

Az infravörös földfelszíni emisszivitás hatása a műholdas és a numerikus modell alkalmazásokra

Borbás Éva, S.W. Seemann, R. Knuteson és A. Huang

Space Science and Engineering Center,
University of Wisconsin, Madison, WI, USA



35. Meteorológiai Tudományos Napok, Budapest 2009. november 19-20.

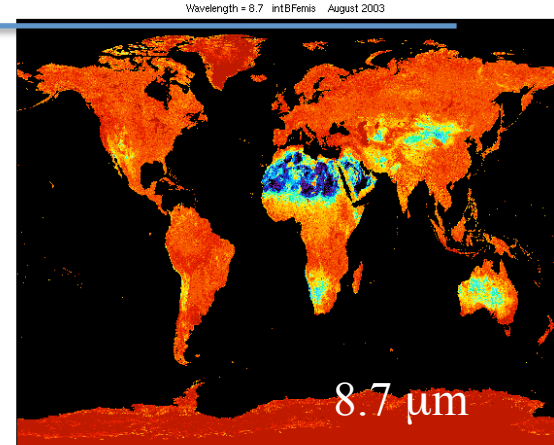


UW Baseline Fit Emisszivitási Adatbázis

S. W. Seemann, E.E. Borbas

Adatbázis elérhető: <http://cimss.ssec.wisc.edu/iremis/>
(több, mint 100 felhasználó 2006 szeptember óta)

- **Alkalmazások/ felhasználók:**
- MODIS Atmospheric Retrievals MOD07 (UW,NASA DAAC)
- IMAPP/AIRS retrievals (UW)
- Climate Monitoring SAF (EUMETSAT)
- AIRS Retrieval of Dust Optical Depths (UMBC/ASL)
- IASI-Metop Cal/Val (CNES, France)
- IASAI retrieval (EUMETSAT, UW)
- Retrieval of hot spot data from AATSR (ESA)
- Energy balance from ASTER over glacier (Univ of Milan)
- AIRS trace gas retrieval (Stellenbosch University, South-Africa, JCET-UMBC)
- Education (Seoul National Univ.; NTA, Konstantin)
- SEVIRI water vapor retrievals (UW, EOS)
- SEVIRI aerosol retrieval (Univ Oxford)
- SEVIRI cloud and ozone retrieval (EUMETSAT)
- SEVIRI cloud phase, other cloud top parameter retrievals(KNMI)
- LST retrievals from GOES-R (NOAA NESDIS)
- OSS calculations (AER)
- CRTM (JCSDA)
- AIRS NWP model assimilation (UKMO)



Vázlat

- Mi az emisszivitás?
- Motiváció (MODIS MOD07, IMAPP AIRS)
- Az UW/CIMSS Global Land Surface Emissivity Database
 - <http://cimss.ssec.wisc.edu/iremisp/>
 - UW/CIMSS MODIS-alapú (széles sávú) emisszivitási adatbázis
 - Nagy spektrális felbontású emisszivitási algoritmus
- Alkalmazás sugárzás átviteli modellekben
 - RTTOV (EUMETSAT NWP-SAF)
 - CRTM (USA Joint Center)
- Összehasonlítás más adatbázisokkal
- Összefoglalás
- Jövőbeli tervek

Mi az emisszivitás?

Emisszivitás(emisszió): az anyagra jellemző állandó, mely megmutatja, hogy egy felületről kilépő hőmérsékleti sugárzás hányszorosa az ugyanolyan hőmérsékletű egyensúlyi sugárzásnak

Emisszió : sugárzás kibocsájtása, mint folyamat

A **sugárzás átviteli egyenlet** felhasználásával tudjuk kiszámolni a műhold által mért sugárzást.

A légkör tetejére beérkező sugárzás az IR tartományban:

$$I_{\nu}^{\uparrow} = \underbrace{\int B_{\nu}(T)[\partial\tau_{\nu}(z)/\partial z]dz}_{\text{Légkör emissziója}} + \underbrace{\tau_{\nu}(z_s) \cdot e_{\nu}(T_s) \cdot B_{\nu}(T_s)}_{\text{Földfelszín emissziója}}$$

$B_{\nu}(T_s)$ a földfelszín Planck sugárzása, e_{ν} annak emisszivitása

$\tau_{\nu}(z)$ a légkör spektrális átboocsájtása

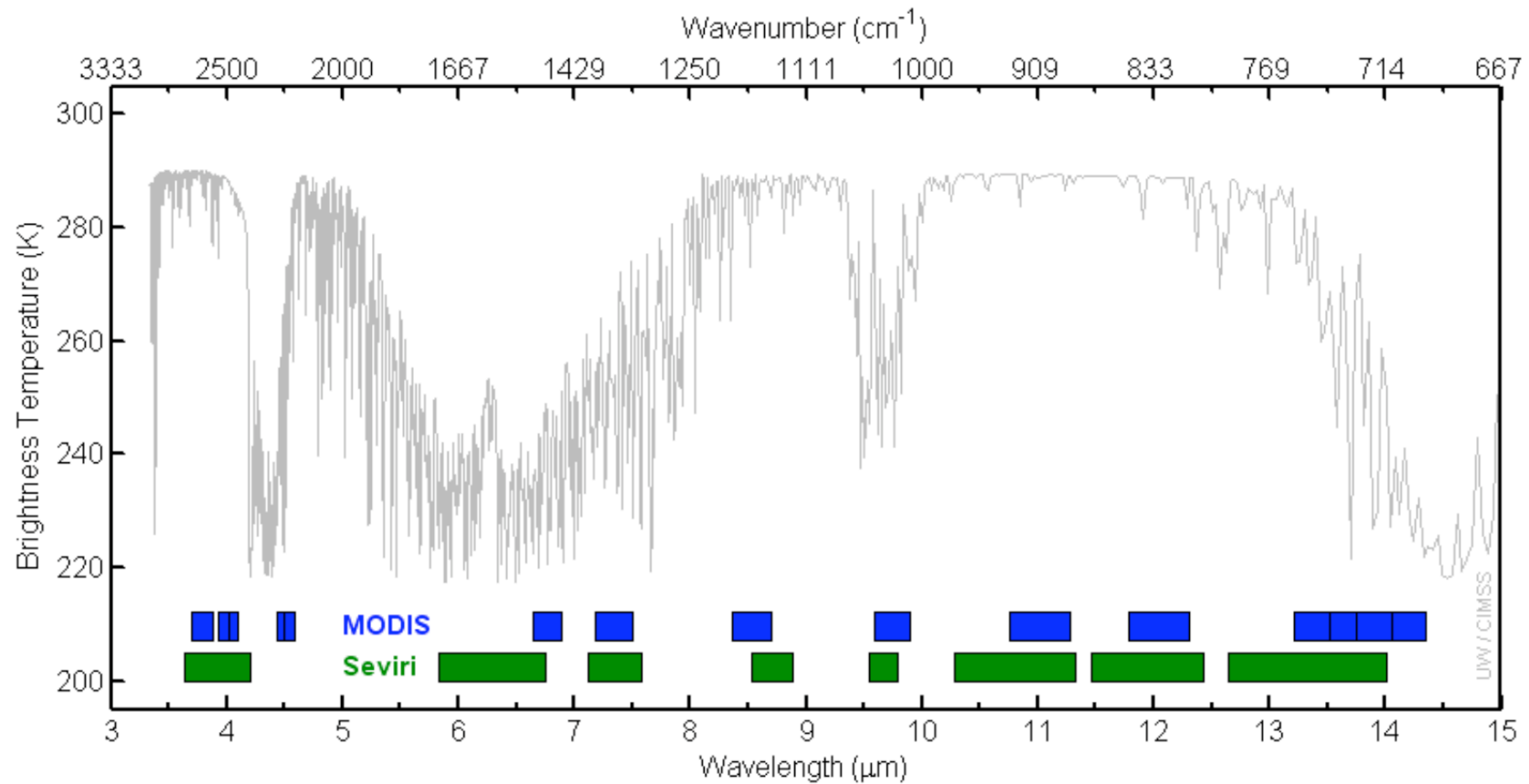
$B_{\nu}(T)$ a légkör spektrális sugárzás kibocsájtása

$\partial\tau_{\nu}(z)/\partial z$ súlyfüggvény

Alkalmazások a globális IR szárazföldi emisszivitásra

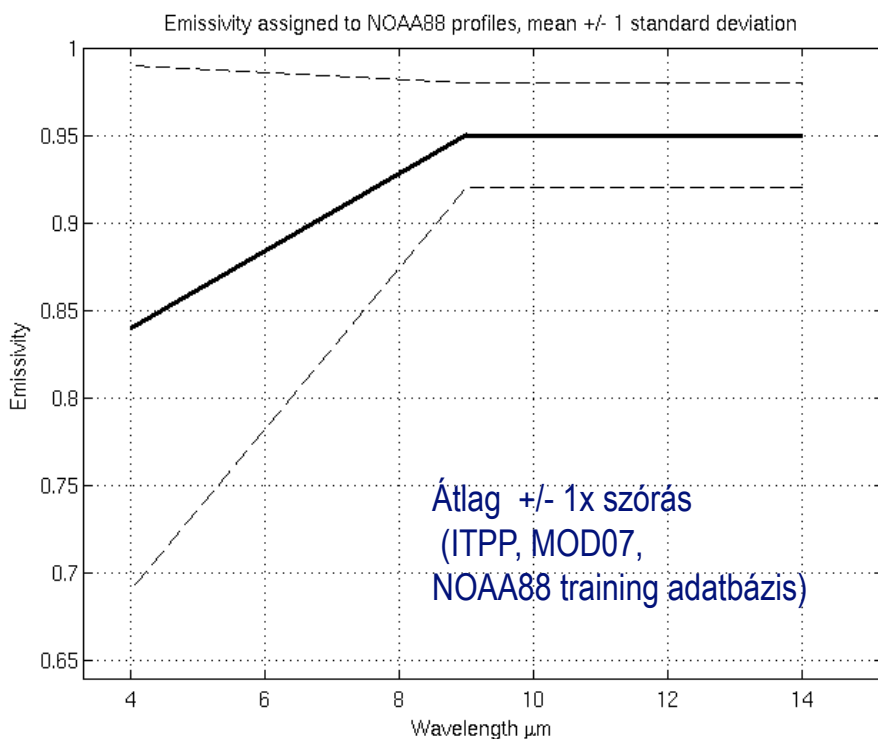
- Cél: egy olyan módszer kidolgozása, ami integrálja az összes elérhető információt a földfelszín típusáról és emissziójáról nagy térbeli (5km), spektrális (5 hullámhossz) és időbeli felbontásban.
- Felhasználói igény:
 - Jövőbeli műszerek fejlesztése (GOES-R, NPOESS):
 - Proxy adatbázis létrehozása
 - Felszíni folyamatok jellemzése sugárzás számítására
 - Training set (IR felszíni emisszivitás) műholdas szondázásra
 - 1DVAR background mező előállítására
 - Műholdas adatok MWP modellekben történő asszimilálására
- Műholdas légköri szondázás statisztikai vagy fizikai modellel:
 - MODIS MOD07 és a UW IMAPP AIRS

SEVIRI és MODIS csatornák



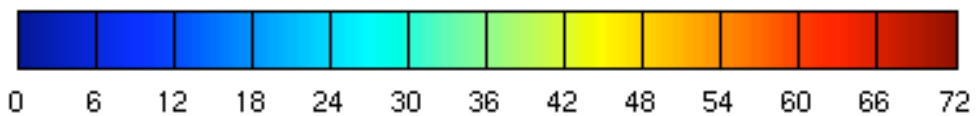
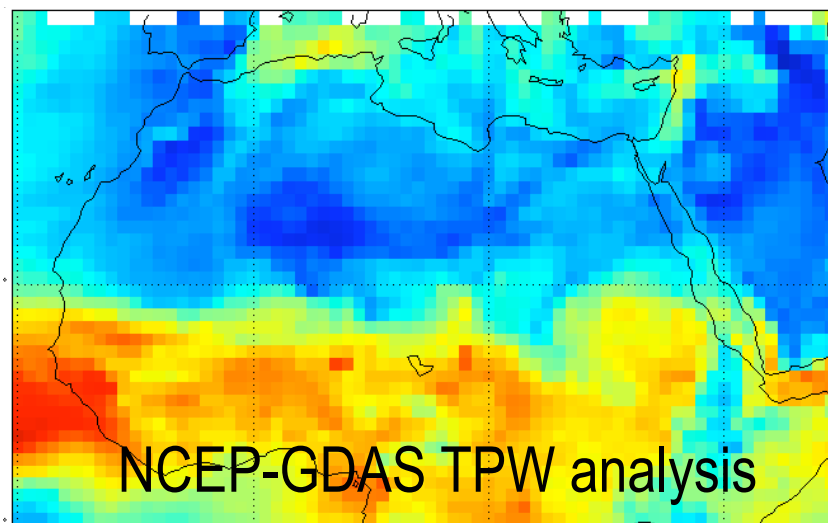
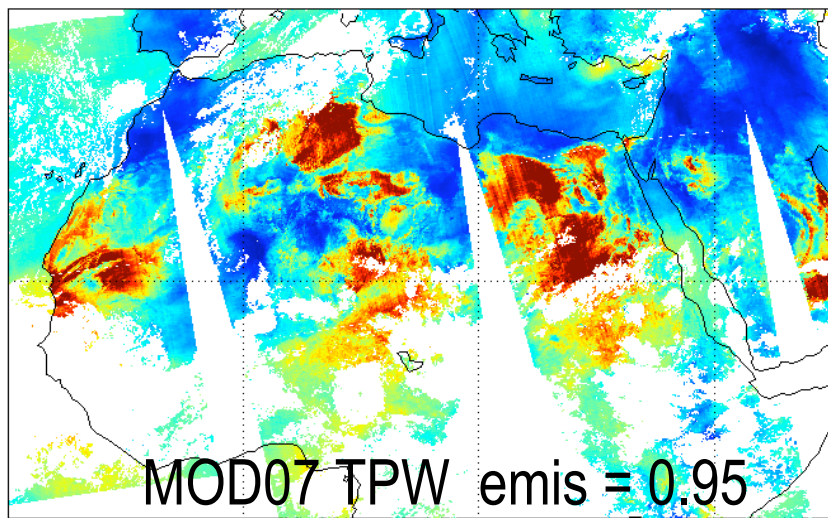
Emisszivitás szerepe a légköri műholdas szondázásban

- A MODIS MOD07 egy szintetikus regressziós algoritmus, mely 11 IR csatornát használ a légkör hőmérsékleti és nedvességi profilok meghatározására derült esetekre.
- Szintetikus fényességi hőmérsékletet számolunk egy globális training adathalmazra forward modell segítségével, majd a szintetikus fényességi hőmérséklet és a training légköri profilok között felállított regressziós együtthatókat alkalmazzuk a valós mérésekre.
- Minden egyes training profilhoz kell egy emisszivitási spektrumot rendelni.

