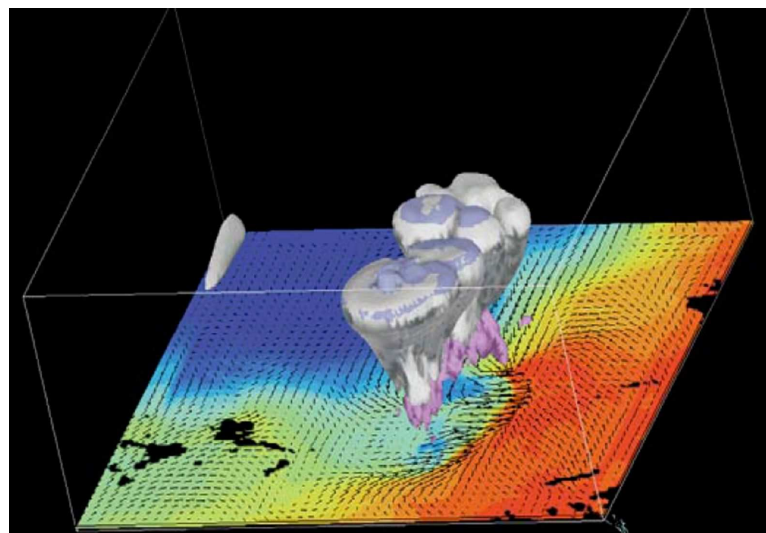


Az AROME nem-hidrosztatikus időjárás előrejelző modell fizikai parametrizációi



Szintai Balázs, Kullmann László
Országos Meteorológiai Szolgálat

MMT Légekördinamikai Szakosztály és
MTA MTB Légekördinamikai és Szinoptikus Meteorológiai Albizottság
közös előadása

2012. május 17.

Vázlat

- Történeti áttekintés
- NH dinamika
- Mikrofizika
- Turbulencia, sekély konvekció
- Határrétegmagasság
- 1D model
- SLHD
- Felszíni folyamatok

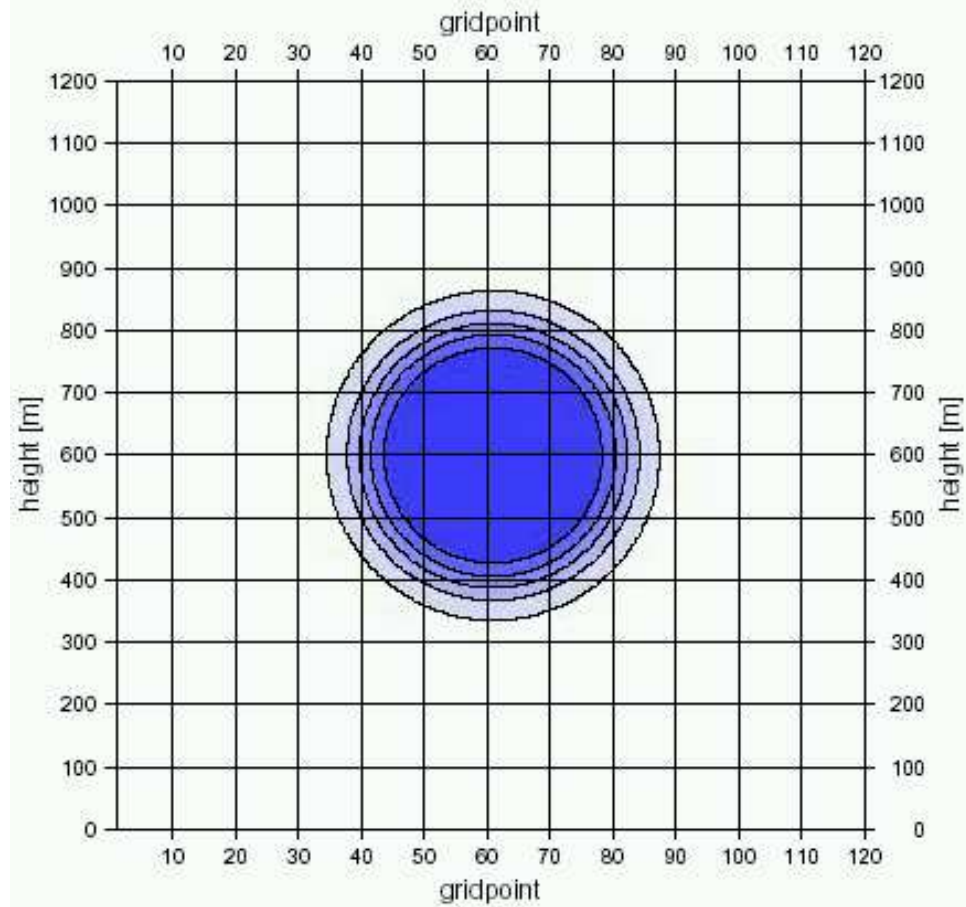
Történeti áttekintés

- 1991: ALADIN modell (dinamikai adaptáció)
- ~2000: AROME modell: ALADIN NH dinamika + MESO-NH fizika
- 2005: AROME telepítése az OMSZ-ban, tesztelés
- 2009 december: AROME pre-operatív futtatás
- 2010 december: AROME operatív futtatás

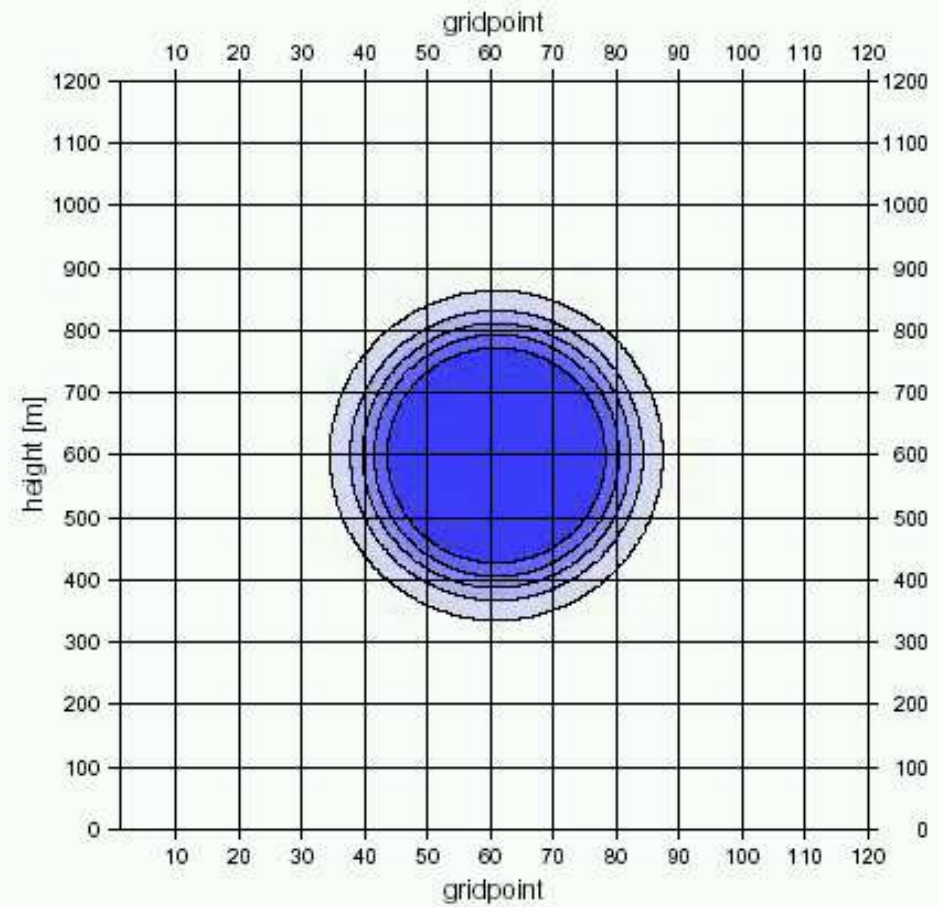
Dinamika

- Spektrális modell
- ~2km horizontális felbontás: vertikális gyorsulás nem hanyagolható el ($dw/dt \sim g$)
→ **nem-hidrosztatikus dinamika**
 - HTD egyenletekben vertikális momentum egyenlet
- Előny: korábban parametrizált folyamatok explicit leírása
 - mély konvekció
 - orografikus áramlás (gravitációs hullámok)
- teljesen elasztikus Euler egyenletek használata
- vertikális koordinátarendszer: tömegkoordináta
 - sekély légkör közelítés → tömeg = hidrosztatikus nyomás
 - egyszerű áttérés hidrosztatikus dinamikáról
 - hibrid koordinátarendszer → egyszerűbb peremfeltételek
- numerikus séma:
 - két időlépéses Semi-Implicit (időséma) Semi-Lagrange (advekción)

