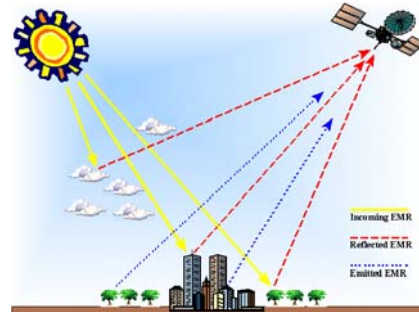


Dálkový průzkum země v termální části spektra

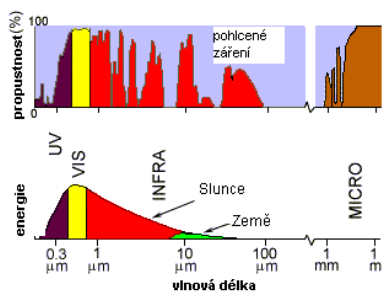


Princip termálního snímání



Metoda pasivní nepřímá

Fyzikální podstata



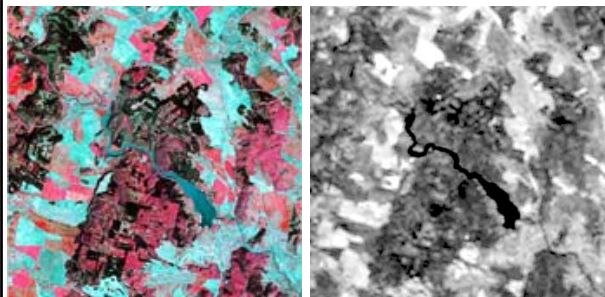
Charakteristika

- Termální oblast spektra zahrnuje vlnové délky od 3 μm (atmosférická okna v intervalech 3-5 μm a 8-12 μm)
- Intenzita elektromagnetického záření v těchto vlnových délkách je malá
- V těchto vlnových délkách převažuje vlastní vyzařování objektů nad odraženým slunečním zářením
- Dlouhovlnné vyzařování je vnějším projevem energie tělesa
- Termální část spektra umožňuje získat především informace o teplotních vlastnostech objektů

Charakteristika

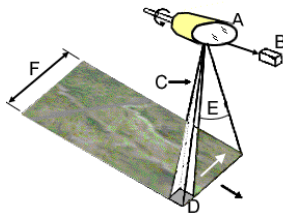
- Termální snímky lze vytvářet ve dne i v noci (denní a noční snímky)
- Termální snímky se vyznačují menší prostorovou rozlišovací schopností
- Z termálních snímků lze získat charakteristiky území, které jsou klasickými metodami zjistitelné pouze bodovým měřením.

Vzhled termálních obrazových záznamů



Termální snímek LANDSAT Thematic Mapper 6, 120 m pixel

Princip práce termálního skeneru



- Princip mechanooptického snímání
- Čidlo – fotonové detektory ochlazované na nízkou teplotu
- Přístroje umožňují měřit radiální teplotu s přesností 0,1° C.

Radiační (jasová teplota)

- Tradičním měřením teploty (teploměrem je měřena tzv. kinetická teplota (termodynamická – meteorologie) - je interním projevem energie molekul
- Stefan-Boltzmannův zákon:

$$M = \sigma T^4$$

- Objekty vyzařují energii jako funkci své teploty
- Vyzařování je vnějším projevem energie tělesa, která je v DPZ měřena
- Změřená vyzářená energie vyjadřuje tzv. radiální (jasovou) teplotu tělesa

Radiace z reálných povrchů

- Reálný povrch emituje pouze část záření, které by emitovalo absolutně černé těleso o stejné teplotě
- Tato míra vyzařovací schopnosti každého reálného tělesa se nazývá koeficient vyzařování - emisivita (ϵ)

$$\epsilon = \frac{M_R(T)}{M_A(T)}$$

$M_R(T)$ - intenzita vyzařování reálného objektu o teplotě T
 $M_A(T)$ - intenzita vyzařování absolutně černého tělesa o teplotě T

Emisivita základních druhů povrchů

- Většina reálných povrchů se chová jako tzv. selektivní zářič
- Jejich emisivita nabývá hodnot 0 až 1 a mění se s vlnovou délkou
- Určité povrchy vyzařují jako černé těleso v určitých vlnových délkách – (voda 6 až 14 μ m).
- U takových povrchů není problém měřit teplotu metodami DPZ

Emisivita základních druhů povrchů

- Hodnoty emisivity základních druhů povrchů na souši se výrazně mění v čase i v prostoru
- Silný vliv na měření tepelné energie metodou DPZ mají meteorologické podmínky
- Pro přesná měření teploty je nutné provádět tzv. atmosférické korekce
- V řadě případů lze z termálních snímků získat pouze kvalitativní informaci

