

*A hosszúhullámú sugárzás stratocumulus  
felhőben történő terjedésének numerikus  
modellezése*

**Lábó Eszter<sup>1</sup>, Geresdi István<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat,*

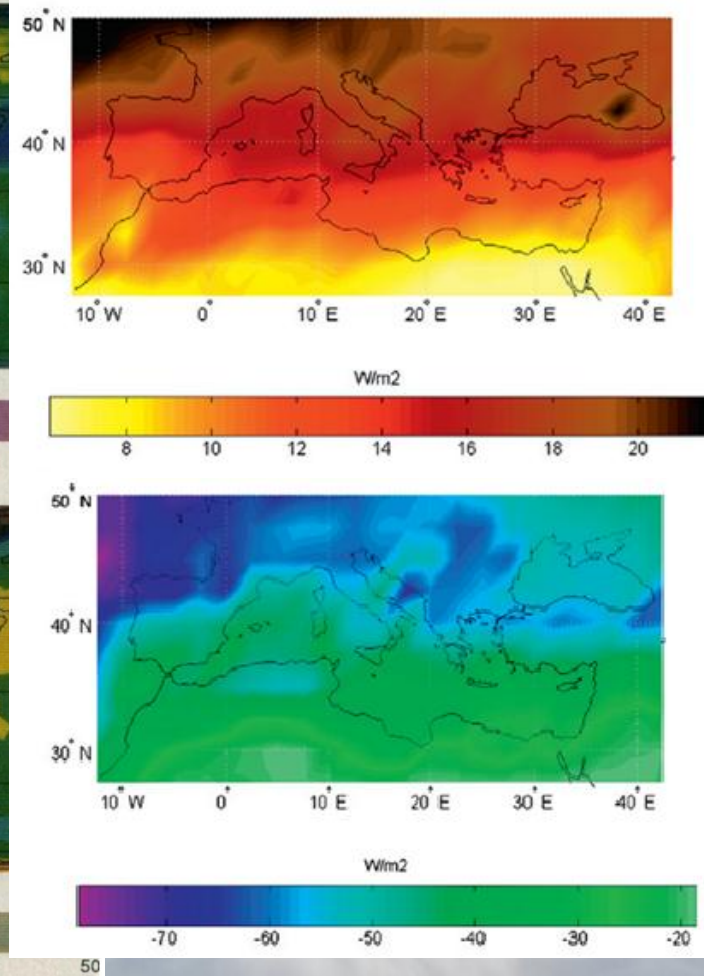
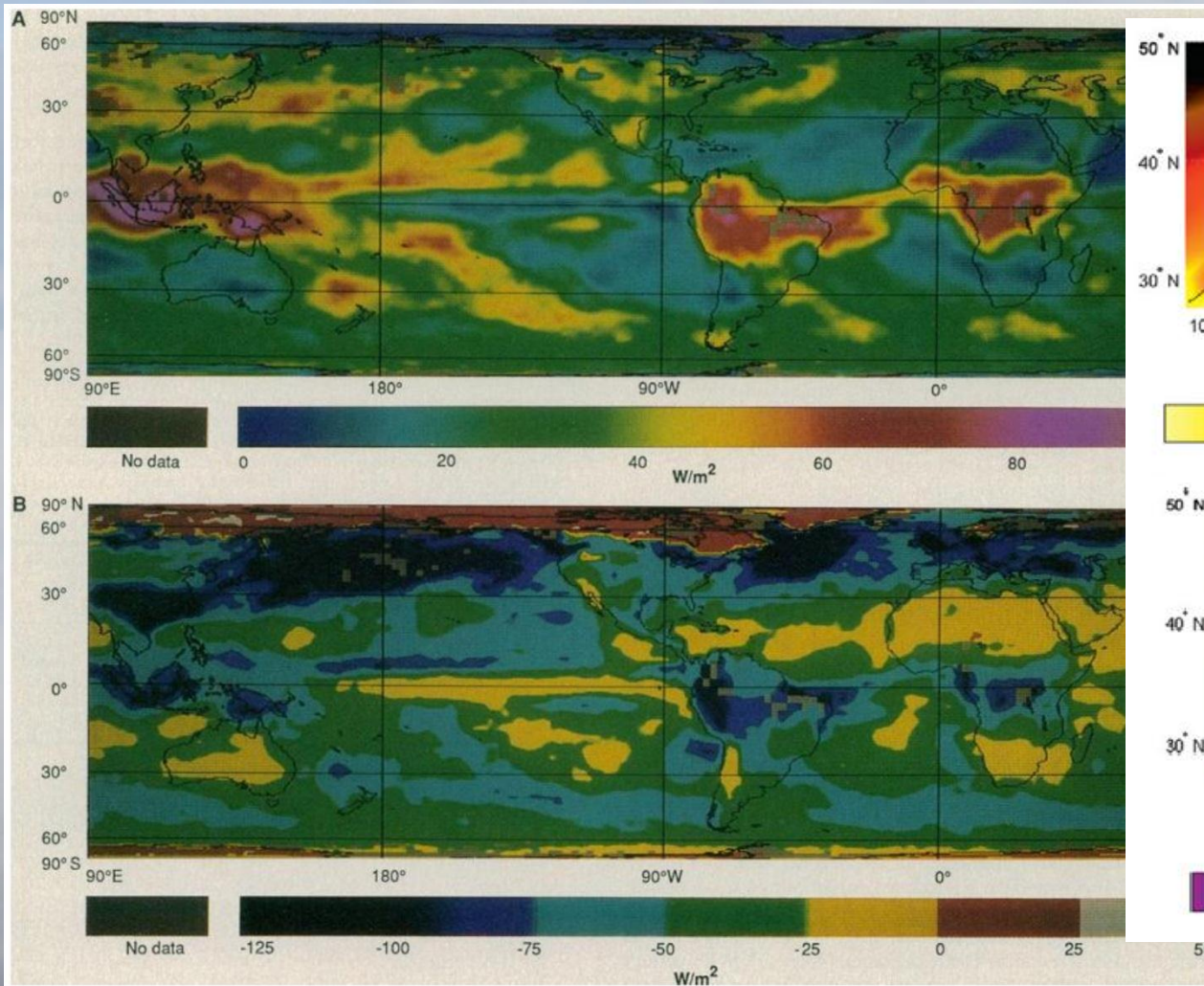
*<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajzi Intézet*