non-hydrostatic

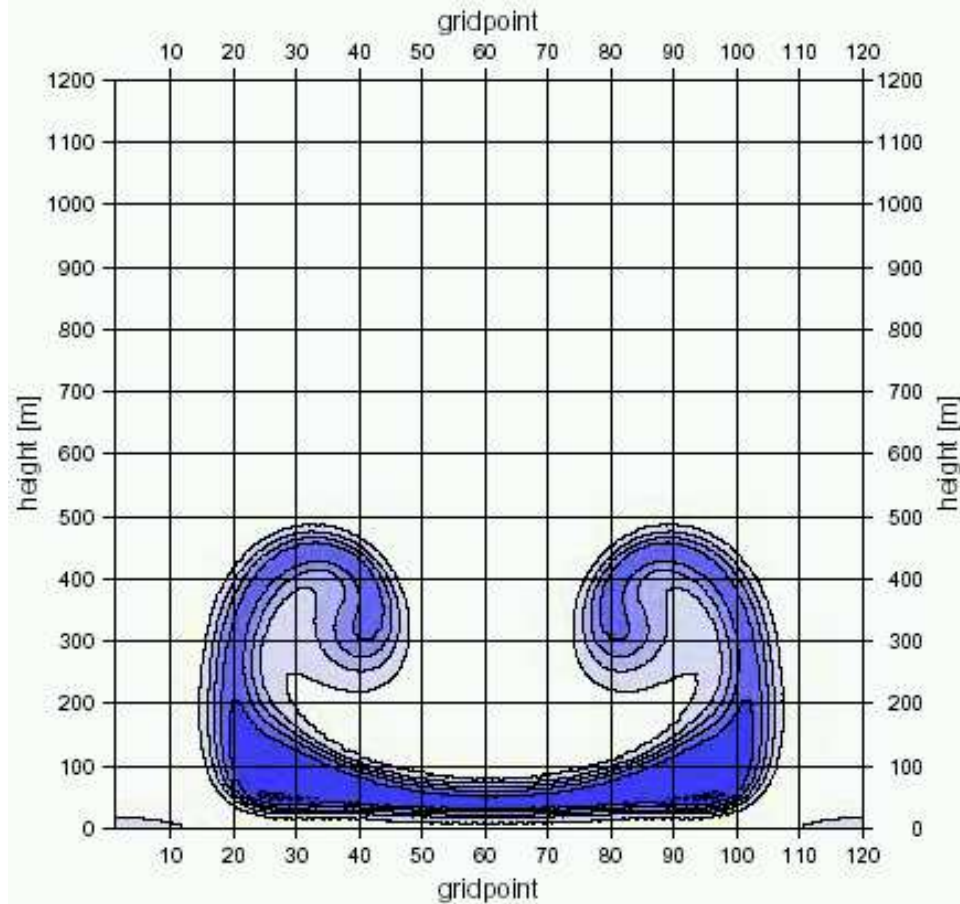


hydrostatic

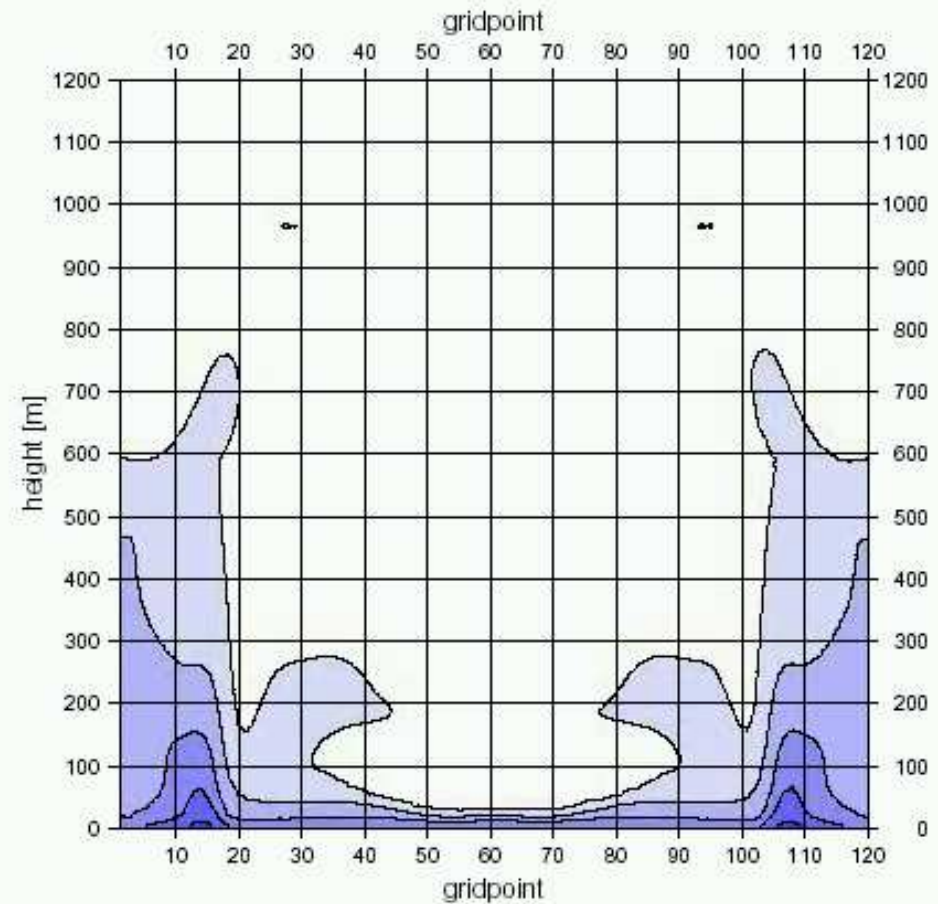


$$\Delta x = 10 \text{ m}, t = 0 \text{ s}$$

non-hydrostatic



hydrostatic



NH modell realisztikus

H modell: túl gyors leáramlás, kis cellákra szakad

Mikrofizika

- ~2km horizontális felbontás → **explicit mélykonvekció**:
 - NH dinamika + mikrofizika
- csapadék, felhőképződés részletes leírása szükséges
- sokféle hidrometeor → csoportosítása néhány kategóriába
 - 6 (7) kategória: vízgőz, felhőcsepp, jégkristály, esőcsepp, hó, hódara, (jég)
- prognosztikai egyenletek a hidrometeorok keverési arányaira
- **momentumos közelítés**
 - hidrometeorok méret eloszlása $n_i(D)$, ahol D az átmérő
 - tömeg, esési sebesség a méret fv-e $m(D) = aD^b$, $v(D) = cD^d (\rho_0 / \rho_{d,ref})^{0.4}$
 - integrálás az összes méretre
 - keverési arány az eloszlás 3. momentuma $r_i = (1 / \rho_{ref}) \int_0^\infty m(D) n_i(D) dD$
 - mikrofizikai folyamatok (pl. koaguláció, aggregáció) $\int_0^\infty$ analitikusan integrálható függvények

Ülepedés = csapadék kihullása

Nem elhanyagolható sebességű hidrometeorok (eső, hó, graupel) elhagyhatják rácsdobozt
→ vertikális fluxus számítása

$$\left. \frac{\partial r_x}{\partial t} \right|_{SED} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \int_0^{\infty} v_x(D_x) m_x(D_x) n_x(D_x) dD_x \right\}$$

- Adott (modell) időlépcső alatt esetleg több szinten is áthaladhatnak, ami instabilitást okozhat (párolgást, ütközést nem vesz figyelembe). Megoldás:
- **időlépcső darabolás**: modell időlépcsőt kisebb egységekre oszt (terminális esési sebesség alapján) → kis időlépcső alatt csak egy vertikális szintet lép át → **költséges!**

Párolgás

Kondenzáció/párolgás gyorsabb folyamat a többihez képest → nem lehet explicit kezelni