Interakce tepelného záření na zemském povrchu

zákon zachování energie

$$M_I = M_A + M_R + M_T$$

M_I - intenzita záření dopadajícího na povrch tělesa
 M_A - intenzita pohlceného záření
 M_R - intenzita odraženého záření
 M_T - intenzita propouštěného (vedeného) záření

$$\frac{M_I}{M_I} = \frac{M_A}{M_I} + \frac{M_R}{M_I} + \frac{M_T}{M_I}$$

Interakce tepelného záření na zemském povrchu

Charakteristiky, které popisují schopnost povrchu absorbovat, odrážet a vést elektromagnetické záření:

$$\alpha(\lambda) = \frac{M_A}{M_I} \quad \rho(\lambda) = \frac{M_R}{M_I} \quad \tau(\lambda) = \frac{M_T}{M_I}$$

$\alpha(\lambda)$ - pohltivost
 $\rho(\lambda)$ - odrazivost
 $\tau(\lambda)$ - propustnost

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$$

Z Kirchofova zákona plyne, že emisivita objektu je rovna jeho pohltivosti na dané vlnové délce.

Položku propustnosti $\tau(\lambda)$ lze považovat v DPZ za rovnou nule

Emisivita reálných povrchů

$$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) = 1$$

- Čím nižší je odrazivost tělesa, tím vyšší je jeho emisivita a naopak.
- Emisivita vodních ploch v termální části spektra je blízká 1
- Emisivita povrchů, které výrazně odrážejí záření je nízká (kovové povrchy)

Emisivita reálných povrchů

Stefan - Boltzmannův zákon pro reálná tělesa

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

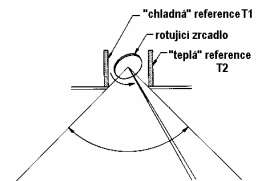
Vztah mezi radiační a reálnou teplotou povrchu

$$T_{rad} = \varepsilon^{\frac{1}{4}} T_{kin}$$

Radiační teplota povrchů je v důsledku emisivity nižší než teplota kinetická (reálná).

Kalibrace termálních obrazových záznamů

- Kalibrace založená na současných pozemních měřeních teploty vzduchu

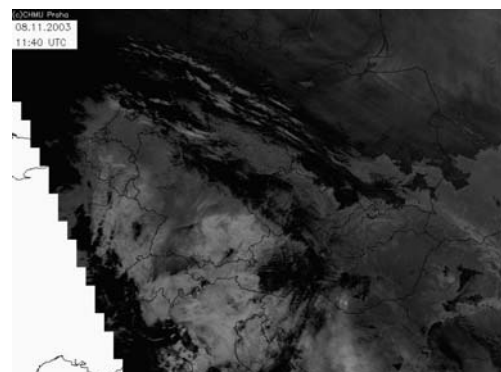


- Kalibrace založená na snímání referenčních ploch o známé teplotě



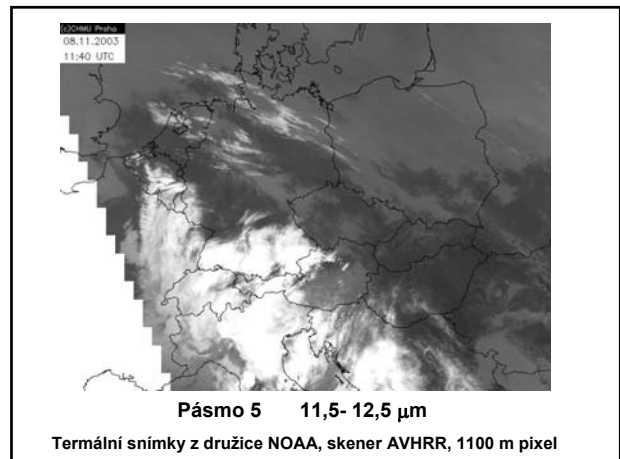
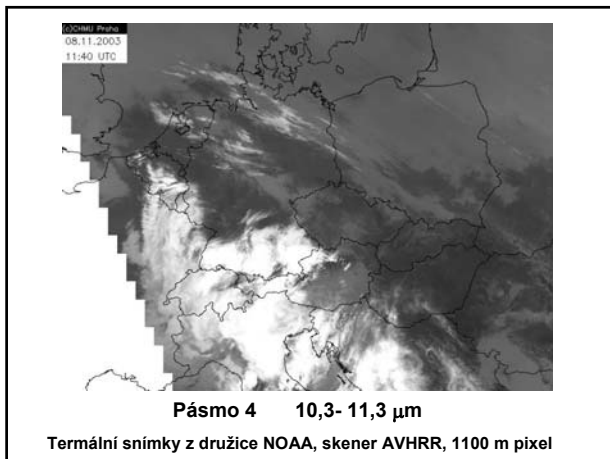
Zdroje termálních snímků