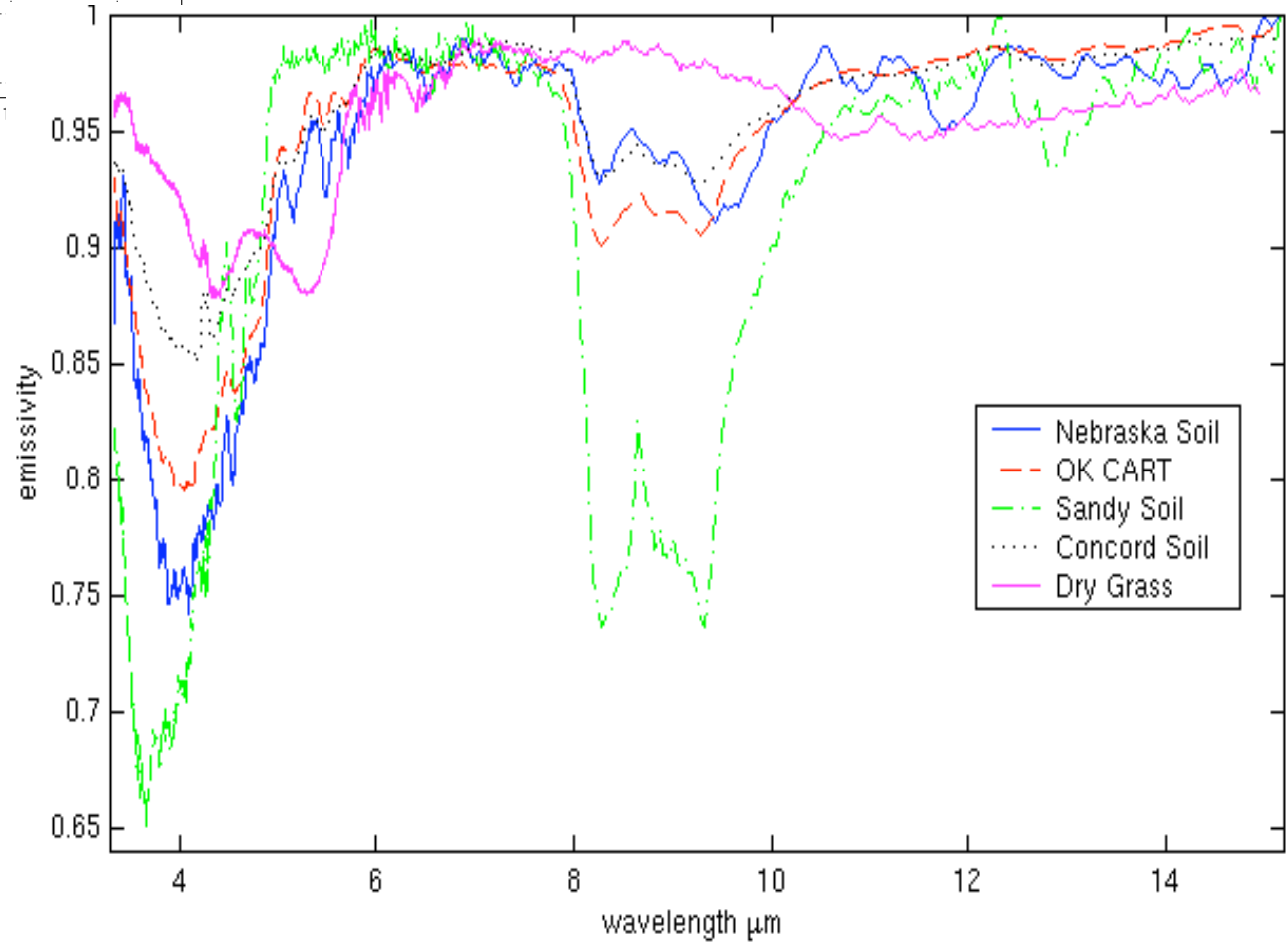
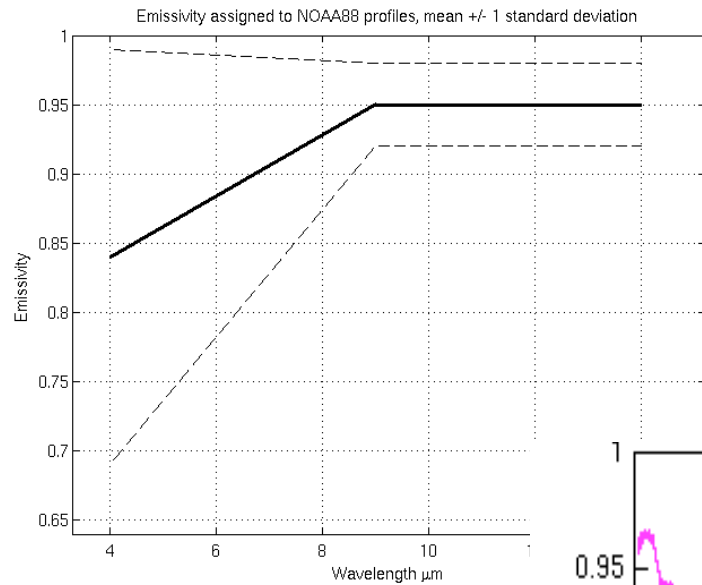


A múltban egy konstans érték, vagy pseudo-random emisszivitási spektrum volt a training adatbázishoz rendelve.

Szahara sivatag: MODIS kihullható vízmennyiség 2005. augusztus 1-én éjszaka.

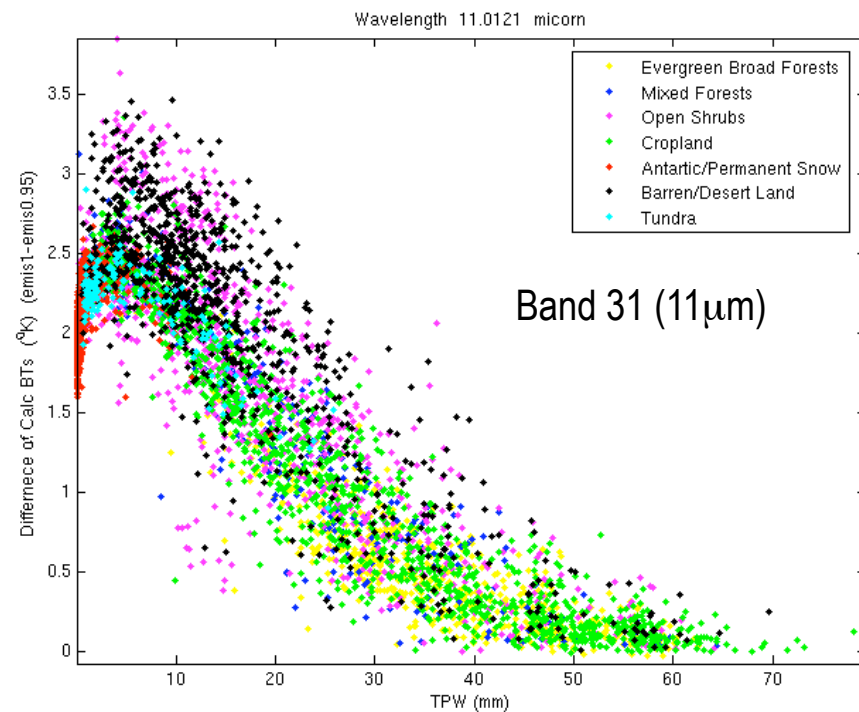
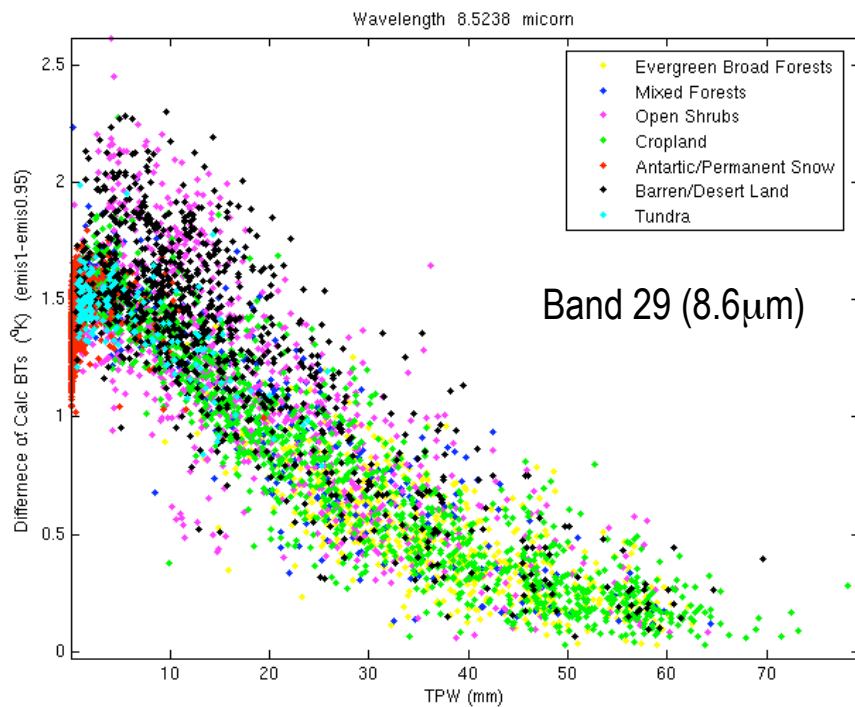


Összehasonlítás laboratóriumi mérésekkel (MODIS Land Team)



A számított fényességi hőmérséklet érzékenysége az emisszivitásra

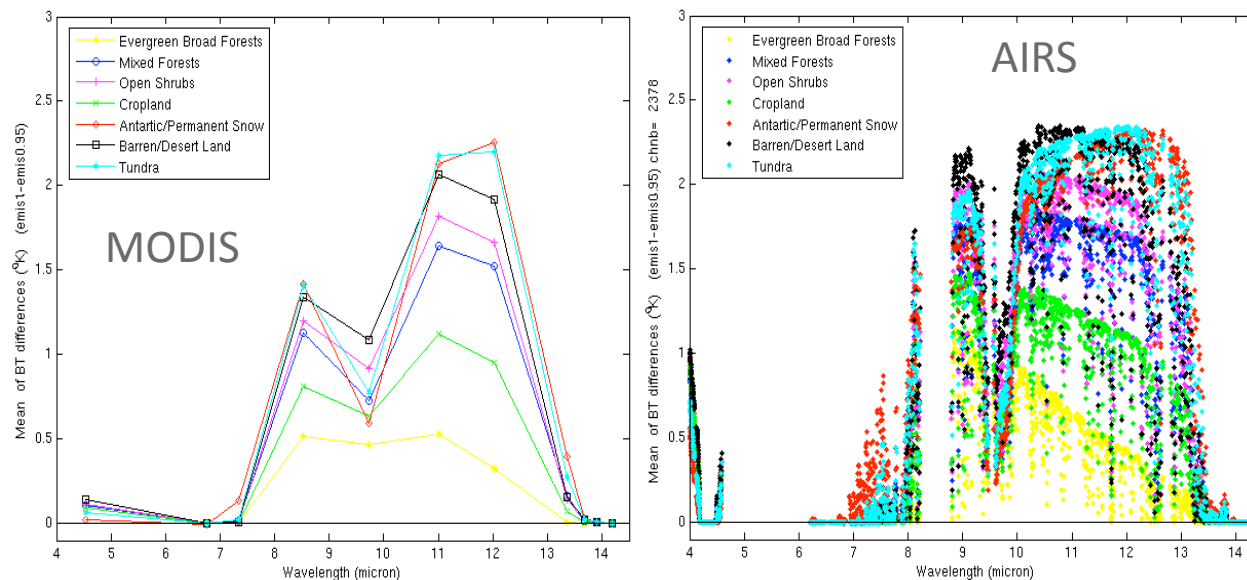
Fontos az emisszivitás? Milyen spektrális tartományban?



Fényességi hőmérséklet különbség (emiss = 1.0 - emiss = 0.95) 2 MODIS csatornára.
8583 training profil (SeeBor), színek a felszíntípust tükrözik (IGBP)

Átlagos fényességi hőmérséklet eltérése

Emis = 1.0 – Emis = 0.95

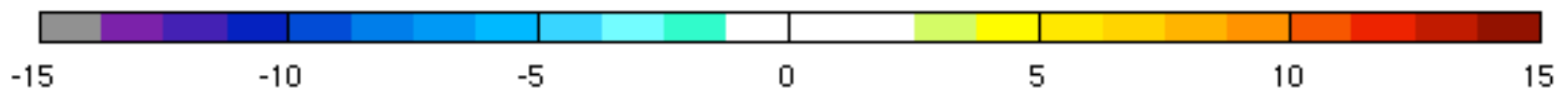
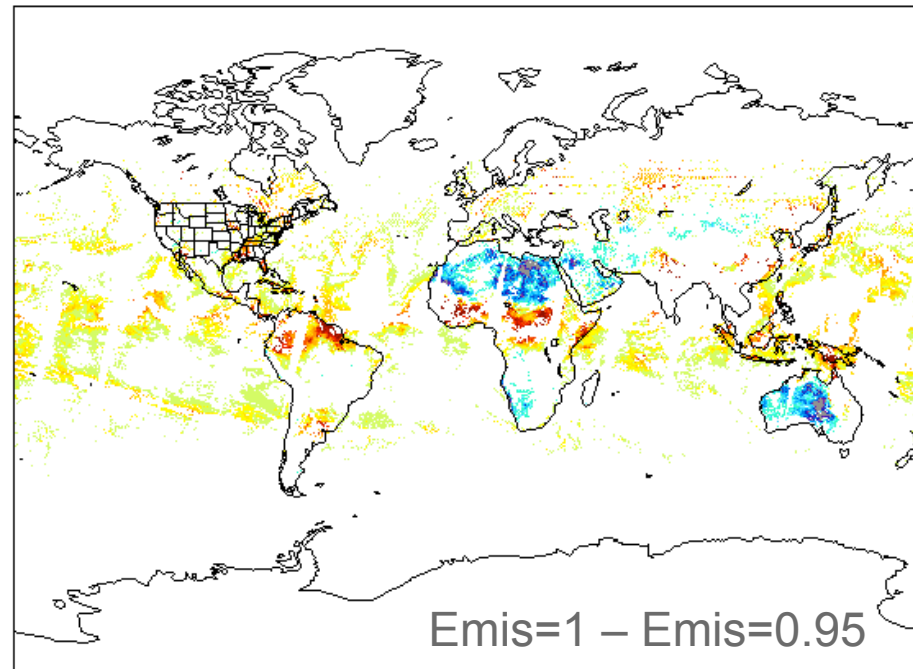


8583 eset átlagos fényességi hőmérséklet eltérése

Balra: MODIS Aqua (11) IR csatornára, **jobbra:** 2378 AIRS csatornára

A MOD07 kihullható vízmennyiség különbsége 2005 Augusztus 1-én

Terra MOD07 TPW difference: Emis = 1 - Emis = 0.95 (mm): 2005213



Milyen információ/adat áll rendelkezésre?

- MODIS/USCB and ASTER emisszivitási **laboratóriumi adatbázis**
 - Előny: nagy spektrális felbontásúak ($2-4\text{cm}^{-1}$ hullámszám),
 - Hátrány: nem feltétlenül reprezentálják a földfelszín aktuális felszíni fedettségét (ökoszisztémáját), amit a műholdak látnak.
- A MOD/MYD11 **MODIS operatív emisszivitási produktum** (napi, 8 napos, havi átlag)
 - Előny: az aktuális ökoszisztémát méri
Globális (havi átlag leginkább)
 - Hátrány: 6 sávban (4 spektrális tartomány)

MODIS IR csatornák	20	22	23	25	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Hullámh. (μm)	3.8	3.9	4.0	4.5	6.7	7.3	8.6	9.7	11	12	13.3	13.6	13.9	14.2
MOD07 csatornák				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MOD11 Emissz. csatornák	X	X	X				X		X	X				

Célunk: a nagy spektrális felbontású laboratóriumi mérések kombinálása a gyengébb felbontású műholdas mérésekkel. Míg a laboratóriumi mérések a műholdas mérések közötti hézagok kitöltésére használnak, addig a műholdas mérések az aktuális ökoszisztémáról (emisszivitásról) szolgáltatnak információt.



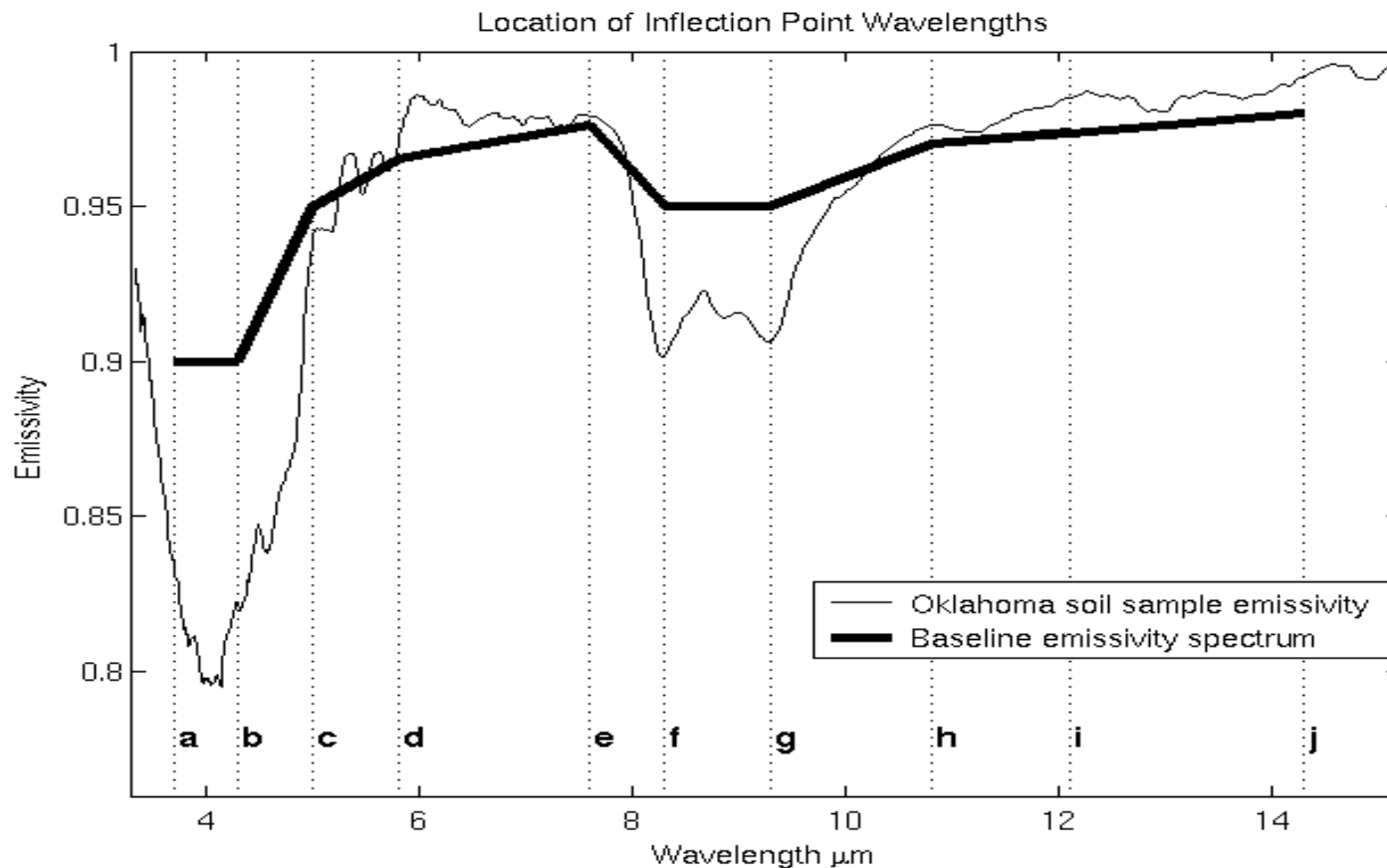
Alapvonal illesztési módszer (baseline fit method)
(Suzanne W. Seemann)

Referencia:

Seemann, S.W., E. E. Borbas, R. O. Knuteson, G. R. Stephenson, H.-L. Huang, 2008: Development of a Global Infrared Land Surface Emissivity Database for Application to Clear Sky Sounding Retrievals from Multi-spectral Satellite Radiance Measurements. J. Appl. Meteor. Climatol., Vol. 47, 108-123.

