

Modelování s obrazovými daty DPZ

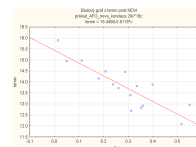


Možné přístupy k modelování

- Fyzikální modelování** – kvantifikace parametrů ovlivňujících modelovanou veličinu. Cíl – získat **absolutní hodnoty odrazivosti**.

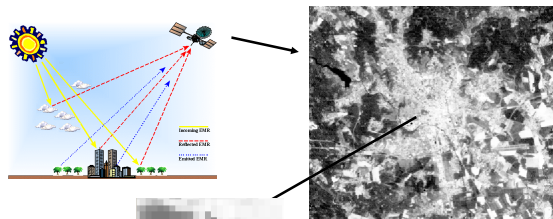
$$M = \sigma \cdot T^4$$

- Empirické modelování** – vztah mezi daty DPZ a biofyzikálními parametry objektů je formulován na základě např. regresní závislosti.



- Kombinovaný přístup** – přepočet 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
130 130 130 130 138 138 138
130 130 130 130 138 138 138
131 131 131 131 132 132 132
131 131 131 131 132 132 132
130 130 131 131 132 132 134
    
```

„Kvantitativní“ dálkový průzkum

$$DN = f(T)$$

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

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

Obecný postup mapování teploty aktivních povrchů

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

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

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

