



**Felhő - sugárzás kölcsönhatás
modellezése részletes
mikrofizikai modellel
– *eddig eredmények és tervek***

Lábó Eszter

ELTE Földtudományi Doktori Iskola

földrajz-meteorológia program

2010. október 19.

Az előadás vázlatja

1. A téma bemutatása

- Felhő-sugárzás kölcsönhatás modellezése

2. Elektromágneses sugárzás modellezése

- elektromágneses sugárzás terjedése
- numerikus modellek sugárzási sémái

3. Infravörös tartományban működő egyszerűsített modell

- számítási eredmények bemutatása

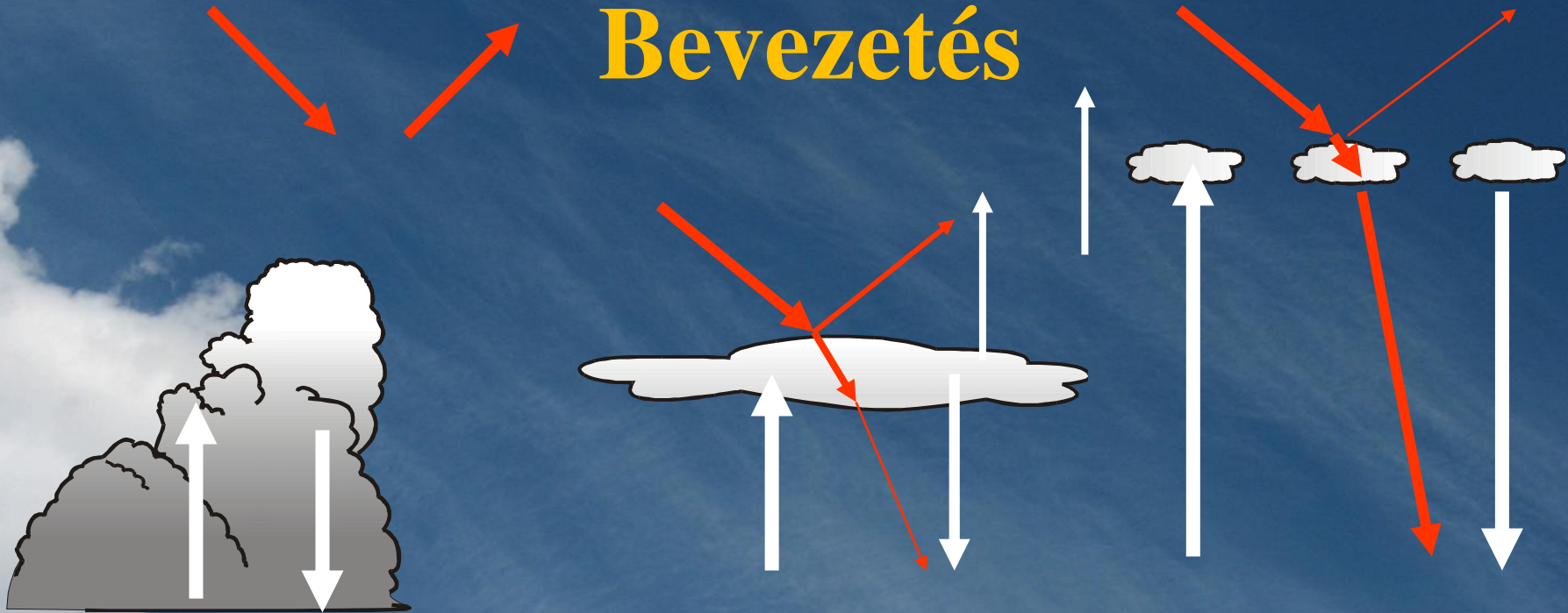
4. Az RRTM modell

- első eredmények

5. Tervek

- mikrofizikai sémák
- validáció műholdas mérésekkel

Bevezetés

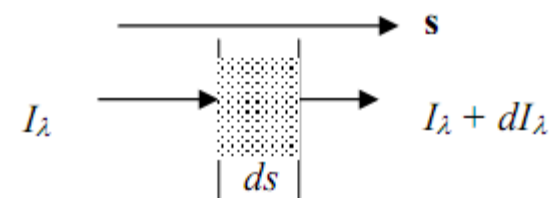


- A felhők határozzák meg, mennyi napsugárzást nyel el az éghajlati rendszer
- És azt, mennyi termikus sugárzást bocsát ki az űrbe
- *Felhők általi sugárzási kényszer* = a derült és felhős esetben tapasztalható sugárzások különbsége
 - Műholdas mérések alapján határozzák meg
 - Globális hűlést eredményez; mértéke eltérő: $17-27 \text{ W/m}^2$
- Nehezen meghatározható, mert nem ismert pontosan:
 - Inhomogén felhőstruktúrák
 - Nem gömb alakú jégreszecskek optikai tulajdonságai
 - Felhőelemek spektrális tulajdonságainak hiányos ismerete,

Az elektromágneses sugárzás terjedése

- Beer-Bouguer-Lambert (gyengülési) törvény: állandó hőmérsékleten, nyomáson a gyengülés arányos a sugárzás intenzitásával és az elnyelő anyag mennyiségével

$$dI_\lambda = -\rho k_{e,\lambda} I_\lambda ds$$
$$dI_\lambda = \rho k_{e,\lambda} J_\lambda ds$$



- Gyengülési együttható:

$$\beta_{e,\lambda} = \rho k_{e,\lambda}$$

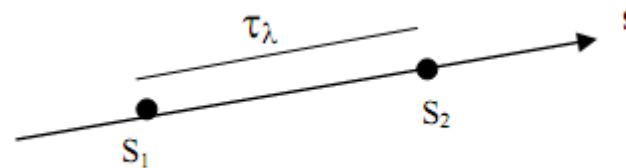
$$\beta_{s,\lambda} = \rho k_{s,\lambda}$$

$$\beta_{a,\lambda} = \rho k_{a,\lambda}$$

$$I_\lambda = I_0 \exp(-\tau) = I_0 \exp(-\beta_{e,\lambda} s)$$

- Optikai vastagság:

$$\tau_\lambda(s_2; s_1) = \int_{s_1}^{s_2} \beta_{e,\lambda}(s) ds$$



A sugárzás-átviteli egyenlet

- A sugárzás - átviteli egyenlet differenciális alakja:

$$dI_\lambda = -\beta_{e,\lambda} I_\lambda ds + \beta_{e,\lambda} J_\lambda ds$$

az optikai vastagsággal kifejezve:

$$-\frac{dI_\lambda}{d\tau_\lambda} = -I_\lambda + J_\lambda$$

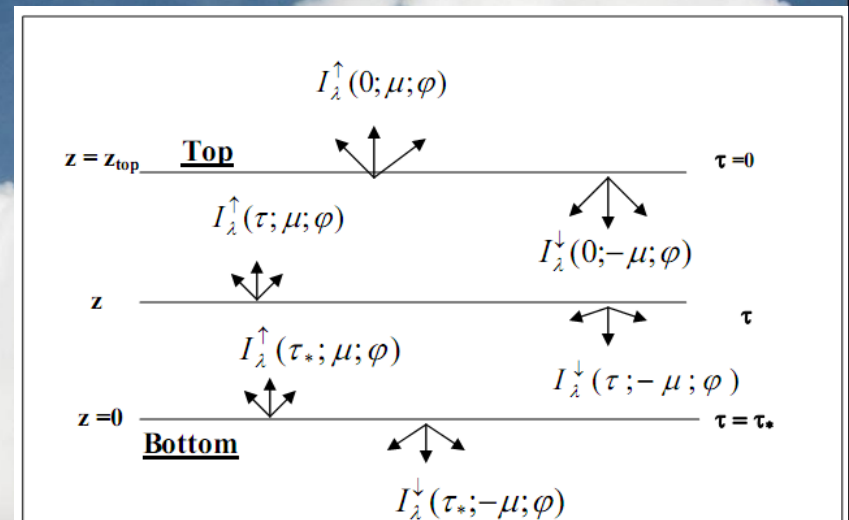
- A sugárzás - átviteli egyenlet integrális alakja:

$$I_\lambda(s_1) = I_\lambda(0) \exp(-\tau_\lambda(s_1;0)) + \int_0^{s_1} \exp(-\tau_\lambda(s_1;s)) J_\lambda \beta_{e,\lambda} ds$$

- Két párhuzamos síkkal közelített légkör:

$$I_\lambda^\uparrow(\tau; \mu; \varphi) = I_\lambda^\uparrow(\tau_*; \mu; \varphi) \exp\left(-\frac{\tau_* - \tau}{\mu}\right) + \frac{1}{\mu} \int_\tau^{\tau_*} \exp\left(-\frac{\tau' - \tau}{\mu}\right) J_\lambda^\uparrow(\tau'; \mu; \varphi) d\tau'$$

$$I_\lambda^\downarrow(\tau; -\mu; \varphi) = I_\lambda^\downarrow(0; -\mu; \varphi) \exp\left(-\frac{\tau}{\mu}\right) + \frac{1}{\mu} \int_0^\tau \exp\left(-\frac{\tau - \tau'}{\mu}\right) J_\lambda^\downarrow(\tau'; -\mu; \varphi) d\tau'$$



A sugárzás-átviteli egyenlet megoldása infravörös hullámhossztartományban

- Az egyenletet monokromatikus formában oldják meg
- Feltételezik, hogy a sugárzásnak nincs azimut - szögfüggése

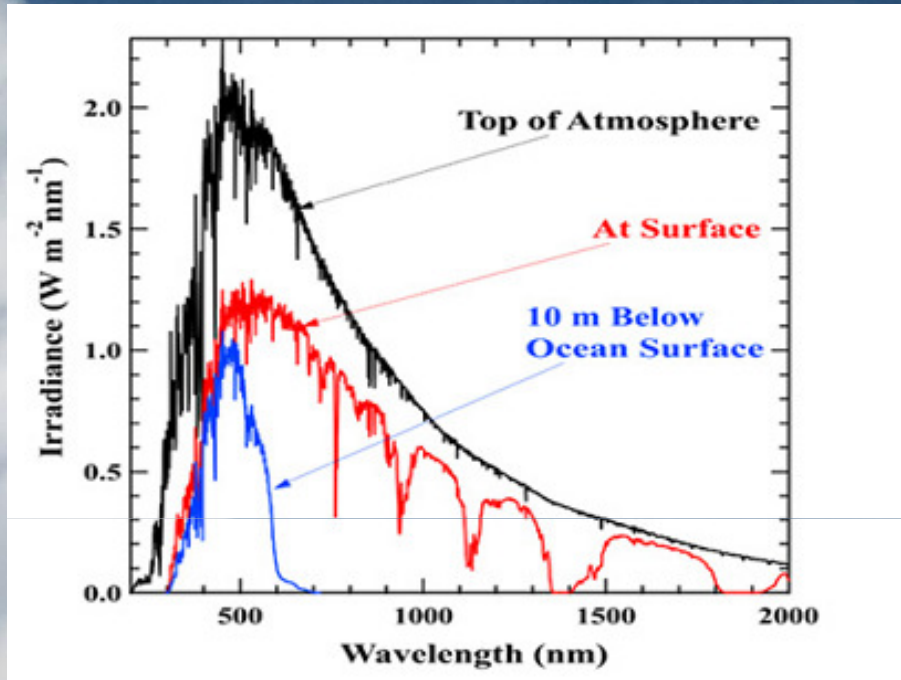
$$\begin{aligned}\mu \frac{dI_v^\uparrow(\tau; \mu)}{d\tau} &= I_v^\uparrow(\tau; \mu) - B_v(T) \\ -\mu \frac{dI_v^\downarrow(\tau; -\mu)}{d\tau} &= I_v^\downarrow(\tau; -\mu) - B_v(T)\end{aligned}$$

- Oldalsó peremfeltételek: a légkör tetején nincs lefelé irányuló termikus sugárzás; a légkör alján pedig a felszínhőmérsékletből adódó Planck-függvény
- Ismerni kell az optikai vastagság, vagy az elnyelődési együttható hullámszám-függését => K-módszer; illetve korrelált-k módszer
- Abszorpciós sávmodellek: definiálnak egy átlagos átbocsátási függvényt:

$$T_{\bar{\nu}}(u) = \frac{1}{\Delta \nu} \int_{\Delta \nu} \exp(-k_{\nu} u) d\nu$$