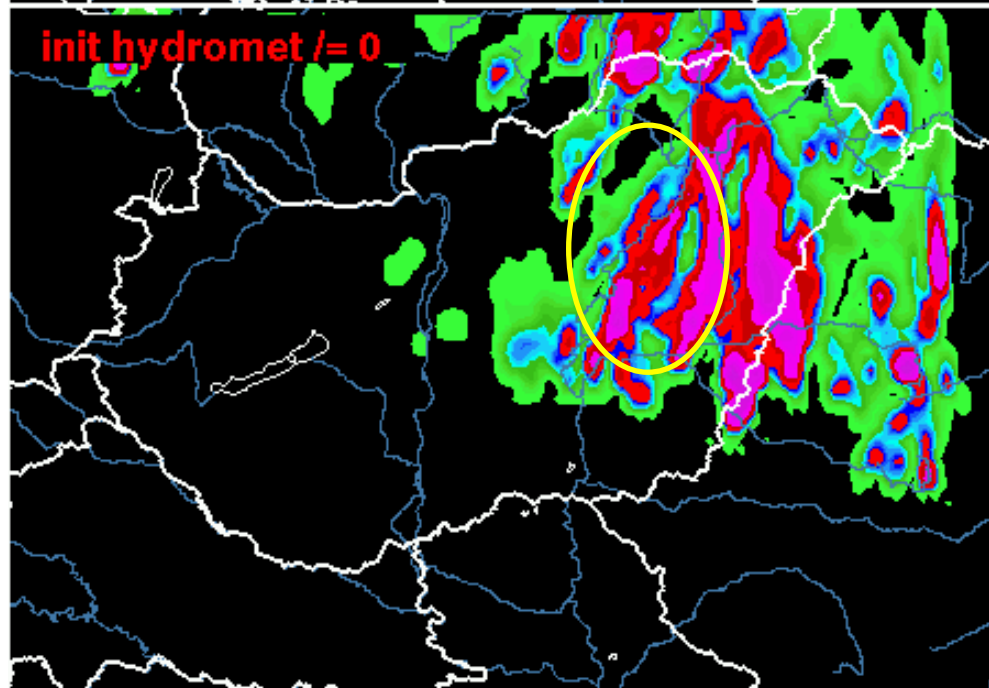
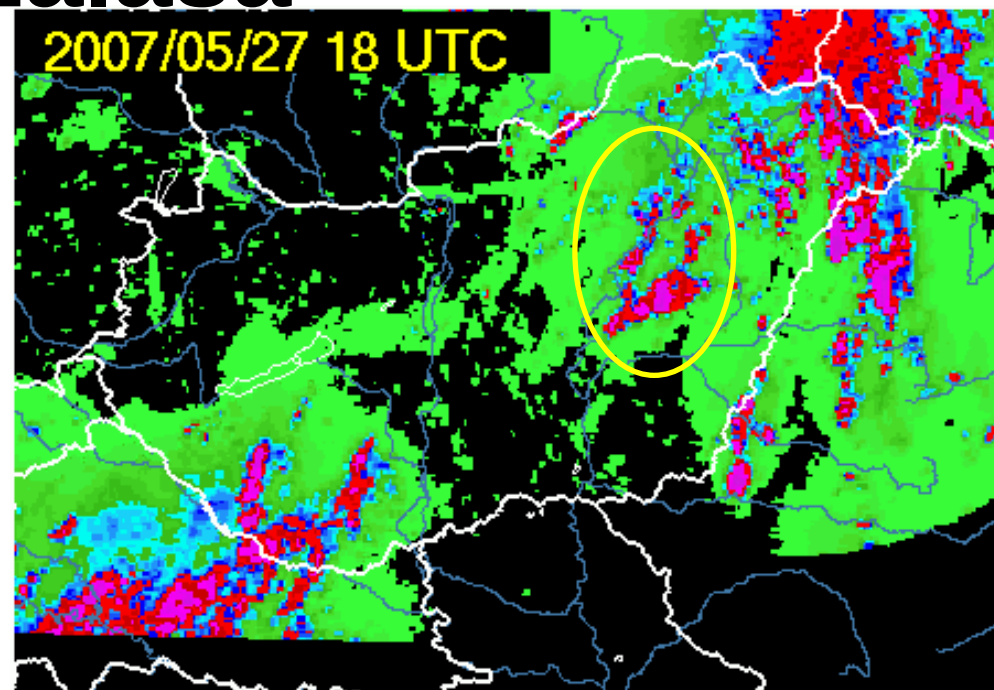
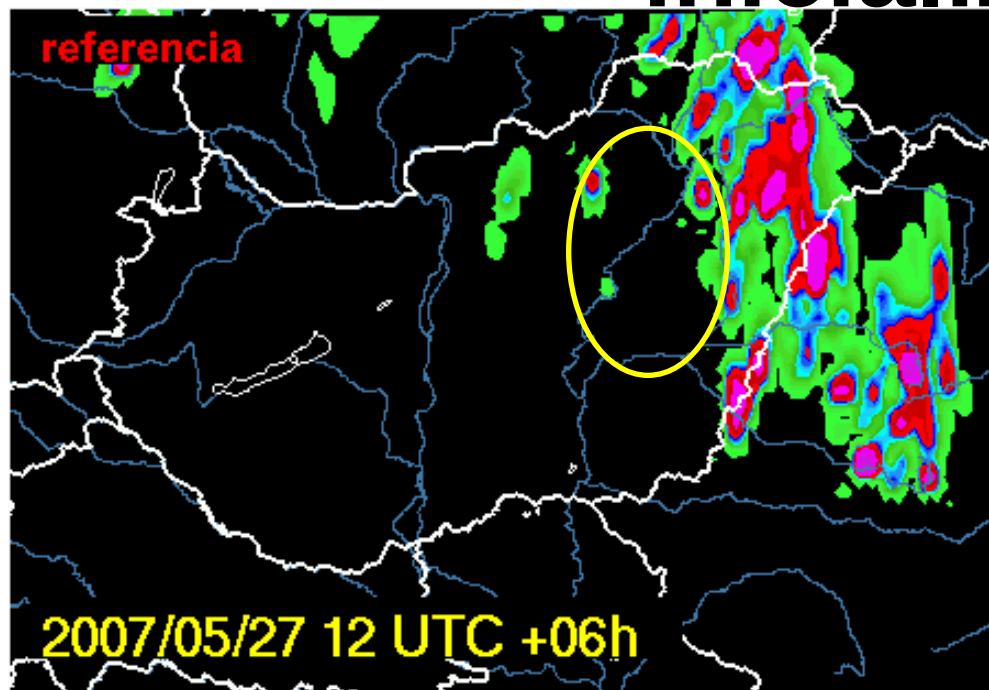
Megoldás: telítettséghez való igazodás

- T^* , r_v^* a hőmérséklet és vízgőztartalom a folyamatok végén
- feltételezzük, hogy rácsdoboz telített lesz → keressük azt a T -t, ami teljesíti, tehát a teljes hő (látens, szenzibilis) nulla
- A keresett mennyiség az alábbi fv zérus helyénél
$$F(T) = \underbrace{C_p (T - T^*)}_{\text{sensible heat}} + \underbrace{L_v(T) \Delta r_c + L_s(T) \Delta r_i}_{\text{latent heat}} = 0$$
- ahol az „igazítás” arányos a becsült víz/jég tartalommal
$$\Delta r_{cli} = (r_v^* - r_{vs,iw}(T)) \frac{r_{cli}^*}{r_c^* + r_i^*}$$

Hidrometeorok inicializációja

- vízgőzön kívül minden hidrometeor = 0 kezdeti érték → spin-up: „lassú kialakulás”
- kezdeti érték a korábbi futás előrejelzéséből

Hidrometeorok inicializálása



ref: $k_{\text{AROME}}(0)=0$

új: $k_{\text{AROME}}(0)=k_{\text{AROME}}(t) > 0$

(k: „kondenzált” hidrometeor: c, i, r, s, g)

Turbulencia

- Reynolds felbontás: $\psi = \bar{\psi} + \psi'$
- Feladat: $\overline{w' \psi'}$ parametrizációja, mivel $\overline{\text{div} w' \psi'}$ adja meg az adott modellváltozó turbulens folyamatokból eredő tendenciáját
- AROME modell: EDMF (Eddy Diffuzivity Mass Flux) koncepció

$$\overline{w' \psi'} = \boxed{-K \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial z}} - \boxed{M_u (\bar{\psi} - \psi_u)}$$

Gradiens tag
„CBR” séma

Tömegfluxus tag
„Kain-Fritsch” konvekció

ψ : modellváltozó valós értéke

$\bar{\psi}$: modellváltozó rácsponti értéke

ψ' : modellváltozó fluktuációja

w : vertikális sebesség

K : turbulens diffúziós együttható

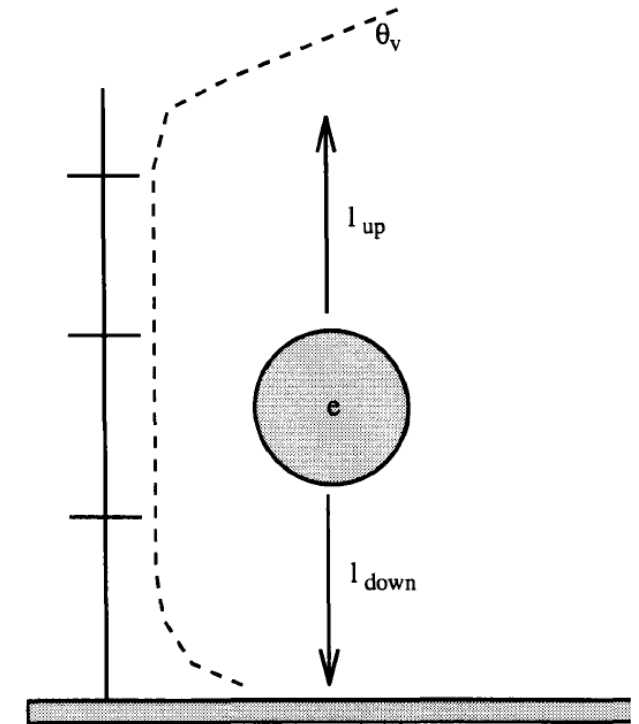
M_u : feláramlási tömegfluxus

ψ_u : modellváltozó feláramlási értéke

Turbulenc

- **Gradiens tag:**

- CBR (Cuxart, Bougeault, Redelsperger) séma
- Lokális, 1.5-es rendű turbulencialezárás – prognosztikus egyenlet a Turbulens Kinetikus Energiára (TKE)
- Jelenleg az egy dimenziós (vertikális) változatát használjuk
- Bougeault-Lacarrère keveredési hossz használata (nem-lokális jelleg)



$$\frac{\partial e}{\partial t} = \underbrace{-\overline{w'u'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \overline{w'v'} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z}}_{\text{szélnyírás}} + \underbrace{\frac{g}{\theta_{v,ref}} \overline{w'\theta'_v}}_{\text{felhajtóerő}} - \underbrace{\frac{1}{\rho_{ref}} \frac{\partial}{\partial z} \left(-C_e \rho_{ref} L e^{1/2} \frac{\partial e}{\partial z} \right)}_{\text{turbulens transzport}} - \underbrace{C_\epsilon \frac{e^{3/2}}{L}}_{\text{disszipáció}}$$

$$K_{mom} = \alpha_{mom} L \sqrt{e} \quad K_{scalar} = \alpha_{scalar} K_{mom} \phi_3$$

- Hátránya: lokális, tehát az egész határrétegre kiterjedő nagy örvények hatását nem jól modellezi (hiányzik az ún. counter-gradient flux)