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

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

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

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

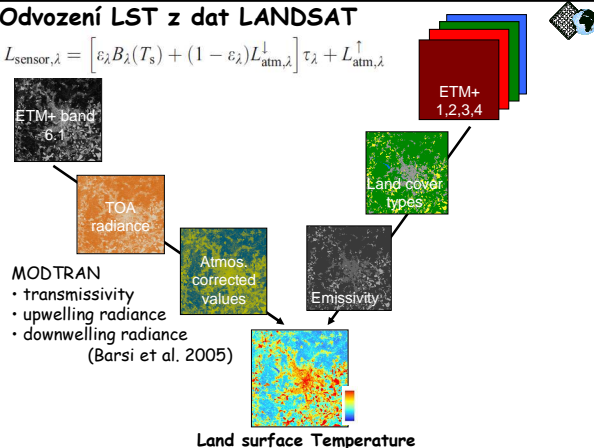
$$T_{LS} = \frac{T_{rad}}{1 + \left(\frac{\lambda T_{rad}}{\alpha}\right) \ln \epsilon}$$

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

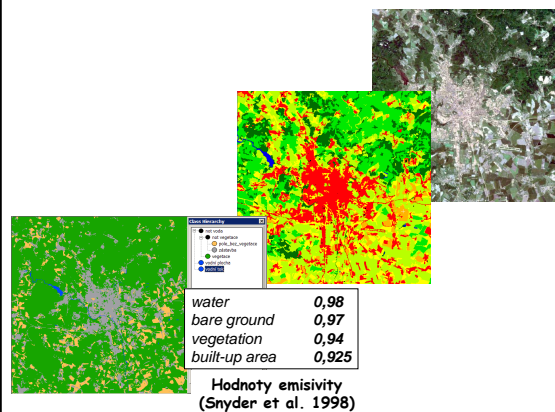
$$\epsilon = \text{emisivita}$$

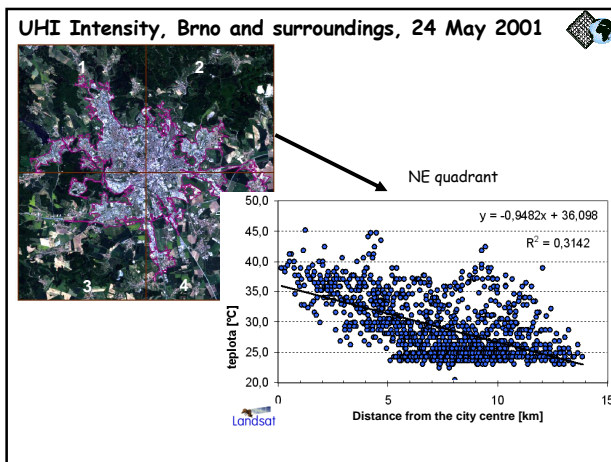
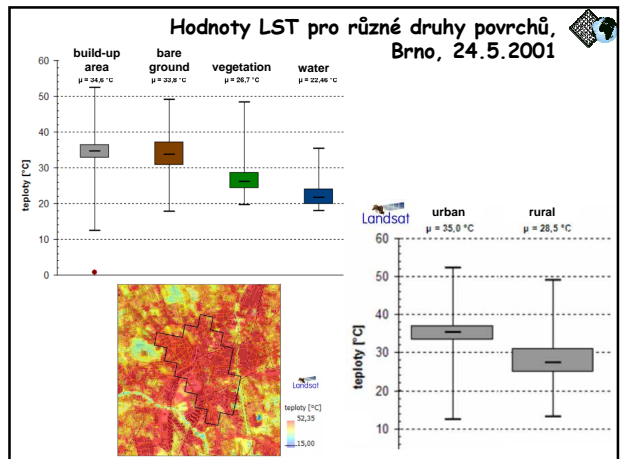
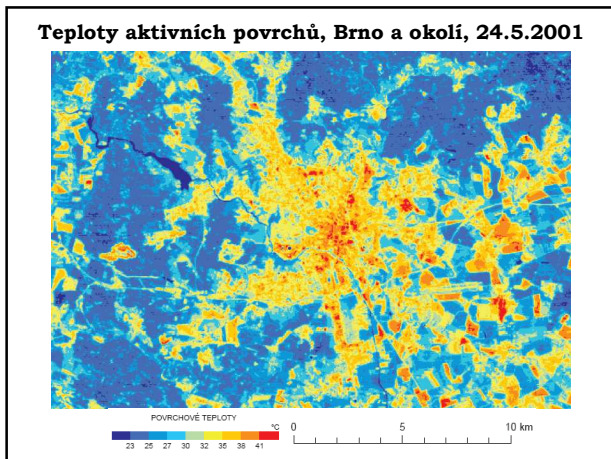
Odvození LST z dat LANDSAT

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



Mapa emisivity základních druhů povrchů



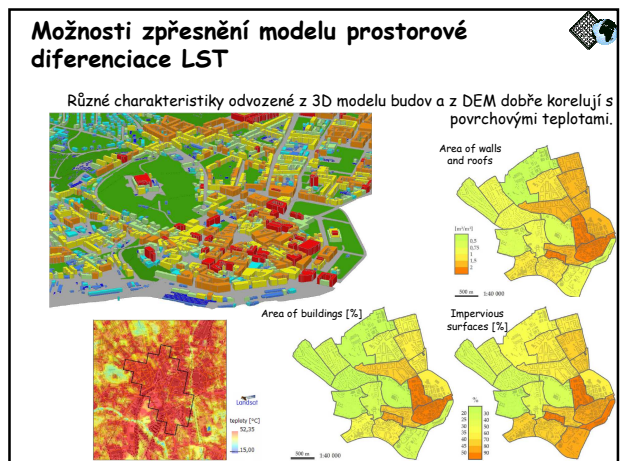
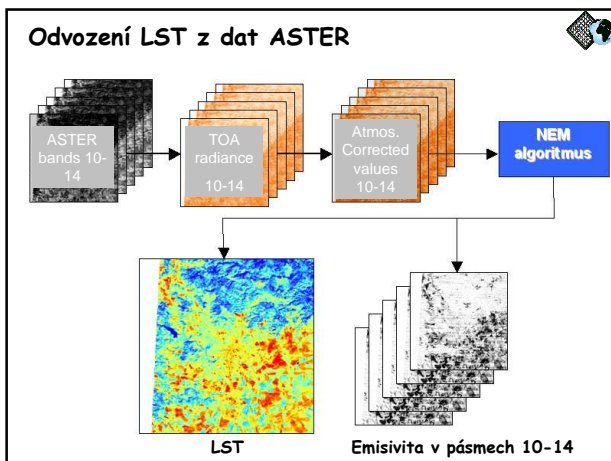


Další zdroje dat pro mapování LST - „multispektrální algoritmy“

- 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

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



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.

