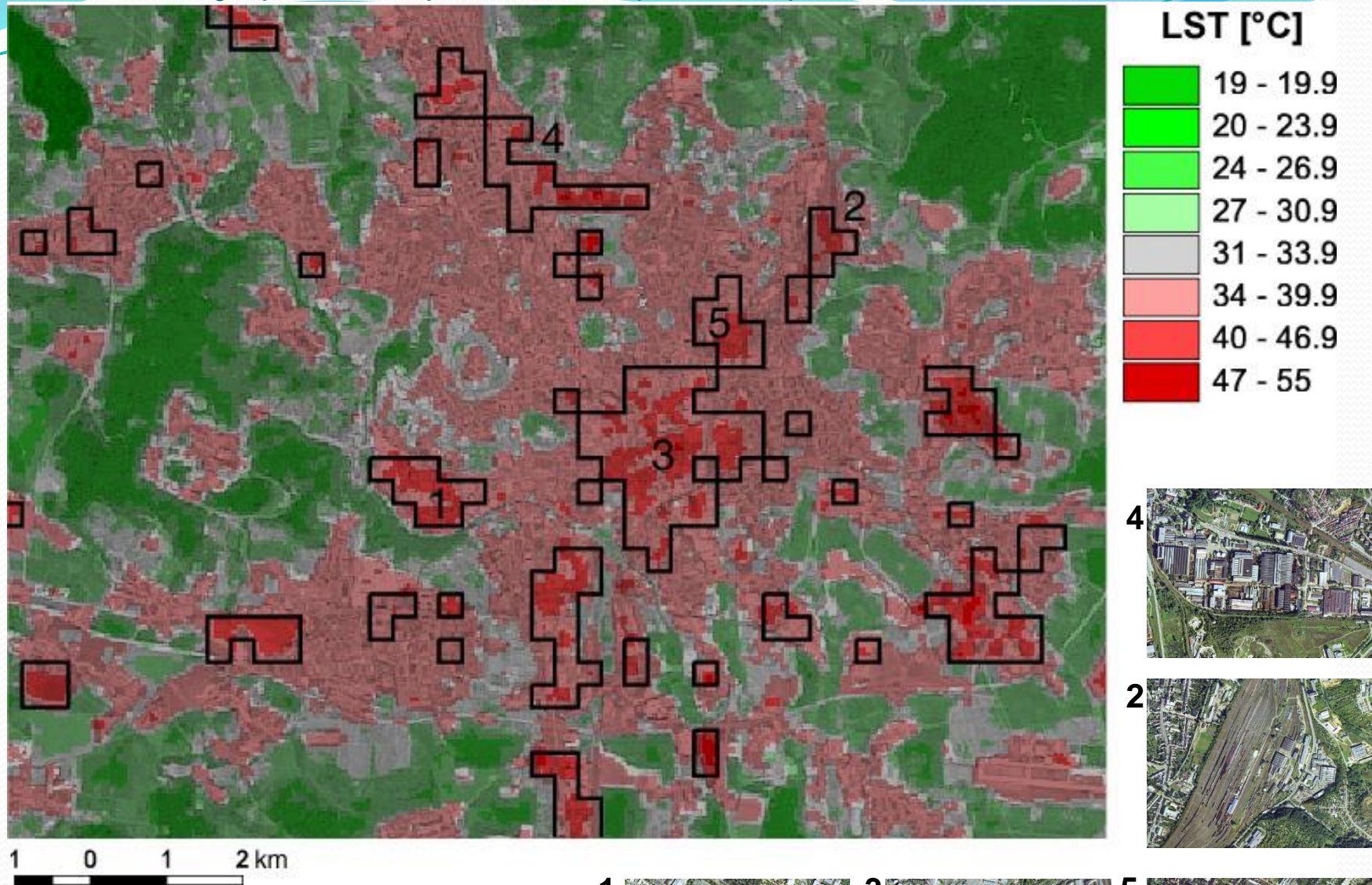
Problém dostupnosti aktuální informace o druzích povrchů

LST [°C]



*Kvantifikace a
možné příčiny
prostorové
diferenciace LST?*

Oblasti s nejvyššími povrchovými teplotami v centru Brna



Místa, jejichž povrchová teplota je vyšší než průměrná hodnota plus 2 sigma



Další zdroje dat pro mapování LST - „multispektrální algoritmy“



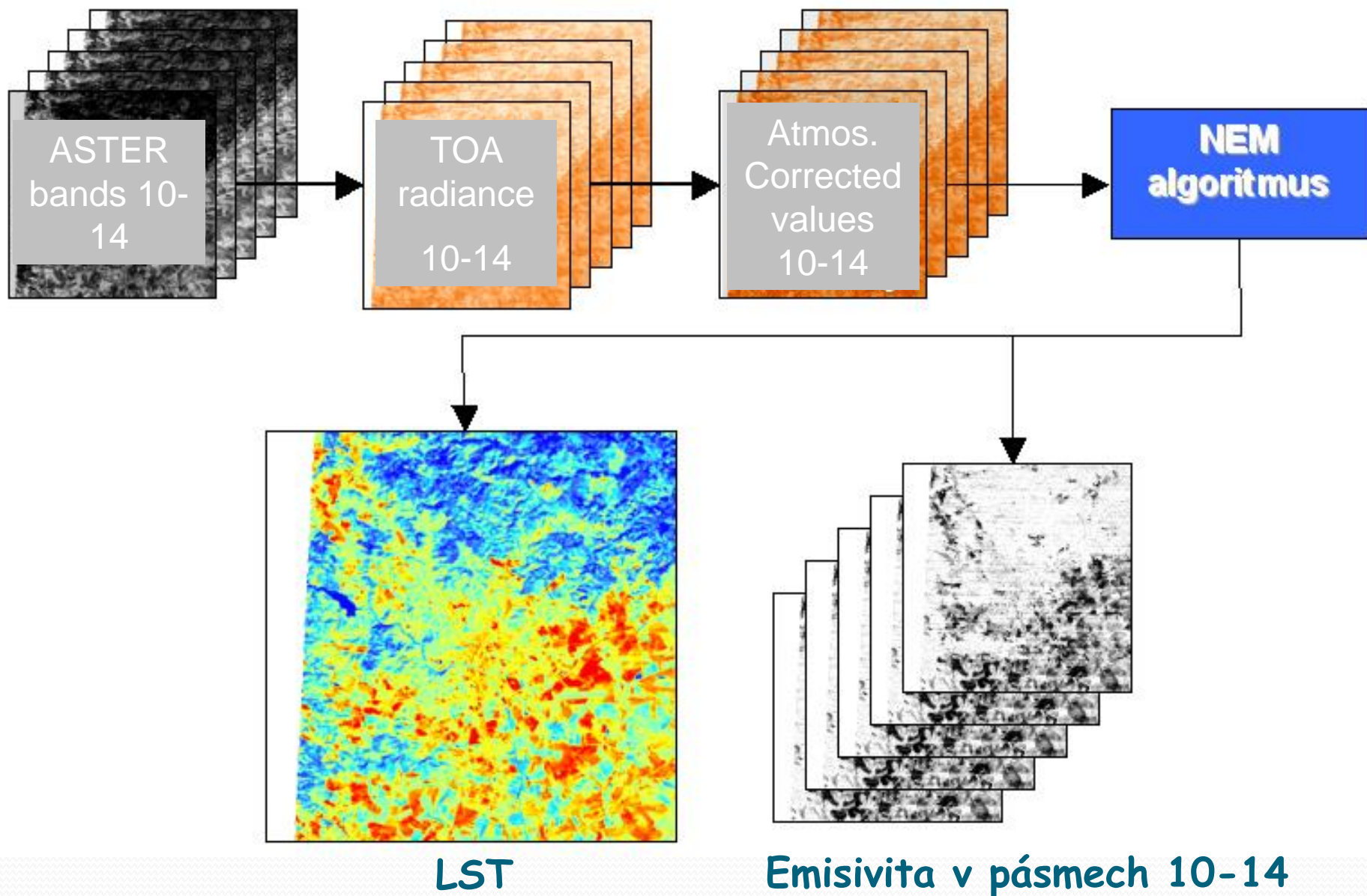
TES - Temperature and Emissivity Separation

- TERRA satellite
- scanner ASTER
- date 2 April 2002
- time 9:57:53 GMT
- 5 thermal bands (10-14)
wavelengths 8.125- 11.65 μm
- spatial resolution 90 m