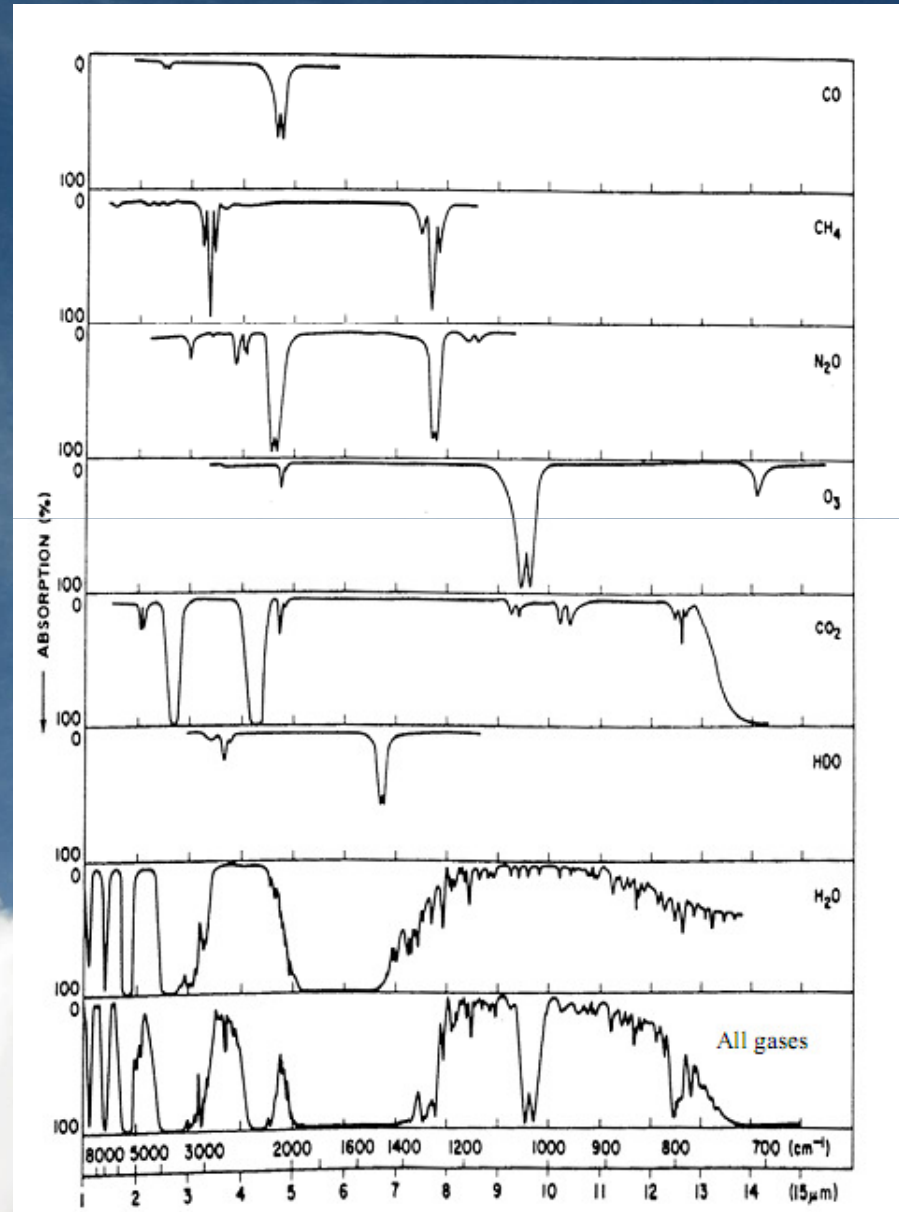
- Egy-paraméteres, illetve kétparaméteres közelítések T,p-függésre

A Föld légkörének elnyelése



Rövidhullámú sugárzás

Hosszúhullámú sugárzás

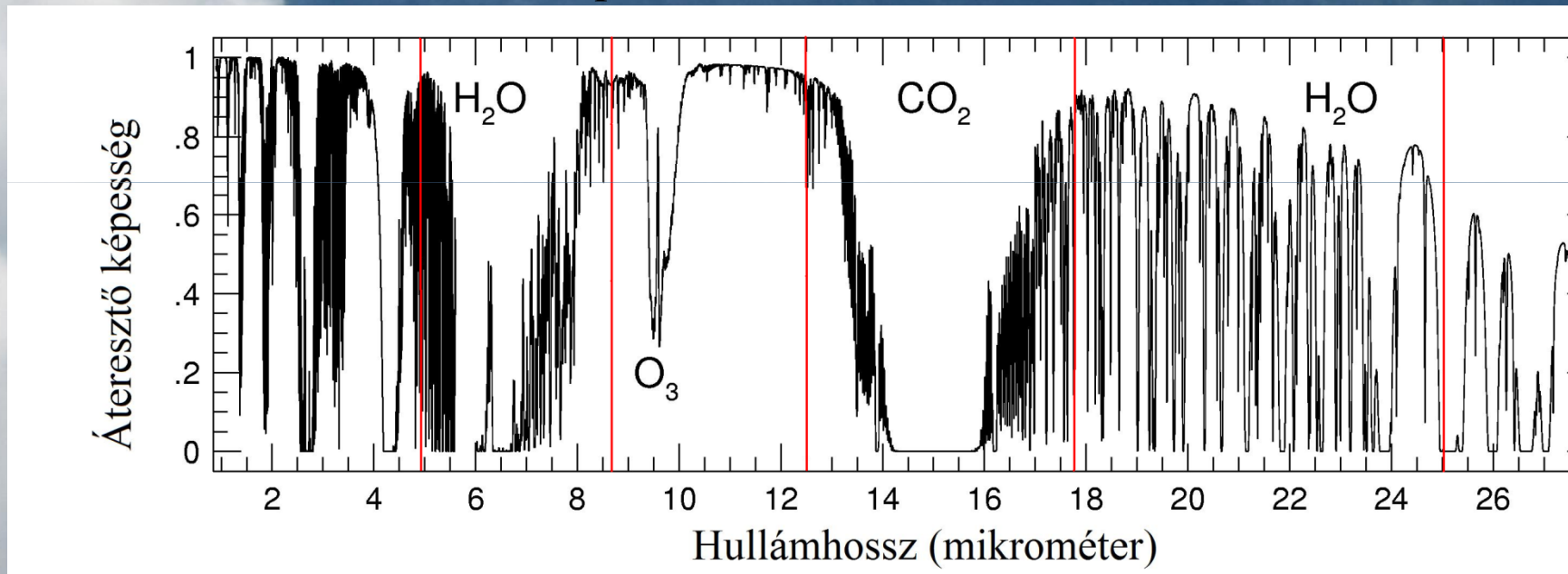


A felhők optikai tulajdonságának modellezése

- a felhőrészeken való szóródást, elnyelődést és a molekuláris abszorpciót is figyelembe kell venni
 - három, a felhők optikai tulajdonságait jól leíró paramétert definiálnak:
 - **optikai vastagság:** $\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_g$, ahol a felhőelemeken való szóródási (δ_s), abszorpciós (δ_a), és felhőben található gáz általi abszorpciót (δ_g).
 - **egyszeri szóródási albedó** (Single Scattering Albedo): $\omega_0 = \beta_s / \beta_e$, ahol β_s a szóródási együttható, β_e pedig a teljes elnyelési együttható.
 - **szóródási fázisfüggvény** (Scattering Phase Function): a szóródás irányának térbeli eloszlását jellemzi. Gömb alakú részecskék esetében például (ha a sugárzás hullámhossza összemérhető a gömb sugarával), nagy az előreszórás, így ebben az irányban ennek a függvénynek erőteljes maximuma van.
- Ebből definiálják az **asszimetria paramétert** (Assymetry Factor): $g=0$ izotróp szórás esetén, $g=1$ előreszórás esetén.