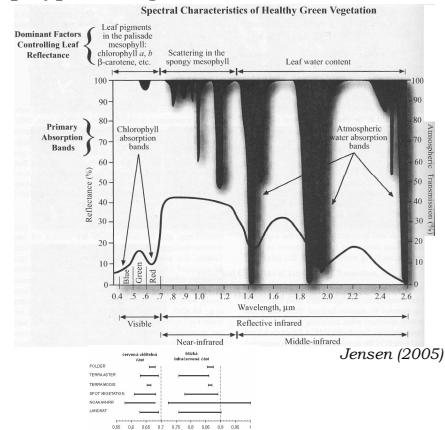
Některé mohou vypovídat i o vlastnostech půdního substrátu.

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

Indexy

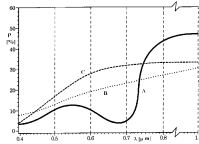
- poměrové
- ortogonální

Princip výpočtu vegetačních indexů



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)

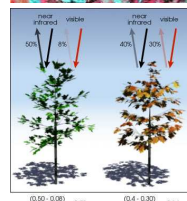
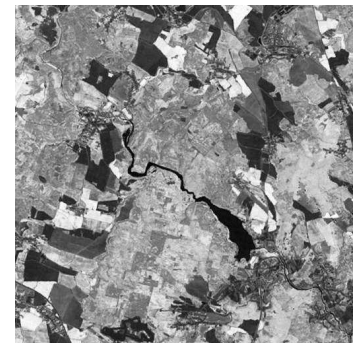
$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

Transformovaný vegetační index (TVI - Transformed Vegetation Index):

$$TVI = \sqrt{\frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} + 0.5}$$



NDVI



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)

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

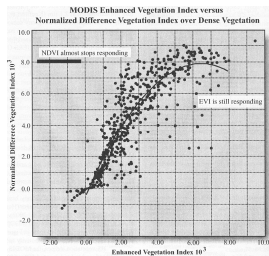
- L je canopy background adjustment – úprava, která určuje nelineární, diferenční přenos NIR a červeného záření skrz vegetaci,
- C1 a C2 jsou koeficienty popisující intenzitu aerosolového rozptylu
- pro družicová data MODIS se používá ve výpočtu EVI těchto hodnot: L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5, a G (přírůstek,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

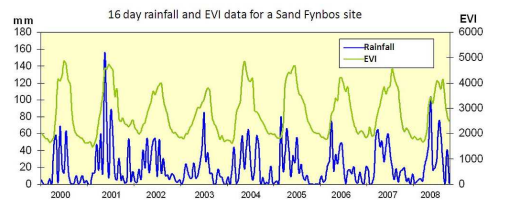
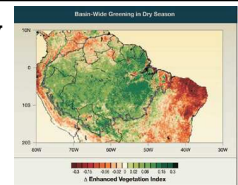
• Zatímco NDVI je více citlivý k obsahu chlorofylu, EVI je více citlivý ke změnám ve struktuře vegetačního krytu, včetně LAI, typu vegetačního krytu či fyziognomie rostlin.