Synoptic situation SEa

T_{\min} 7.8°C T_{\max} 16.8°C T_{mean} 11.3°C $T_{\text{ground min}}$ 6.4°C

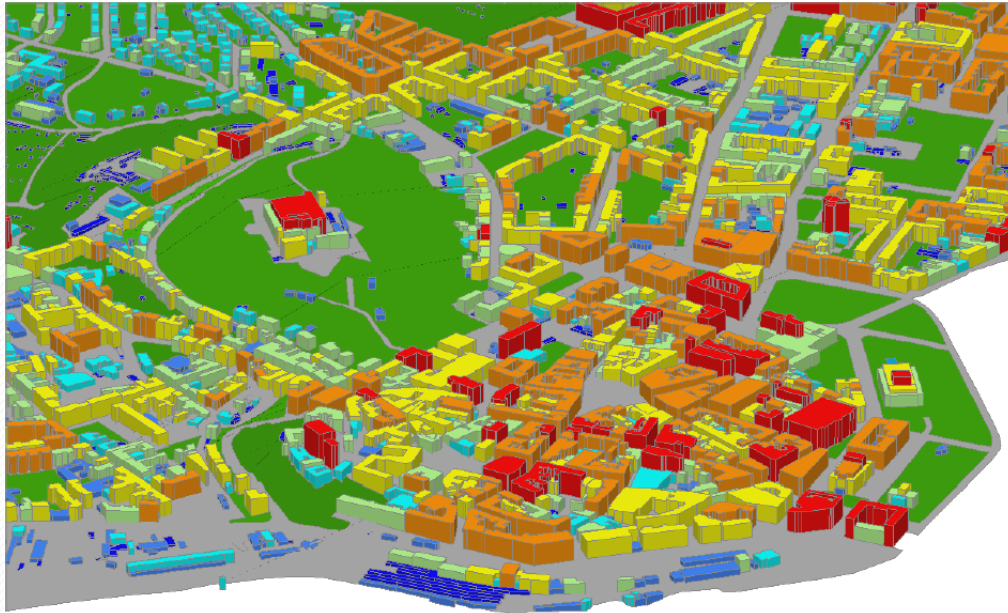
Odvození LST z dat ASTER



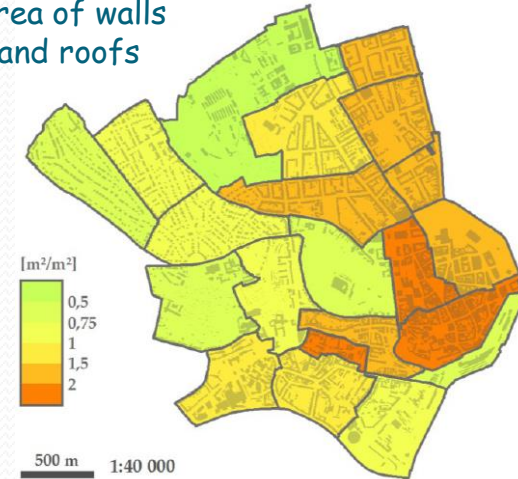
Možnosti zpřesnění modelu prostorové diference LST



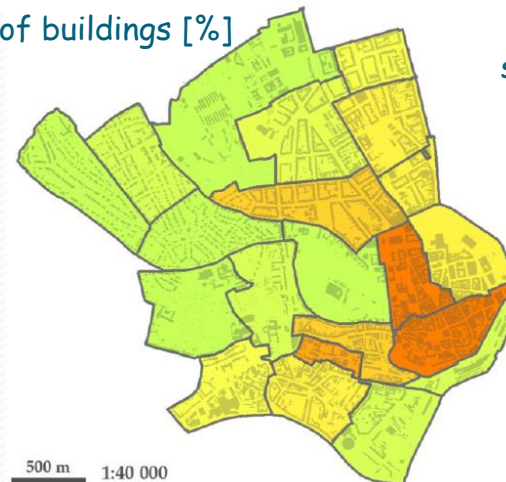
Různé charakteristiky odvozené z 3D modelu budov a z DEM dobře korelují s povrchovými teplotami.



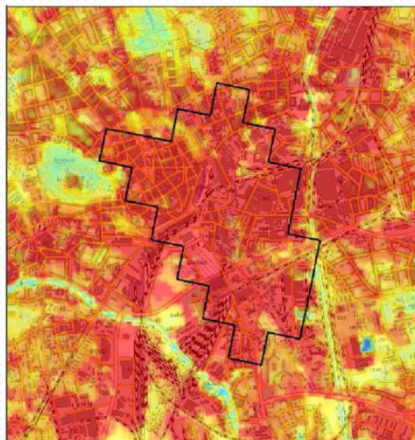
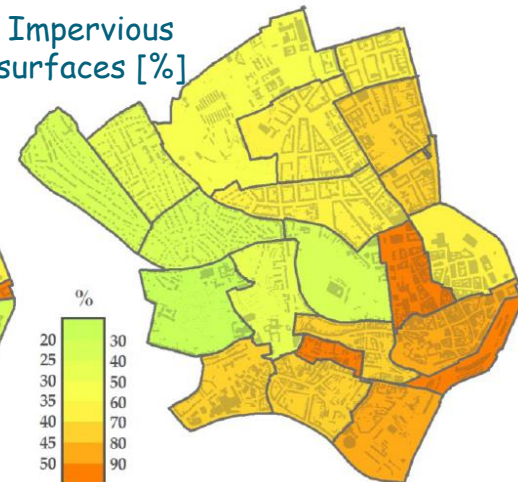
Area of walls and roofs



Area of buildings [%]



Impervious surfaces [%]



2. Spektrální indexy

(příklad empirického modelování)

Aritmetické operace s pásmy multispektrálního obrazu

Cílem je na základě znalosti spektrálního chování zvýraznit například vegetační složku v obraze.

Některé mohou vypovídat i o vlastnostech půdního substrátu.

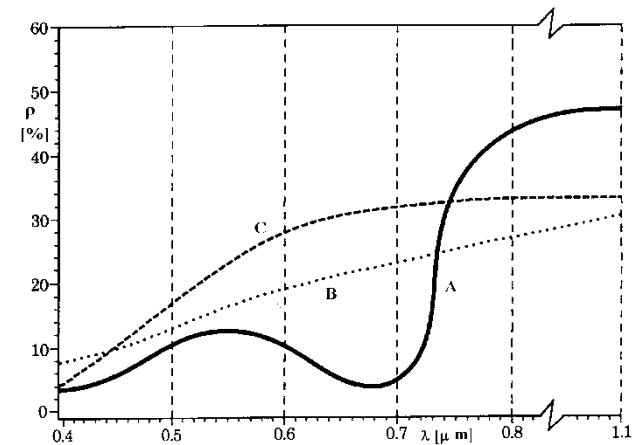
Za určitých předpokladů lze těchto indexů využít i k určování kvantitativních ukazatelů (hmotnost zelené biomasy v ploše pixelu apod.)

Indexy

- poměrové
- ortogonální

Poměrové indexy

Příklady indexů sestavených pro data LANDSAT TM (TM-3 - odrazivost v červené viditelné části spektra, TM-4 - odrazivost v blízké infračervené části spektra):



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

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

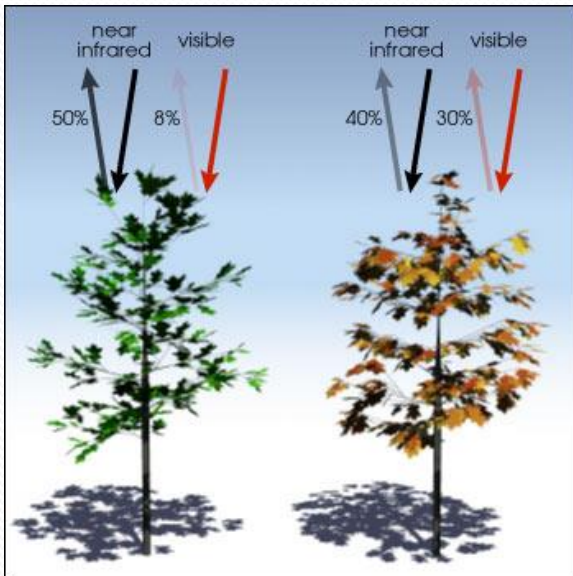
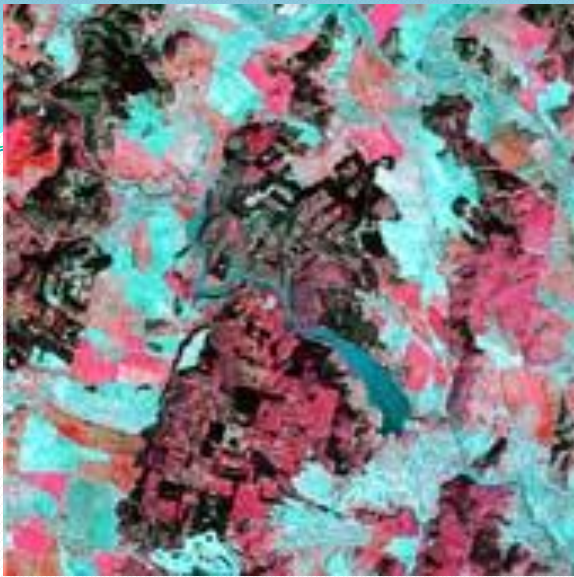
Normalizovaný diferenční vegetační index
(NDVI - Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

Transformovaný vegetační index
(TVI - Transformed Vegetation Index):

$$TVI = SQRT \left[\frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} + 0,5 \right]$$

NDVI



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

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

NDVI zdravé a suché vegetace

(http://www.space.gc.ca/asc/img/hypspect_agri4.gif)

Poměrové indexy

- Mohou významně korelovat s některými parametry vegetační složky krajiny např. **indexem listové pokrývnosti (LAI - leaf area index)** - celková plocha horní strany listů na horizontální jednotku plochy.
- Jsou vhodným nástrojem ke studiu zdravotního stavu vegetace, časových změn a průběhu fenofází, odhadům výnosů zemědělských plodin, odhadům vodního stresu rostlin atd.
- Jedná se o hodnoty relativní, které v ordinální škále řadí hodnoty pixelů podle obsahu biomasy.
- Ke kvantifikaci vypočtených parametrů jsou nutné indexy počítané z atmosféricky korigovaných dat

Upravené vegetační indexy

Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot (\rho_{NIR} - \rho_{red})}{\rho_{NIR} + \rho_{red} + L}$$

kde L je korekce vlivu půdy (0 pro velmi vysokou vegetaci, 1 pro velmi nízkou vegetaci, nejvíce se používá hodnota 0,5)