Alapvonal illesztési módszer a szárazföld emisszivitásának meghatározására

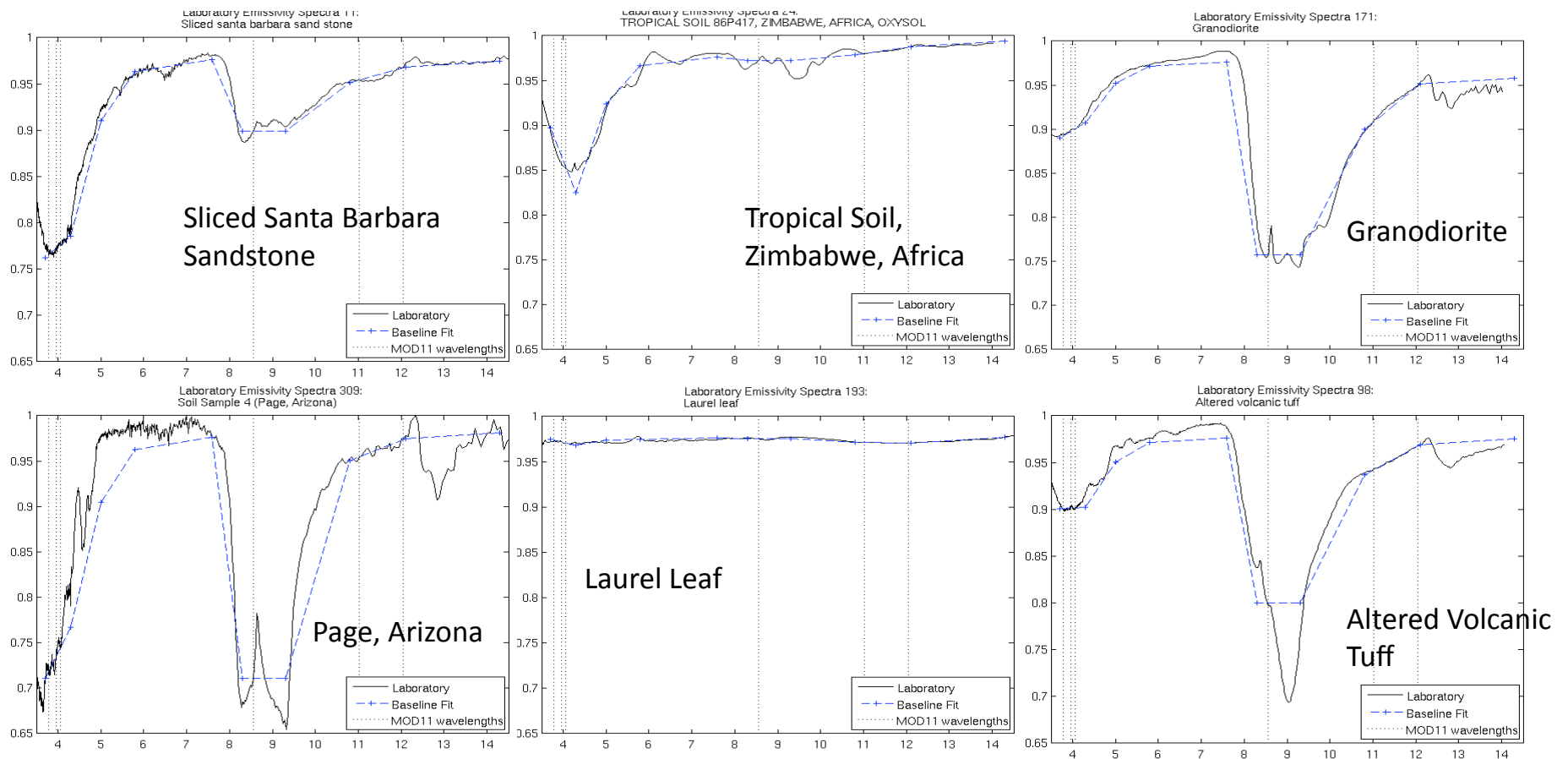
1. Laboratóriumi mérések syelektálása a modell kialakítására: 321
2. **Alapspektrum létrehozása:** 10 inflektációs pont kiválasztása, melyek a spektrum formájának meghatározására szolgálnak
3.6, 4.3, 5.0, 5.8, 7.6, 8.3, 9.3, 10.8, 12.1 and 14.3 μm
3. **Illesztési szabályok létrehozása,** melyek alapján az alapspektrum illeszkedik a MODIS 6 emisszivitási értékéhez.



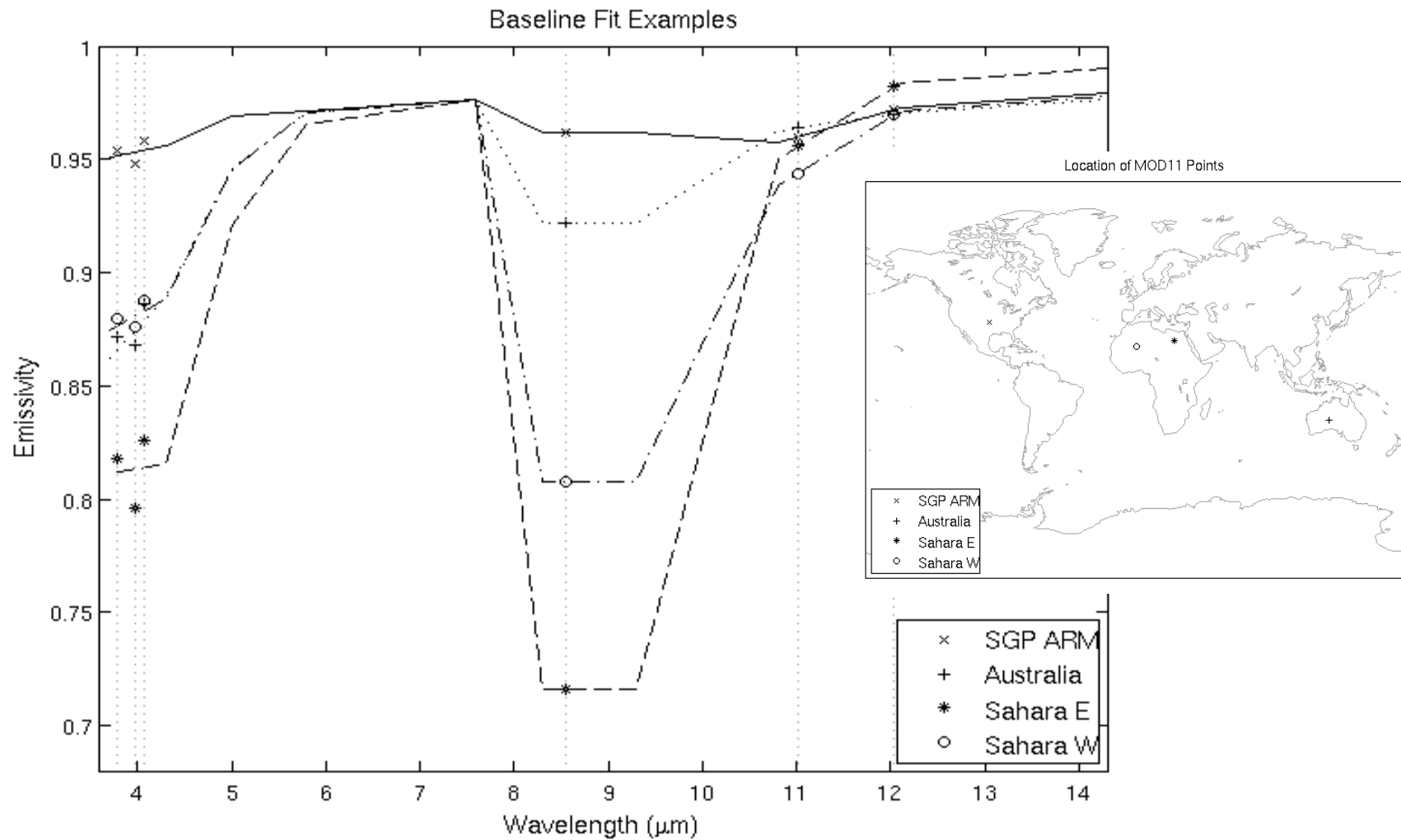
Az alapvonal illesztési módszer verifikációja

1. MYD11 emisszivitási adatok szimulálása laboratóriumi mérésekből
2. Alapvonal illesztési módszer alkalmazása

Nem validáció!!



Alkalmazás 4 földrajzi helyen

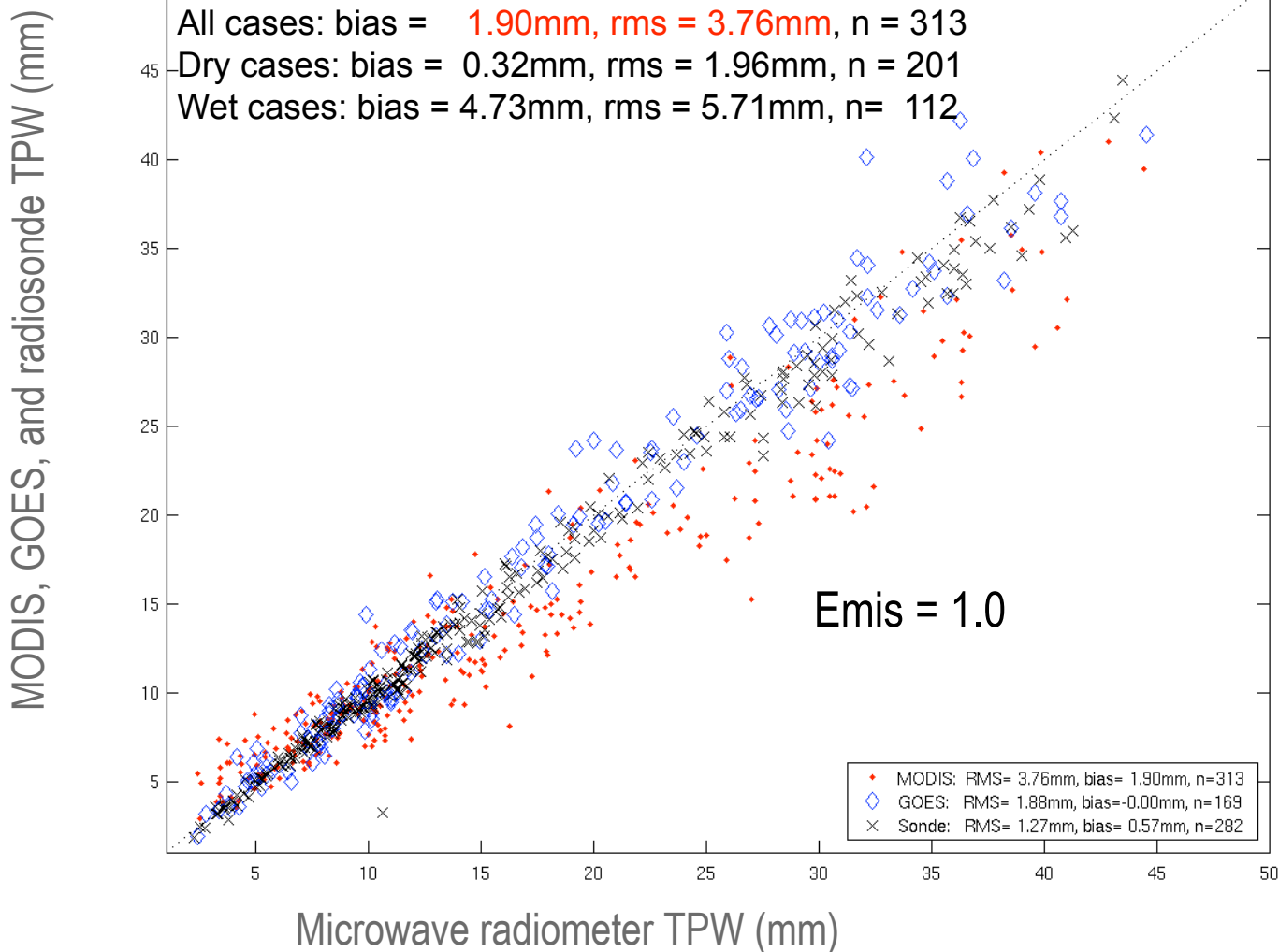


Vonalak: BF emisszivitási spektrumok, szimbólumok: MYD11 mérések (input adat)



Alkalmazás: Emisszivitási érzékenységi teszt a MODIS MOD07 kihullható vízmennyiségre

RT MWR TPW vs MODIS, GOES, and Sonde TPW for original training newozone rh99 15704 Ecoemisnostd griddedEmis EcoEmisNoStd pCRTM emis1.0: N



A kihullható vízmennyiség összehasonlítása az ARM SGP állomáson 314 derült esetre 2001/4-től 2005/8-ig.

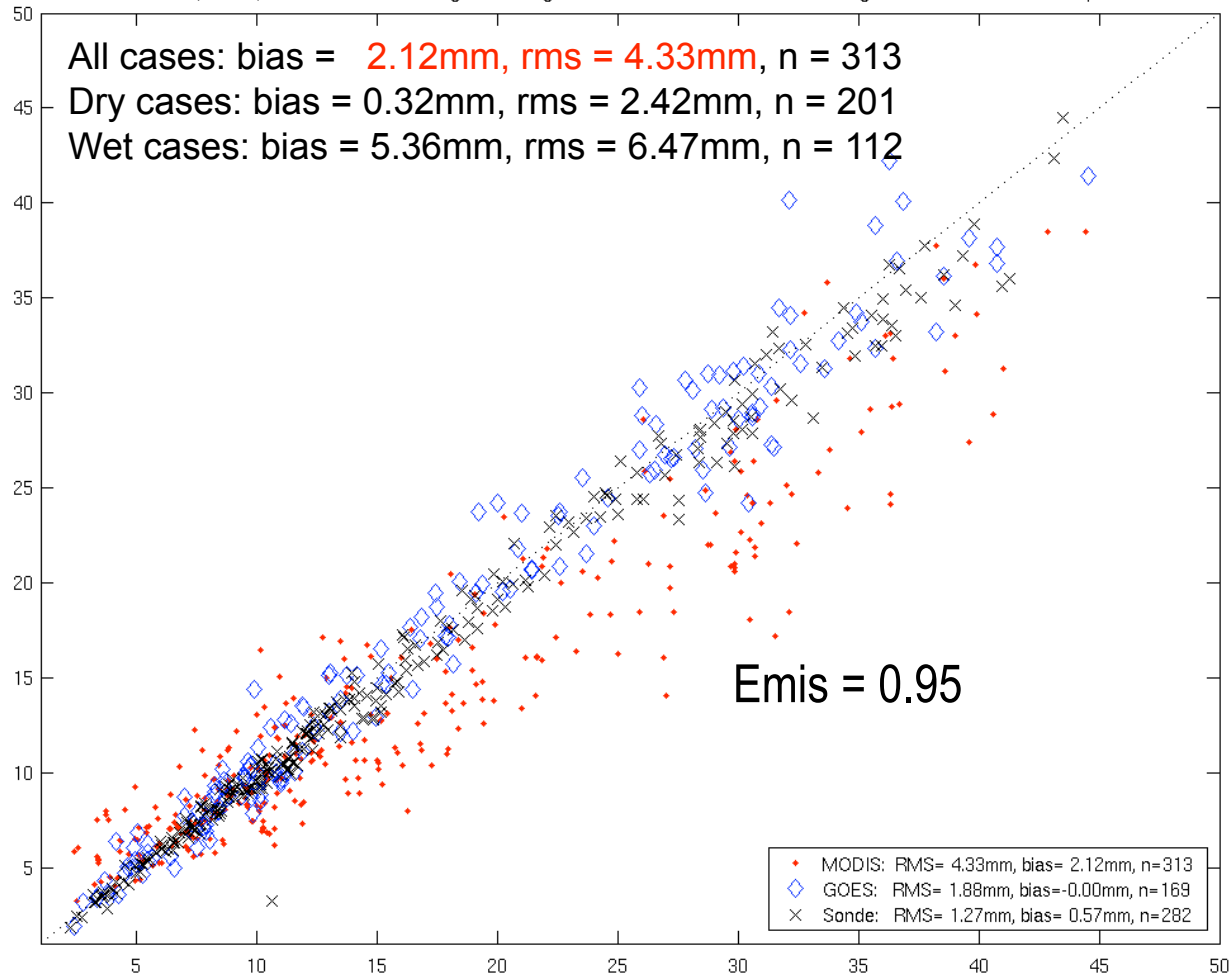
Terra MODIS (piros)
GOES-8 and -12 (kék)
rádiószonda (fekete)