Porovnání citlivosti EVI a NDVI
Jensen (2005)

Upravené vegetační indexy

Příklad mapování EVI



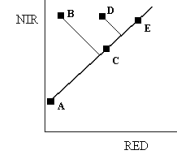
<http://www.saeon.ac.za/>

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 linií 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:

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

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

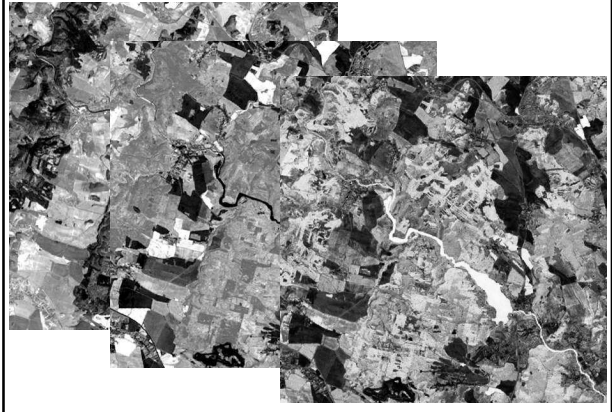
$$TC3 = .0315TM1 + .2021TM2 + .3102TM3 + .1594TM4 -.6806TM5 -.6109TM7$$

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**“.

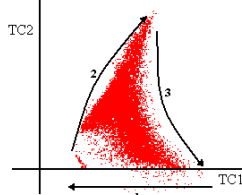
TC3 - koreluje s vlhkostí půdy a vegetace - index „**wetness**“.

Indexy odrazivosti půdy, vegetace a vodního obsahu



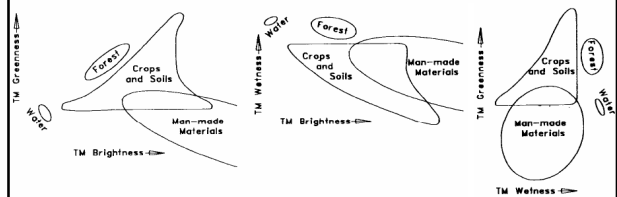
Transformace "TASSELED CAP"

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



Vegetační složka prolétává 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"



Príznakový prostor vybraných 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 obdobím 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)

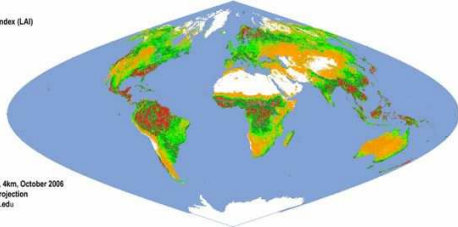
- LAI je klíčovou proměnnou, která odráží výměnu a toky energií, hmoty (vody a oxidu uhličitého) mezi povrchem Země a atmosférou.
- Je definován jako polovina celkové plochy listů na plošnou jednotku povrchu půdy v listnatých porostech
- Pro jehličnaté porosty je LAI definován jako plocha jehlic promítnutá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

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

Green Leaf Area Index (LAI)

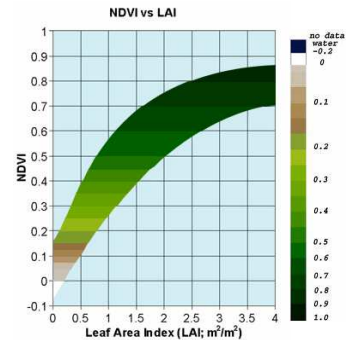


MODIS, Version 4.4m, October 2006
Sinusoidal Map Projection
rmyan@crsa.bu.edu

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

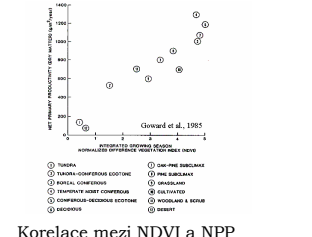
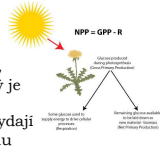


(<http://rangeview.arizona.edu/Tutorials/intro.asp>)

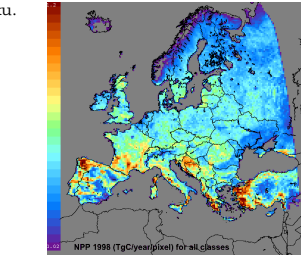
Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

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.