Upravené vegetační indexy

Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{rb}}{\rho_{NIR} + \rho_{rb}}$$

kde ρ_{rb} je kombinace odrazivosti v červeném a modrém pásmu:

$$\rho_{rb} = \rho_{red} - \gamma(\rho_{blue} - \rho_{red})$$

Hodnota gamma ($\gamma = 1$) je faktor, který eliminuje vliv atmosféry

Upravené vegetační indexy

Enhanced Vegetation Index (EVI)

$$EVI = G \cdot \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L}$$

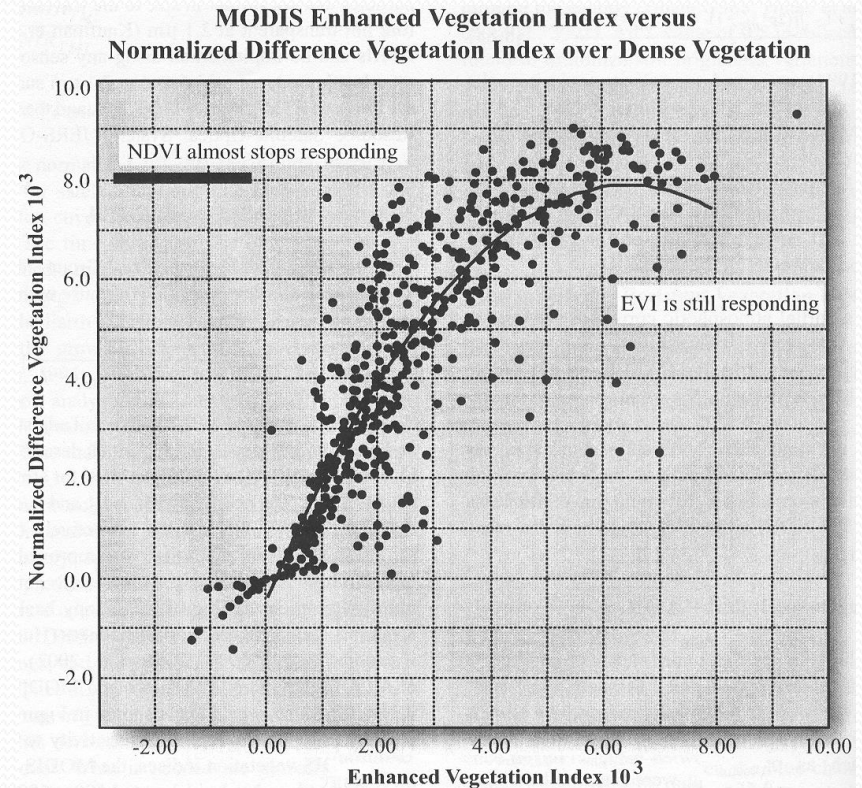
- L je canopy background adjustment – úprava, která určuje nelineární, diferenční přenos NIR a červeného záření skrz vegetaci,
- C1 a C2 jsou koeficienty popisující intenzitu aerosolového rozptylu
- pro družicová data MODIS se používá ve výpočtu EVI těchto hodnot: L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5, a G (přírůstek, gain factor) = 2,5

Upravené vegetační indexy

Enhanced Vegetation Index (EVI)

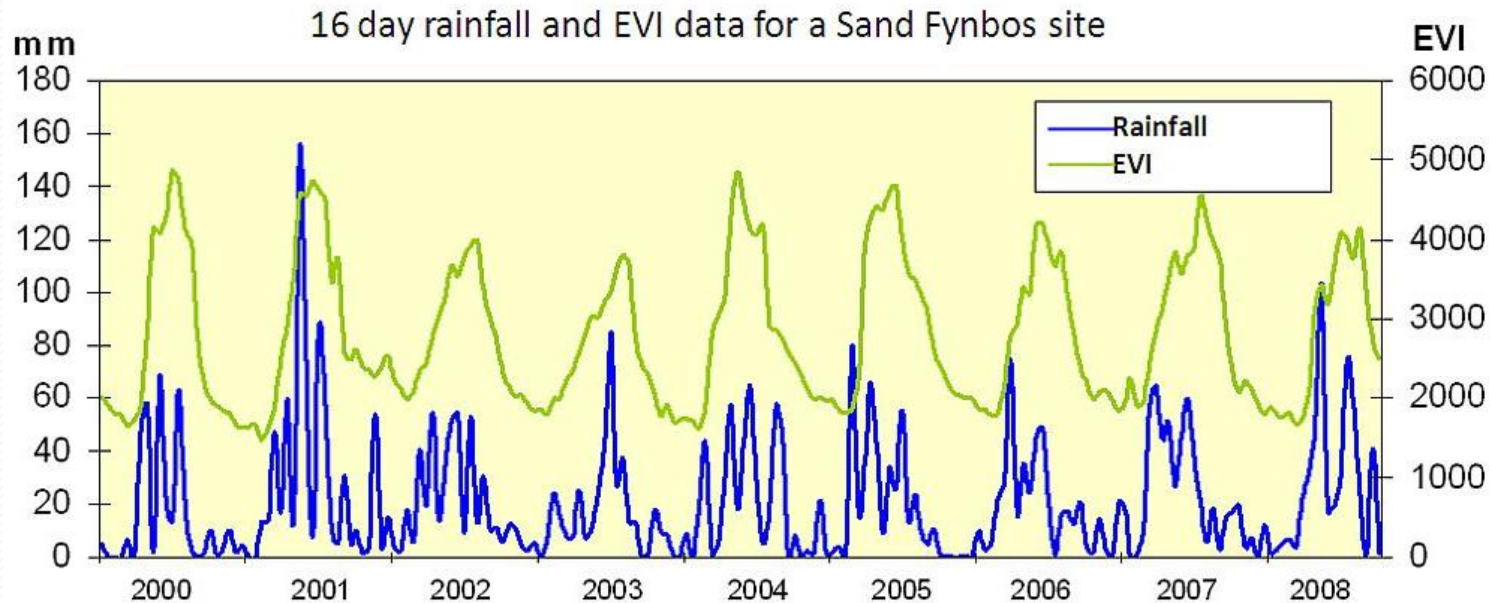
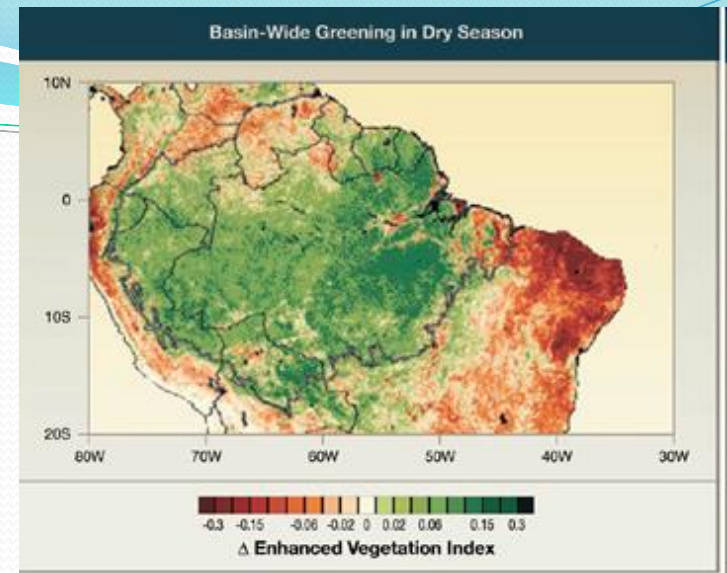
- EVI je ve srovnání s NDVI více citlivý k rozdílům v množství vegetace v hustě zalesněných oblastech a lépe odstraňuje vliv atmosféry nebo zemského povrchu pod vegetací, které bývají zdrojem nepřesností ve výpočtu vegetačních indexů.
- Zatímco NDVI je více citlivý k obsahu chlorofylu, EVI je více citlivý ke změnám ve struktuře vegetačního krytu, včetně LAI, typu vegetačního krytu či fyziognomie rostlin.

Porovnání citlivosti EVI a NDVI *Jensen (2005)*



Upravené vegetační indexy

Příklad mapování EVI



<http://www.saeon.ac.za/>

Globální mapování



EARTH OBSERVATORY

Home

Images

Global Maps

Features

News & Notes



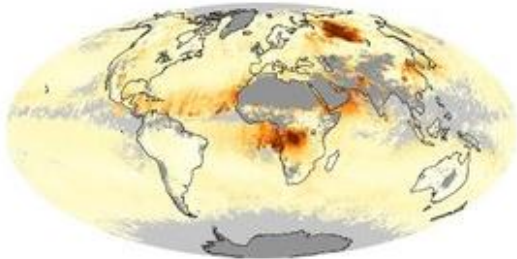
Search

[Home](#) / [Global Maps](#)

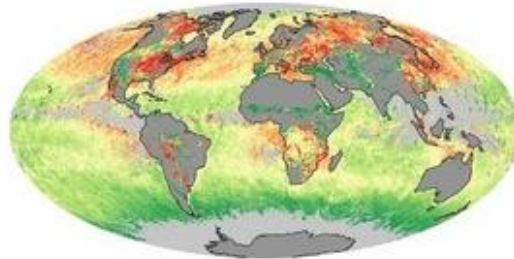
Global Maps

NASA satellites give us a global view of what's happening on our planet. To explore how key parts of Earth's climate system change from month to month, click on one of the maps below.