Alkalmazás: Emisszivitási érzékenységi teszt a MODIS MOD07 kihullható vízmennyiségre

3T MWR TPW vs MODIS, GOES, and Sonde TPW for original training newozone rh99 15704 Ecoemisnstd griddedEmis EcoEmisNoStd pCRTM emis0.95: I

MODIS, GOES, and radiosonde TPW (mm)



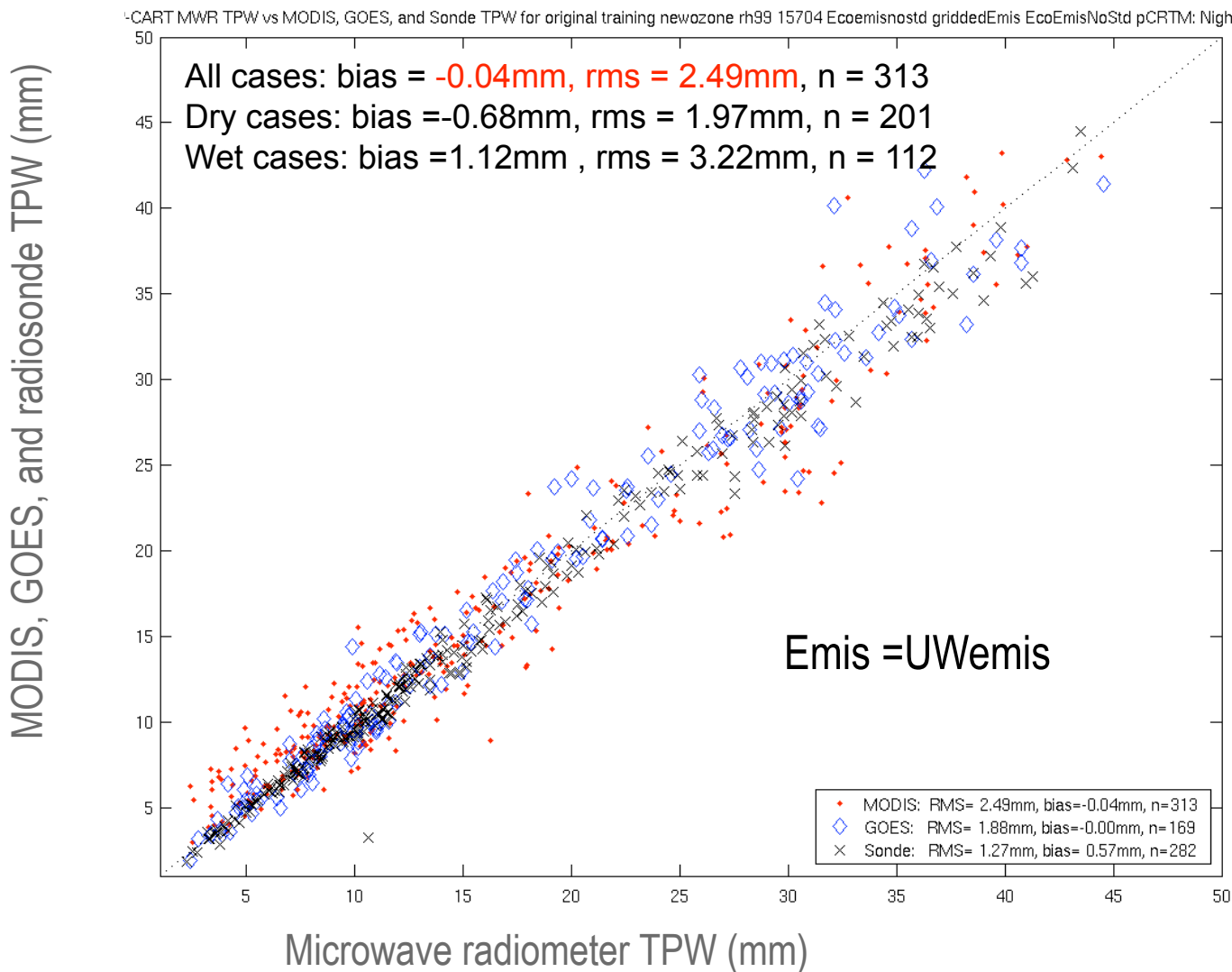
A kihullható vízmennyiség összehasonlítása az ARM SGP állomáson 314 derült esetre 2001/4-től 2005/8-ig.

Terra MODIS (piros)
GOES-8 and -12 (kék)
rádiószonda (fekete)

Microwave radiometer TPW (mm)



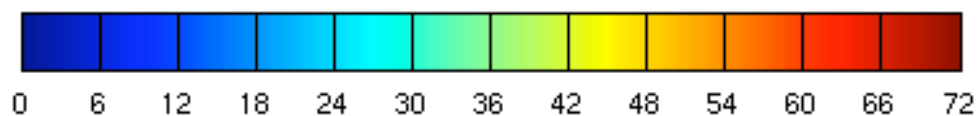
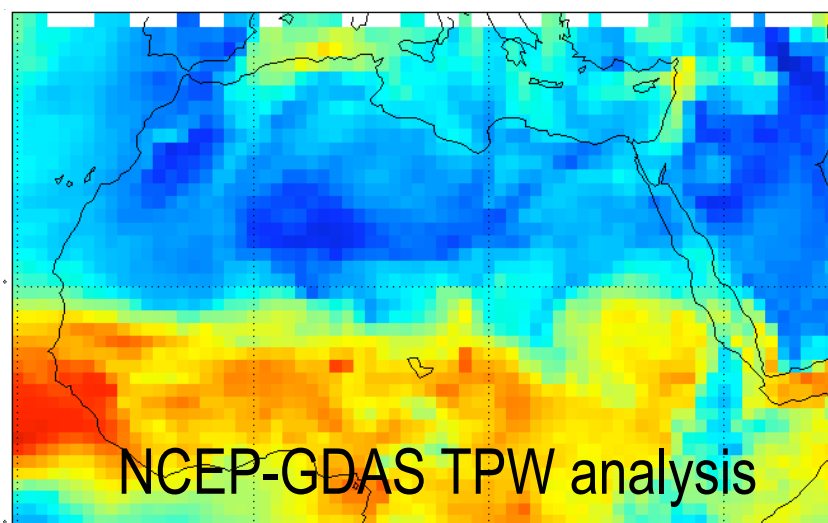
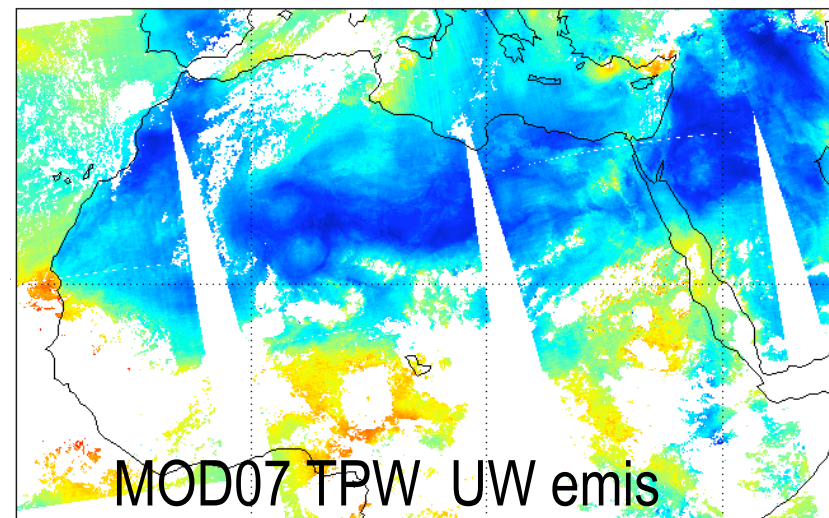
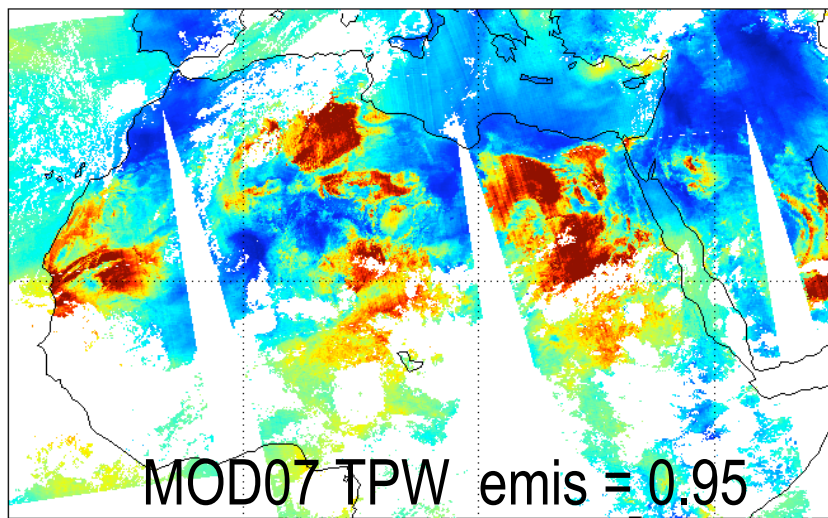
Alkalmazás: Emisszivitási érzékenységi teszt a MODIS MOD07 kihullható vízmennyiségre



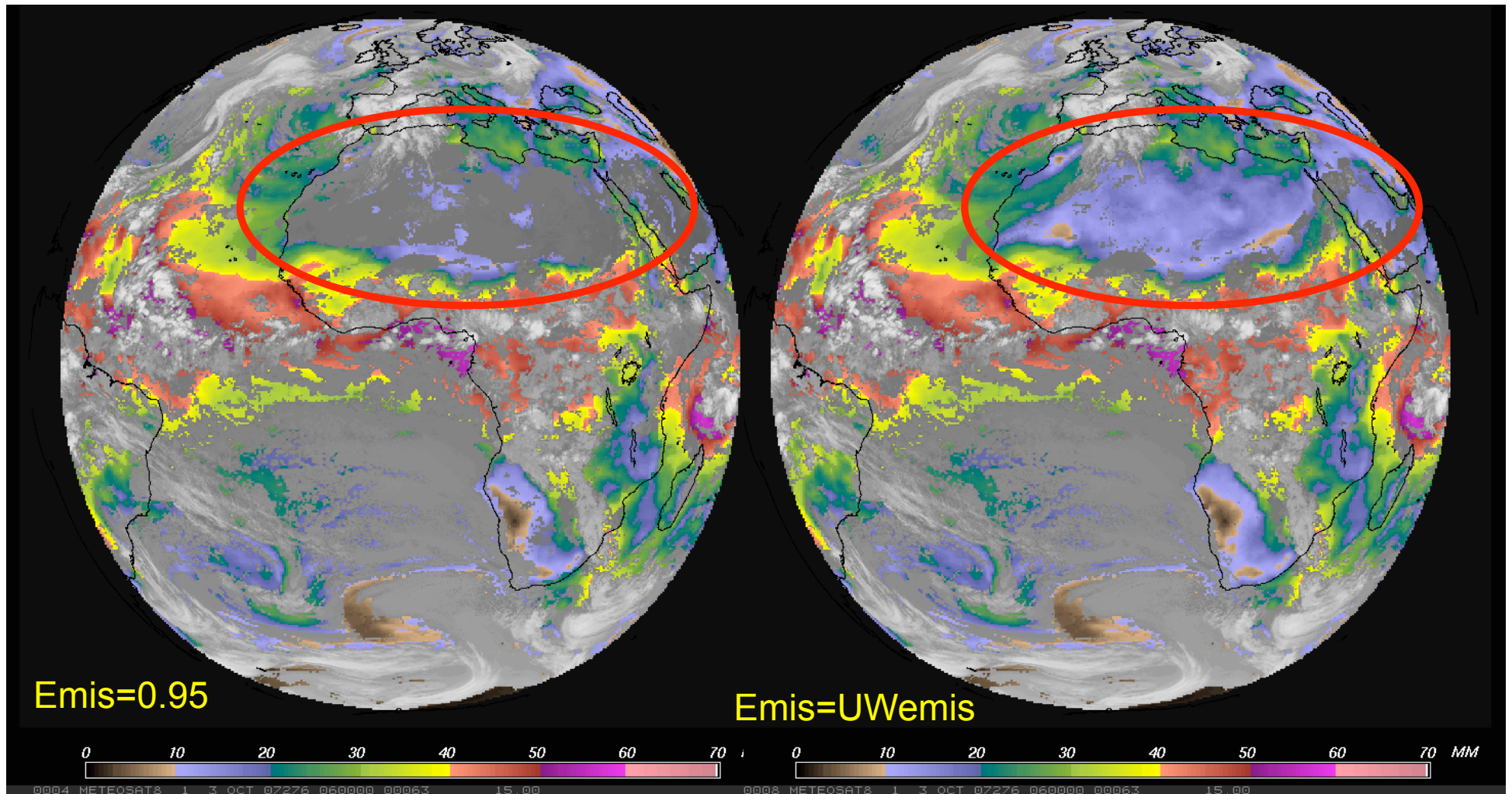
A kihullható vízmennyiség összehasonlítása az ARM SGP állomáson 314 derült esetre 2001/4-től 2005/8-ig.

Terra MODIS (piros)
GOES-8 and -12 (kék)
rádiószonda (fekete)

Alkalmazás: Szahara sivatag: MODIS kihullható vízmennyiség 2005. augusztus 1-én éjszaka.



Alkalmazás: Szahara sivatag: MSG SEVIRI kihullható vízmennyiség 2007. október 3. 0600 UTC.

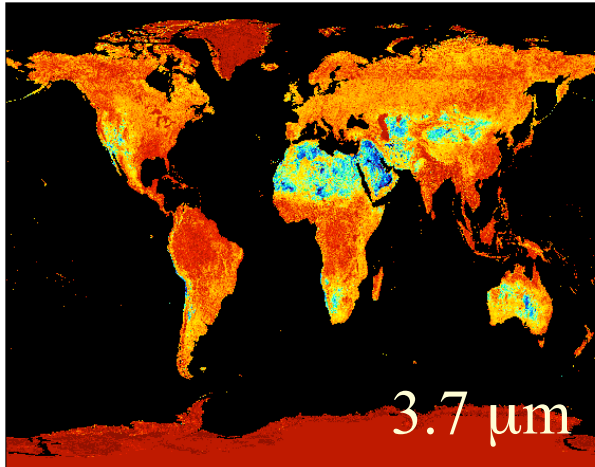


Marianne Koenig and Estelle de Coning: The MSG Global Instability Indices Product and its Use as a Nowcasting Tool. Submitted to "Weather and Forecasting"

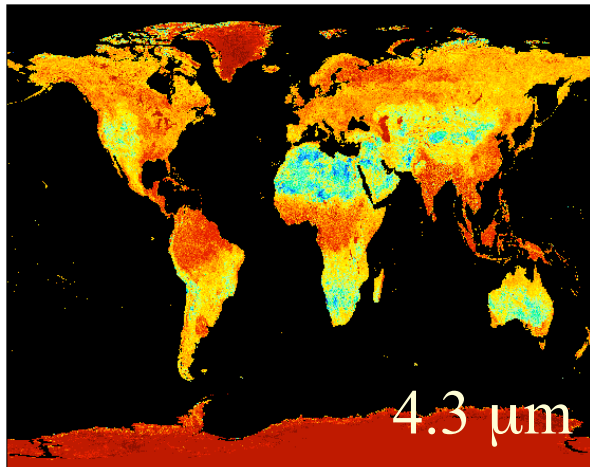
Néhány példa az adatbázisból...