Korelace mezi NDVI a NPP



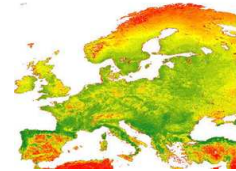
http://wdc.dlr.de/data_products/SURFACE/npp.php

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.

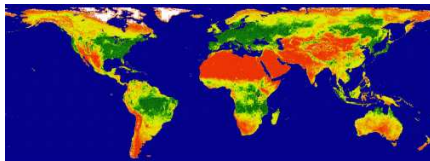


<http://earth.eo.esa.int/rtd/Projects/MASS/Index.html>

Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

Dry Matter Productivity (DMP)

Odhad množství sušiny, který se využívá při monitorování růstu zemědělských plodin a odhadování jejich výnosu.

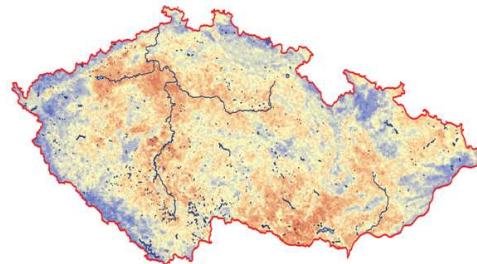


0 30000gDM/ha/ksen voda

<http://www.satreponline.org/landsaf/index.htm>

Odvozené ukazatele z vegetačních indexů

Aktuální evapotranspirace vypočtená pro území České republiky na základě dat MODIS z 17. 7. 2007. (projekt FLOREO)



ET [mm/h]

0.0 - 0.1 0.5 - 0.6

0.1 - 0.2 0.6 - 0.7

0.2 - 0.3 0.7 - 0.8

0.3 - 0.4 0.8 - 0.9

0.4 - 0.5 0.9 - 1.0

0 100km

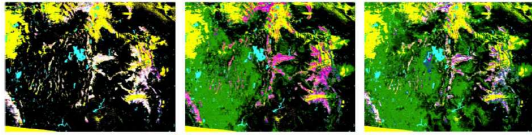
<http://floreo.cz/informacni-clanky/Biofyzikalni-parametry-z-DPZ.aspx>

Další spektrální indexy

Normalised Difference Snow Index (NDSI)

Princip výpočtu stejný jako NDVI - porovnání odrazivosti v pásmech se střední 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:

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

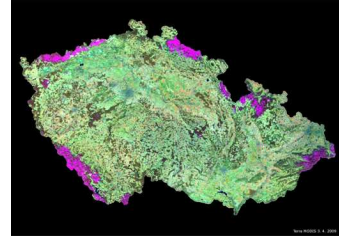


0,0 snow fraction 1,0 (Salomonson, Appel 2004)

Další spektrální indexy

Monitorování sněhové pokrývky

(projekt FLOREO)



<http://floreo.cz/Informacni-clanky/Monitorovani-snehu-z-druzic.aspx>

Další spektrální indexy

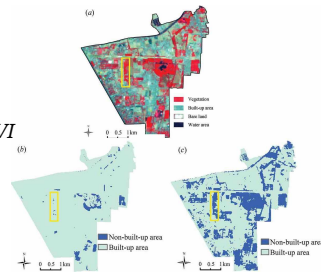
Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

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

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

$$Built_up_area = NDBI - NDVI$$

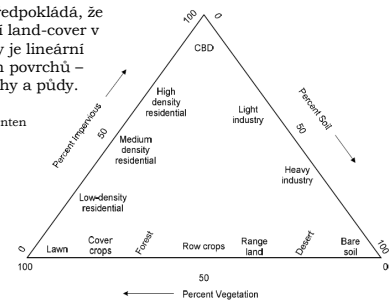
Ve výsledném snímku mají zastavěné a holé plochy bez vegetace kladné hodnoty a ostatní druhy povrchů hodnoty záporné



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.

<http://www.springerlink.com/content/u25162w3t3411703/>



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.

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