Turbulencia

- **Tömegfluxus tag:**

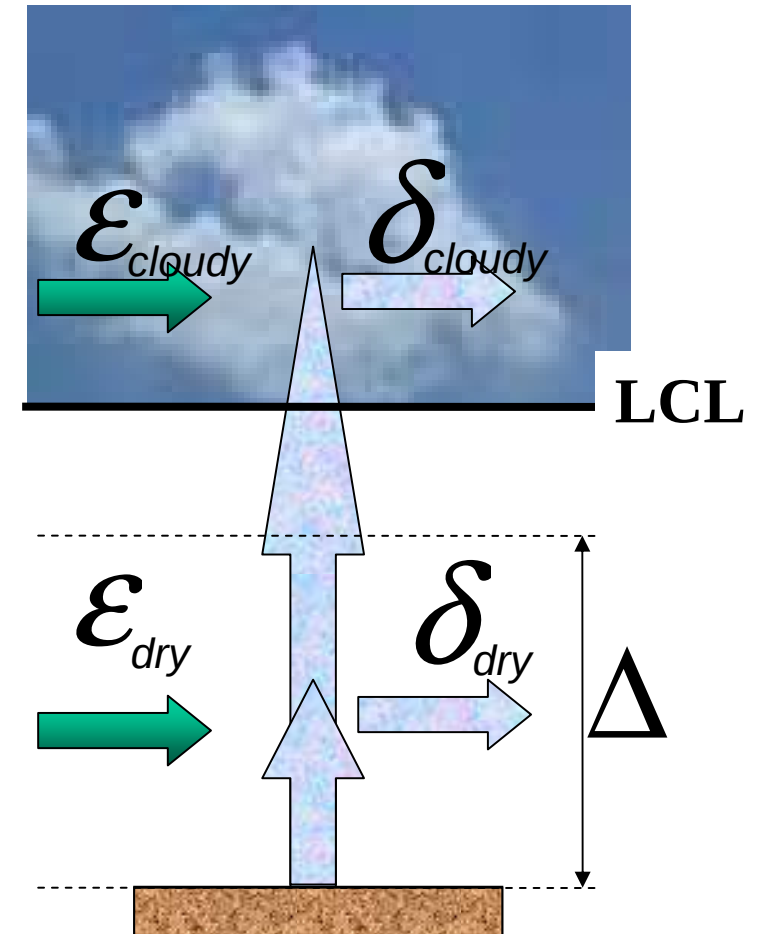
- Sekély konvekciós termik felosztása két részre:

Felhőalap alatti rész:

- Felhőmentes
- Lappen and Randall (2001) parametrizáció
- Lezárás a felszíni fluxusok segítségével
- Inicializáció: legalsó szint TKE-je

Felhőalap feletti rész:

- Felhős
- Kain and Fritsch (1990) parametrizáció
- Lezárás: a felhőalap alatti rész tömegfluxusa
- Diagnosztikus felhőséma:
 $CF = 2.5a_{up}$



EDMF séma használata erősebb turbulens kicserélődést eredményez a konvektív határrétegben

1h csapadék

Alacsonyszintű felhőzet

Széllokés

2010-07-22 11 UTC (+11 h)

(mm) 2010.07.22. csü 11:00 (+11h)

AROME - old

AROME - new

AROME - old

AROME - new

AROME - old

AROME - new

MSG Vis.

Radar 1h csap.

SYNOP - Széllokés

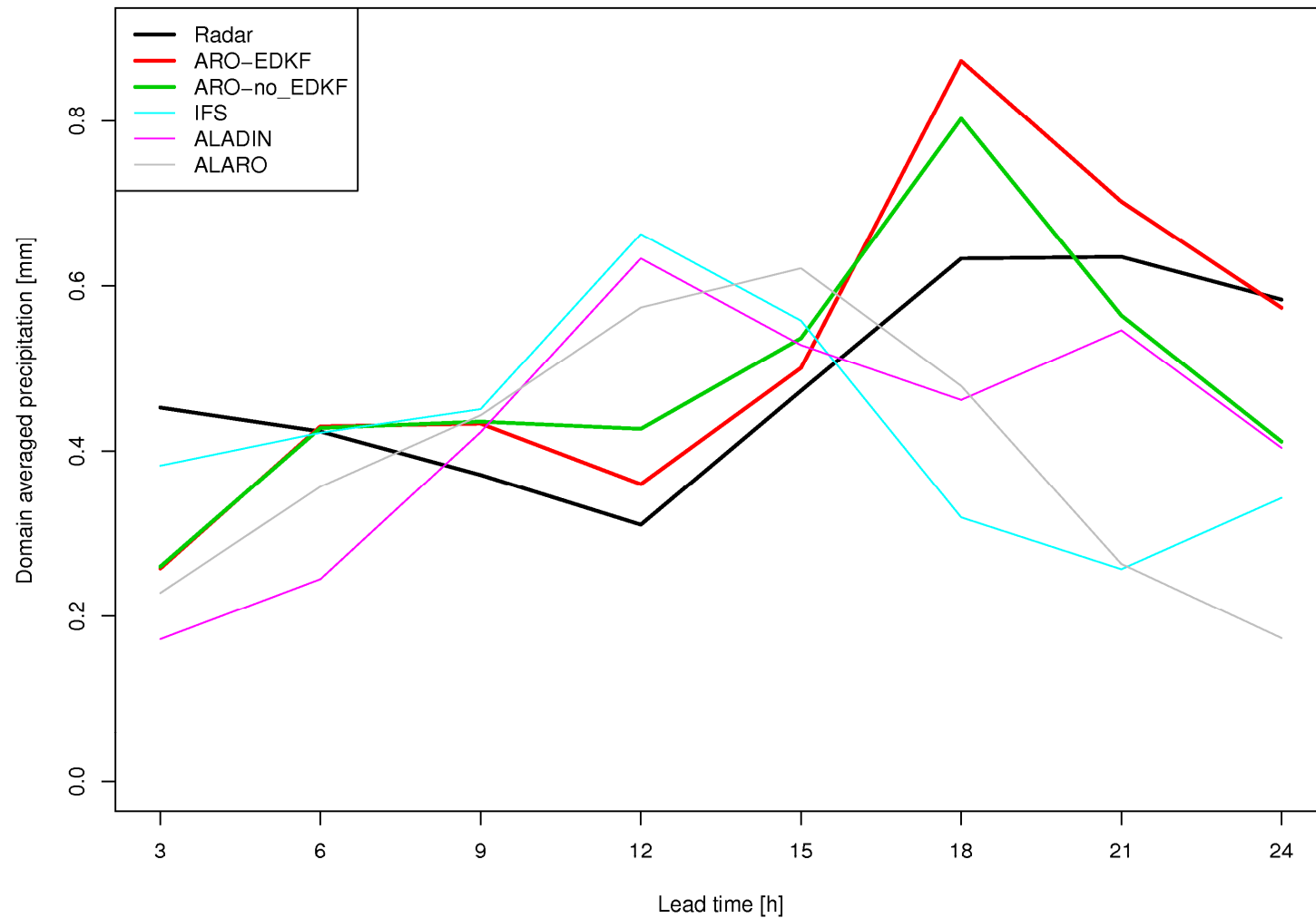
Turbulencia

- Erősebb keveredés a határrétegben
→ nem alakulnak ki a kis cellák
- Széllokés felülbecslése csökken
- A konvekció időzítése is javul
- Csapadékmaximum enyhén felülbecsli

Turbulencia

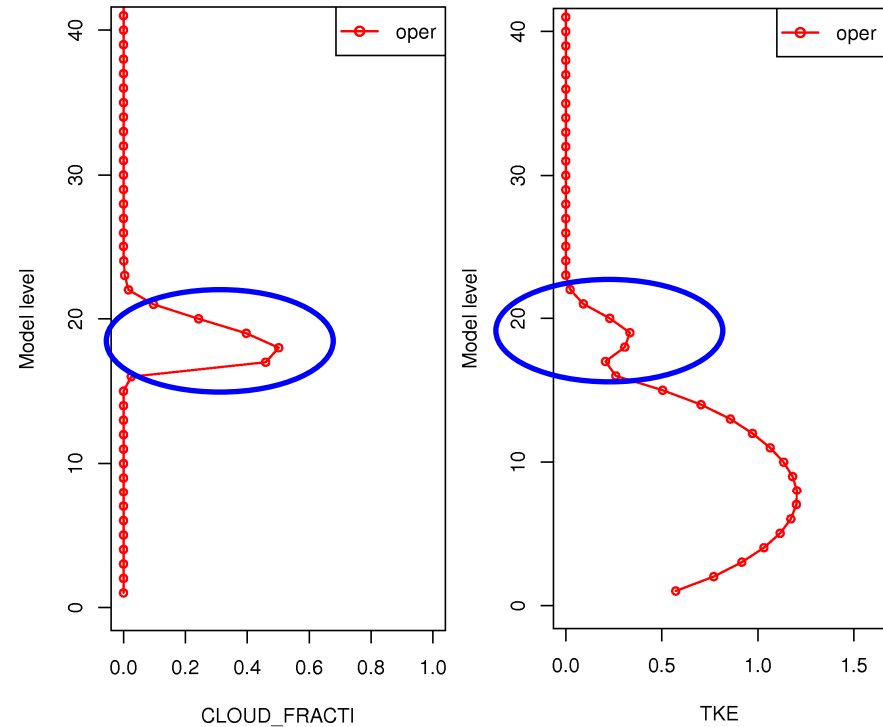
Csapadék napi menete

2010-07-17 – 2010-08-17



Turbulencia

- Az AROME turbulenciasémája képes a határrétegfelhők (Sc, Cu humilis, talajmenti köd) korrekt leírására is
- Kondenzáció következtében felhajtóerő keletkezik → növeli a turbulenciát → TKE értéke megnövekszik a felhőalap közelében



- A CBR séma un. nedves konzervatív változókat (víz-potenciális hőmérséklet, teljes víztartalom) használ, amelyek a határrétegfelhőkben megmaradó mennyiségek
- Kapcsolat a turbulenciaséma és a hagyományos modellváltozók között: statisztikus felhőséma