A 2002. augusztusi globális emisszivitási térkép 6 szelektált hullámhosszra

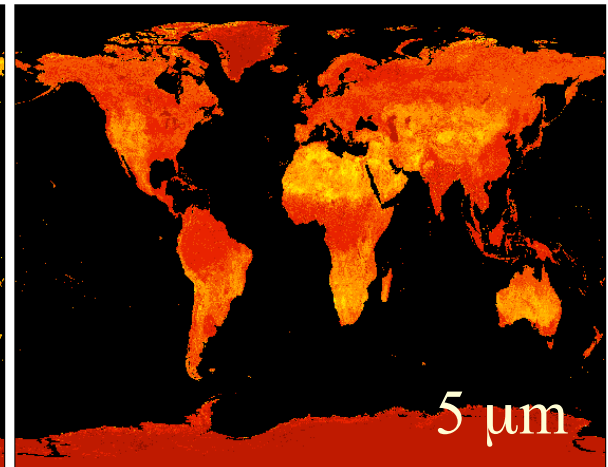
Emissivity, Version A, filled by Adjacent Month: MYD11C3.A2002213, 3.7 μ m



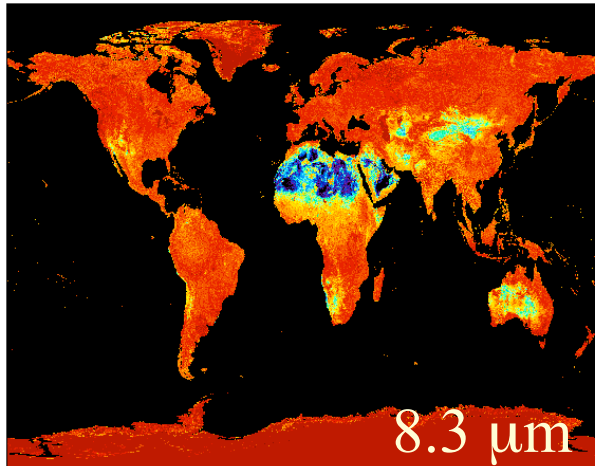
Emissivity, Version A, filled by Adjacent Month: MYD11C3.A2002213, 4.3 μ m



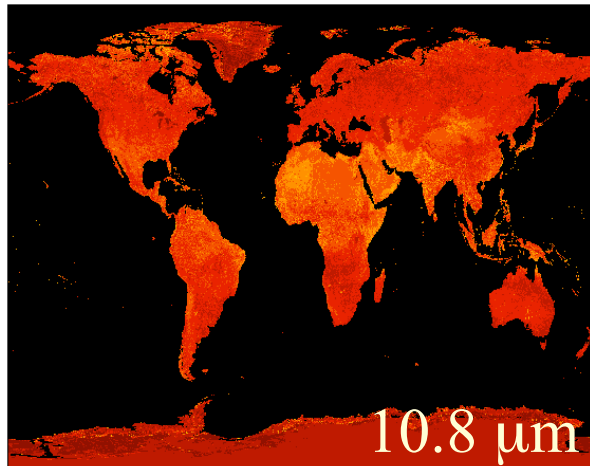
Emissivity, Version A, filled by Adjacent Month: MYD11C3.A2002213, 5 μ m



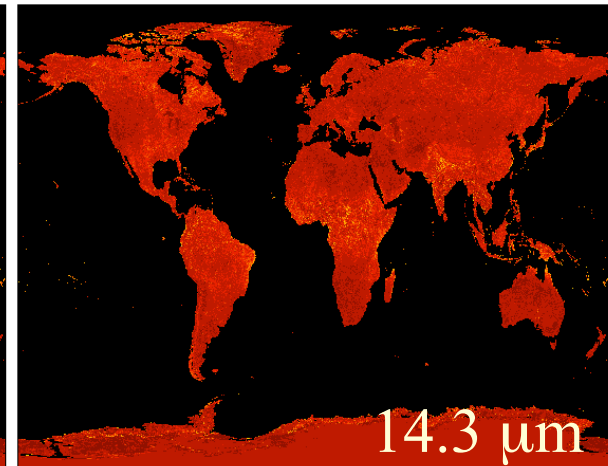
Emissivity, Version A, filled by Adjacent Month: MYD11C3.A2002213, 8.3 μ m



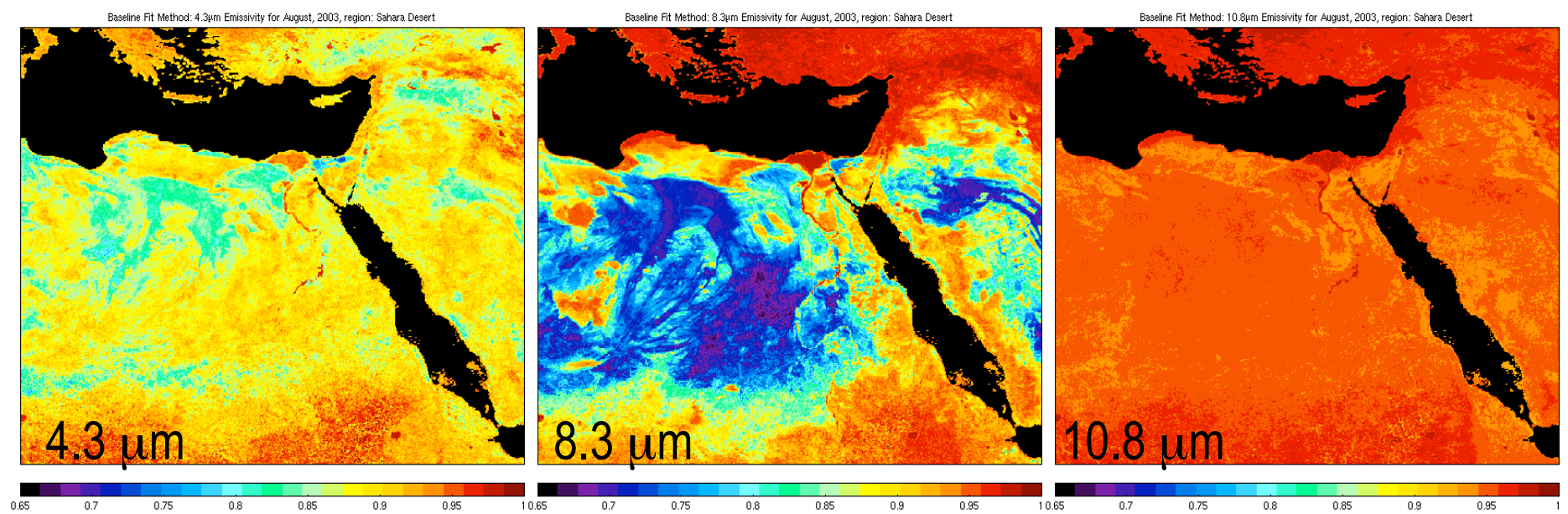
Emissivity, Version A, filled by Adjacent Month: MYD11C3.A2002213, 10.8 μ m



Emissivity, Version A, filled by Adjacent Month: MYD11C3.A2002213, 14.3 μ m



A 2003. augusztusi emisszivitási térkép a Szahara sivatag felett



A nagy spektrális felbontású emisszivitási algoritmus

UW BF emisszivitási adatbázis + laboratóriumi mérések kombinációja természetes ortogonális sorfejtés segítségével (PCA=principal component analízis)

$$\vec{\mathbf{e}} = \vec{\mathbf{c}}\mathbf{U}$$
$$\vec{\mathbf{c}} = \vec{\mathbf{e}} * \mathbf{U}^T (\mathbf{U}\mathbf{U}^T)^{-1}$$

$\vec{\mathbf{e}}$ emisszivitás

$\vec{\mathbf{c}}$ regressziós együttható

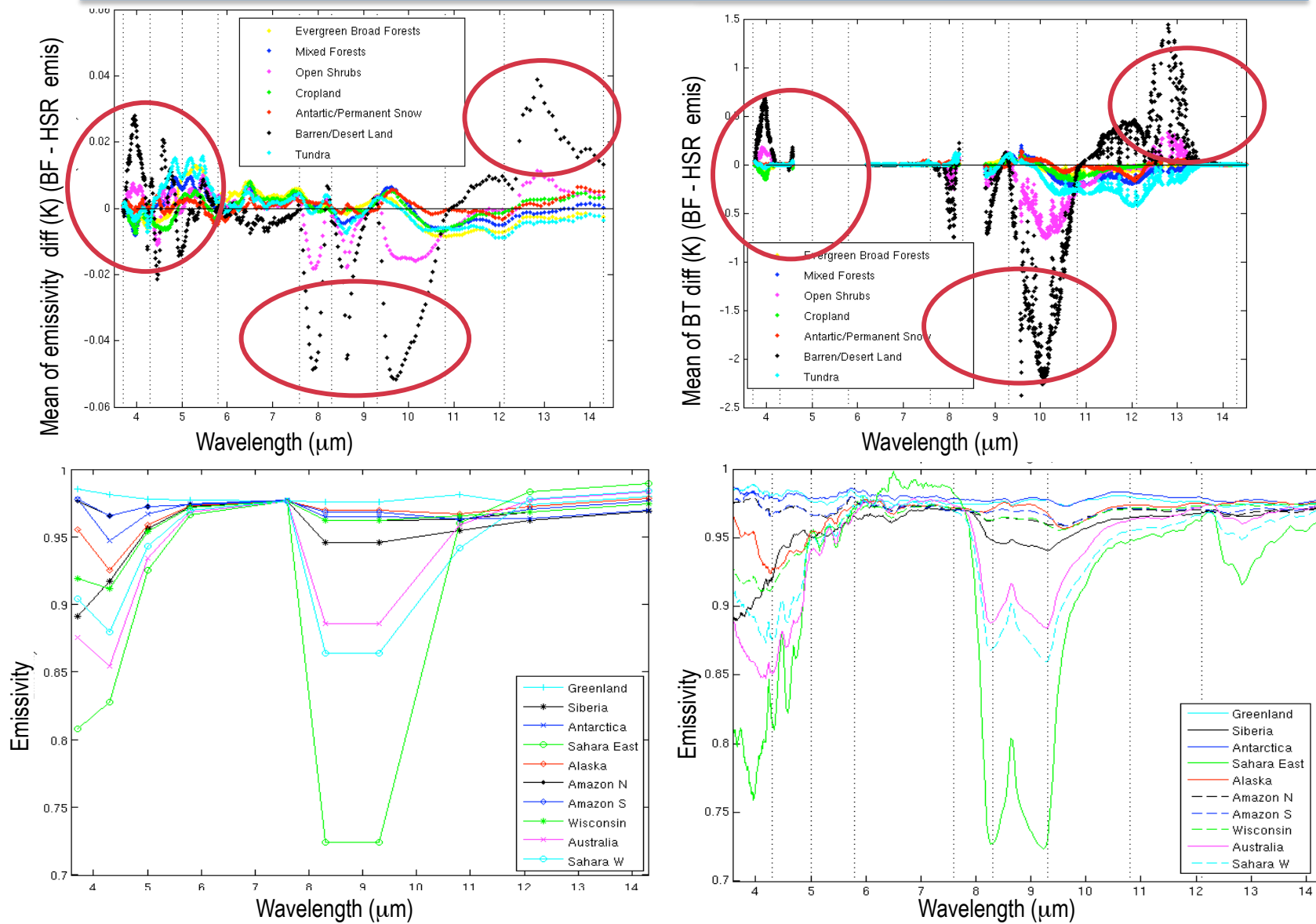
\mathbf{U} az első néhány laboratóriumi mérések sajátvektora

•Az adatbázis pontossága függ az:

- UW/CIMSS BF és MODIS MYD11 emisszivitási adat minőségétől
- A laboratóriumi mérésektől (123)
- Módszerek pontosságától

•Output: emisszivitási spectrum 416 spektrális ponton a 3.6 és 14.3 μm tartományban

A nagy spektrális felbontású emisszivitás összehasonlítása az input BF emisszivitási adatbázissal

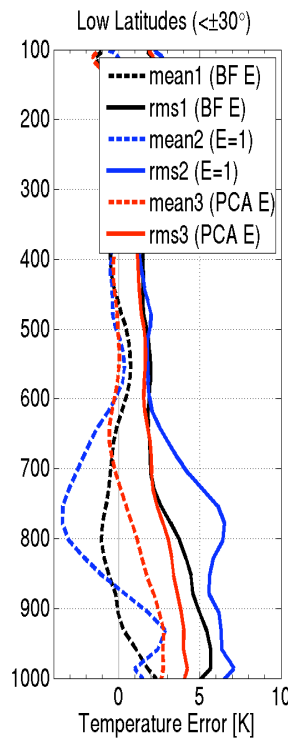


Emisszivitási spektrum 10 földrajzi helyen (2003 augusztus)

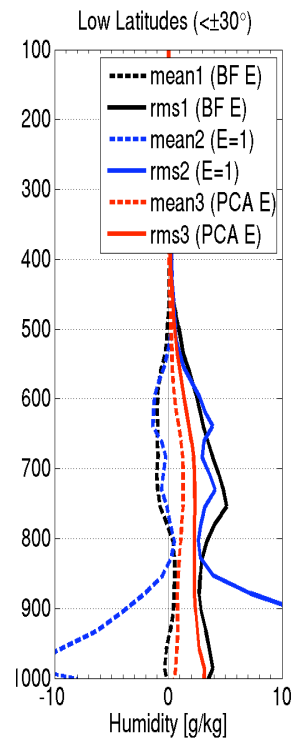
Alkalmazás: IMAPP AIRS szondázása szárazföldre derült területek felett

Átlagos eltérés és négyzetes hiba az ECMWF analízis és AIRS szondázás között 2003. szeptember 2-án. Az AIRS hőmérsékleti, nedvességi és ózon profilok három-féle emisszivitási értékkel lettek származtatva: emisszivitás=1 (kék), az *UW/CIMSS alapvonal illesztési (fekete)* és *nagy spektrális felbontású emisszivitással (piros)*.

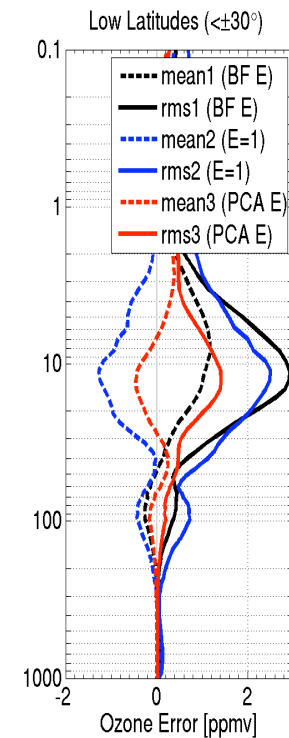
Hőmérséklet



Nedvesség (keverési arány)

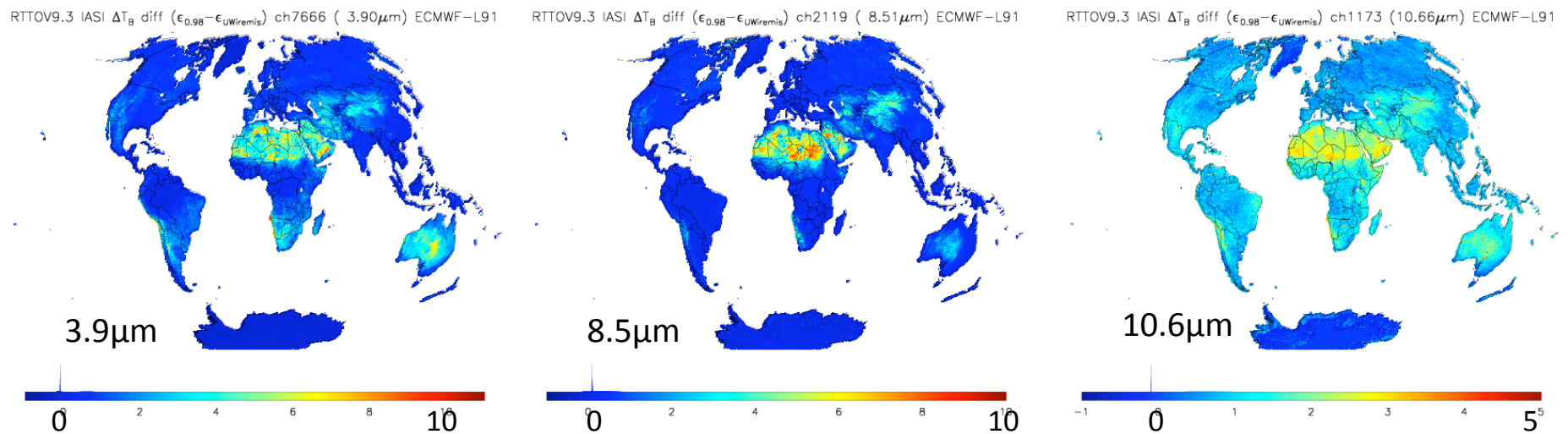


Ózon



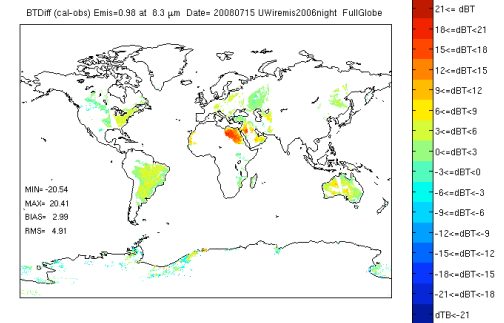
Alkalmazás: Az EUMETSAT NWP-SAF projekt Az RTTOV IR emisszivitási modul kifejlesztése