- Termální snímky poskytují všechny meteorologické družicové systémy (METEOSAT, NOAA) a to i v několika pásmech
- Snímky jsou vytvářeny i na snímcích družic pro výzkum přírodních zdrojů (LANDSAT, TERRA)
- Termální snímání se často provádí i z letadel (termovize)
- Velká většina termálních obrazových záznamů poskytuje pouze kvalitativní informaci



Pásmo 3B 3,6-3,9 μm

Termální snímky z družice NOAA, skener AVHRR, 1100 m pixel



Vzhled a vlastnosti termálních snímků

- Termální snímky jsou většinou zobrazovány ve stupních šedi.
- Obvykle světlé tóny na snímku reprezentují teplé povrchy.
- Na meteorologických snímcích je škála tónů opačná.
- Někdy se teplotní rozdíly vyjadřují v barevné stupnici

Vzhled a vlastnosti termálních snímků

- Protože obrazy zachycují dlouhovlnnou část spektra mimo viditelné vlnové délky, mají často velmi neočekávaný vzhled daný teplotními rozdíly povrchů na snímku.
- V důsledku rozdílných teplotních vlastností povrchů mají denní a noční snímky velmi odlišný vzhled.
- Termální obrazové záznamy často nezobrazují ani hlavní terénní tvary
- Mají málo orientačních bodů, často se proto používají v kombinaci s fotografií, snímkem z optické části spektra či mapou

Vzhled a vlastnosti termálních snímků

- Vzhled termálních obrazových záznamů je ovlivňován teplotními vlastnostmi povrchů (vodivost, tepelná kapacita, tepelná setrvačnost)
- Vzhled snímků je ovlivňován dále též topografií, orientací snímaných povrchů
- Vegetační kryt vytváří velmi komplexní povrch s množstvím ke Slunci orientovaných nebo naopak zastíněných částí.
- Voda výrazně mění teplotní vlastnosti povrchů. Termální snímky mohou sloužit k mapování půdní vlhkosti či obsahu vody ve vegetačním krytu.

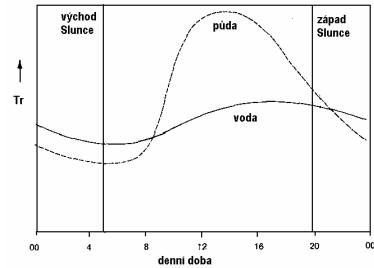
Vzhled a vlastnosti termálních snímků

- Krátkovlnné sluneční záření bude ovlivňovat vzhled termálních snímků pouze v oblasti 3-5 μm a nebude mít vliv na delší vlnové délky (8-14 μm).
- Denní snímky v první uvedené části spektra (3-5 μm) budou obsahovat tzv. termální stíny v částech, kam nedopadá přímé sluneční záření.
- Množství přijatého záření bude modifikovat také orientace svahů.
- Tyto efekty jsou minimalizovány na obrazových záznamech pořízených těsně před východem Slunce

Termální snímky denní a noční



Denní chod radiční teploty



Termální snímky denní

Terén bývá světlejší než voda, voda bývá velmi tmavá. Tmavšími tóny bývá znázorněn i lesní porost. Teplotní rozdíl mezi lesem a okolní volnou krajinou může být až 5° C. Oblaka mají v důsledku silného odrazu záření a malého pohlcování bílou barvu.

V denních hodinách je vedle vlastního dlouhovlnného vyzařování objektů registrováno i vyzařování okolních objektů nebo zpětné záření atmosféry, bývají denní snímky charakterizovány značnou tónovou proměnlivostí.

Z tohoto důvodu se také často provádí termální snímání po západu Slunce, kdy jsou ještě patrné teplotní kontrasty různých povrchů.

Termální snímky noční

Na nočních snímcích bývají vodní plochy naopak teplejší než terén, který na rozdíl od vody teplo poměrně rychle ztrácí.

Při teplotní inverzi, kdy se v údolích hromadí studený vzduch, bývají nižší polohy znázorněny tmavšími tóny než teplejší vyšší polohy.

Teplotní mapování

Při přesné kalibraci termálních obrazových záznamů jich lze využít k sestavování map teplotních charakteristik studovaného území.