A felhők hatásának vizsgálata a légköri infravörös hullámhosszú sugárzásra

- Roach W.T, Slingo A., 1979: A high resolution infrared radiative transfer scheme to study the interaction of radiation with cloud, *Quart.J.R.Met.Soc.*, 105, pp. 603-614
- 5 sávra van felosztva az abszorpciós sávok szerint



- vízgőz, szén-dioxid, vízgőz kontinuum esetében polinomokkal közelítik a transzmisszivitást; sávonként eltérő együtthatókkal és hatványkitevőkkel
- vízcseppek esetében Q_{abs} -ot exponenciális függvényvel
- többszörös szóródás 1-nél nagyobb szorzófaktorral

A légköri profilok számítása

Vízcseppek:

- felhő alján és a tetején 0-val egyenlő a keverési arány
- maximum keverési arány a felhő magasságának 3/4-énél, a változás legyen lineáris

Vízgőz:

- vízgőz keverési arány a felhő alatt állandó, a felhőalap értéke, mert a feláramló levegőben a vízgőz mennyisége állandó a felhőalapig
- vízgőz profil a felhőben telített (RH=1), telítési vízgőz nyomása:
$$e_s = 6.112 \cdot \exp\left(\frac{17.67t}{t+243.5}\right)$$
- relatív páratartalom lineárisan csökken 0-ra a felhőtető és a 10 km-es magasság között (RH-ból számolunk keverési arányt)

Hőmérséklet:

- felszínen legyen a hőmérséklet 20 C, és $p = 1000$ mb
- felhő alatt adiabatikusan: Poisson-egyenlet
- felhőben nedves adiabatikusan változik
- felhő felett - 0.7 K/100m-es gradienssel csökken

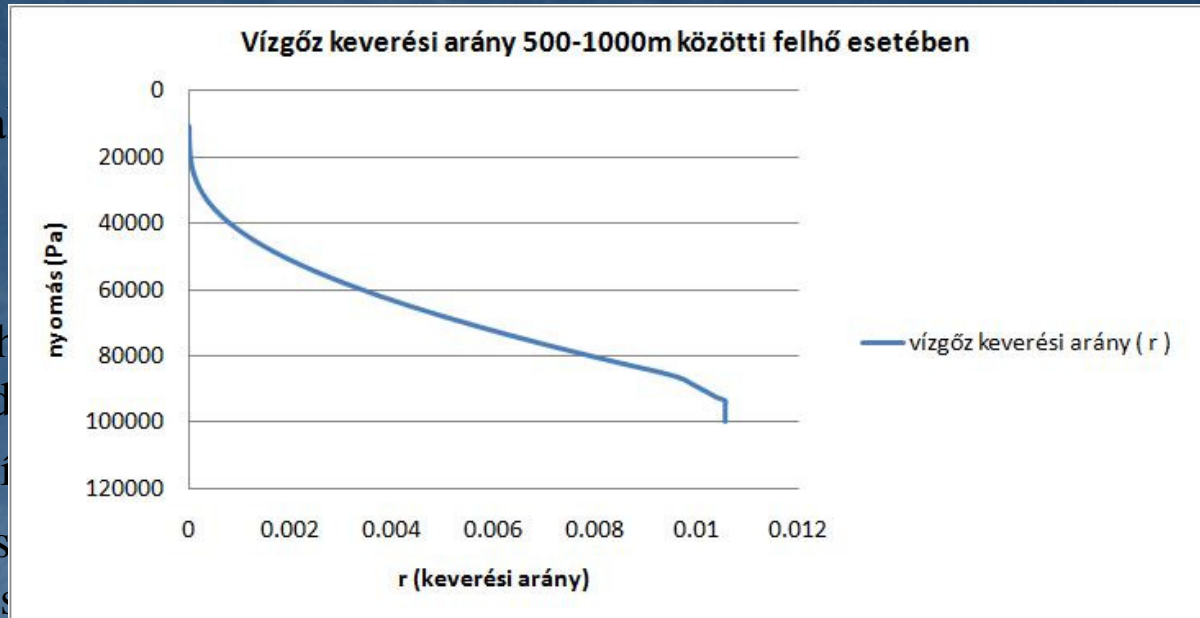
A légköri profilok számítása

Vízcseppek:

- felhő alján és a tetején 0-va
- maximum keverési arány a

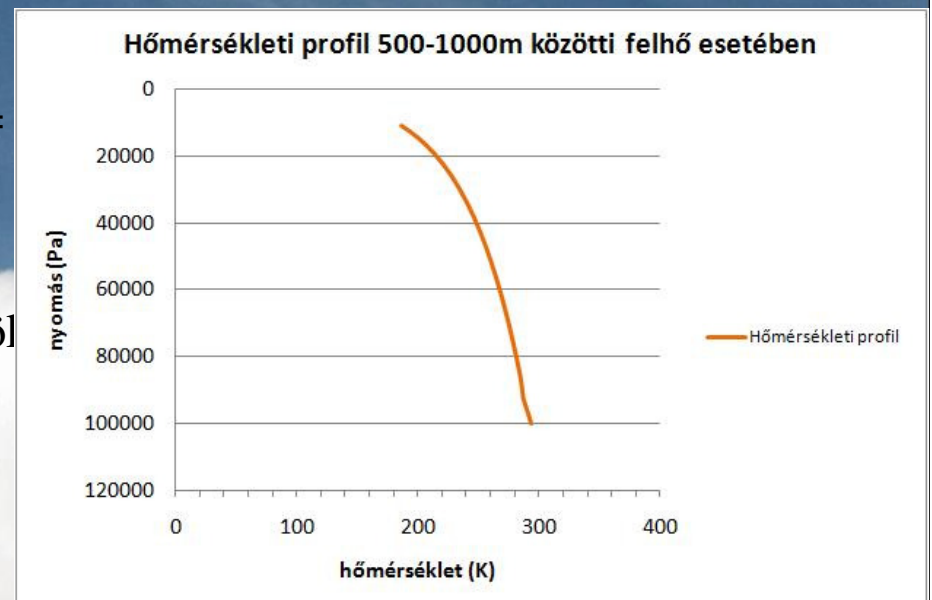
Vízgőz:

- vízgőz keverési arány a felhőben
- a vízgőz mennyisége állandó
- vízgőz profil a felhőben teljesen
- relatív páratartalom lineárisan változik (RH-ből számolunk keverési arányt)