Norm.
telítési hiány:

$$Q_1 = \frac{q_w - q_{sl}}{\text{stdev}(q_w - q_{sl})}$$

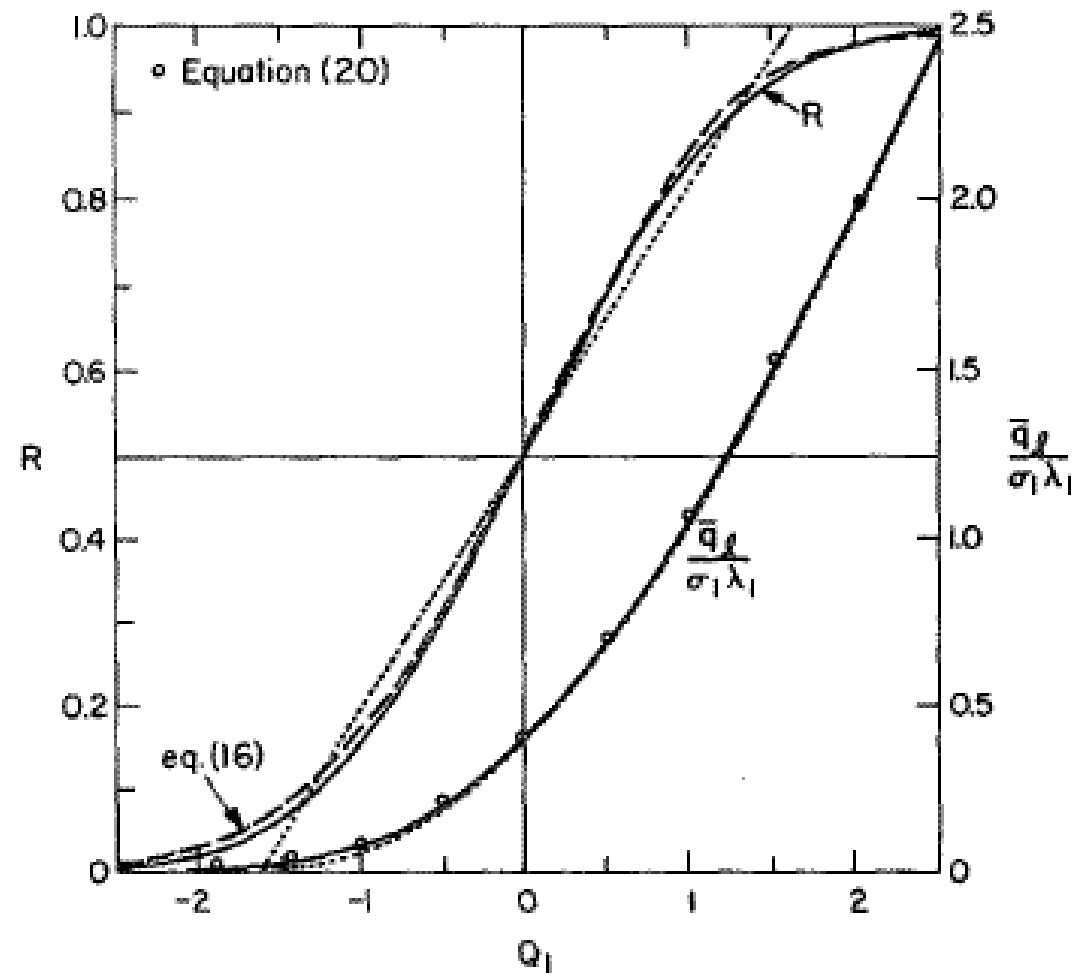
Modellváltozókból

Turb. sémából

Felhő-
borítottság:

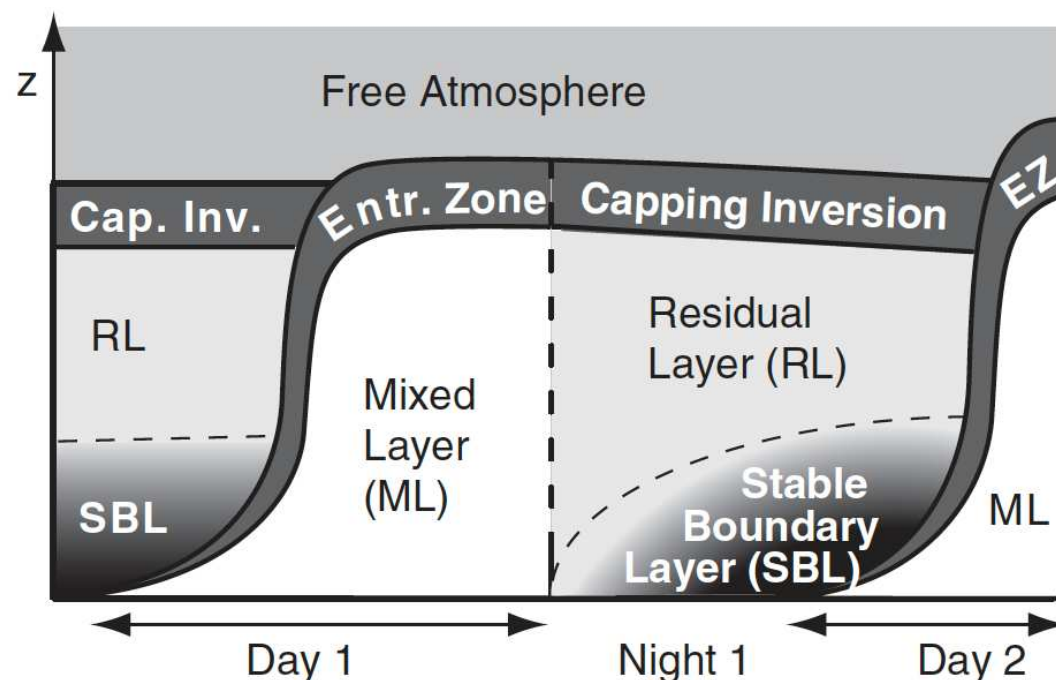
$$R = 0.5(1 + Q_1 / 1.6)$$

Turbulencia



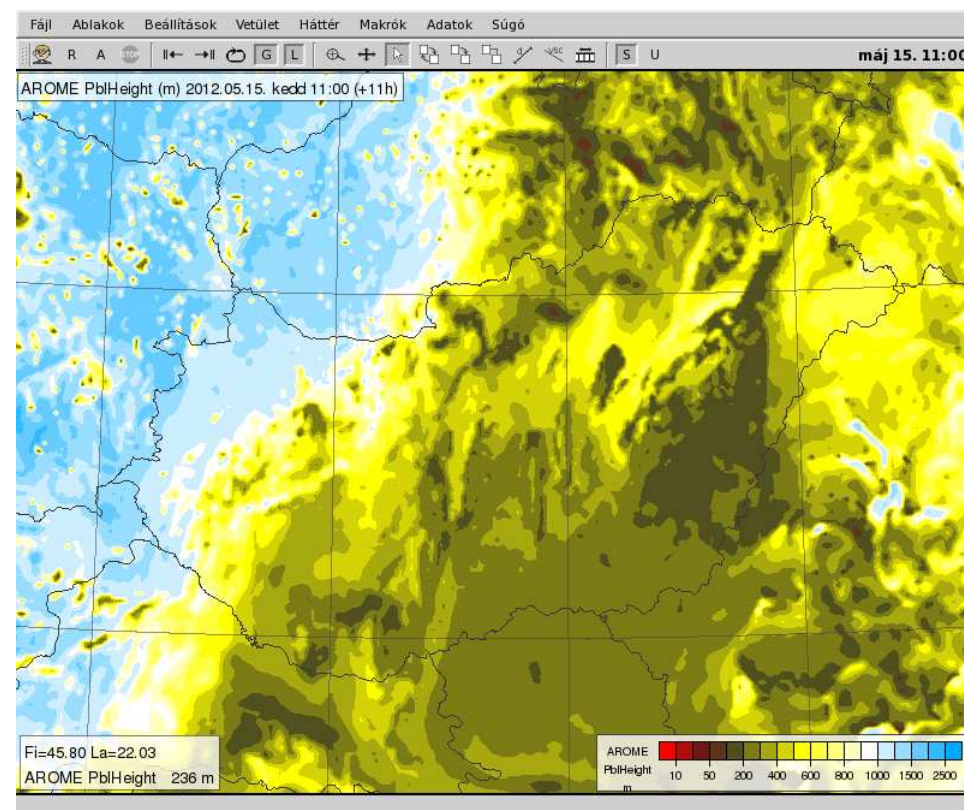
Határrétegmagasság

- A légkör legalsó néhány 100 m vastag rétege, amelyre a földfelszín közvetlen hatással van
- A légköri változók (hőmérséklet, nedvesség) átkevertek ebben a rétegben
- Jellegzetes napi menete van
- Magassága igen fontos a szennyezőanyagok koncentrációjának szempontjából
- Meghatározása:
 - Rádiószonda
 - Sodar, Windprofiler, Lidar
 - Modell



Határrétegmagasság

- Határrétegmagasság meghatározására szolgáló módszerek
 - Gradiens Richardson szám
 - Bulk Richardson szám
 - Turbulens Kinetikus Energia (TKE)
 - Turbulens fluxusok (momentum és hő)
 - Konceptuális modellek
 - Instabil → Slab model (prognosztikus)
 - Stabil → Zilitinkevich equation (diagnosztikus)
- AROME: jelenleg momentum fluxus alapján
- Terv: az alkalmazott eljárás validációja hosszabb időszakon, új eljárások (TKE, bulk Ri szám) tesztelése



1D modell

- A planetáris határrétegben zajló folyamatok (felszín, turbulencia, sekély konvekció) leírásához az AROME modell egy dimenziós (vertikális) parametrizációkat használ
- A parametrizációk fejlesztéséhez, validálásához ezért jó eszköz a modell egy dimenziós változata
- Az AROME-1D modell (MUSC) 2011 vége óta az OMSZ-ban is használható:
 - Szükséges a modellt meghajtani alsó (felszíni fluxusok) és oldalsó (geosztrófikus szél) peremfeltételekkel
 - Klasszikus 1D alkalmazás: mérési kampány adataiból nyerjük a peremfeltételeket
 - új lehetőség: 3D-s modellfuttatásokból származtatjuk a peremfeltételeket