Cílem je nalézt vztah mezi hodnotou obrazového prvku a teplotou objektu:

$$DN = A + B \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

DN - hodnota naměřená termálním radiometrem
A, B - kalibrační konstanty radiometru
 ε - emisivita
T - kinetická teplota

Teplotní charakteristiky povrchů

Na termálních snímcích lze sledovat:

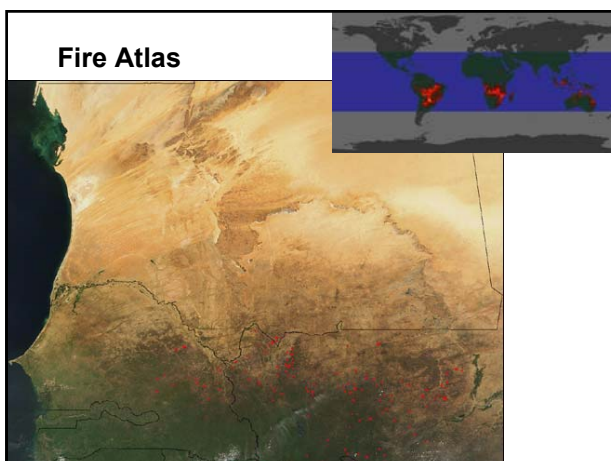
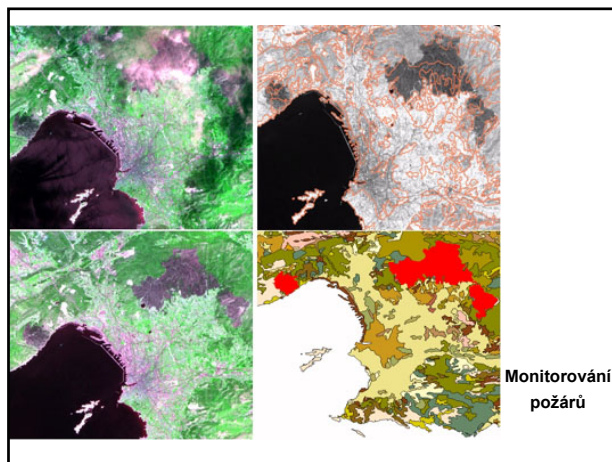
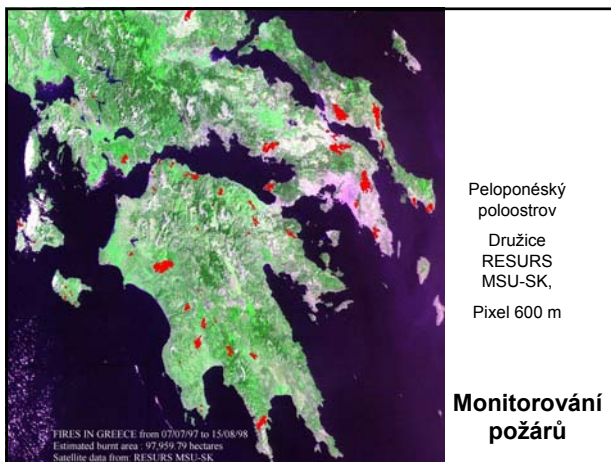
- Jevy a procesy bodové (např. lokalizace termálních pramenů)
- Jevy a procesy plošné (např. lesní požáry).

Příklady aplikací

- mapování povrchové teploty půdy
- odhady radiální bilance území
- studium teplotního znečištění
- určování druhů hornin
- lokalizace geologických zlomů
- mapování půdních druhů a vodního obsahu půd
- lokalizace netěsností zavlažovacích kanálů
- zjišťování teplotních charakteristik vulkánů
- studium evapotranspirace
- lokalizace teplých a studených pramenů a gejzírů
- studium cirkulace v nádržích, jezerech i mořích
- lokalizace lesních požárů a požárů uhelných slojí

Monitorování lesních požárů

- Hodnocení rizika vzniku požárů
- Detekce ohnisek a rozsahu lesních požárů
- Mapování následků požárů

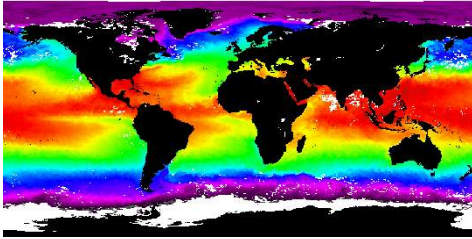


Mapování SST (Sea Surface Temperature) z družicových měření

Využitelnost SST:

- Studium kolísání klimatu
- Studium jevu ENSO
- Vstup do GCM (Global Circulation Models)