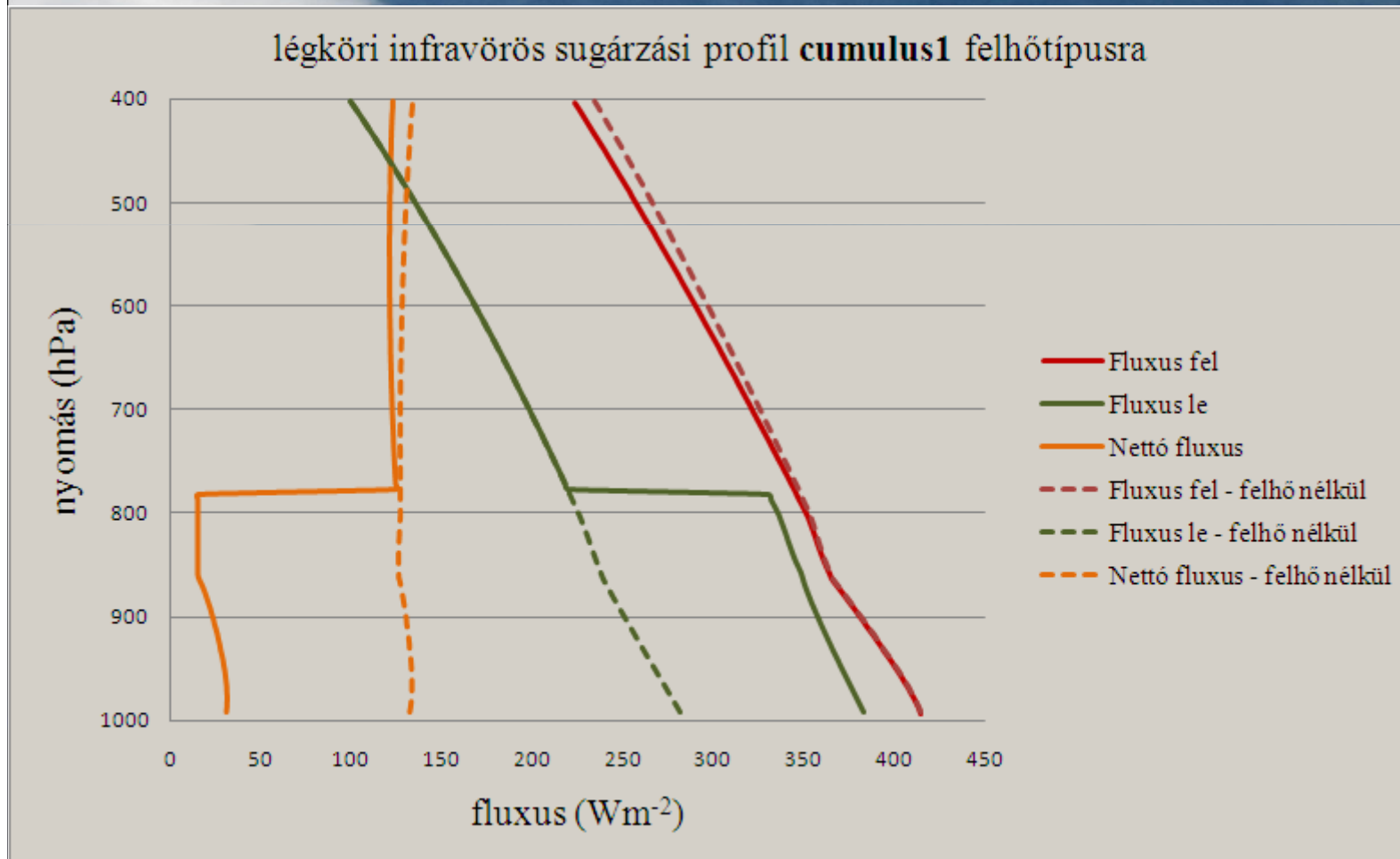
Hőmérséklet:

- felszínen legyen a hőmérséklet 20 C, és $p = 101325$ Pa
- felhő alatt adiabatikusan: Poisson-egyenlet
- felhőben nedves adiabatikusan változik
- felhő felett - 0.7 K/100m-es gradienssel csökken



Felhős és felhőmentes eset összevetése:

- felhő a 862hPa és a 800hPa nyomási szintek között helyezkedik el.
- felhő jelenléte a felhő feletti felfelé irányuló sugárzást kis mértékben csökkenti
- lefelé irányuló fluxusban a felhőtetőnél nagymértékű növekedés tapasztalható



A felhők hatásának vizsgálata a légköri infravörös hullámhosszú sugárzásra

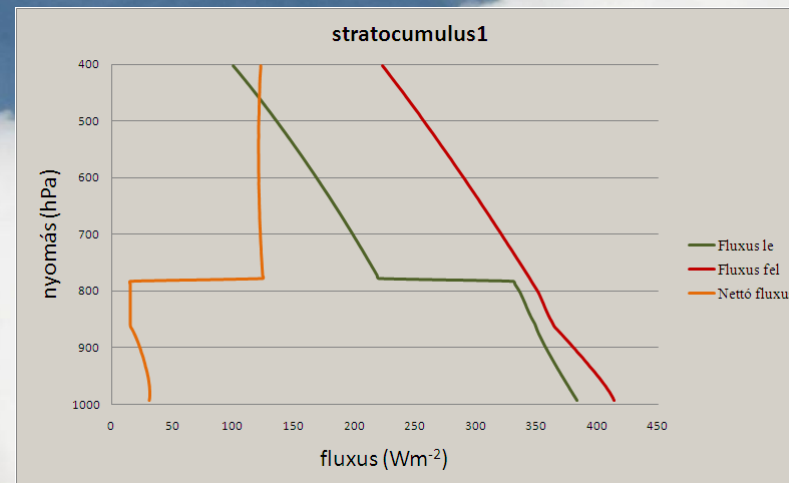
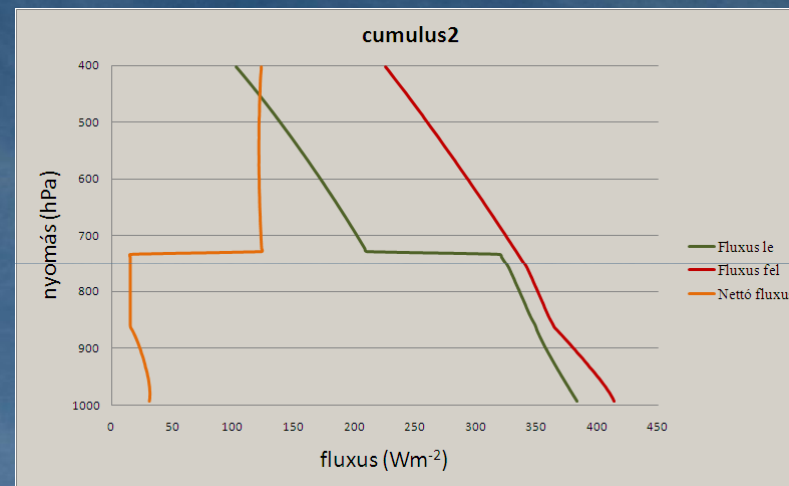
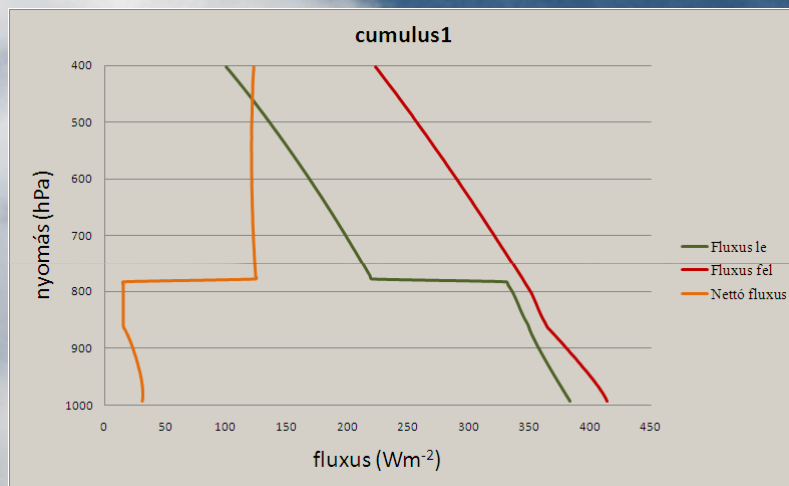
Eredmények:

Vizsgált felhőtípusok:

Felhőtípus	Cumulus1	Cumulus2	Stratus3	Strato-cumulus1
<i>felhőalap magasság (m)</i>	1000	1000	2000	1000
<i>felhőtető magasság (m)</i>	1500	2000	2500	1500
<i>vízcseppek koncentrációja (cm⁻³)</i>	300	300	440	350
<i>vízcseppek keverési aránya (gm⁻³)</i>	1.0	1.0	0.22	0.14

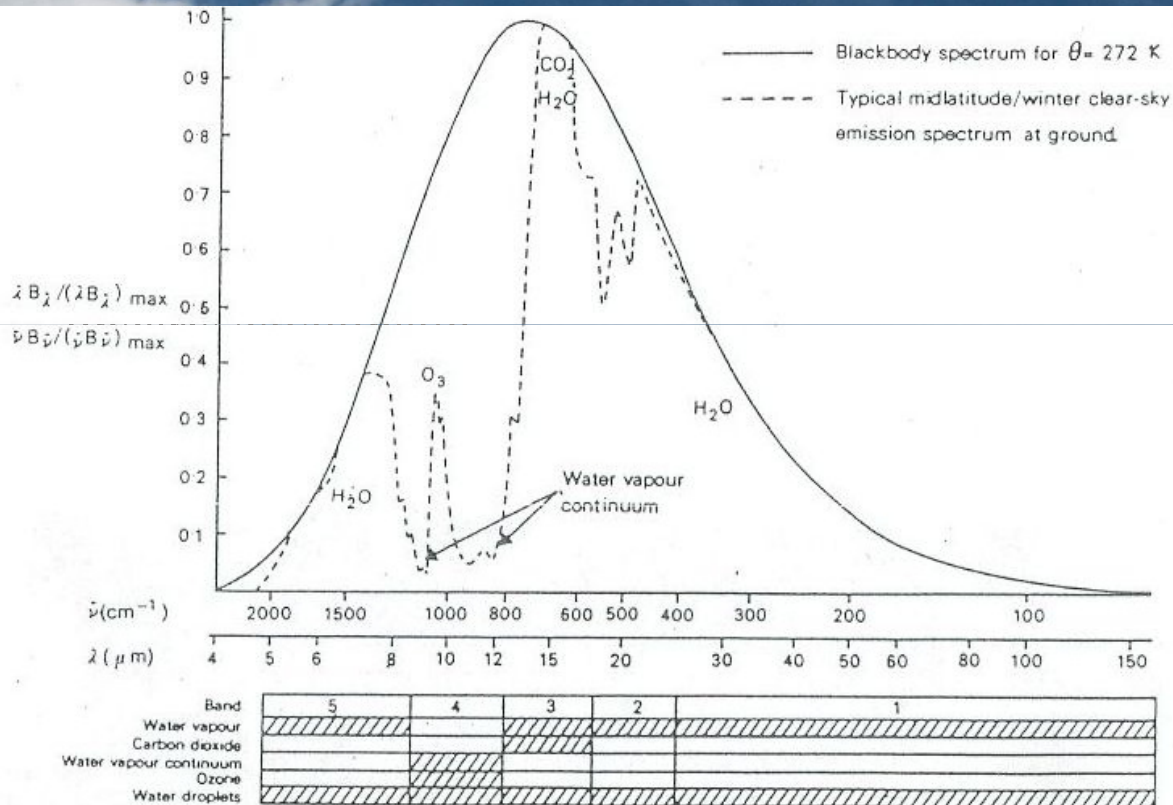
Négy különböző felhőtípus összevetése:

- nettó sugárzás a felszínen a felhőalap magasságától függ (cumulus1-stratus3)
- Felhőben található vízcseppek koncentrációja és a vízmennyiség nem befolyásolja a profilt, ha optikailag vastag a felhő (az elnyelésben a vízgőz mennyisége a meghatározó) – cumulus1- stratocumulus1