Horizontális diffúzió

- SLHD: Semi Lagrangian Horizontal Diffusion

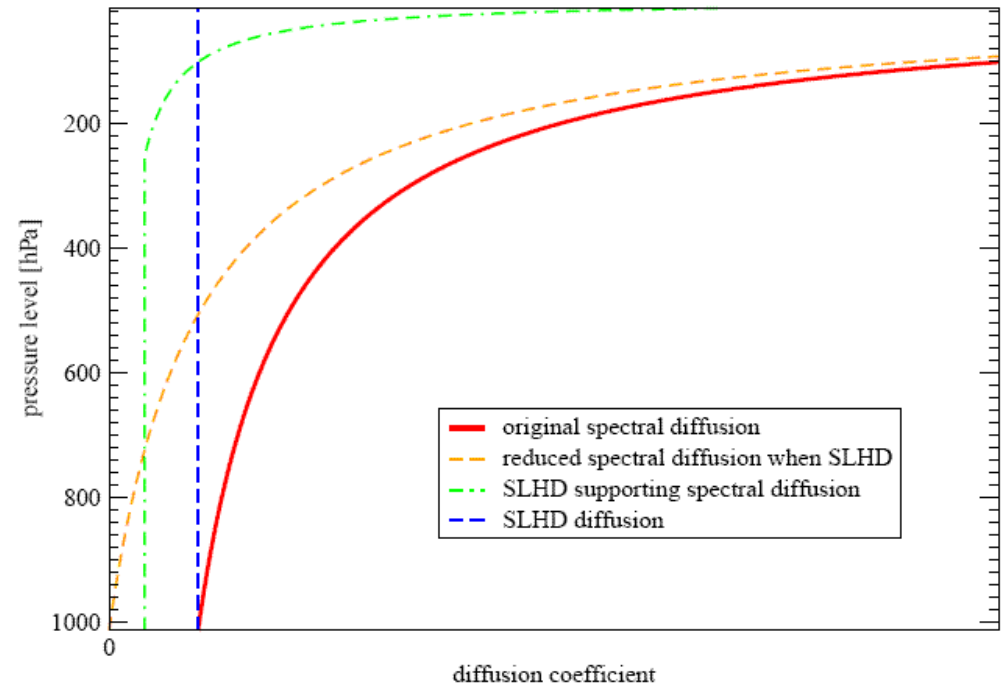
- Nemlineáris diffúzió (erősebb csillapítás)
- Lokális
- A rácsponti térben definiált változókra is (pl. hidrometeorok) alkalmazható
- Fizikailag realisztikusabb parametrizáció
- Diffúzió a horizontális deformáció függvénye

$$\kappa = \kappa_{min} + (\kappa_{max} - \kappa_{min}) \frac{\Delta t F(d)}{1 + \Delta t F(d)}$$

$$F(d) = 2A([s]_{ref})^P d \left(\max \left[1, \frac{|d|}{\frac{D}{2}([s]_{ref})^Q} \right] \right)^B$$

- Horizontális diffúzió az AROME-ban:

- SLHD
- Csökkentett spektráldiffúzió → a tartomány tetején hat (durva vertikális felbontás miatt)
- „Supporting” spektráldiffúzió → az orográfia következtében fellépő zaj kiszűrése



Horizontális diffúzió

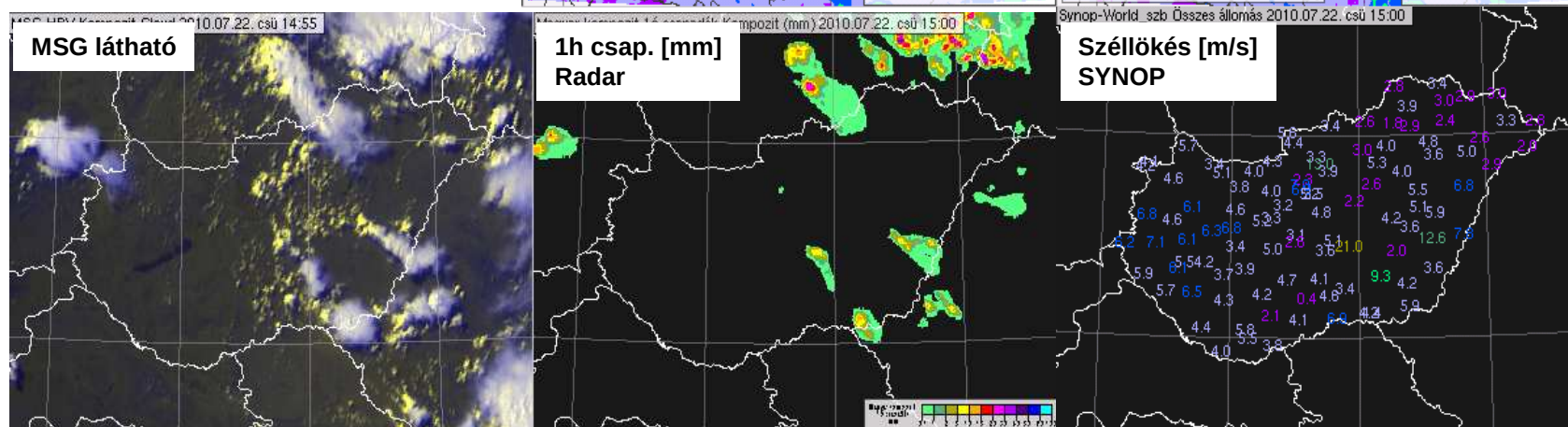
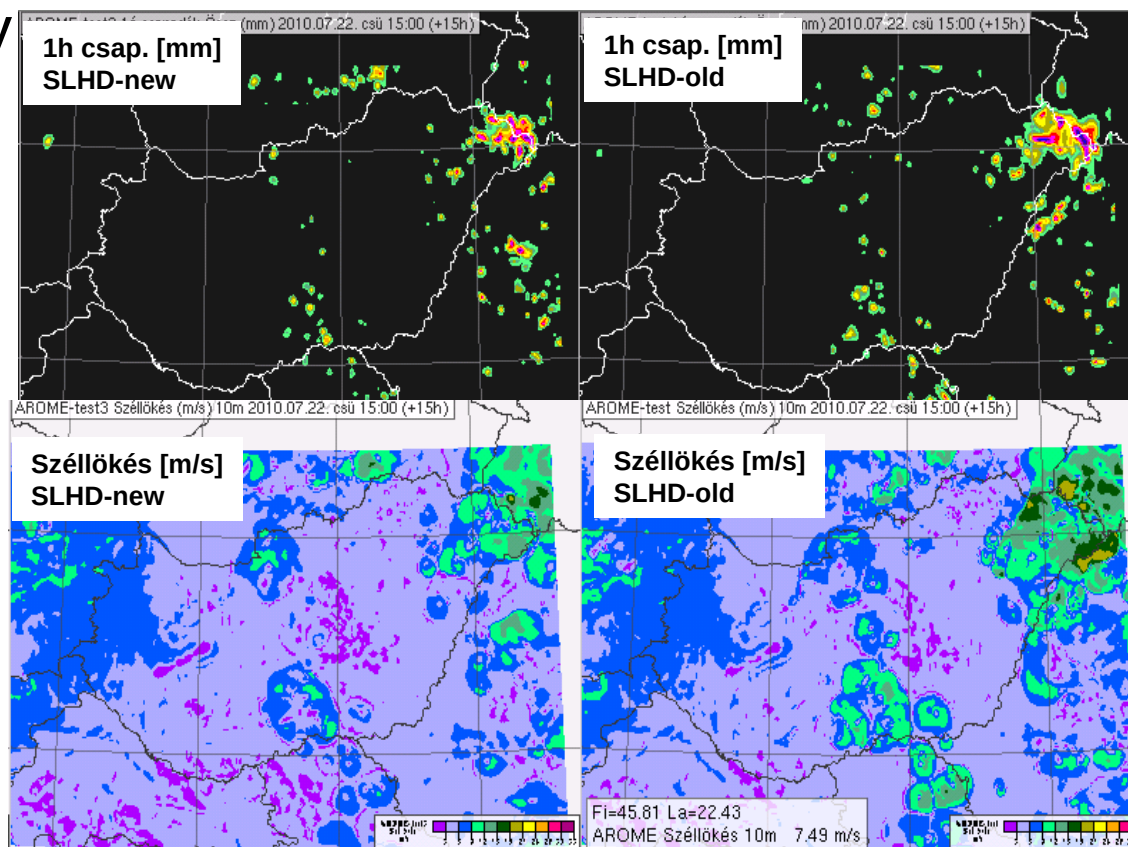
- Eredeti konfiguráció:
 - Gyenge spektrális diffúzió minden vertikális szinten
 - SLHD minden hidrometeorra (felhő- és csapadékelemek)
- Kísérlet:
 - Spektrális diffúzió csak 100 hPa felett
 - SLHD pontosságának növelése
 - SLHD:
 - Felhőelemekre (felhő-víz, felhő-jég)
 - Dinamikai mezőkre (u, v, w, T, q)
 - Turbulens Kinetikus Energiára

Horizontális diffúzió

Esettanulmány

2010-07-22 15 UTC (+15 h)