*43. Meteorológiai Tudományos Napok, 2017. november 23-24.*

# *Az előadás vázlat*

1. A felhők és a sugárzás **kölcsönhatása**
2. A hosszuhullámú sugárzási modellezési **módszerek** és a kidolgozott új séma bemutatása
3. A hosszuhullámú gyengülési együtthatóra, és a **melegedési (hűlési) sebességekre** kapott **eredmények**
4. Felhasználás **köd és jégfelhők** esetén
5. **Következtetések**

# 1. A földi sugárzásegyenleg alakulása



Ramanathan et al., 1989

Pyrina et al., 2015

Hosszúhullámú és rövidhullámú sugárzási kényszer: 10-20 W/m<sup>2</sup>

# 1. A stratocumulus felhők és a sugárzás kölcsönhatása

Stratocumulus felhők: nagy területeken, hosszú élettartamúak.

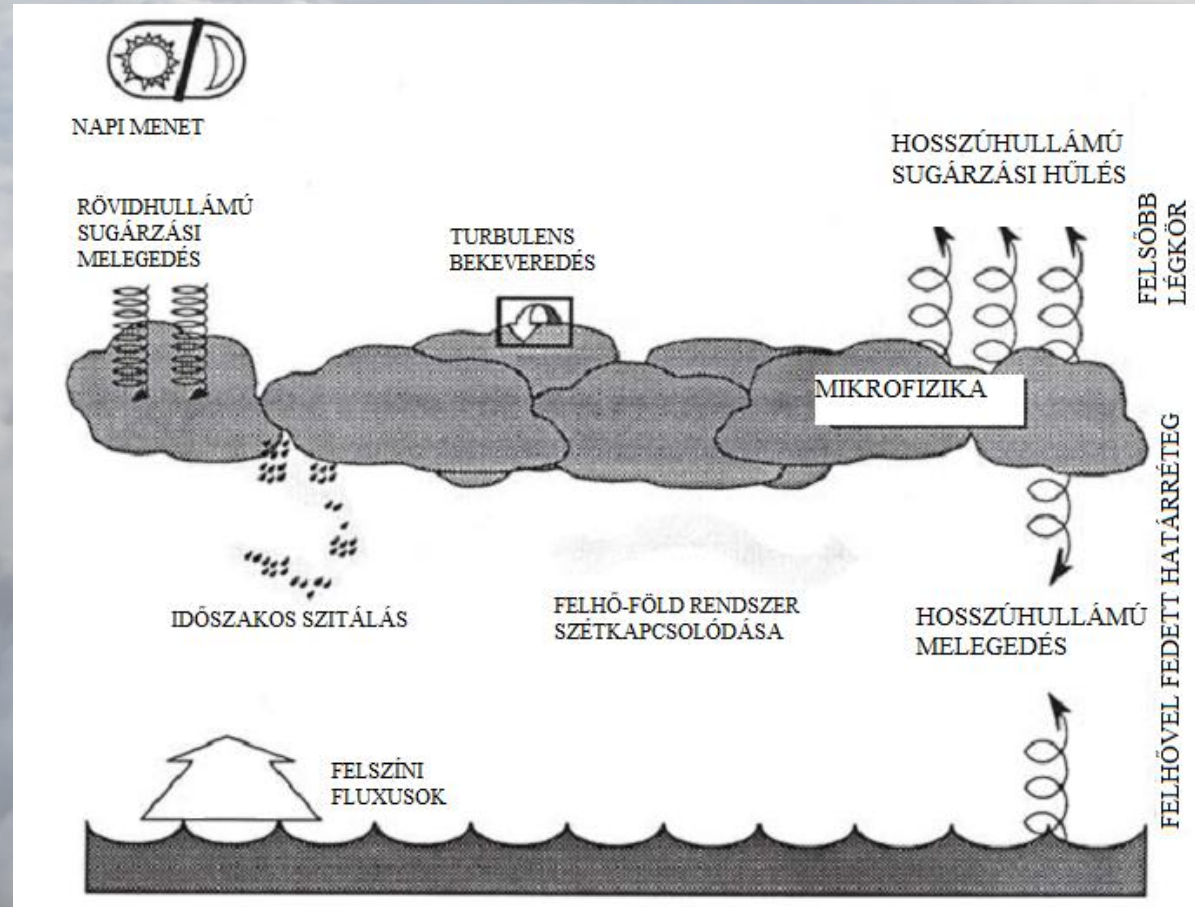
=> **hosszúhullámú felhőtető hűlés**: szárazabb troposzféra miatt; 20 – 50 m-es rétegben.