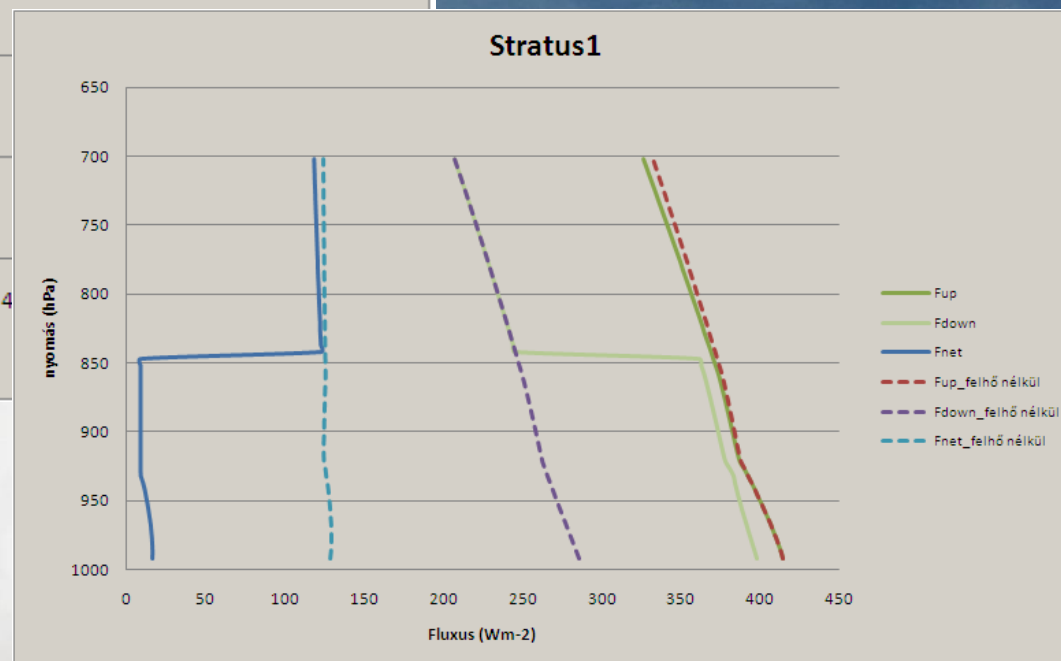
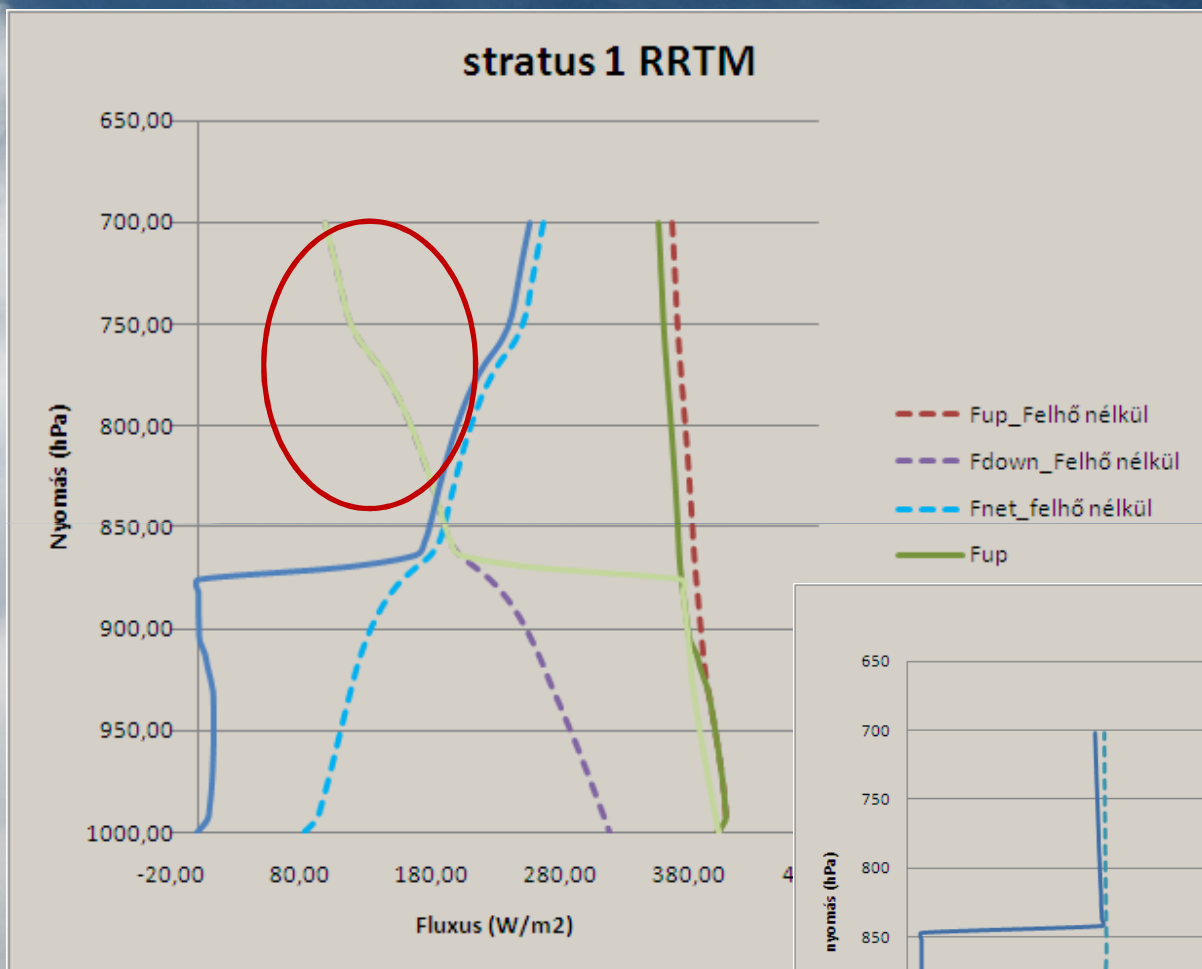
RRTM sugárzás-átviteli modell

- A beépített abszorpciós együtthatók az az LBLRTM line-by-line sugárzás-átviteli modellel készített számolások alapján határozták meg.
- 16 sávra van osztva a sugárzási tartomány



Wavenumber Range (cm ⁻¹)	Key Species in RRTM	
	1050-96 mb	96-0.01 mb
10-250	H ₂ O	H ₂ O
250-500	H ₂ O	H ₂ O
500-630	H ₂ O, CO ₂	H ₂ O, CO ₂
630-700	H ₂ O, CO ₂	CO ₂ , O ₃
700-820	H ₂ O, CO ₂	CO ₂ , O ₃
820-980	H ₂ O	--
980-1080	H ₂ O, O ₃	O ₃
1080-1180	H ₂ O	O ₃
1180-1390	H ₂ O, CH ₄	CH ₄
1390-1480	H ₂ O	H ₂ O
1480-1800	H ₂ O	H ₂ O
1800-2080	H ₂ O, CO ₂	--
2080-2250	H ₂ O, N ₂ O	--
2250-2380	CO ₂	CO ₂
2380-2600	N ₂ O, CO ₂	--
2600-3000	H ₂ O, CH ₄	--

RRTM légköri sugárzási profil



Mikrofizikai sémák – RRTM sémája

- A felhők optikai tulajdonságai függenek a vízrészecskék méret szerinti eloszlásától
 - a gyengülési együtthatót, a szórási albedót, és az asszimetria faktort ennek segítségével fejezik ki
- általában γ -eloszlást feltételeznek a vízcseppek méret szerinti eloszlására:

$$n(r) = \frac{N_0}{\Gamma(\gamma)r_m} \left(\frac{r}{r_m}\right)^{\gamma-1} \exp(-r/r_m)$$

- a vízcseppek keverési aránya, ill. koncentrációja ismeretében a γ -eloszlás paraméterei megadhatóak
- Hu&Stamnes* egyszerűsítése: effektív részecske-sugarat használnak
- Az együtthatókat az alábbiak alapján adják meg:

$$\beta_{\text{ext}}/\text{LWC} = a_1 r_e^{b_1} + c_1,$$

$$1 - \omega = a_2 r_e^{b_2} + c_2,$$

$$g = a_3 r_e^{b_2} + c_3,$$

$$r_e = \int_0^\infty n(r)r^3 dr / \int_0^\infty n(r)r^2 dr.$$

- Az RRTM (Rapid Radiative Transfer Model) is ezt a parametrizációt használja
 - az egyik legelterjedtebben használt sugárzás-átviteli modell

*Hu, Y. X., and K. Stamnes, *An accurate parameterization of the radiative properties of water clouds suitable for use in climate models. J. Climate, Vol. 6, 728-742, 1993*