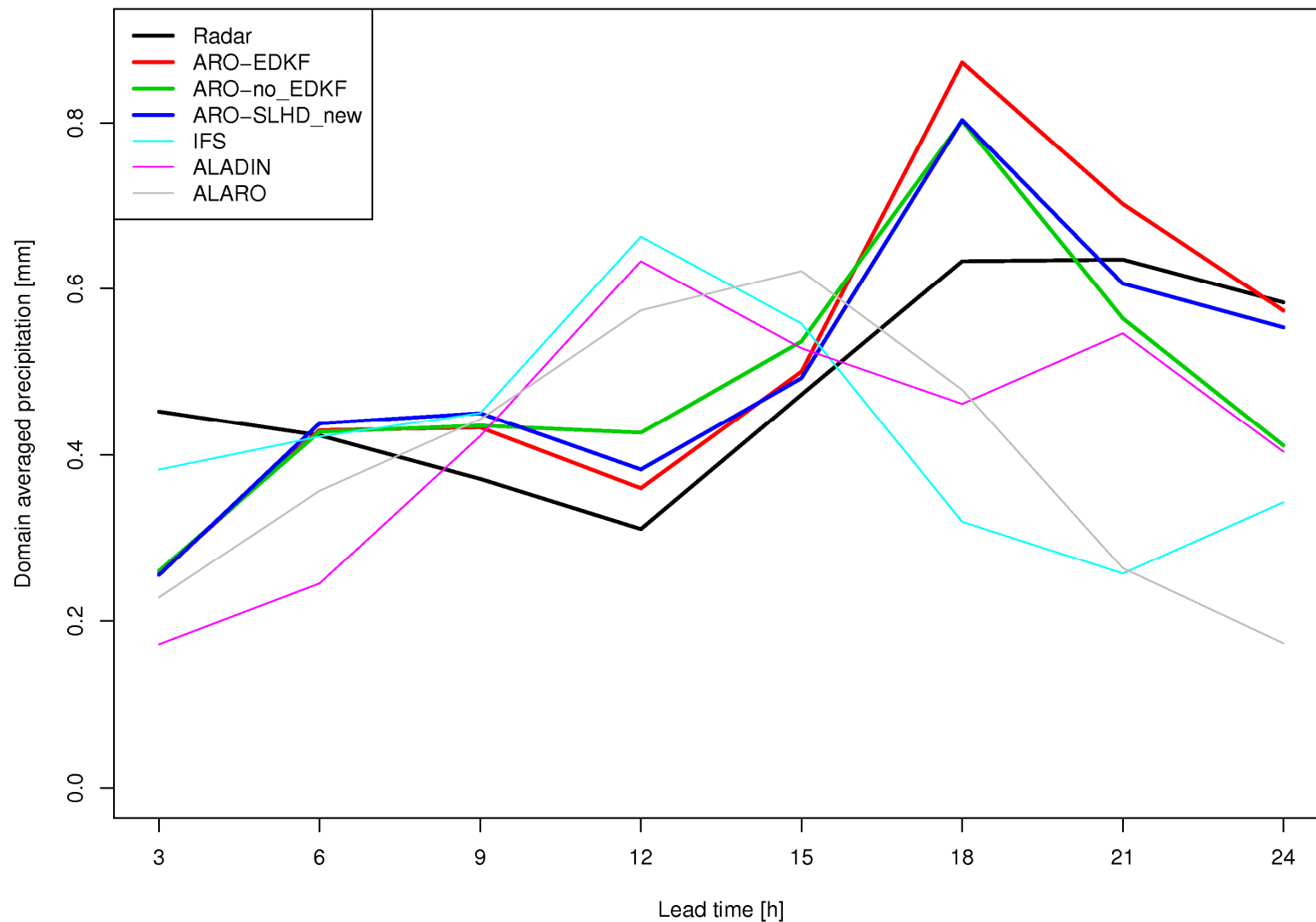
- Erősebb horizontális keveredés
- Konvektív csapadék intenzitása csökken
- Cellák száma kissé csökken
- Konvektív szélleőkés csökken



Horizontális diffúzió

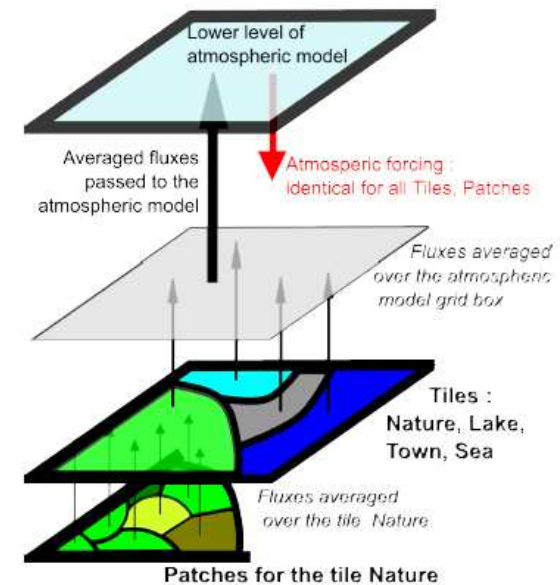
Csapadék napi menete

2010-07-17 – 2010-08-17



Felszíni folyamatok (SURFEX)

- Surfex = Surface Externalisée: elvben bármelyik légköri modellhez csatlakozható (interface szükséges)
- „Tiling”: adott rácsponthoz többféle felszíntípus tartozhat
 - vegetáció, tenger, tó/folyó, város
 - vegetáció további 12 „patchre” osztható (növényzet típusa alapján)
- visszacsatolás légkörhöz: területi arányok alapján átlagolt fluxusok (hő, vízgőz, momentum)
- offline futtatás (csak egy irányú kölcsönhatás)
 - séma validálásához
 - felszíni folyamat vizsgálata (pl. városi hősziget vagy vegetáció fejlődése)



Tenger



Tó, folyó



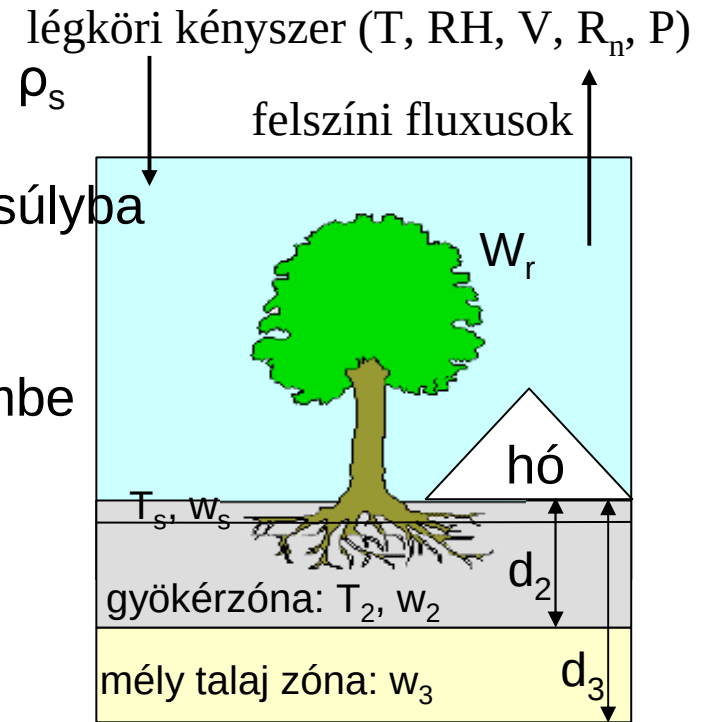
Természet



Város

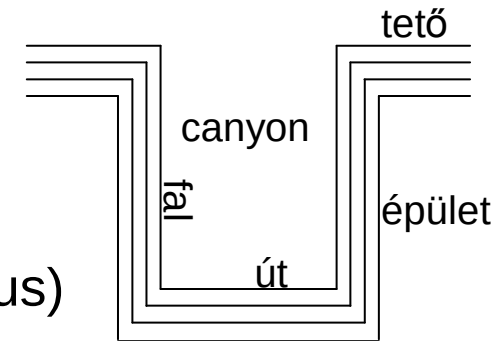
ISBA

- prognosztikai változók: T_s , T_2 , w_s , w_2 , w_3 , W_r , m_s , a_s , ρ_s
- **3 rétegű Force-Restore séma**
 - force: külső kényszer, restore: visszatérés egyensúlyba
- **1 rétegű hóséma** (prognosztikus sűrűség, albedo)
- Diffúziós séma: rétegek közti diffúziós explicit leírása
- 3 rétegű hóséma (rétegek közötti hőfluxusok figyelembe vétele)
- ISBA-A-gs fotoszintézis séma
 - vegetáció időbeli fejlődése
 - természetes eredetű CO₂ fluxusok számítása