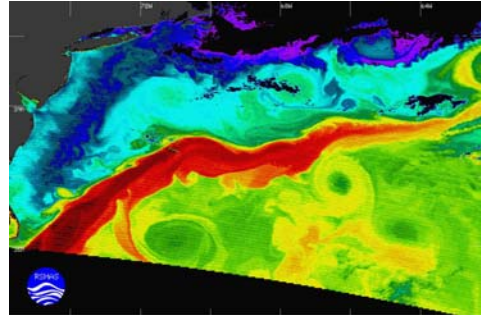
Výpočet SST ze snímků družice NOAA AVHRR



$$SST = a_0 + a_1 T3 + a_2 T4$$

a_0, a_1, a_2 – konstanty odvozené empiricky z regresního vztahu
T3 – radiční (jasová) teplota 3. pásma AVHRR (3,55 – 3,93 mikrometrů)
T4 – radiční (jasová) teplota 4. pásma AVHRR (10,3 – 11,3 mikrometrů)

Teplotní poměry golfského proudu

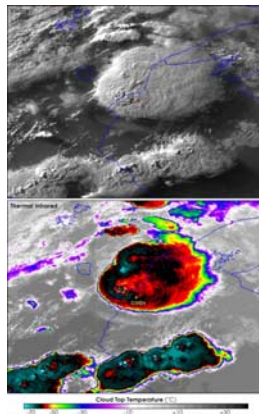


Družice TERRA, skener MODIS

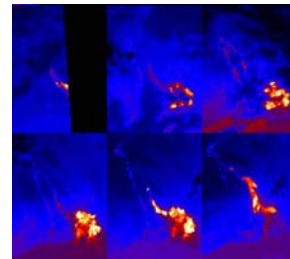
Teplotní poměry jsou mapovány na základě odhadu radiční teploty z termálních snímků v oblasti 11 a 12 mikrometrů.

Mapování extrémních projevů konvekce

Teplota horní vrstvy bouřkové oblačnosti (Cb)

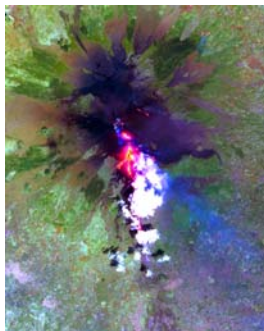


Mapování rozsahu lávových proudů



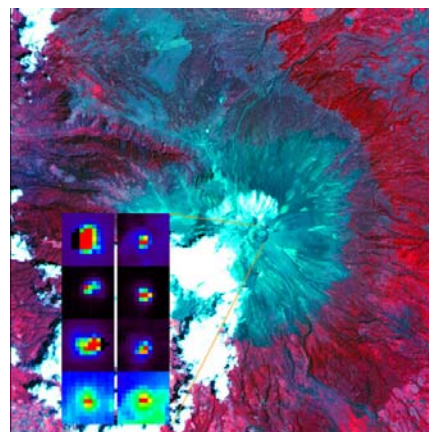
Havaj, série nočních snímků z družice ASTER, plocha 9 x 12 km

Mapování rozsahu lávových proudů



Etna, termální snímek z družice ASTER, plocha 24 x 30 km

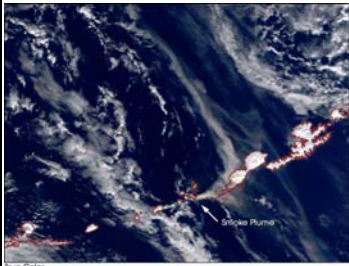
Studium vulkánů



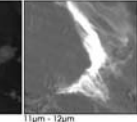
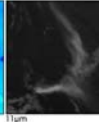
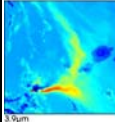
Sopka Popocatepetl (Mexiko)

Družice TERRA, skener ASTER

Mapování oblaků sopečného popela

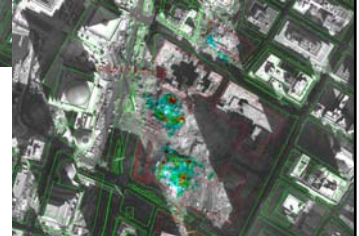
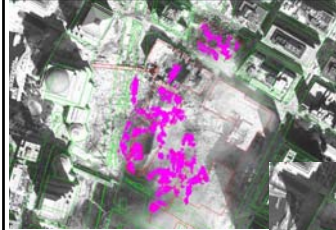


Hue Color



Sopka Cleveland
(Aleutské ostrovy)
snímky z družice MODIS

Mapování teplotních poměrů



Lokalizace poruch teplovodu