## A hűlés hatásai:

- instabilitás növeli a stratocumulus élettartamot
- köd destabilizációja
- gyorsabb csapadékképződés, gyorsabb kihullás (Austin et al., 1995)
- tengerfelszín-hőmérséklet, jégtakaró élettartama

## Cél:

- a kölcsönhatás minél pontosabb leírása



## 2. A felhő-sugárzás kölcsönhatás modellezése

### Közvetlen mérések:

- a felhők szélénél problémás
- szisztematikus hiba  $10 \text{ W/m}^2$  (Duda et al., 1991) => modellezés

### Modellezés:

- mikrofizikai és sugárzási parametrizációk (=egyszerűsítések)
  - sugárzási paraméterek: gyengülési együttható
  - mikrofizikai paraméterek: koncentráció és keverési arány (egy- és két momentumos sémák)
- => **részletes (ún. bin) mikrofizika:** a prognosztikai változók az egyes méret-intervallumokon belül

### A sugárzási séma javítása:

- **bemenő paraméterei** többmomentumos vagy bin mikrofizikai sémából (Lee és Donner, 2011): felszíni csapadék előrejelzésének javulása
- a sugárzási sémán belül a **gyengülési együttható** leírása is bin mikrofizikai sémával (Harrington és Olsson, 2001) => **bin sugárzási séma**

## 2. A bin és a bulk sugárzási parametrizáció

- térfogati gyengülési együttható:  
( $\lambda$  hulláhhossz,  $r$  részecske sugara)

$$\beta_{ext, \lambda}(z'') = \pi \int_0^{\infty} n(r, z'') r^2 Q_{ext}(\lambda, r) dr$$

### A bulk sugárzási parametrizáció

- effektív sugár szerint: Hu and Stamnes –féle séma:

$$\frac{\beta_{ext}}{LWC} = a \cdot r_{eff}^b + c$$

- NOAA, EUMETSAT, NCAR, ECMWF modellek

### A bin sugárzási parametrizáció

- 36 db részecskeméret-intervallum alapján méret-szerinti darabszám:  $k$ -dikban  $n_k(M)$ ,  
( $M$  a részecske tömege)

$$\beta_{ext, i} = \sum_{k=2}^{N_{bins}} \left[ \int_{\Delta \lambda} (E_{\lambda} \int_{M_{k-1}}^{M_k} A(D) Q_{ext, i}(D, m, \lambda) n_k(M) dM d\lambda) / \int_{\Delta \lambda} E_{\lambda} d\lambda \right]$$

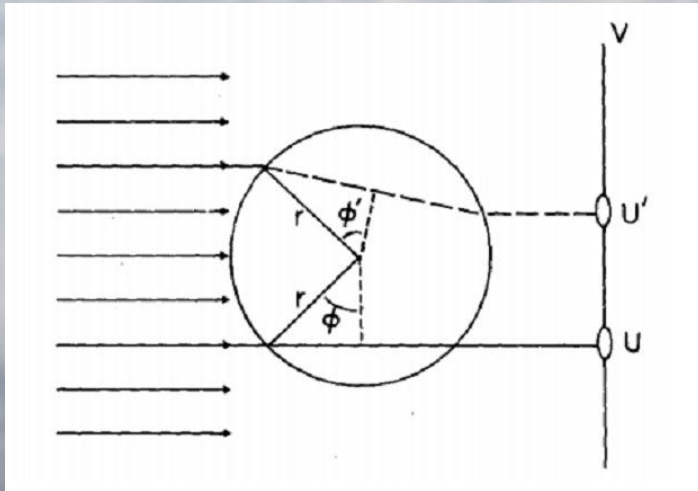
- nagy számításigény => nem operatív, csak kutatásra

## 2. A bin sugárzási parametrizáció

$$\beta_{ext,i} = \sum_{k=2}^{N_{bins}} \left[ \int_{\Delta\lambda} (E_\lambda \int_{M_{k-1}}^{M_k} A(D) Q_{ext,i}(D, m, \lambda) n_k(M) dM d\lambda) / \int_{\Delta\lambda} E_\lambda d\lambda \right]$$