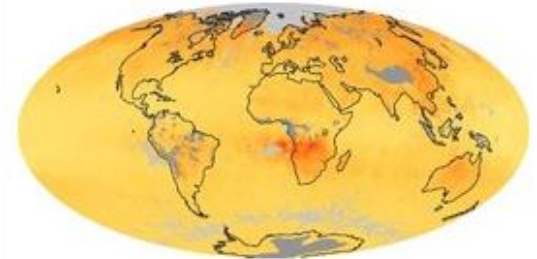
Aerosol Optical Depth



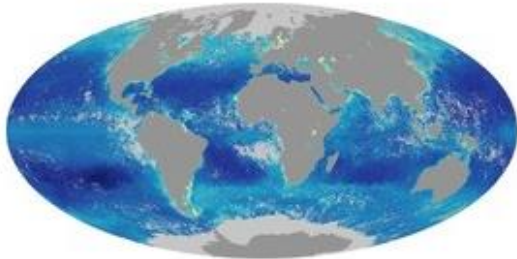
Aerosol Size



Carbon Monoxide



Chlorophyll



Cloud Fraction



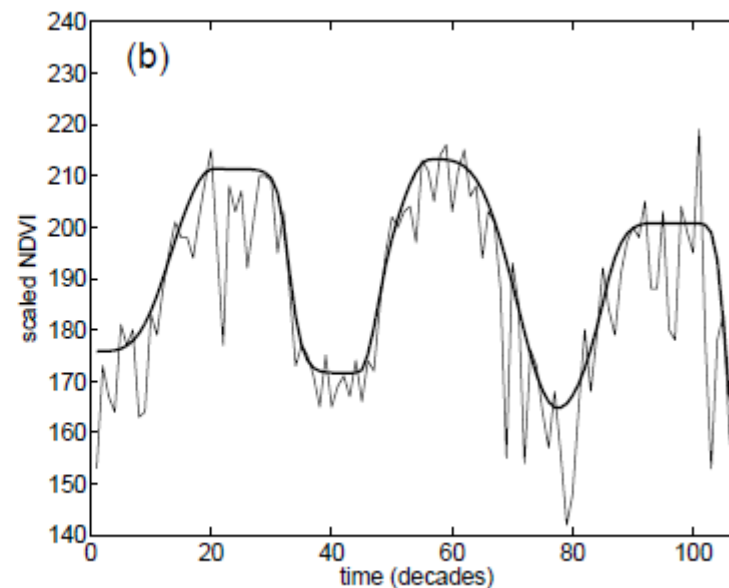
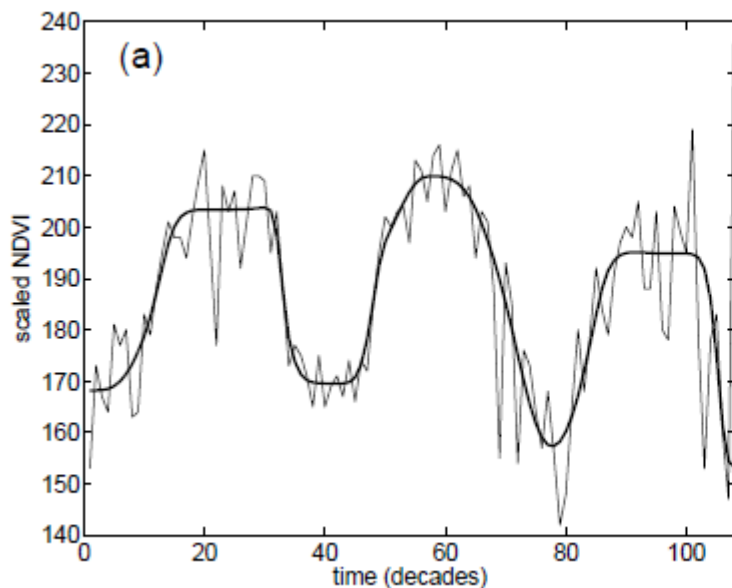
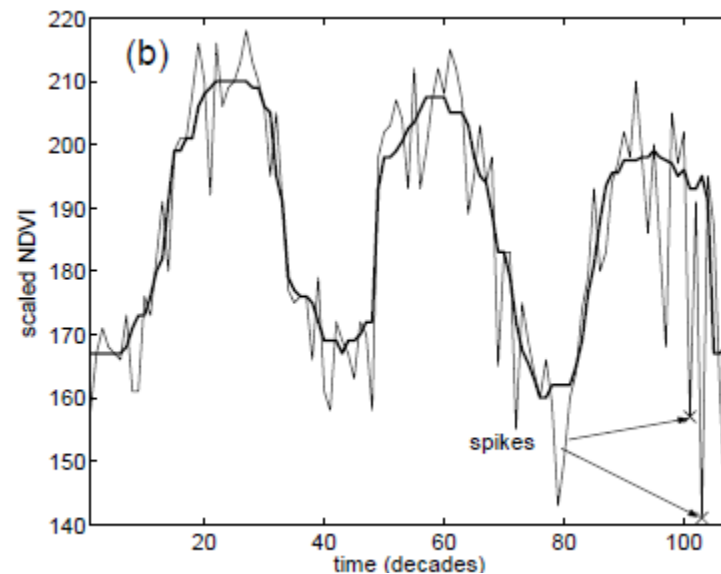
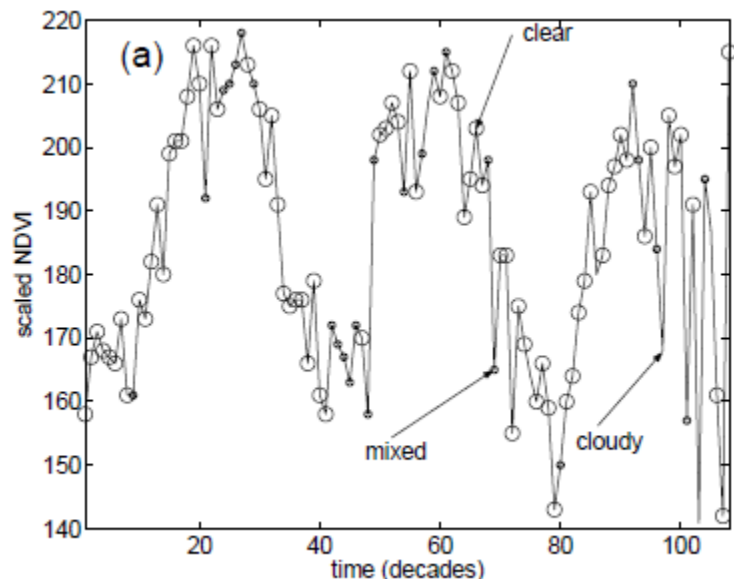
Fire



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

Analýza časových řad vegetačních indexů

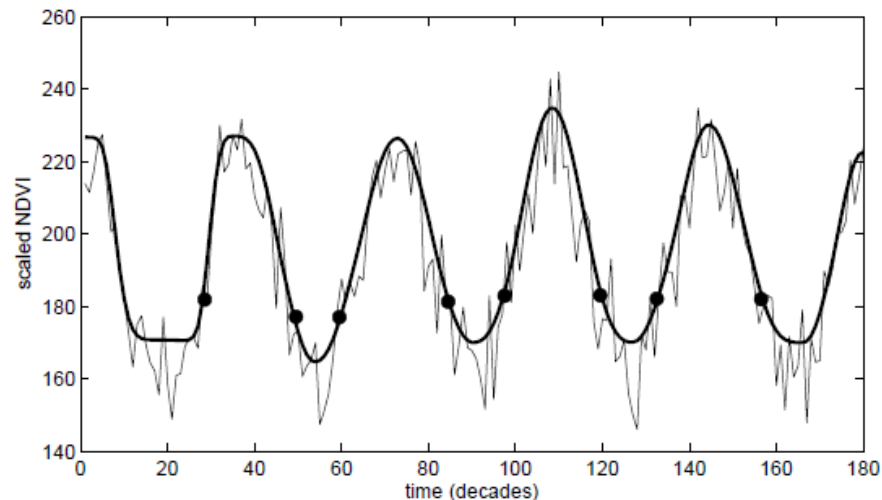
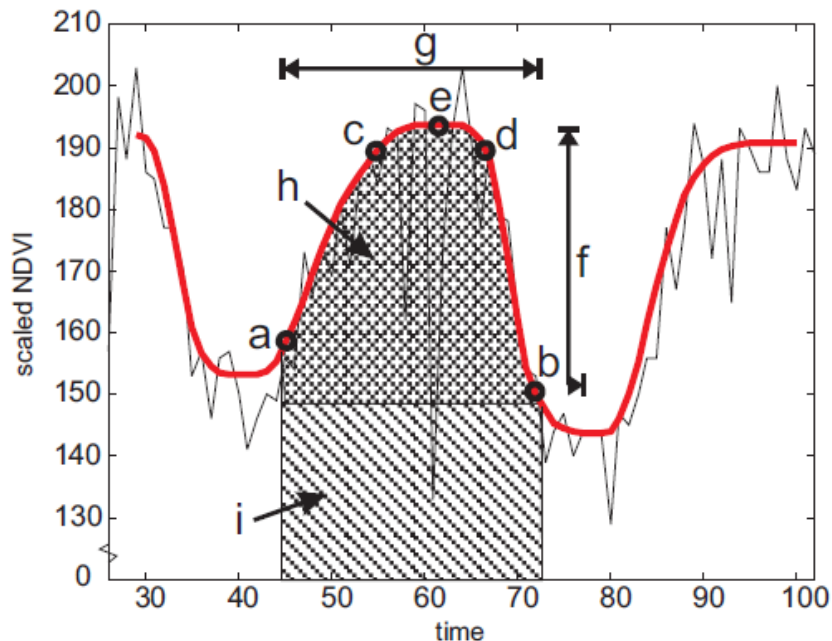
TIMESAT - filtrování časových řad



Analýza časových řad vegetačních indexů

TIMESAT

2) výpočet fenologických charakteristik



- (a) Začátek vegetační sezóny
- (b) konec sezóny
- (c) 80 % veg. sezóny
- (d) 80 % veg. sezóny
- (e) Maximální hodnota
- (f) Sezónní amplituda
- (g) Délka sezóny
- (h) kumulativní efekt vegetace během sezóny
- (i) kumulativní efekt vegetace během sezóny

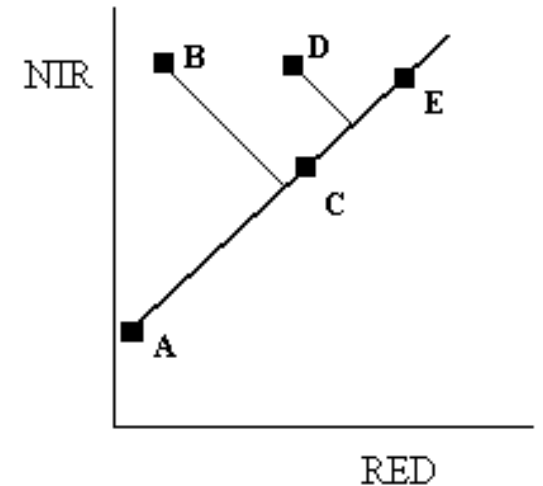
Ortogonalní indexy

- Jsou lineární kombinací původních pásem multispektrálního obrazu.
- Stejně jako PCA se jsou založeny na rotaci souřadnic příznakového prostoru.
- Touto transformací se v tomto případě zvýrazňuje vegetační složka krajiny, ale i některé vlastnosti půdního substrátu - například půdní vlhkost apod.
- Koeficienty transformace jsou určeny empiricky – proto má řada indexů omezenou použitelnost.