- **Résztevők:** Roger Saunders (UKMO, England), Benjamin Ruston (NRL, Ca, USA), Borbás Éva (UW/CIMSS, WI, USA)
- **Projekt időtartama:** 2009. január-december
- **Hivatalos kiadás:** 2010 (RTTOV10)



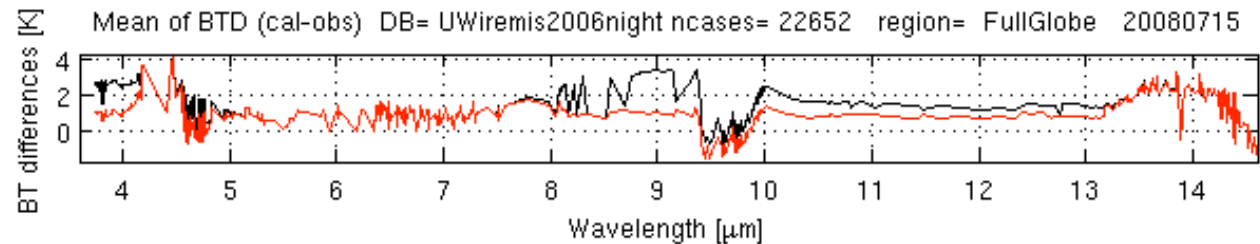
Az RTTOV9.3 által számított IASI sugárzási hőmérséklet különbségi mezők a 3.9 (bal), 8.5 (közép) és a 10.6 μm (jobb) hullámhosszakra 2008. január 15-én 1200 UTC-kor: alapértelmezett emisszivitás (.98) – UW nagy spektrális felbontású emisszivitás

Szimulált IASI fényességi hőmérsékletek összehasonlítása a Földre 2008. július 15. éjszaka

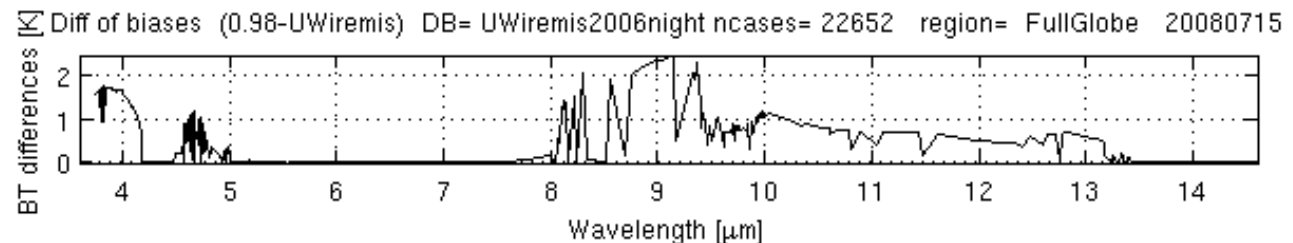


piros: UW emisszivitás, **fekete:** alapértelmezett emisszivitás

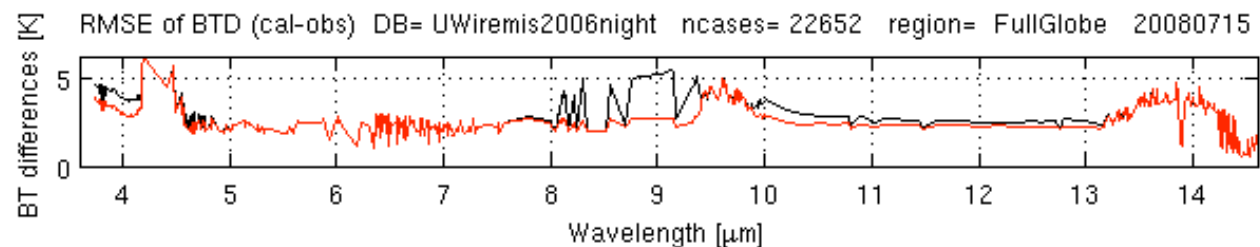
Átlagos eltérések a IASI mérésektől:



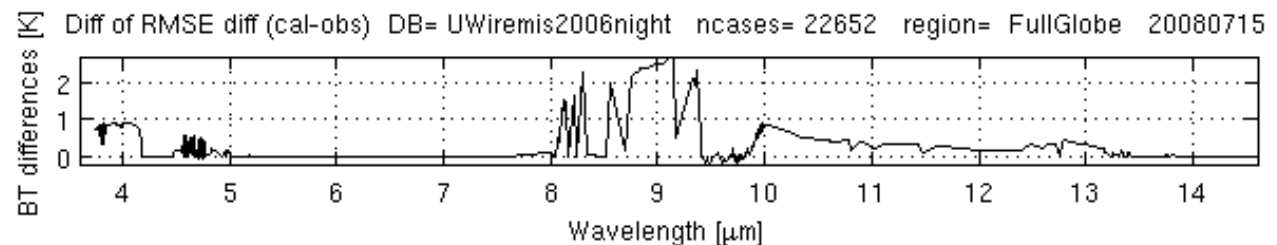
Átlagos eltérések különbsége:



Négyzetes hibák:

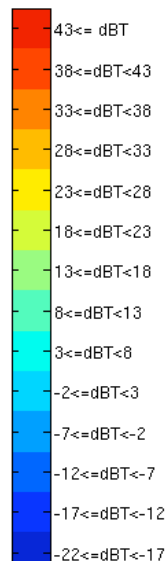
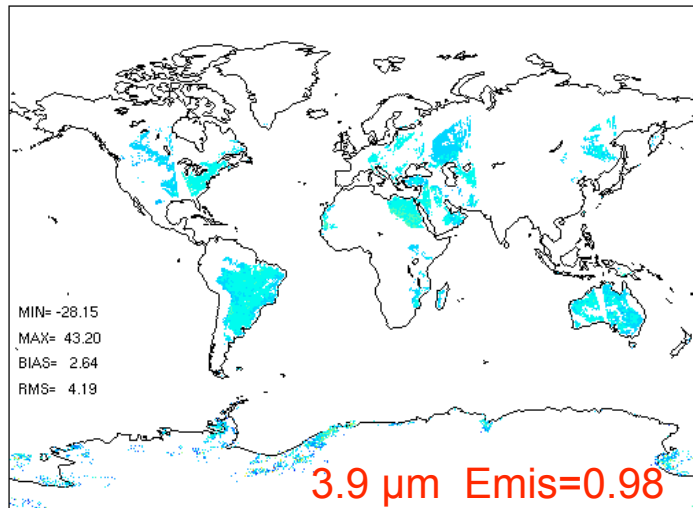


Négyzetes hibák különbsége:

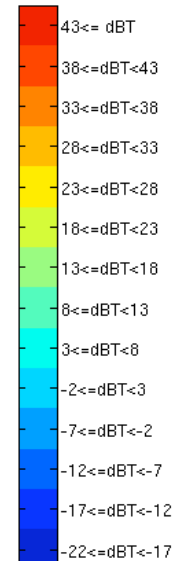
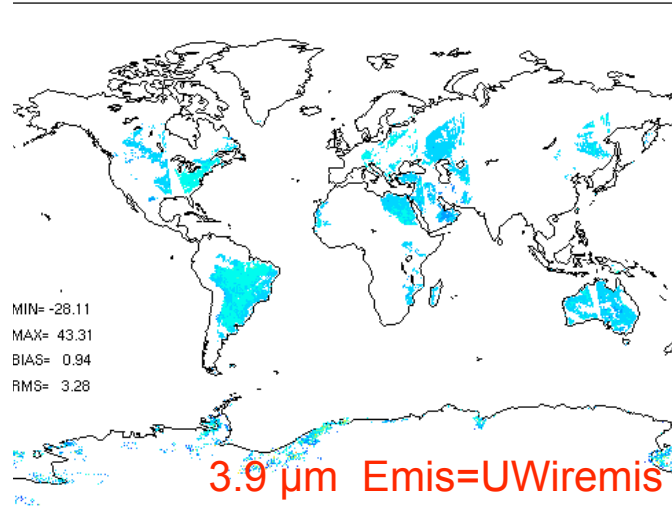


Szimulált és mért IASI fényességi hőmérsékletek különbségi mezeje a Földre 2008. július 15. éjszaka

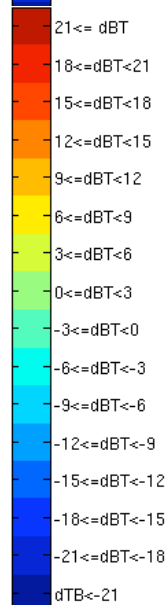
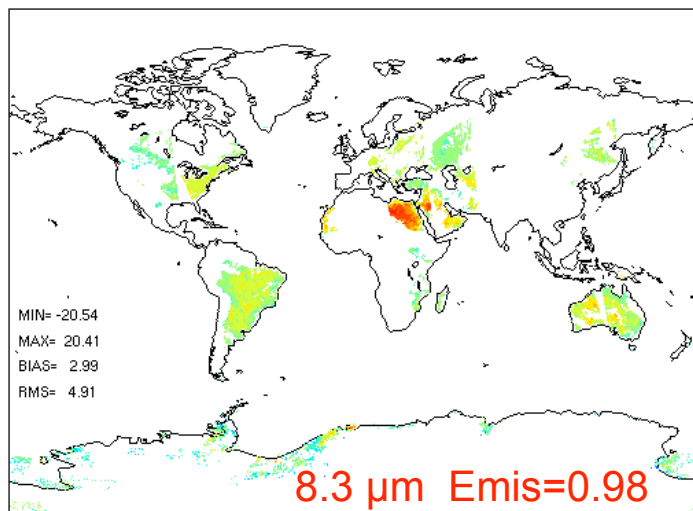
BTDiff (cal-obs) Emis=0.98 at 3.9 μm Date= 20080715 UWiremis2006night FullGlobe



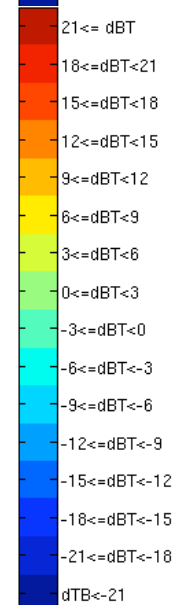
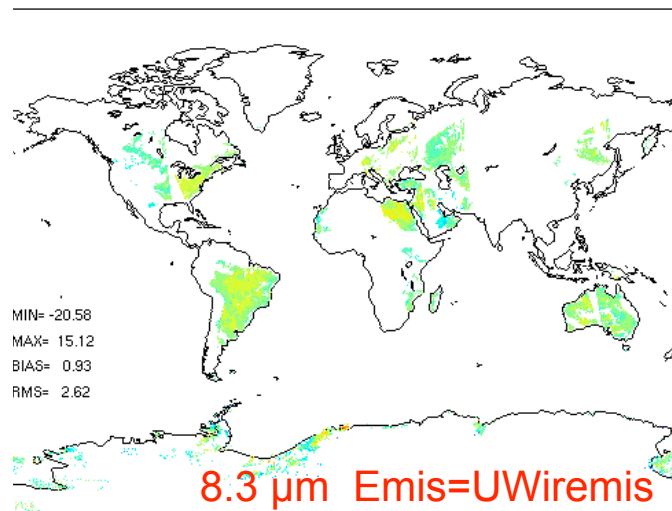
Diff (cal-obs) Emis=UWiremis at 3.9 μm Date= 20080715 UWiremis2006night FullGlobe



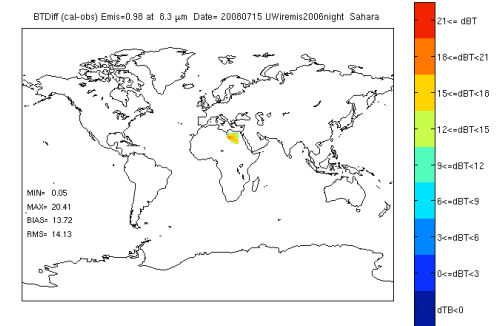
BTDiff (cal-obs) Emis=0.98 at 8.3 μm Date= 20080715 UWiremis2006night FullGlobe



Diff (cal-obs) Emis=UWiremis at 8.3 μm Date= 20080715 UWiremis2006night FullGlobe

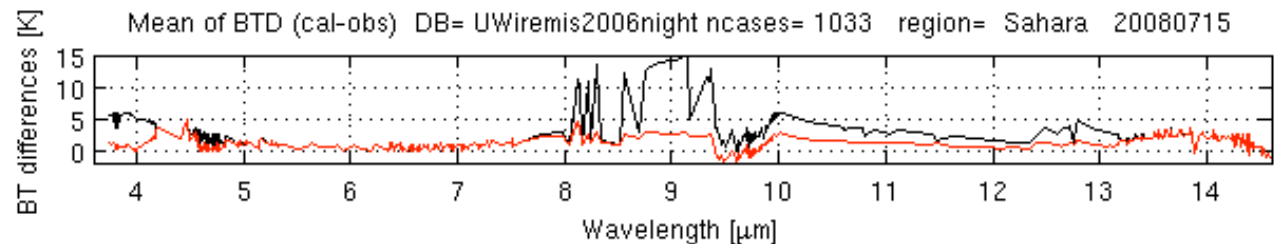


Szimulált IASI fényességi hőmérsékletek összehasonlítása a Szahara sivatag felett 2008. július 15. éjszaka

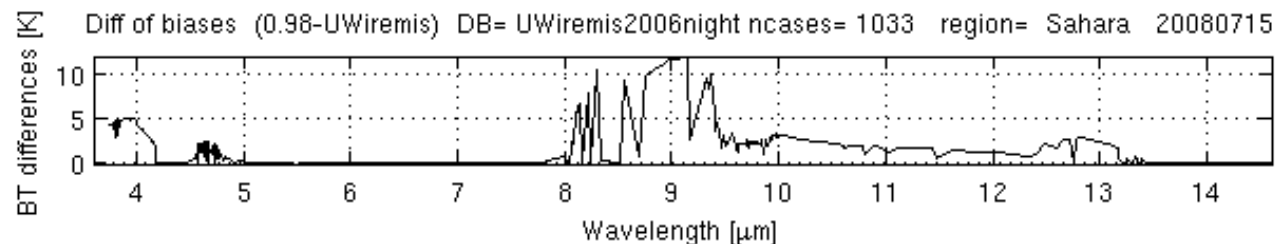


piros: UW emisszivitás, **fekete:** alapértelmezett emisszivitás

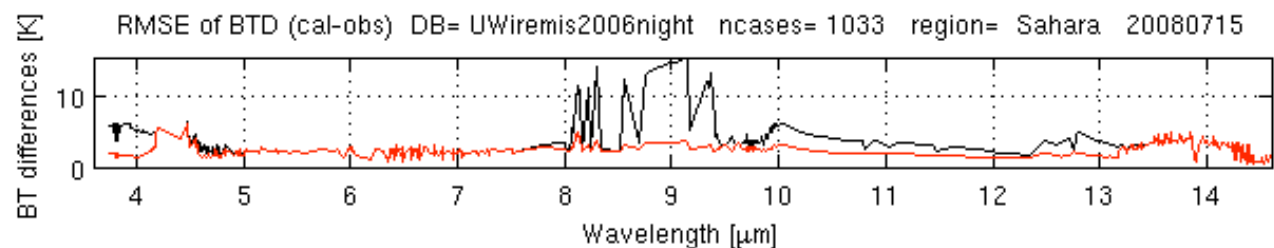
Átlagos eltérések a IASI mérésektől:



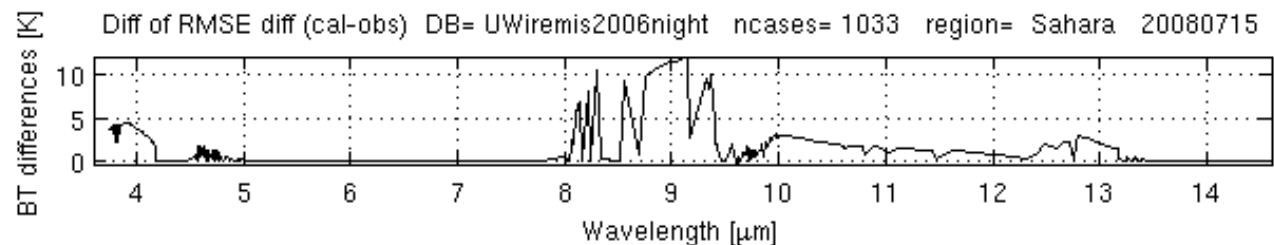
Átlagos eltérések különbsége:



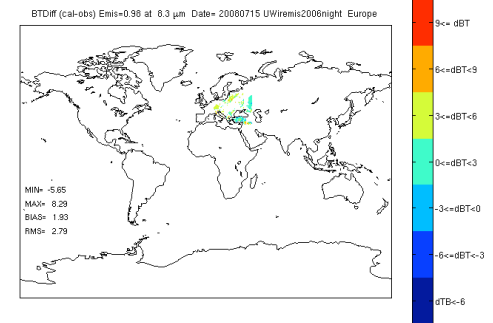
Négyzetes hibák:



Négyzetes hibák különbsége:

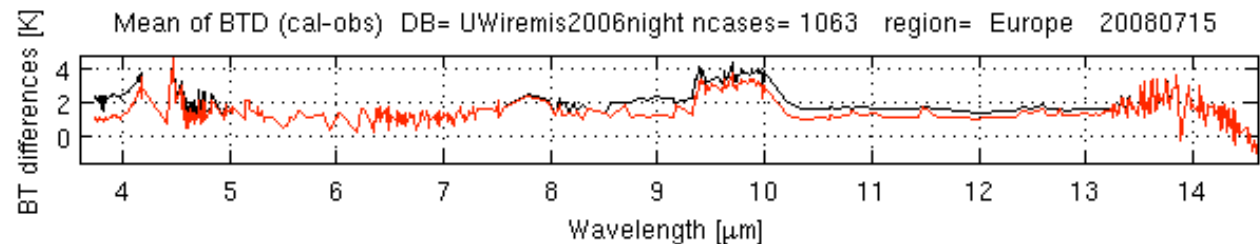


Szimulált IASI fényességi hőmérsékletek összehasonlítása Európára 2008. július 15. éjszaka

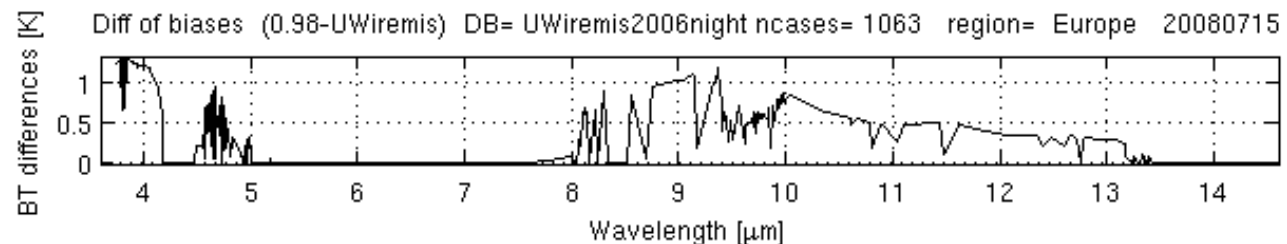


piros: UW emisszivitás, **fekete:** alapértelmezett emisszivitás

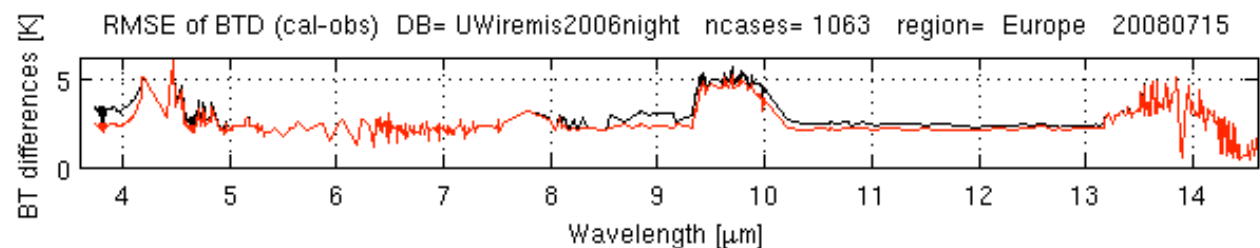
Átlagos eltérések a IASI mérésektől:



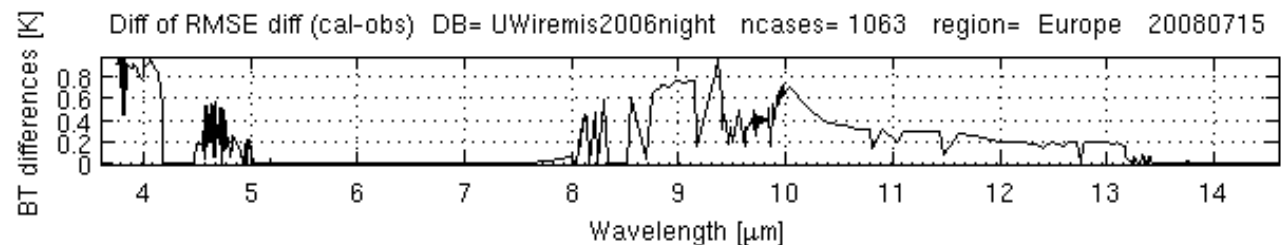
Átlagos eltérések különbsége:



Négyzetes hibák:



Négyzetes hibák különbsége:



Verifikáció

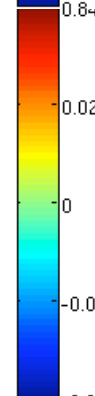
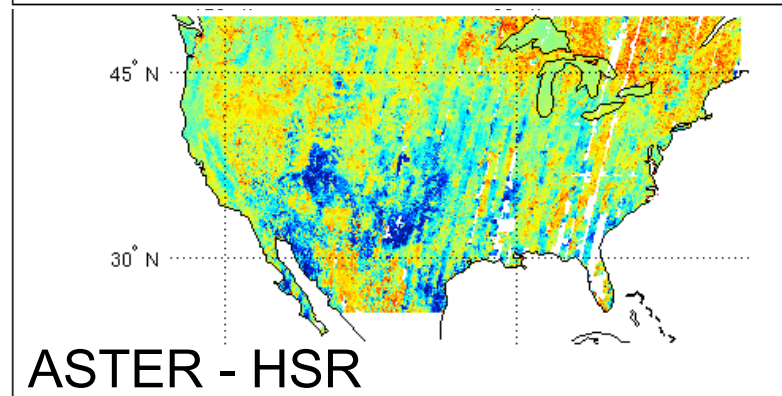
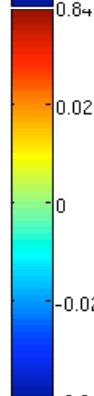
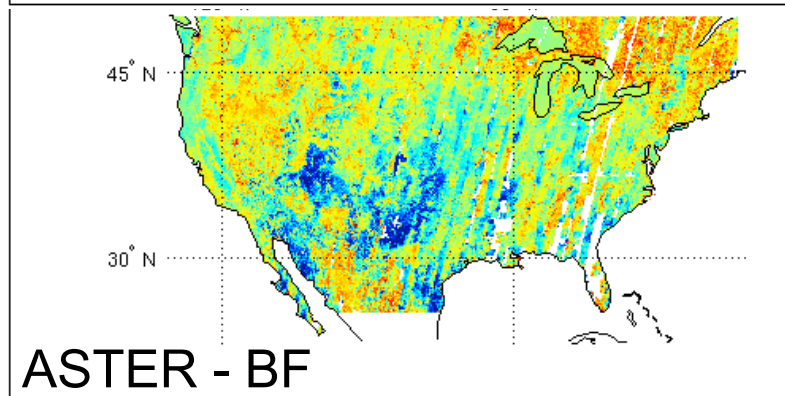
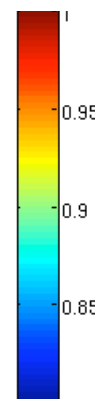
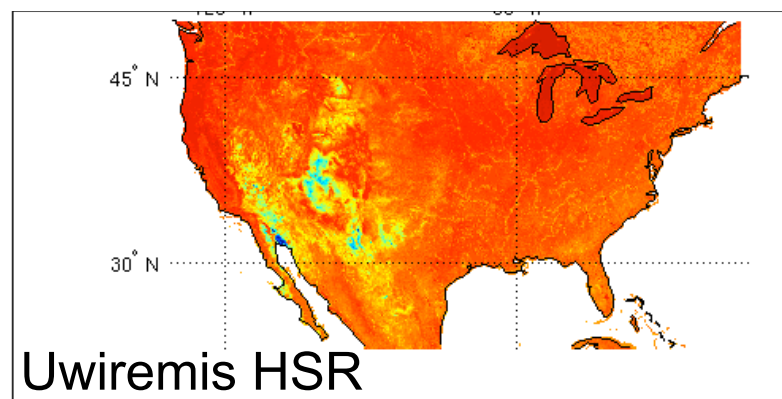
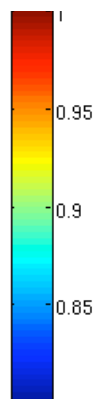
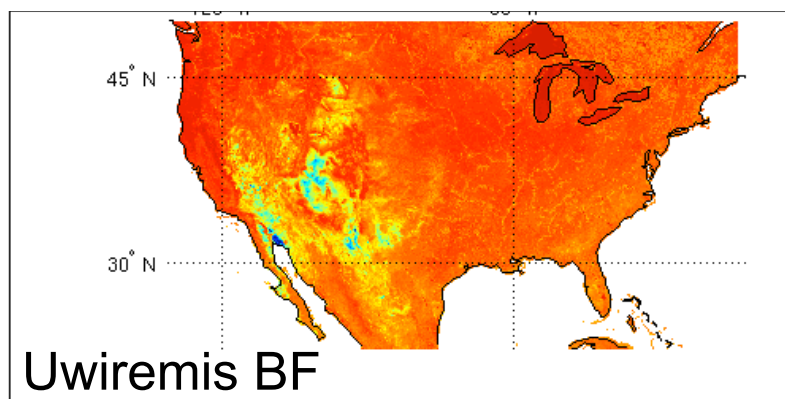
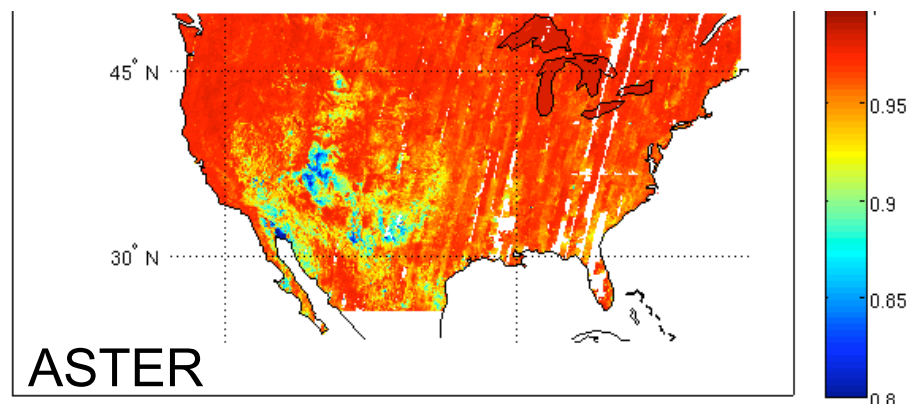
- **Összehasonlítás más adatbázissal, mérésekkel** (*nem globális*):
 - NAALSED (ASTER) DB: <http://emissivity.jpl.nasa.gov/> (Hulley and Hook, 2008)
 - Észak-Amerika, tél-nyár, 5 sávban: 8.3, 8.6, 9.1, 10.6 and 11.3 μm , 100m, 1, 5 és 50 km
 - Repülőgépes mérések (Jaivex, ARIES)
 - korlátozott mérések térben és időben, viszont nagy spektrális és térbeli felbontásúak

- **Indirekt összehasonlítás** (*globális*): forward modell által szimulált és a műszer által mért radianciák/fényességi hőmérsékletek összehasonlítása
 - pCRTM számítások a MODIS és AIRS műszerekre (szondázás)
 - RTTOV számítások adat asszimilálásra
 - Esettanulmányok vizsgálata (MODIS input adatok verifikációja sivatag felett)



Input MODIS adatok verifikációja, adatbázis fejlesztési eszköz

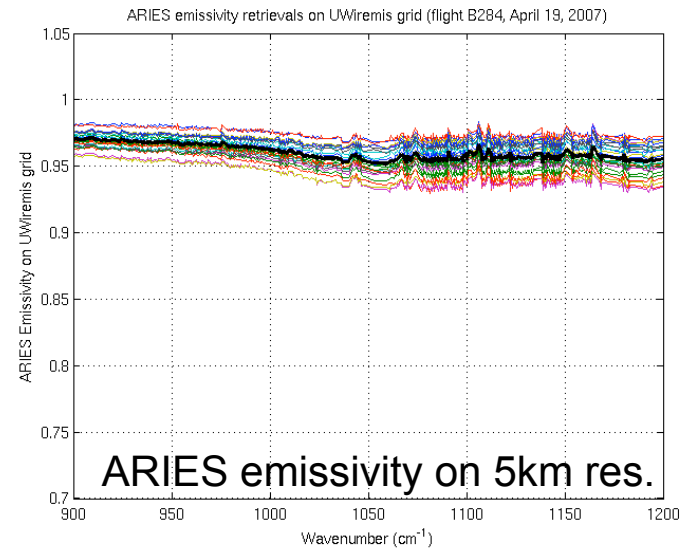
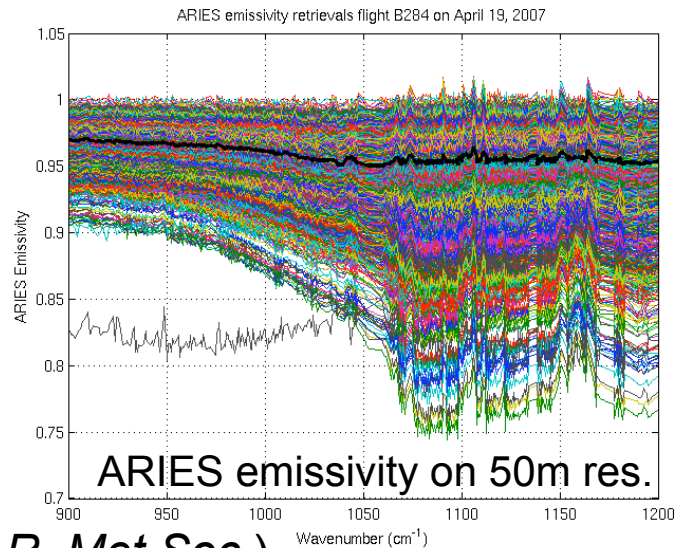
Az ASTER és a UW emisszivitási adatbázis összehasonlítása $8.3 \mu\text{m}$ hullámhosszra nyári időszakra



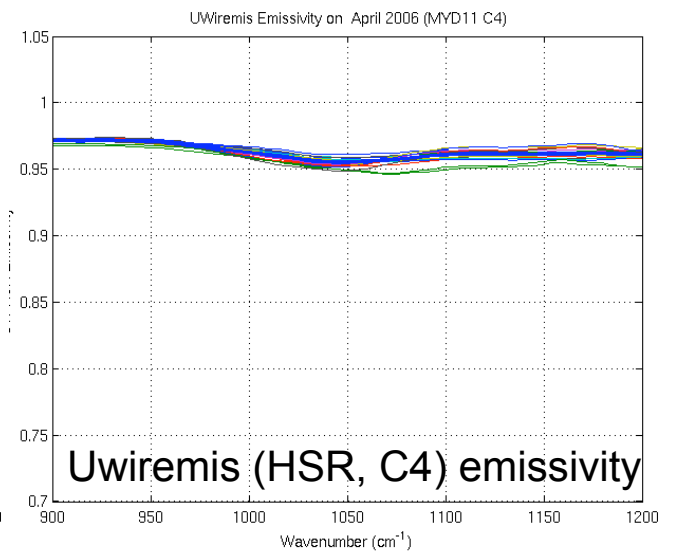
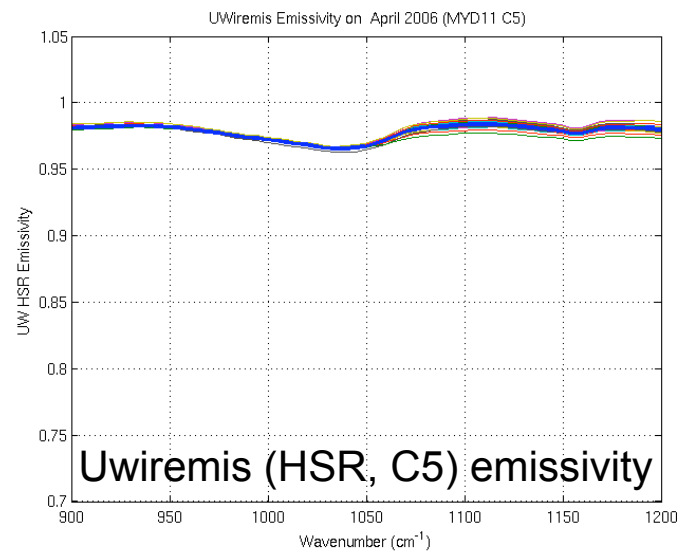
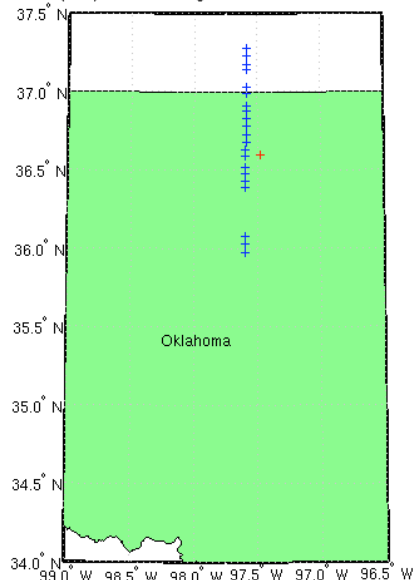
Jaivex ARIES repülőgépes mérésekkel való összehasonlítás

2007. április 17. Oklahoma, USA

- Aircraft: B284
 - Altitude: 3000foot
 - Foot print: 50 m
 - Spectral range: 8.3 and 11.1 μm
 - Night time clear-sky
 - Provided by Stuart Newman (UKMO)
- (Thelen et al., 2009, Q.J.R. Met Soc.)