TEB

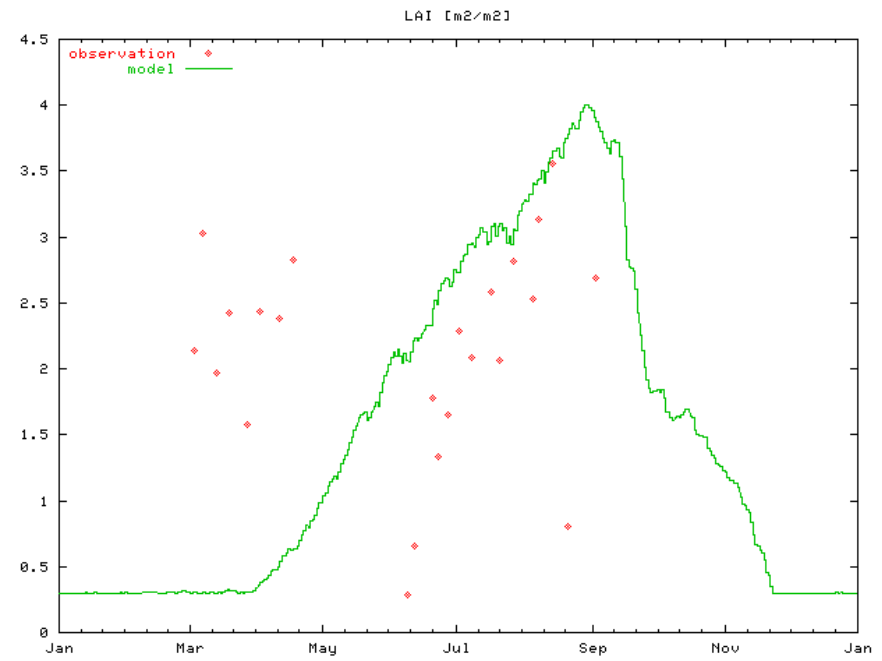
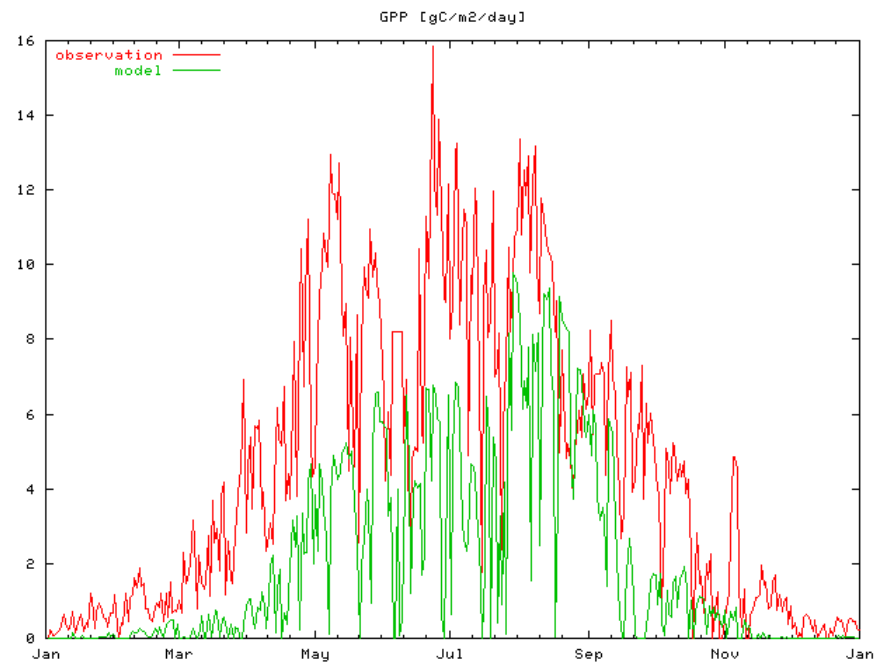
- Kanyon séma:
 - 3 felszín: fal, tető, út (mindegyik 3 rétegű)
 - minden útirány lehetséges, kiintegrál összes irányra
 - diffúziós egyenletek rétegek hőmérsékletére
- sugárzás: árnyékolási effektus, sugárzási csapda
- antropogén hatások figyelembe vétele (hő, nedvességfluxus)



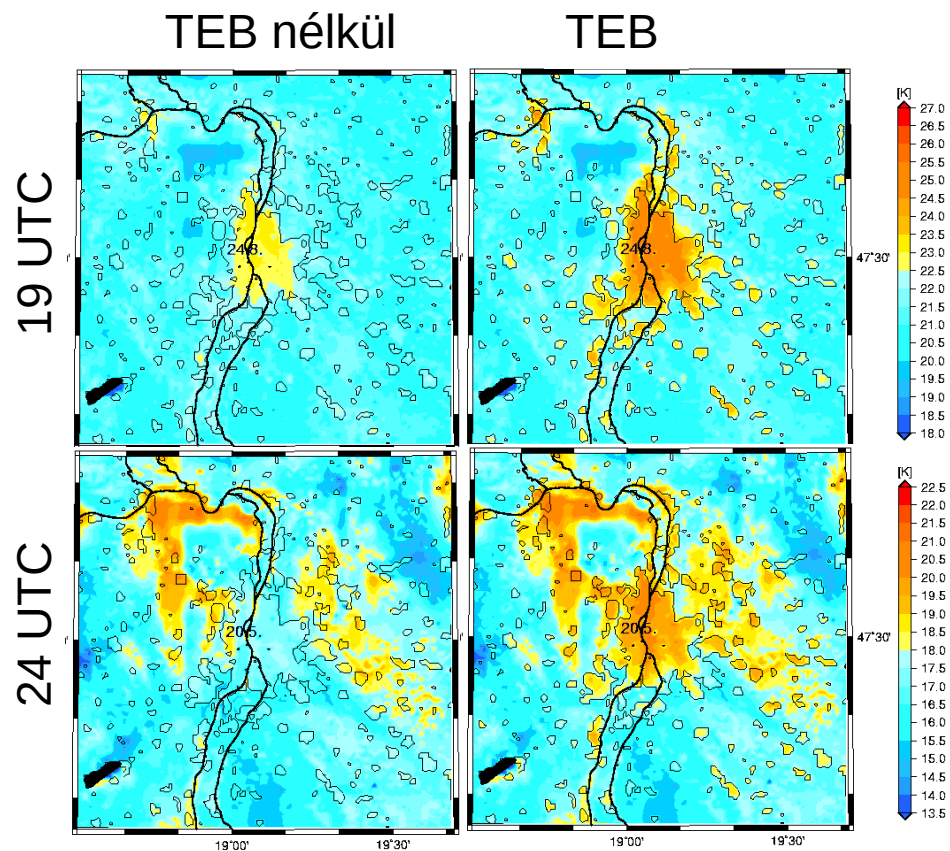
Canopy séma (felszíni határréteg)

- **Hagyományos séma** 2m-es mezők meghatározására: diagnosztikai úton, stabilitásfüggő vertikális profil
- **Canopy séma**: légkör alsó 10m-e 6 vertikális szintre
 - 1D (vertikális) turbulencia séma SBL-ben (+város/növényzet okozta akadály)
 - 2m-es mezők prognosztikai úton számolódnak → pontosabb előrejelzés

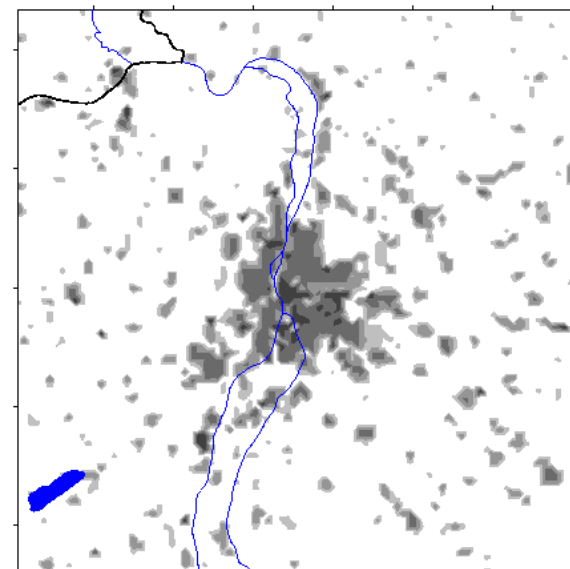
SURFEX – ISBA-A-gs



Városi hőszigetet képes visszaadni
AROME futtatás 1km-es felbontáson Bp körüli tartományon

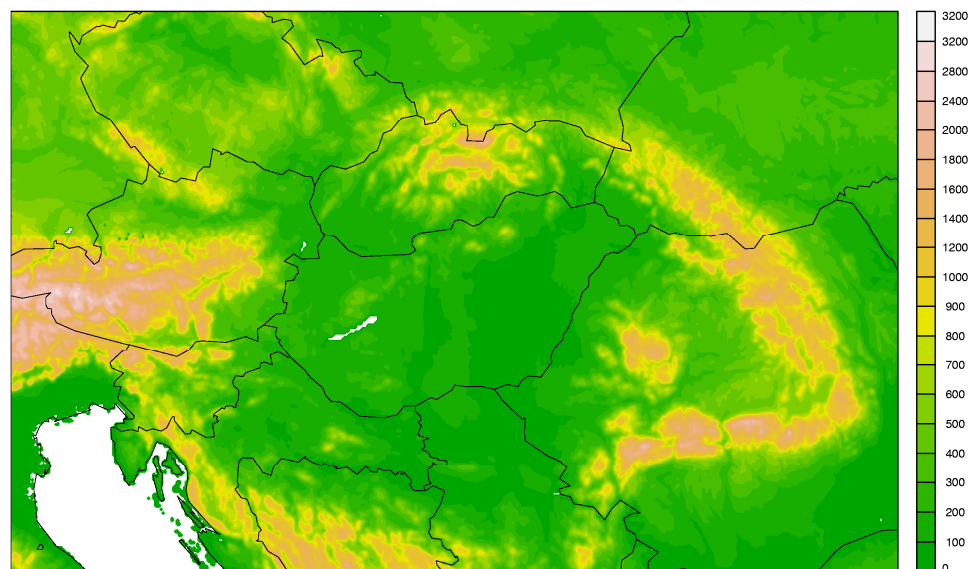


Tartomány, város hányad



Operatív AROME

- AROME operatív az OMSZ-nál
2010 decembere óta
- $\Delta x = 2.5$ km
- $\Delta t = 60$ s
- 60 vertikális szint
- Futtatás napi négyszer
- Dinamikai apadtáció
- Hidrometeorok és TKE ciklizálása
- Csatolás az ALADIN modellhez



Jelenlegi fejlesztések, tervek

- Adatasszimiláció
 - Magaslégkör: 3DVAR (Radar)
 - Felszín: OI
- Turbulencia
 - Esti átmenet
 - Hidegpárna
 - Széllökés-parametrizáció
- AROME EPS

Összefoglalás

- Az AROME modell az ALADIN modelles család új tagja, amely több más európai ország mellett az OMSZ-nál is operatíván fut
- A modell fejlett fizikai parametrizációkat használ a felhőfizikai folyamatok, a turbulencia és a felszín leírására
- Ezen parametrizációkat folyamatosan továbbfejlesztik az ALADIN együttműködés keretében

Köszönöm a figyelmet!