- $Q_{ext}$  gyengülési hatékonyság a *Modified Anomalous Diffraction Theory* alapján:

$$Q_{ext}(D, \lambda, m) = \left(1 + \frac{C_{res}(D, \lambda, m)}{2}\right) Q_{ext, ADT}(D, \lambda, m) + Q_{edge}(D, \lambda)$$



$Q_{ext}$  tömegtől ( $M$ ), hullámhossztól ( $\lambda$ ), és törésmutatótól ( $m$ ) való analitikus függése adott a MADT-ban

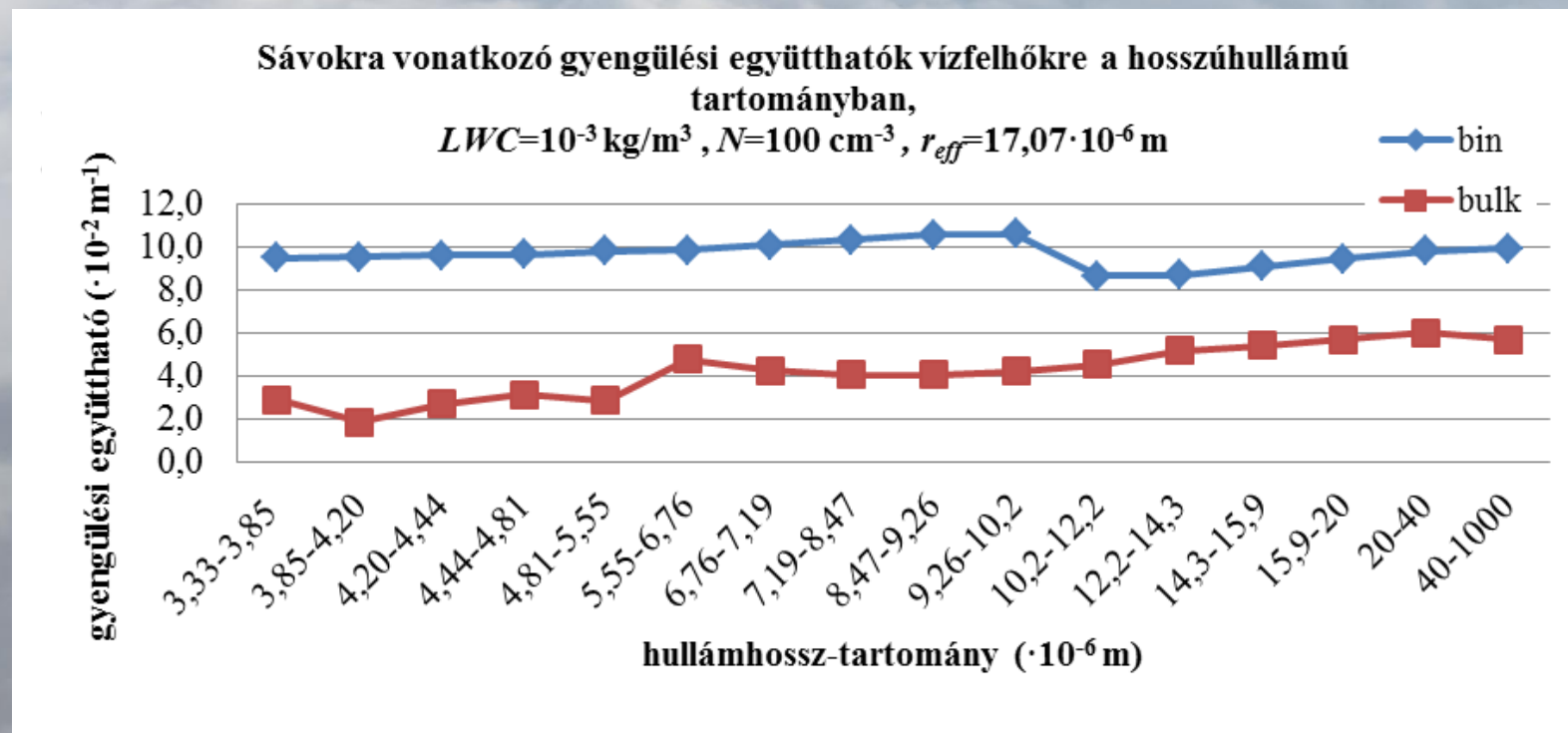
- térfogati gyengülési együttható tetszőleges  $\Delta\lambda$  intervallumra:

$$\beta_{ext} = \sum_{k=2}^{N_{bins}} A_k \cdot \sum_{j=1}^{16} K_{A_{kj}}(M_{k-1}, M_k, \Delta\lambda_j) + \sum_{k=2}^{N_{bins}} B_k \cdot \sum_{j=1}^{16} K_{B_{kj}}(M_{k-1}, M_k, \Delta\lambda_j)$$

### 3. A gyengülési együtthatóra vonatkozó eredmények

A bulk és bin gyengülési együtthatók közötti különbségek:

- a spektrum legnagyobb részén 10 – 20 % ( $r_{eff} < 12 \mu\text{m}$ )
- $< 10 \%$  ( $r_{eff} > 12 \mu\text{m}$ ) és  $< 4 \%$  ( $\lambda < 8 \mu\text{m}$ );  $10 \mu\text{m}$  körüli „légköri ablakban” 20 – 40 %
- RRTMG LW sávjaiban kétszeres eltérés is lehet, és bin értékek a nagyobbak

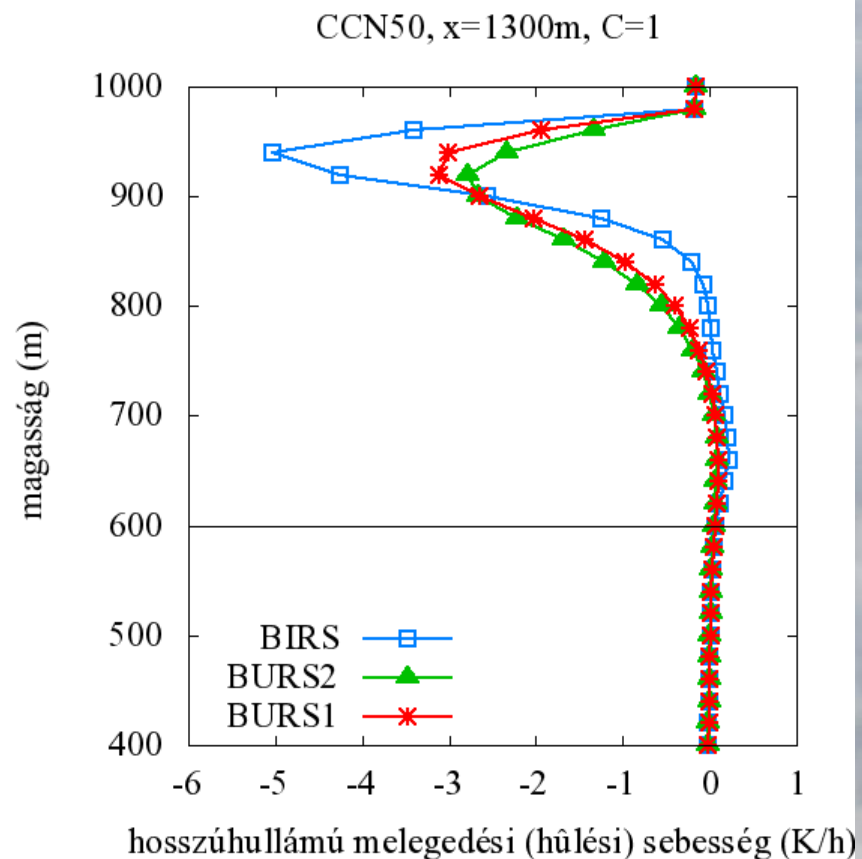
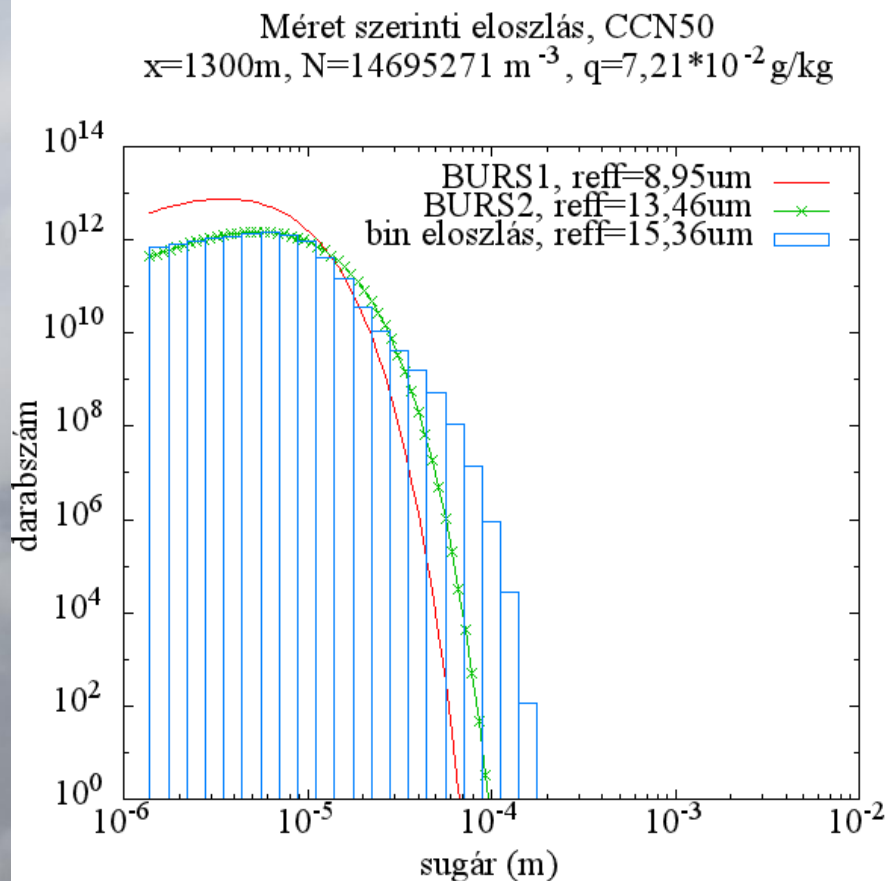