PVI (perpendicular vegetation index)

Umožňuje separovat odrazivost vegetace a půdního substrátu.

linie půd (soil line): $NIR_p = a \cdot RED_p + b$



Pixely, na jejichž odrazivosti se v různé míře podílí vegetace, se budou v grafu umísťovat nad uvedenou linii půd.

PVI - kolmá vzdálenost pixelu od linie půd:

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

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

Transformace "TASSELED CAP"

Koeficienty transformačních rovnic jsou určeny tak, aby každé z nově vypočtených pásem zvýrazňovalo informaci korelující s určitými vlastnostmi půdy a vegetace:

TABLE 1 TM Tasseled Cap Equivalent Transformation Matrix for Band Reflectance Factor Data*

FEATURE	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7
Brightness _R	0.2043	0.4158	0.5524	0.5741	0.3124	0.2303
Greenness _R	-0.1603	-0.2819	-0.4934	0.7940	-0.0002	-0.1446
Wetness _R	0.0315	0.2021	0.3102	0.1594	-0.6806	-0.6109
Fourth _R *	-0.2117	-0.0284	0.1302	-0.1007	0.6529	-0.7078
Fifth _R *	-0.8669	-0.1835	0.3856	0.0408	-0.1132	0.2272
Sixth _R *	0.3677	-0.8200	0.4354	0.0518	-0.0066	-0.0104

Table 2. Tasseled cap coefficients for Landsat 7 ETM+ at-satellite reflectance.

Index	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Brightness	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
Greenness	-0.3344	-0.3544	-0.4556	0.6966	-0.0242	-0.2630
Wetness	0.2626	0.2141	0.0926	0.0656	-0.7629	-0.5388
Fourth	0.0805	-0.0498	0.1950	-0.1327	0.5752	-0.7775
Fifth	-0.7252	-0.0202	0.6683	0.0631	-0.1494	-0.0274
Sixth	0.4000	-0.8172	0.3832	0.0602	-0.1095	0.0985

Table 2. TCT coefficients for Landsat 8 at-satellite reflectance.

Landsat 8	(Blue) Band 2	(Green) Band 3	(Red) Band 4	(NIR) Band 5	(SWIR1) Band 6	(SWIR2) Band 7
Brightness	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.508	0.1872
Greenness	-0.2941	-0.243	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608
Wetness	0.1511	0.1973	0.3283	0.3407	-0.7117	-0.4559
TCT4	-0.8239	0.0849	0.4396	-0.058	0.2013	-0.2773
TCT5	-0.3294	0.0557	0.1056	0.1855	-0.4349	0.8085
TCT6	0.1079	-0.9023	0.4119	0.0575	-0.0259	0.0252

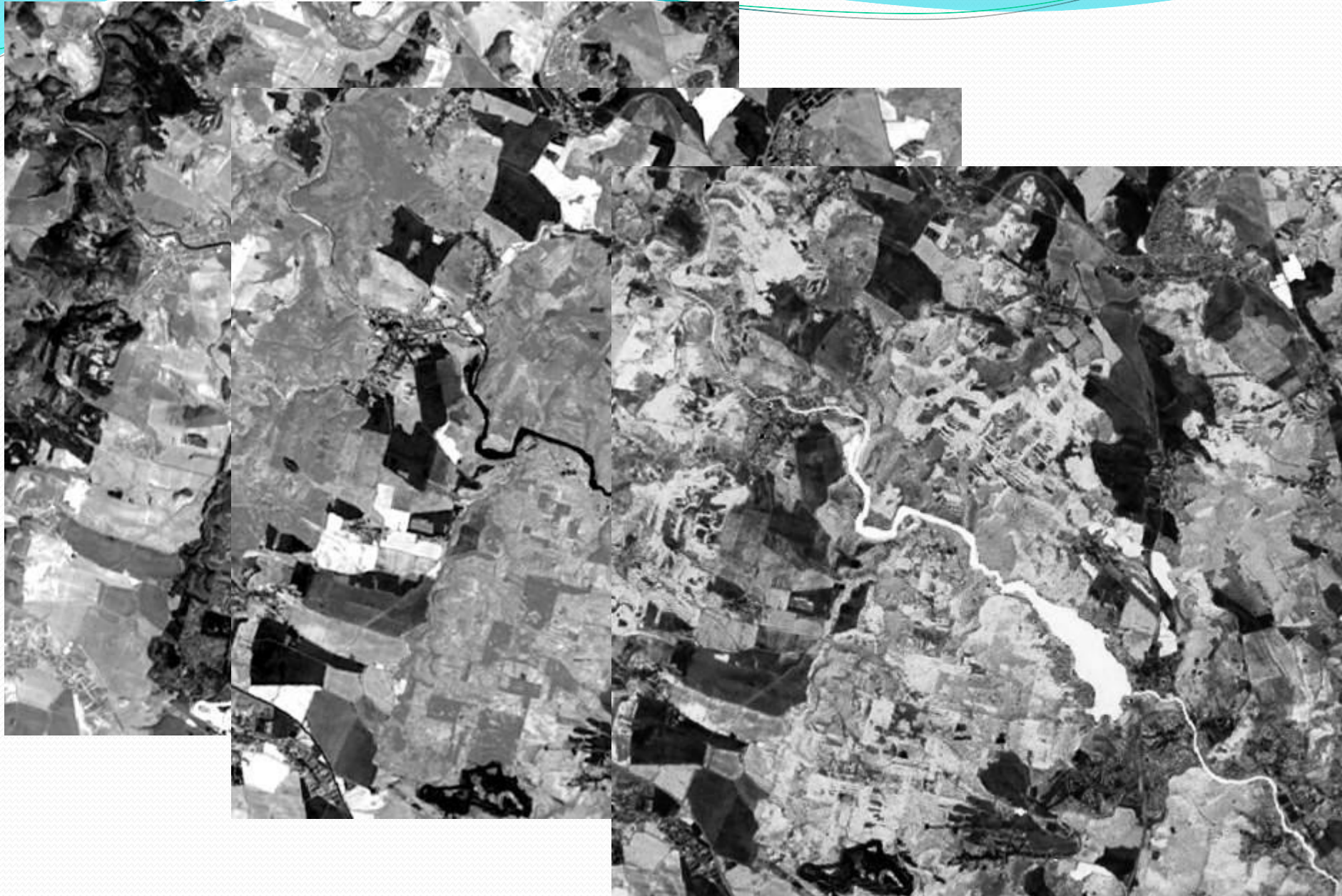
TC1 - orientováno ve směru maximálního rozptylu hodnot odrazivosti půdy a označuje se jako index „**brightness**“,

TC2 - kolmé k TC1 a je orientováno ve směru největšího kontrastu mezi viditelnou a blízkou infračervenou částí spektra. Je tedy ukazatelem množství zelené hmoty - index „**greenness**“.

TC3 - koreluje s vlhkostí půdy a vegetace - index „**wetness**“ .

[Sentinel 2 - koeficienty indexů](https://www.indexdatabase.de/)
<https://www.indexdatabase.de/>

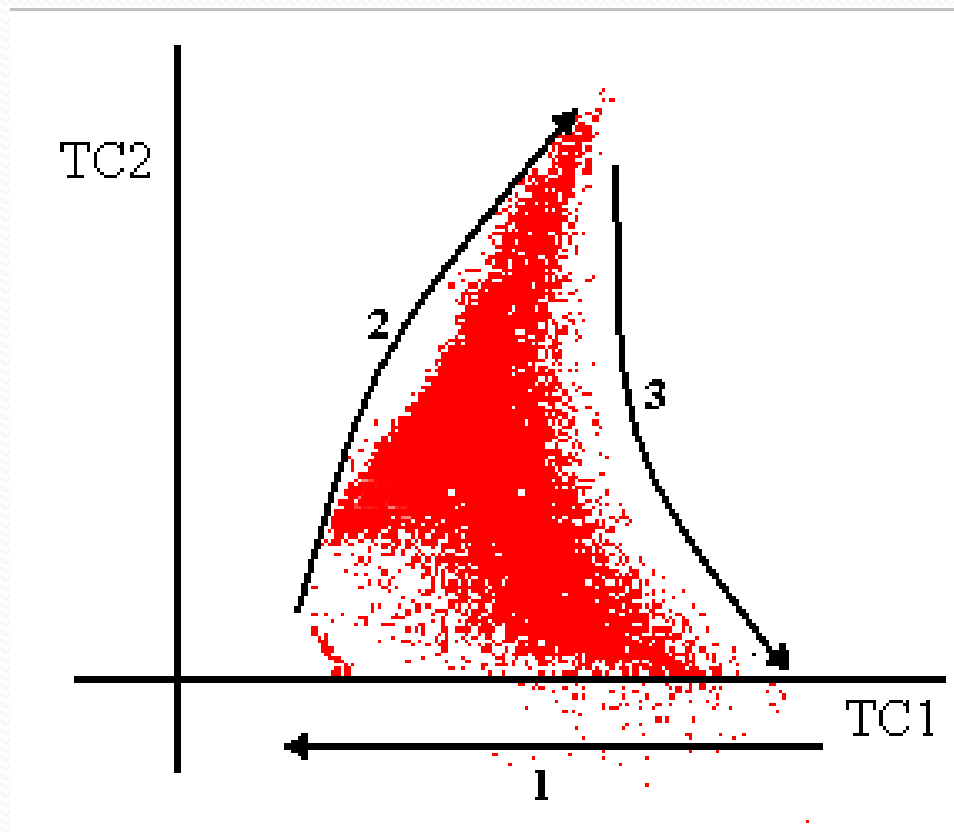
Indexy odrazivosti půdy, vegetace a vodního obsahu