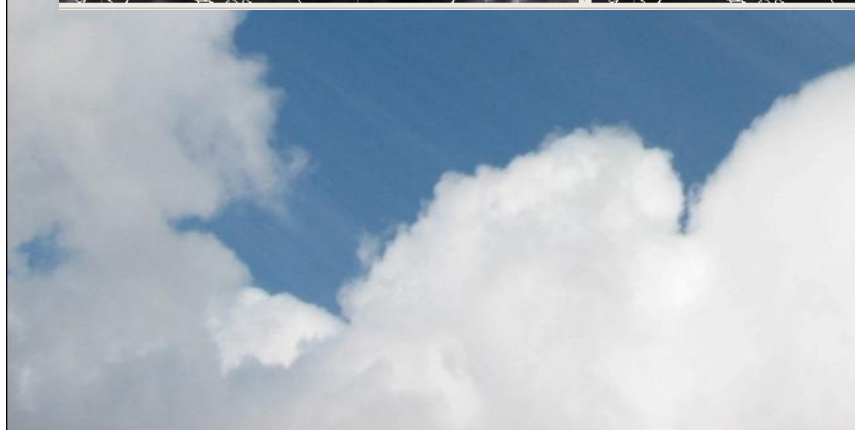
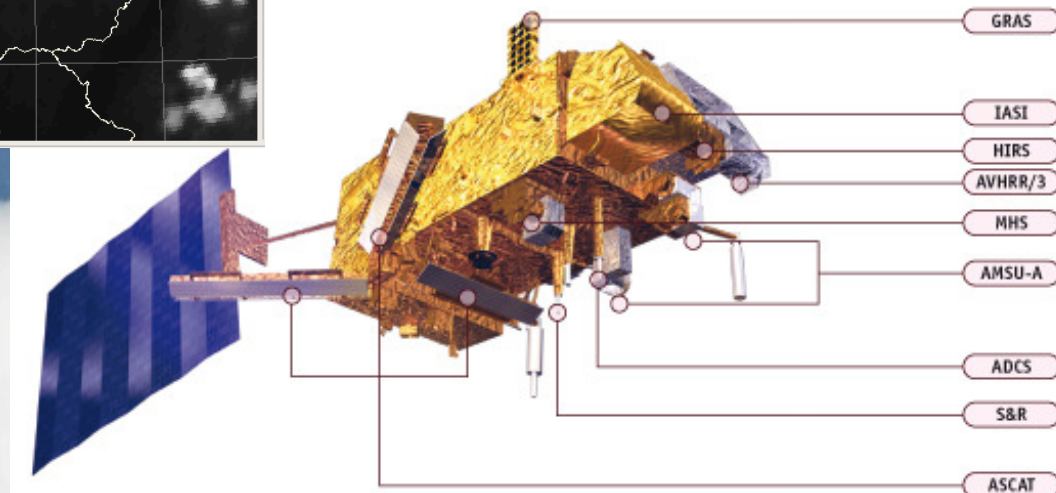
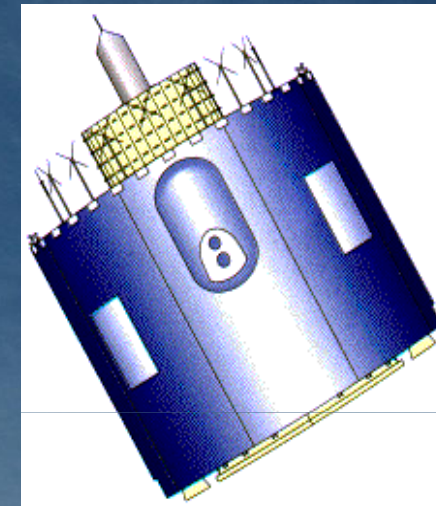
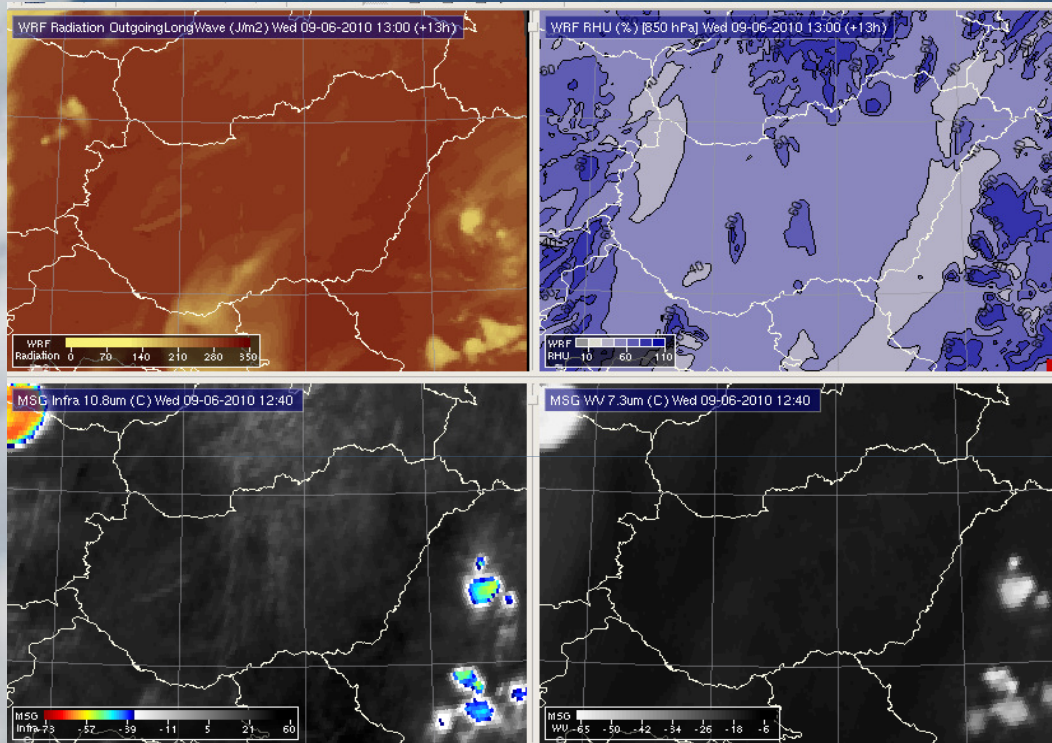
Mikrofizikai sémák – Bin séma

- De! ez a közelítés nagy hatással van a sugárzási folyamatokra: McKinney et. al. cikkében bizonyítja, hogy a legnagyobb hatása a kimenő hosszúhullámú sugárzásra a mikrofizikai közelítéseknek van
- Geresdi István által kidolgozott bin-mikrofizikai séma pontosabb közelítést tesz lehetővé:
 - kisebb intervallumokra osztja a részecskespektrumot (megadott szabály szerint)
 - ezeken belül γ -eloszlást feltételez
- Az MM5 és WRF modellel együtt alkalmazzák
- mikrofizikai folyamatok (jég, szitálás..) esetében részletesebb leírást tudtak vele elérni **
- **várhatóan a sugárzási folyamatok leírása pontosabb lesz**

* Nichole McKinney, Lulin Xue, and Zaitao Pan: *Sensitivity of Cloud Water Optical Path to Explicit Presentation of Hydrometeor Spectra in Detailed Bin Microphysical Scheme in WRF* . 11th Annual WRF Users' Workshop, <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2010/abstracts/P-39.pdf>

** Geresdi, I. : *Idealized simulation of the Colorado hailstorm case: comparison of bulk and detailed microphysics.*, [Atmospheric Research](#), Volume 45, Issue 4, March 1998, Pages 237-252

Még távolabbi tervek: verifikáció összehasonlítás műholdképekkel



Köszönöm a figyelmet!