# 3. A sugárzási profilokra kapott eredmények

## kétdimenziós stratocumulus felhő

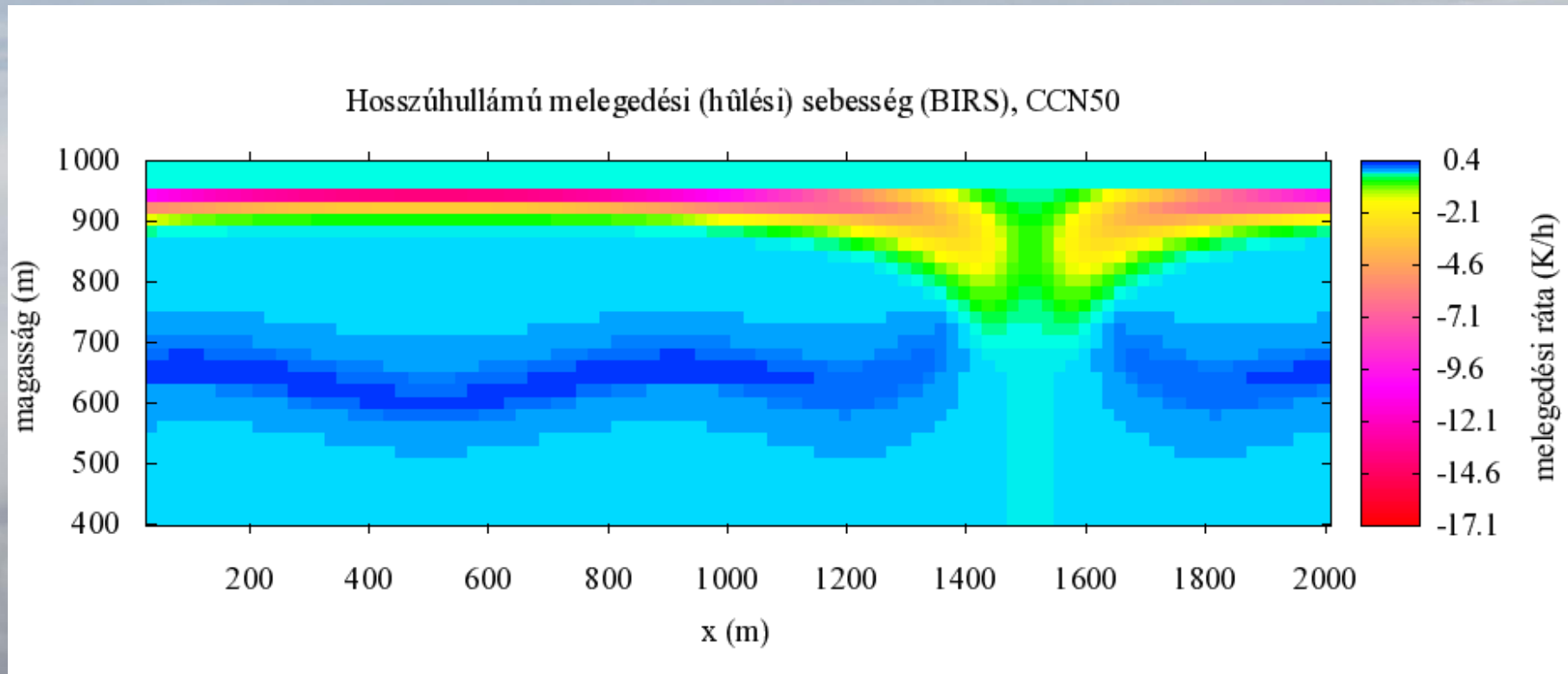
- részletes mikrofizikai leírás (kondenzáció, diffúziós növekedése, ütközések és összeolvadás)
- *a bin és bulk séma esetén eltér a vízcseppek méret szerinti eloszlása*