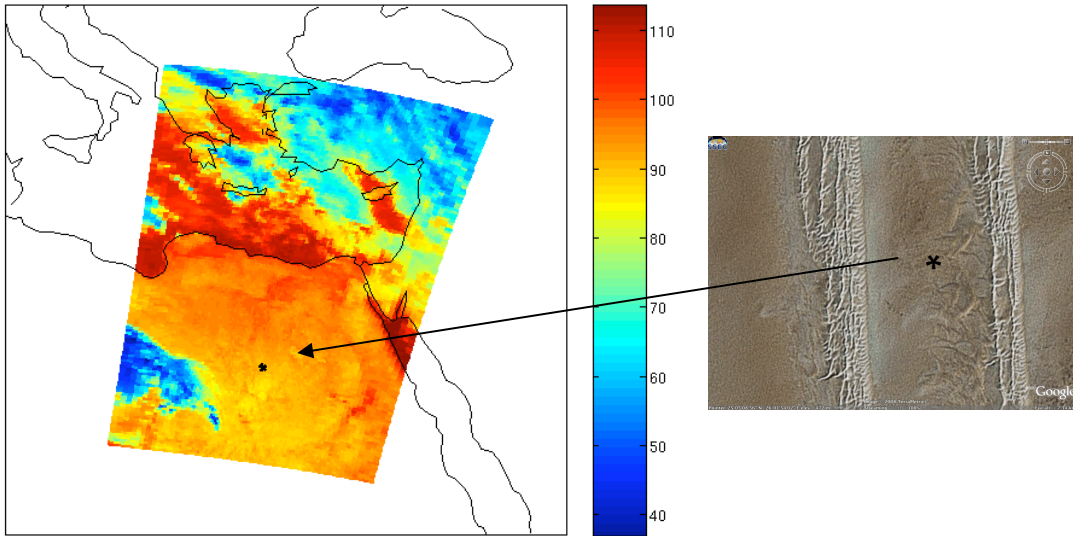
Location of ARIES (blue) on UWiremis grid and the UW Best Estimate Emissivit



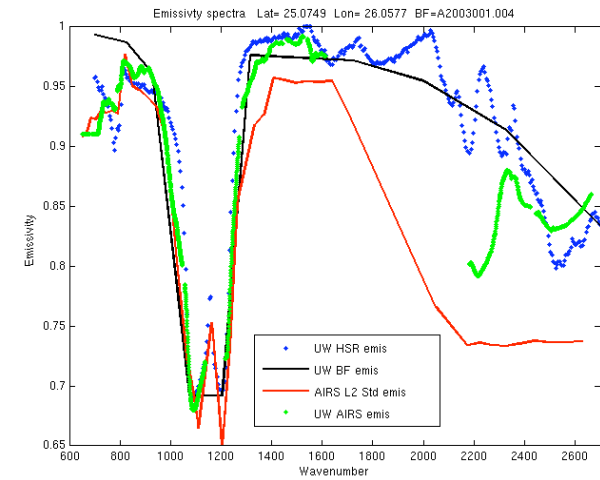
Esettanulmány a Szahara sivatag felett

AIRS January 15 2004 00:03 UTC

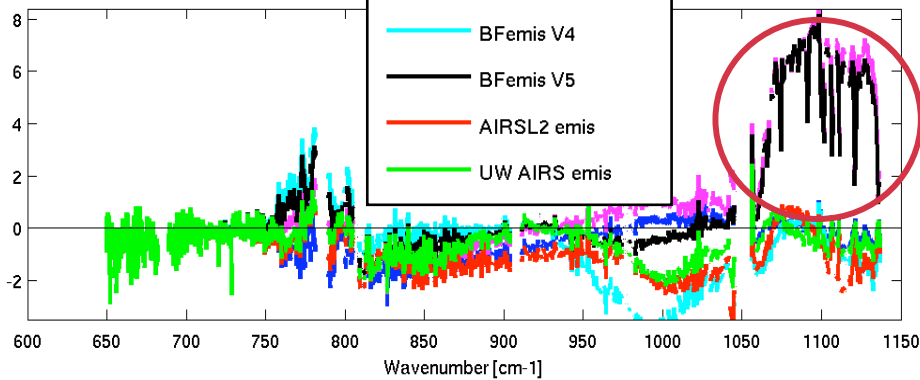
Lat: 25.0749 Lon: 26.0577 AIRS.2004.01.14.240 Time: 15-Jan-2004 00:03:56



Emisszivitás (MODIS V4)

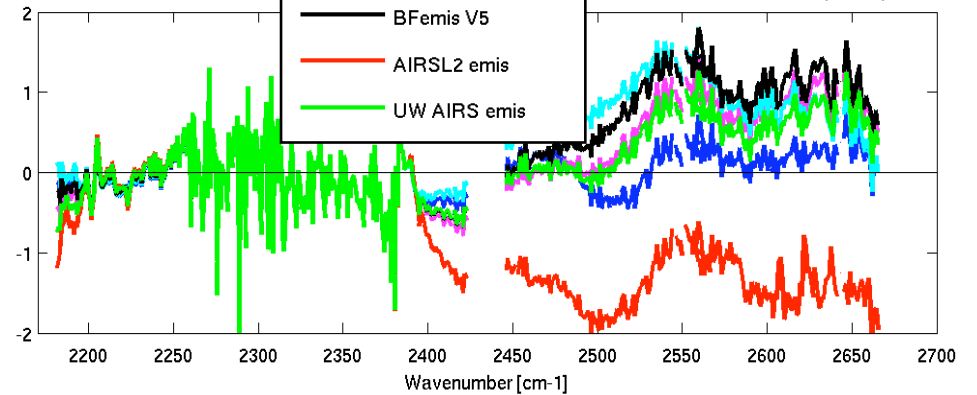


BT Residuals (LW)



MYD11 C5
8-9.5 μm dBt > 6 K

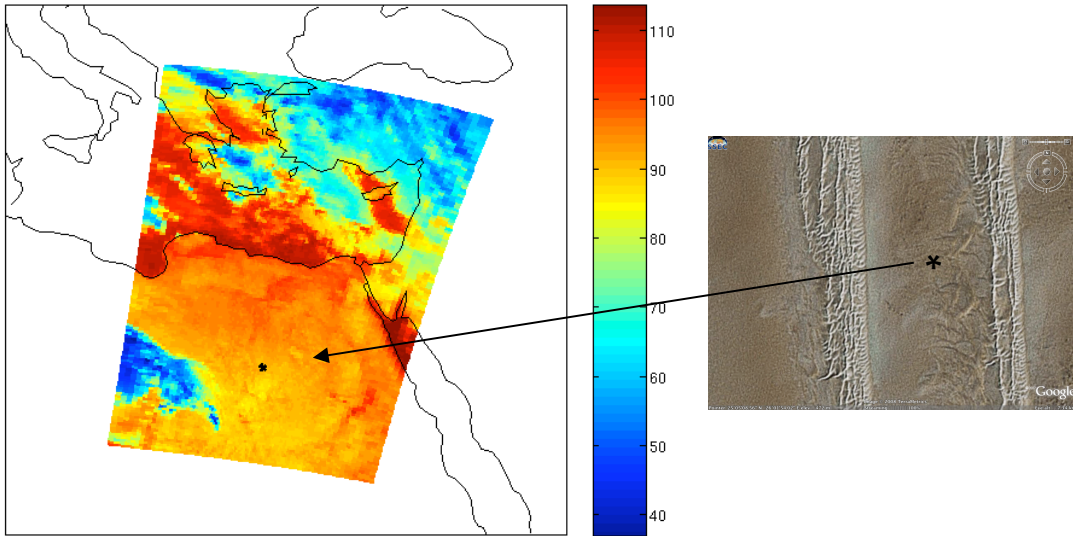
BT Residuals (SW)



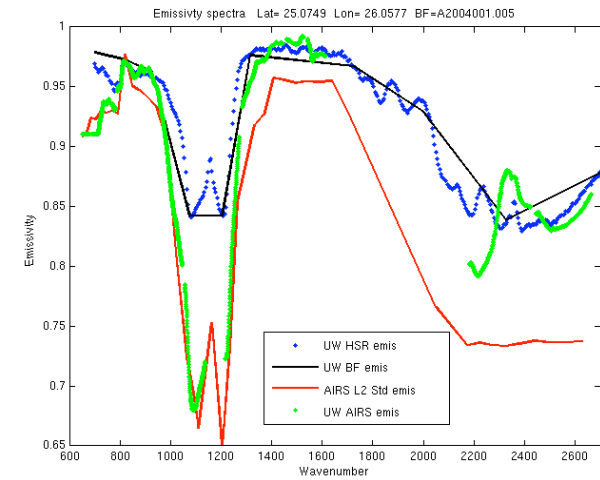
Eset tanulmány a Szahara sivatag felett

AIRS January 15 2004 00:03 UTC

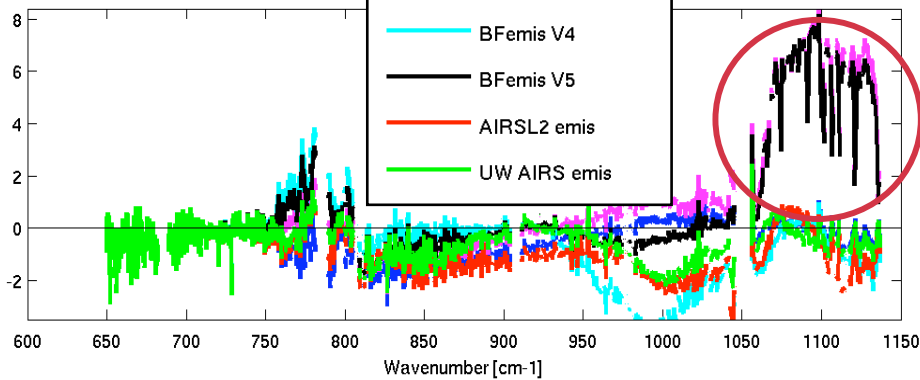
Lat: 25.0749 Lon: 26.0577 AIRS.2004.01.14.240 Time: 15-Jan-2004 00:03:56



Emisszivitás (MODIS V5)

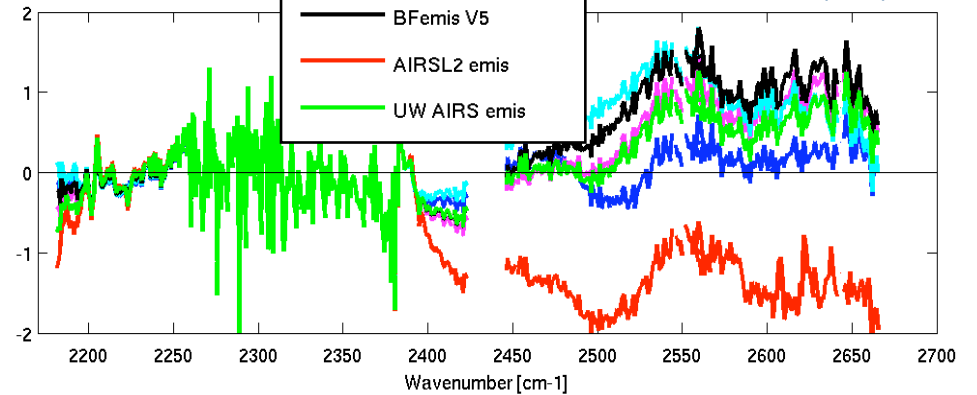


BT Residuals (LW)



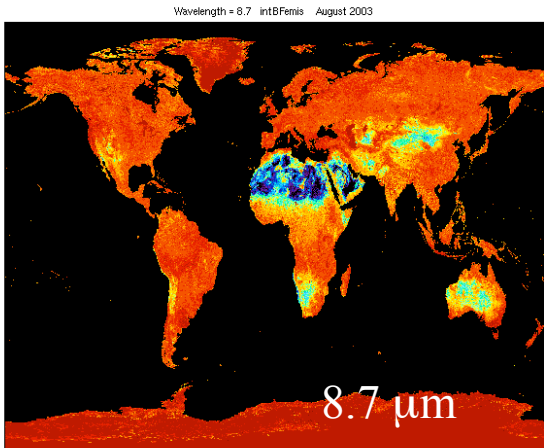
MYD11 C5
8-9.5 μm dBt > 6 K

BT Residuals (SW)



Összefoglalás (1)

- A UW globális IR szárazföldi emisszivitási adatbázist és a UW nagy spektrális felbontású algoritmus lett bemutatva.
 - Elérhető: <http://cimss.ssec.wisc.edu/iremisp/>
 - Időbeli fedettség: havi, 2002 Szeptember –
 - Adat specifikációk: 40 MB, netcdf
 - Térbeli felbontás: 0.05 degree ~ 5 km
 - Algoritmus: Fortran90, Matlab



- **Alkalmazások/ felhasználók:**
- MODIS Atmospheric Retrievals MOD07 (UW, NASA DAAC)
- IMAPP/AIRS retrievals (UW)
- Climate Monitoring SAF (EUMETSAT)
- AIRS Retrieval of Dust Optical Depths (UMBC/ASL)
- IASI-Metop Cal/Val (CNES, France)
- IASAI retrieval (EUMETSAT, UW)
- Retrieval of hot spot data from AATSR (ESA)
- Energy balance from ASTER over glacier (Univ of Milan)
- AIRS trace gas retrieval (Stellenbosch University, South-Africa, JCET-UMBC)
- Education (Seoul National Univ.; NTA, Konstantin)
- SEVIRI water vapor retrievals (UW, EOS)
- SEVIRI aerosol retrieval (Univ Oxford)
- SEVIRI cloud and ozone retrieval (EUMETSAT)
- SEVIRI cloud phase, other cloud top parameter retrievals (KNMI)
- LST retrievals from GOES-R (NOAA NESDIS)
- OSS calculations (AER)
- CRTM (JCSDA)
- AIRS NWP model assimilation (UKMO)

Összefoglalás (2)

- Legnagyobb különbség az alapvonal illesztési módszer és a nagy felbontású algoritmus által szolgáltatott emisszivitások között a 13, 10.2-9.7, 8.5, and 4 μm hullámhosszú tartományban fordultak elő, és ott is a száraz és félszáraz területekre. A nagy spektrális felbontású algoritmus jól visszaadja a 8.5 μm körüli quartz kristályra jellemző csúcsot.
- A UW emisszivitási adatbázis 0.5 %-ban egyezik az ASTER, MODIS, és ARIES adatokkal.
- A bemutatott MODIS, AIRS, SEVIRI műholdas szondázási alkalmazások, továbbá a forward modell verifikációk alátámasztják az adatbázis hasznosságát.

Jövőbeli tervek

- Adatbázis karbantartása, folyamatos bővítése, fejlesztése
- Verifikálás forward modellel SEVIRI adatokra (széles sáv, nagy látószög)
- Verifikálás numerikus modellben történő asszimilálással (SEVIRI, IASI)

Conceptual model of a land surface emissivity spectrum that was used to build the baseline fitting rules

- Spectra typically slope up more steeply from 4.3 to 5 μm , then less steeply from 5 to 7.6 μm .
- In the 5-7 μm region, the spectra typically slopes more steeply from 5-5.8 μm , then levels off.
- Due to a lack of information from MOD11 in the 5-8 μm region, one value must be held constant in *some cases*. A value of 0.976 was used for the 7.6 μm emissivity based on an average over the laboratory spectra.
- Many, but not all, spectra have a broad reduction in emissivity centered around 8.6 μm .
- If MOD11 emissivity at 8.6 μm is greater than 0.97, these cases typically have relatively flat emissivity spectra, often with all emissivities higher than 0.97.
- The emissivity beyond 12 μm (the last wavelength for which MOD11 data is available) is assumed to have a constant slope for all spectra equal to a rise of 0.01 over 3.5 microns. This is based on inspection of the laboratory data.