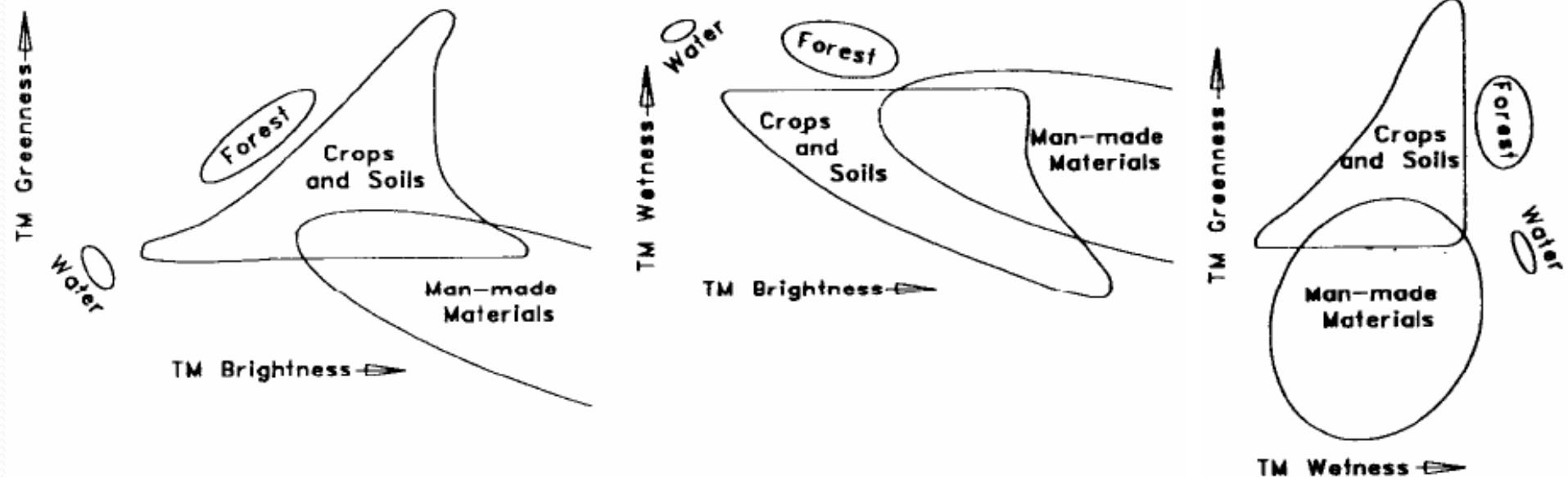
Transformace "TASSELED CAP"

Hodnoty odpovídajících si pixelů z indexů TC1 a TC2 vyneseny do dvourozměrného grafu vytvářejí charakteristický obrazec, podle kterého celá transformace dostala název (Tasseled Cap - čepice Santa Clause)

Vegetační složka prodělává v rovině definované indexy Brightness a Greenness typické časové změny. Na počátku vegetačního období dominuje odrazivost holé půdy (1). S postupným rozvojem vegetace se zvyšují hodnoty indexu Greenness (2) až do stádia zralosti. Poté vegetace postupně odumírá a hodnoty indexu Greenness klesají na úkor hodnot indexu Brightness (3), což indikuje nárůst podílu půdního substrátu na odrazivosti.



Transformace "TASSELED CAP"



Příznakový prostor povrchů u vybraných kombinací spektrálních indexů transformace Tasseled Cap vypočtená ze senzoru TM
(<http://ciesin.org/docs/005-419/fig3.gif>)

Další spektrální indexy

Indexy používané ke **zjištění obsahu vody** v listech a k monitorování stavu vegetace v období sucha v oblastech, kde sezónní střídání období s dostatkem až nadbytkem srážek a s obdobími sucha způsobuje u vegetace vodní stres

Moisture Stress Index

$$MSI = \frac{TM5}{TM4}$$

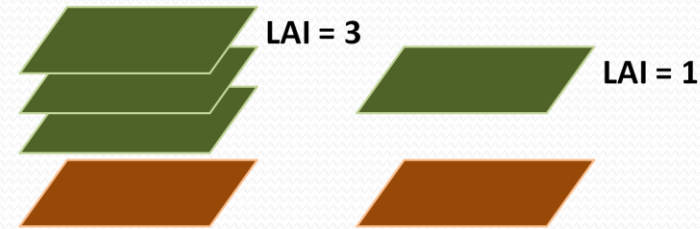
Leaf Water Content Index (LWCI)

$$LWCI = \frac{-\log[1 - (TM4 - TM5)]}{-\log[1 - TM4 - TM5]}$$

Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

- Vegetační indexy jsou bezrozměrné míry, které jsou počítány přímo z hodnot odrazivosti (reflectance) či zářivosti (radiance) v určitých intervalech vlnových délek.
- Z těchto indexů lze pomocí dalších empirických vztahů určit nové (odvozené) ukazatele, které přináší informace např. o produktivitě ekosystémů
- Tyto odvozené ukazatele mají na rozdíl od vegetačních indexů fyzikální rozměr.

Index listové pokrývnosti Leaf Area Index (LAI)

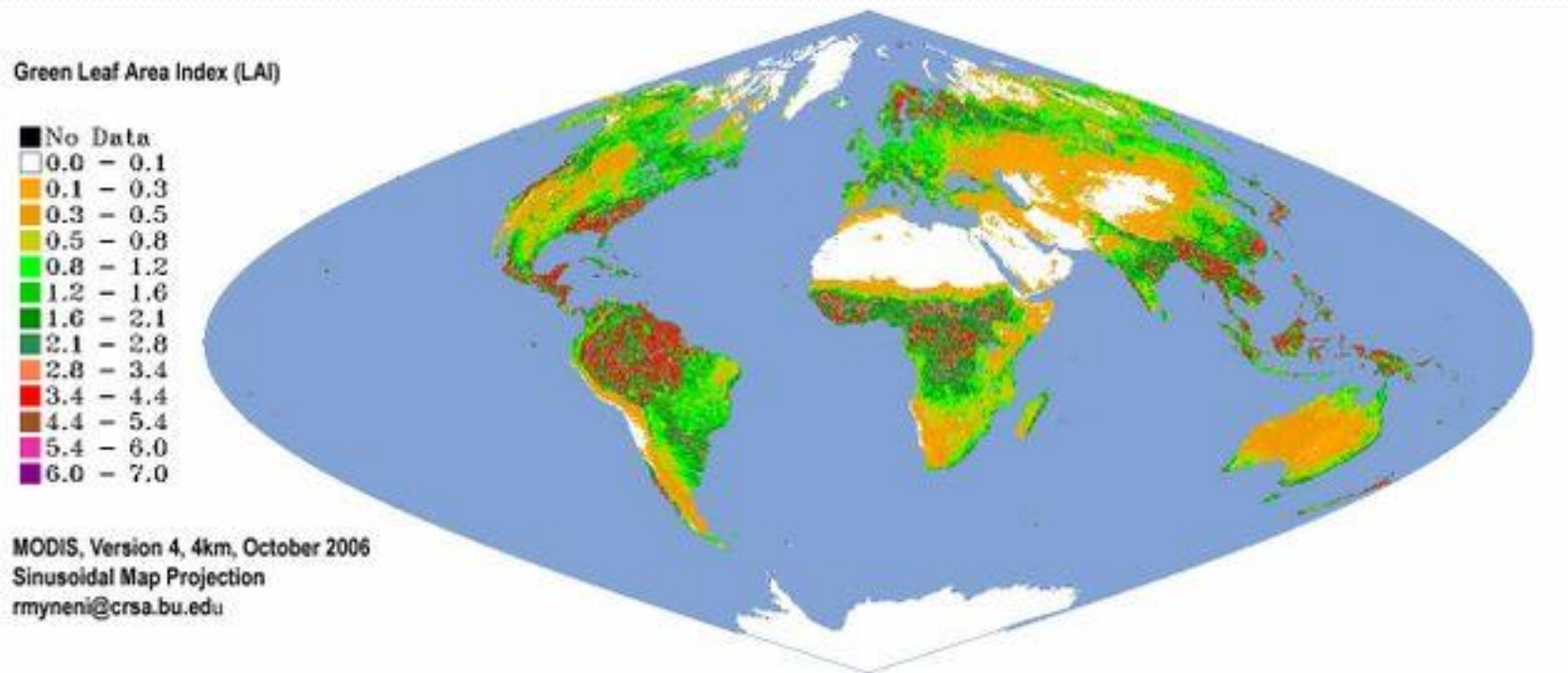


- LAI je klíčovou proměnnou, která odráží výměnu a toky energií, hmoty (vody a oxidu uhličitého) mezi povrchem Země a atmosférou.
- Je definován jako polovina celkové plochy listů na plošnou jednotku povrchu půdy v listnatých porostech
- Pro jehličnaté porosty je LAI definován jako plocha jehlic promítnutá na jednotku půdy a je tedy kvantitativní mírou hustoty listů, která odráží stav vegetace.

Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

Vztah pro výpočet LAI s použitím hodnot NDVI ze senzoru AVHRR (Zhangsi a Williams, 1997):

$$LAI_i = LAI_{\max} \cdot (NDVI_i - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})$$

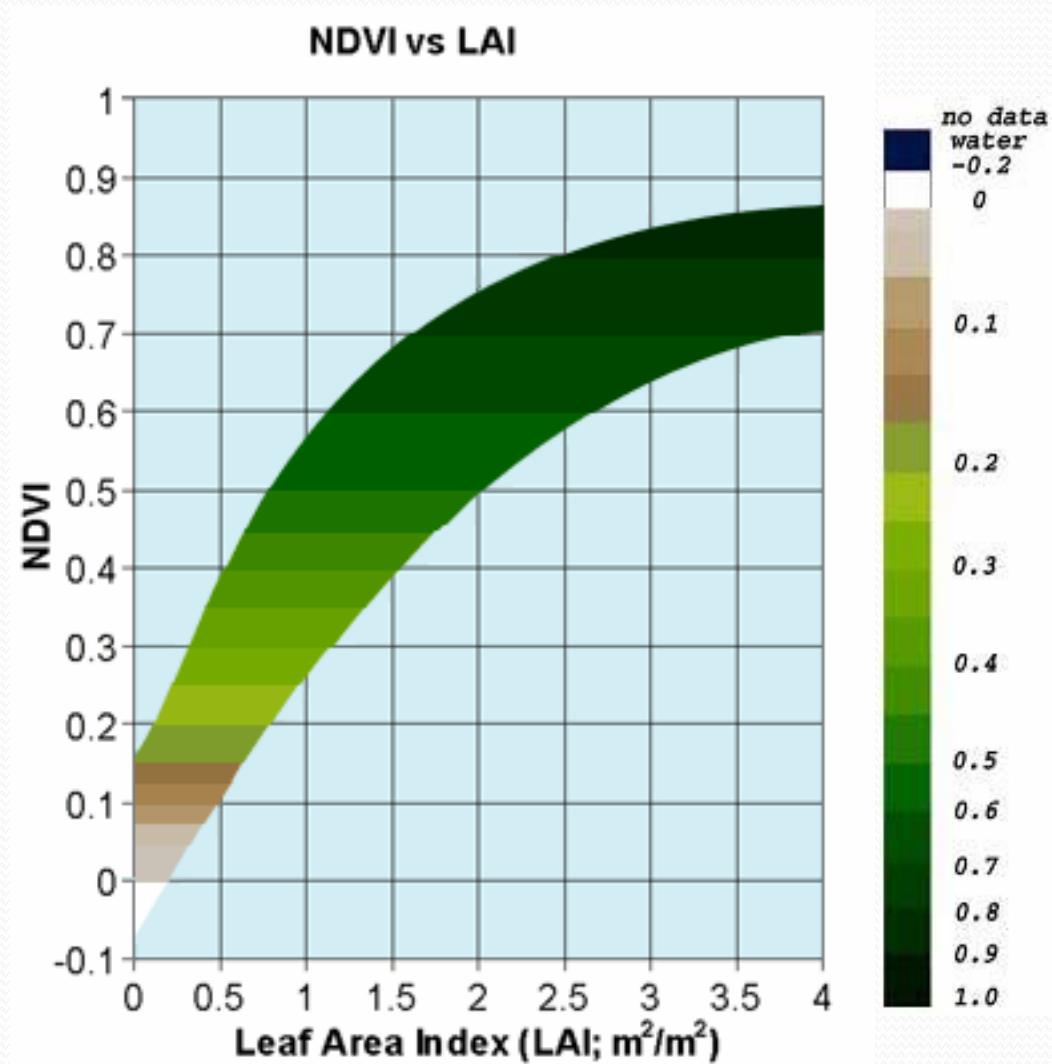


Aqua MODIS LAI, říjen 2006

(<http://cliveg.bu.edu/modismisr/album/aqua/2006/target9.html>)

Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

Zjednodušený vztah mezi NDVI a LAI

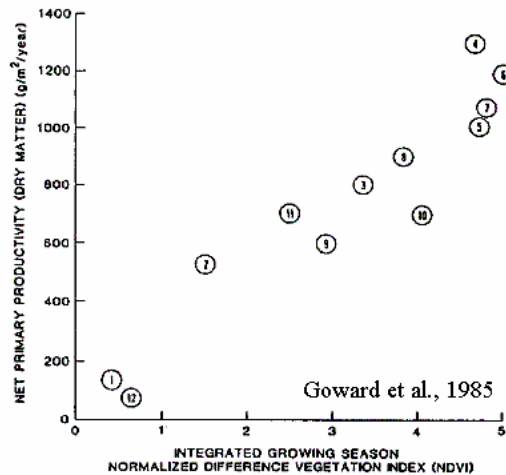
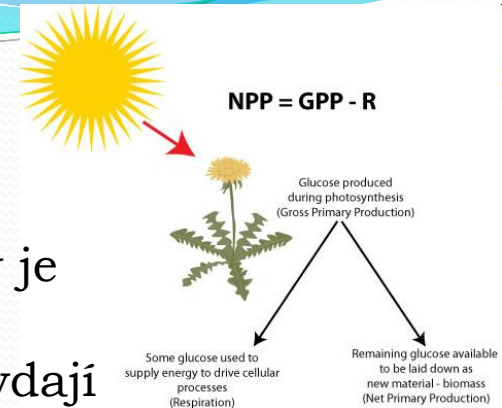


(<http://rangeview.arizona.edu/Tutorials/intro.asp>)

Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

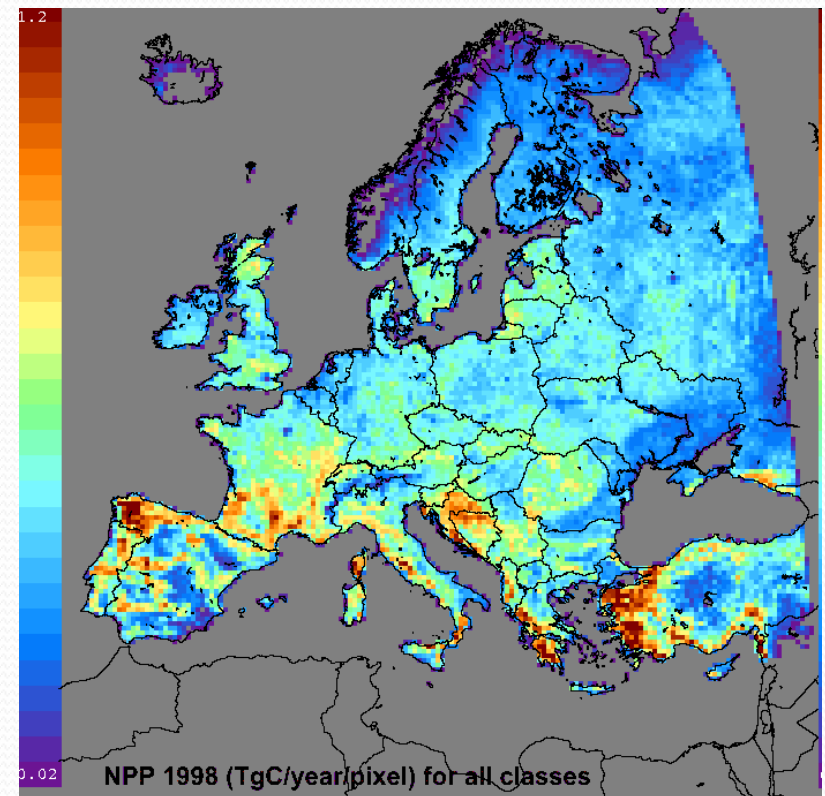
Net Primary Productivity (NPP)

NPP je kvantitativní míra absorpce uhlíku rostlinami v daném čase a prostoru. Jedná se o míru růstu vegetace, indikuje biologickou produktivitu rostlin: vyjadřuje, jaký je rozdíl mezi množstvím oxidu uhličitého, který rostliny spotřebují při fotosyntéze, a množstvím, které rostliny vydají při respiraci. Měření NPP poskytuje informace o koloběhu oxidu uhličitého v globálním měřítku.



- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| ① TUNDRA | ⑦ OAK-PINE SUBCLIMAX |
| ② TUNDRA-CONIFEROUS ECOTONE | ⑧ PINE SUBCLIMAX |
| ③ BOREAL CONIFEROUS | ⑨ GRASSLAND |
| ④ TEMPERATE MOIST CONIFEROUS | ⑩ CULTIVATED |
| ⑤ CONIFEROUS-DECIDUOUS ECOTONE | ⑪ WOODLAND & SCRUB |
| ⑥ DECIDUOUS | ⑫ DESERT |

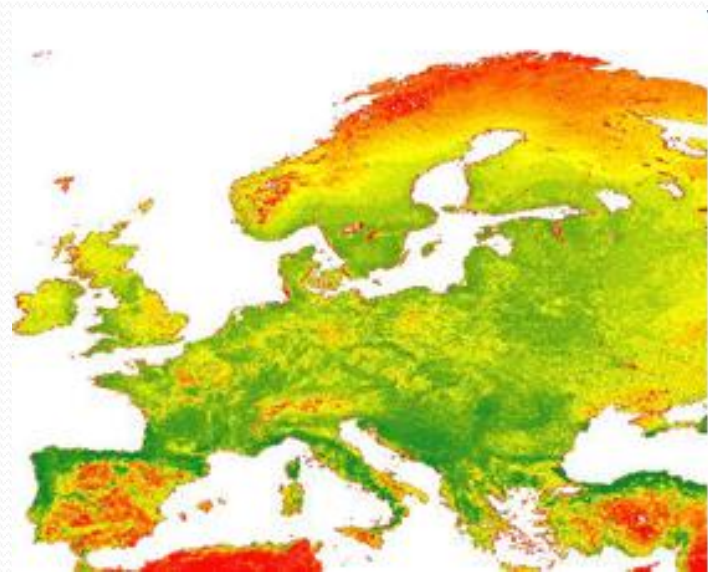
Korelace mezi NDVI a NPP



Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

Net Ecosystem Productivity (NEP)

- NEP vychází z hodnot NPP, bere však v úvahu také respirační toky v půdě, které jsou způsobeny rozkladem organické hmoty.
- NEP je odhadem toků uhlíku mezi ekosystémy a atmosférou.

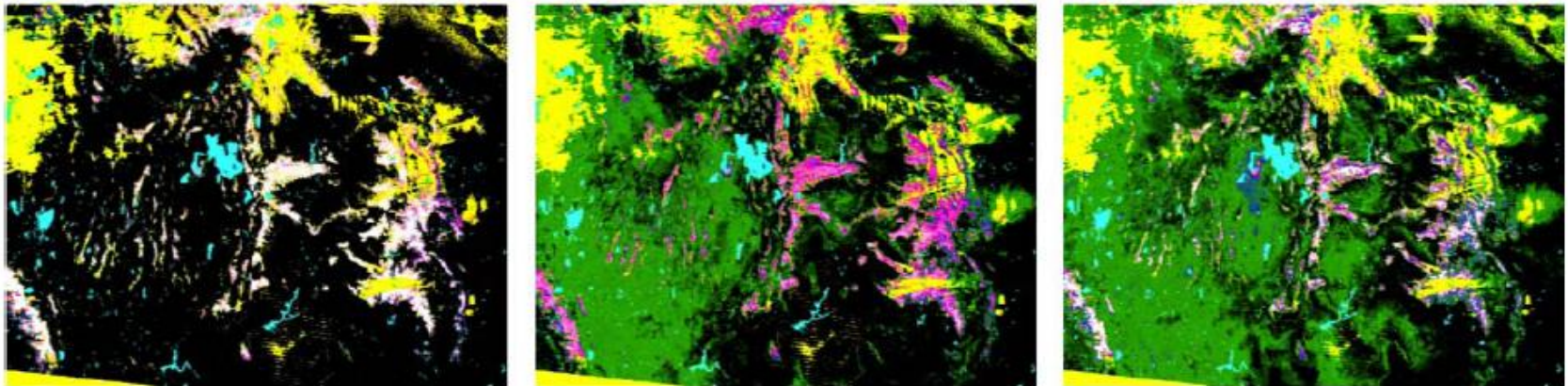


Další spektrální indexy

Normalised Difference Snow Index (NDSI)

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:

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



0.0

snow fraction

1.0

(Salomonson, Appel 2004)

Další spektrální indexy

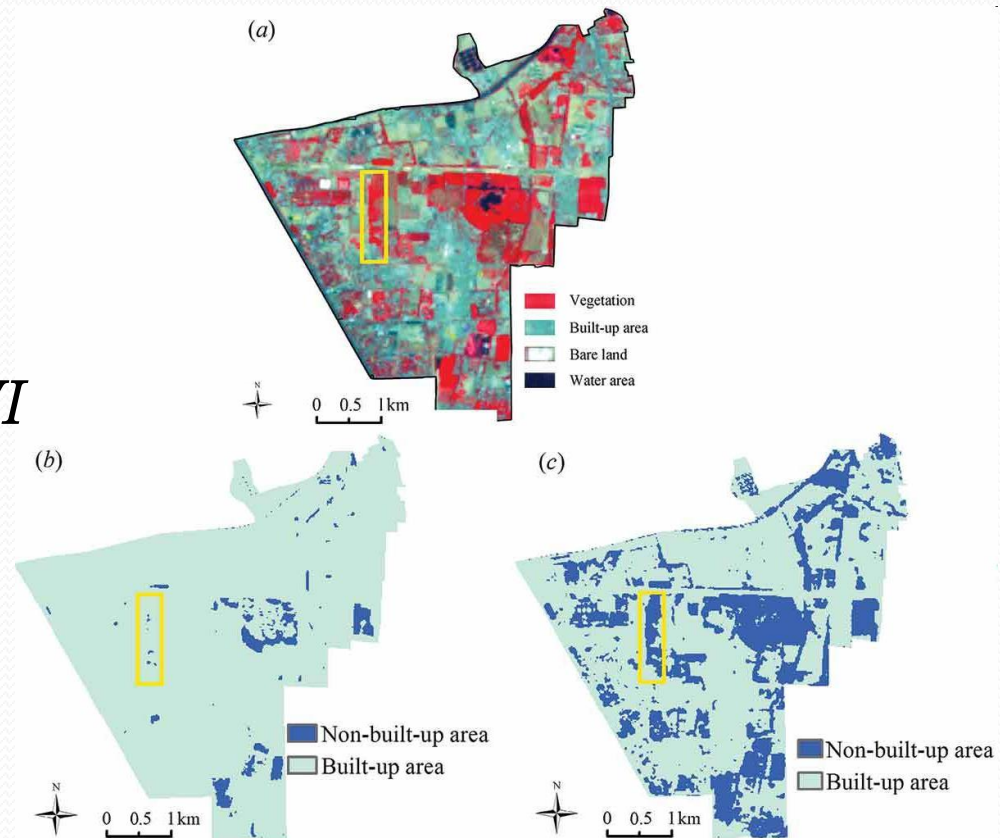
Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

Slouží ke studiu prostorového rozložení zastavěných ploch a časových změn v jejich rozsahu

$$NDBI = \frac{TM5 - TM4}{TM5 + TM4}$$

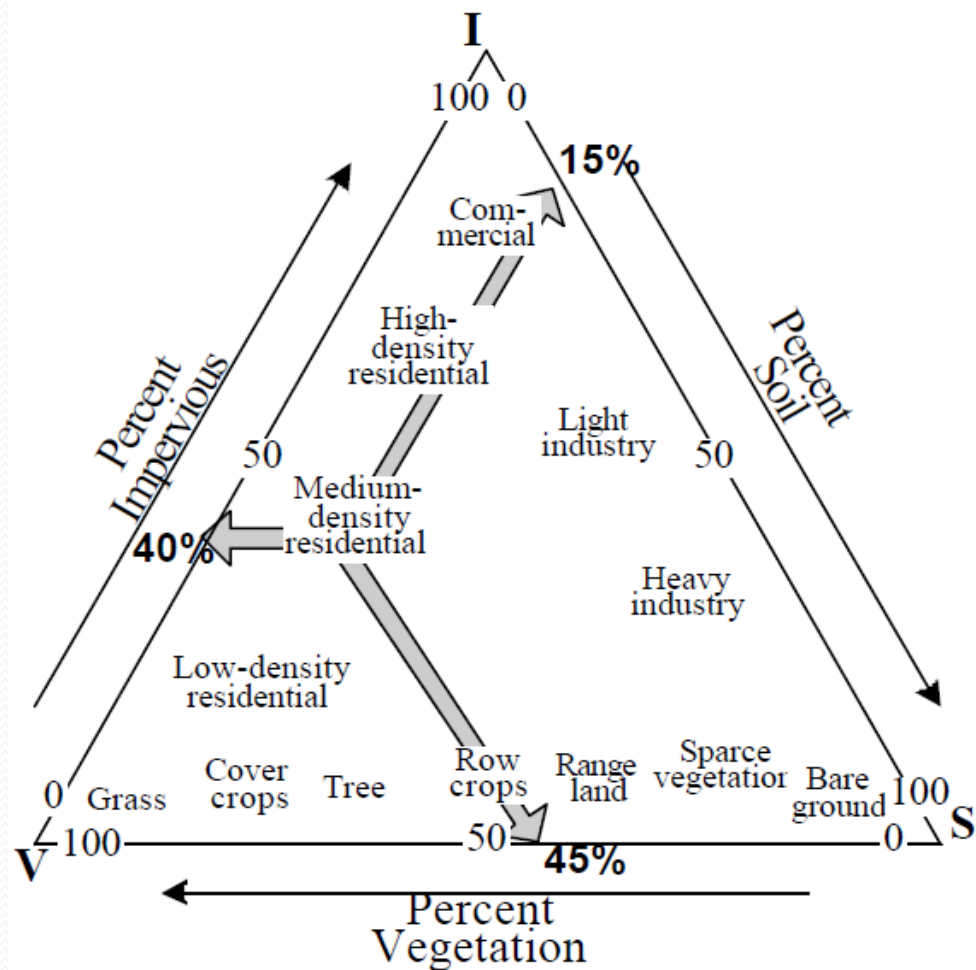
$$Built_up_area = NDBI - NDVI$$

Ve výsledném snímku mají zastavěné a holé plochy bez vegetace kladné hodnoty a ostatní druhy povrchů hodnoty záporné



V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis

Konceptuální model – předpokládá, že každý pixel představující land-cover v oblasti městské zástavby je lineární kombinací tří základních povrchů – vegetace, zastavěné plochy a půdy.



Ridd, M.K., 1995. Exploring a V-I-S (Vegetation-Impervious Surface-Soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing - Comparative anatomy for cities. *Int. J. Remote Sens.*, 16, pp. 2165- 2185.