### 3. A melegedési (hűlési) sebességekre kapott kétdimenziós eredmények

CCN=50 cm<sup>-3</sup>, bin séma



### 3. Mérési és modellezett eredményekkel való összehasonlítás

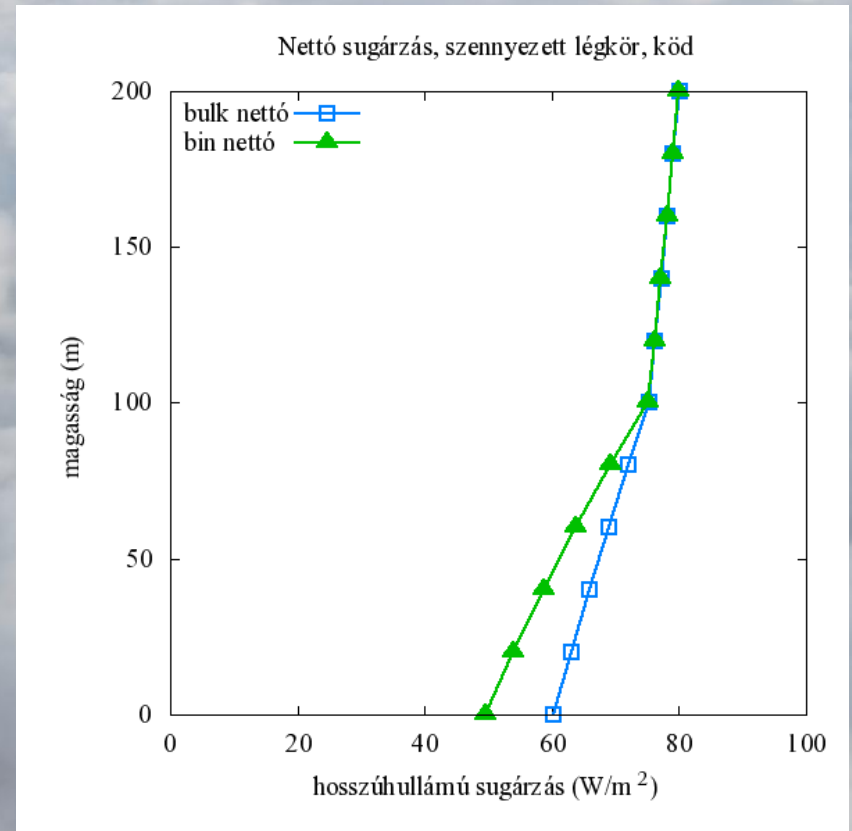
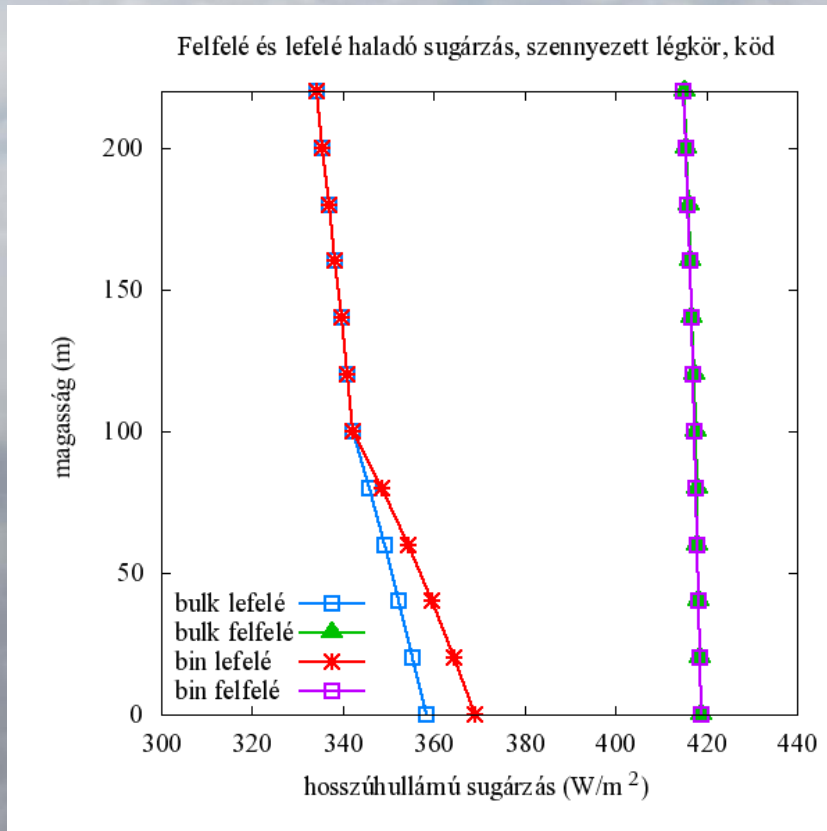
Tenger feletti stratocumulus felhőkre (vízcsepp-koncentráció 50–150 cm<sup>3</sup>) publikált eredmények (*maximális folyékony víztartalom* 0,4-0,5 g/kg):

<b>melegedési (hűlési) sebesség (K/h)</b>	<b>felhőalap</b>	<b>felhőtető</b>
<i>Oliver et al. (1978)</i>	0,7	-6,8
<i>Curry (1986)</i>	–	-6,6
<i>Duda et al. (1991) mérések</i>	–	-5,0
<i>Duda et al. (1991) modellek</i>	0,5	-9,5
<i>Ackerman et al. (1995)</i>	–	-8,5
<i>Austin et al. (1995)</i>	–	(-7,0)–(-10,0)
<i>Olsen (1996)</i>	1,0	-7,0
<i>Koracin et al. (2001)</i>	0,6–1,7	(-10,4)–(-12,5)
<i>Chai et al. (2003)</i>	–	(-7,0)–(-20,0)
<i>Larson et al. (2007)</i>	0,6	-13,0
<i>BIRS, CCN100</i>	0,28	-12,4
<i>BURS1, CCN100</i>	0,22	-9,4
<i>BURS2, CCN100</i>	0,19	-7,6

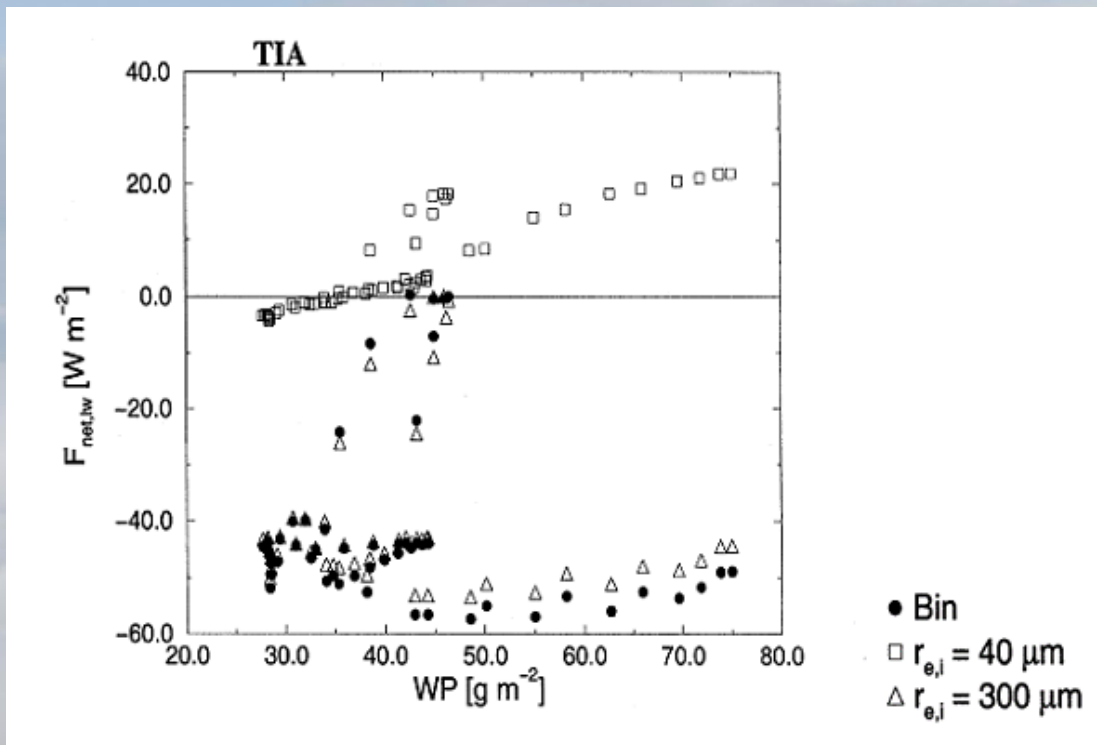
# 4. A sugárzási mérleg köd esetén

## nedves-adiabatikus légkör esetében kialakult vertikális légköri profilok

- a vízcseppek méret szerinti eloszlása *mind a két sémán belül idealizált gamma-eloszlás*;  $N=100 \text{ cm}^{-3}$ ;  $LWC=10^{-5} \text{ kg/m}^3$ ,  $T_0=293 \text{ K}$ ;  $q_0=15 \text{ g/kg}$ .
- bin séma esetén kisebb az inverzió és a ködkialakulás esélye



## 4. Jégfelhőkre vonatkozó eredmények



Felszínen megfigyelhető  
sugárzás-egyenleg,  
( $IWC < 0,15 \text{ g/m}^3$ ;  
*Harrington és Olsson, 2001*)

Szóródást is figyelembe kell venni:

- bin elnyelődési együtthatók: jégszem karakterisztikus méretének megfelelő gömb-alak (hatszögletű lap, tű; illetve dendrites kristályokra)
- az aszimmetria paraméter (a szórás iránytól való függése) viszont gamma méret-szerinti eloszlással!

## 5. Következtetések

1. A hosszuhullámú sugárzás és stratocumulus felhőzet szoros kapcsolata => **időjárási és éghajlati modellek pontosítása.**
2. **Új részletes (bin) sugárzási séma került kifejlesztésre**, amely részletes mikrofizikai modell által meghatározott vízcsepp-méret szerinti eloszlásból számítja ki a sugárzási gyengülési együtthatókat.
3. A bin **gyengülési együtthatók összhangban** a bulk módszer eredményeivel, de a sávonkénti együtthatók között jelentős eltérések.
4. Stratocumulus felhő esetén a **felhőalap melegedés**, és a **felhőtető hűlési réteg vastagság** közelebb a mért értékekhez.
5. **Köd és jégfelhők** esetén is a sugárzás-egyenleg között jelentős különbségek.
6. A **numerikus modellek kutatási verzióiban könnyen használható**, számítási kapacitás növekedésével operatív módon is bevezethető.

# Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

**Lábó Eszter**

*Országos Meteorológiai Szolgálat,  
Nemzetközi és Tudományos Kapcsolatok Osztálya*

*labo.e@met.hu*

*43. Meteorológiai Tudományos Napok, 2017. november 23-24.*

Fotó: Simon André