

A sekély konvekció parametrizálása a turbulencia szürke zónájában

*Lancz Dávid – Országos Meteorológiai Szolgálat
Módszerfejlesztési Osztály*

2015. december 14.



Alapítva: 1870

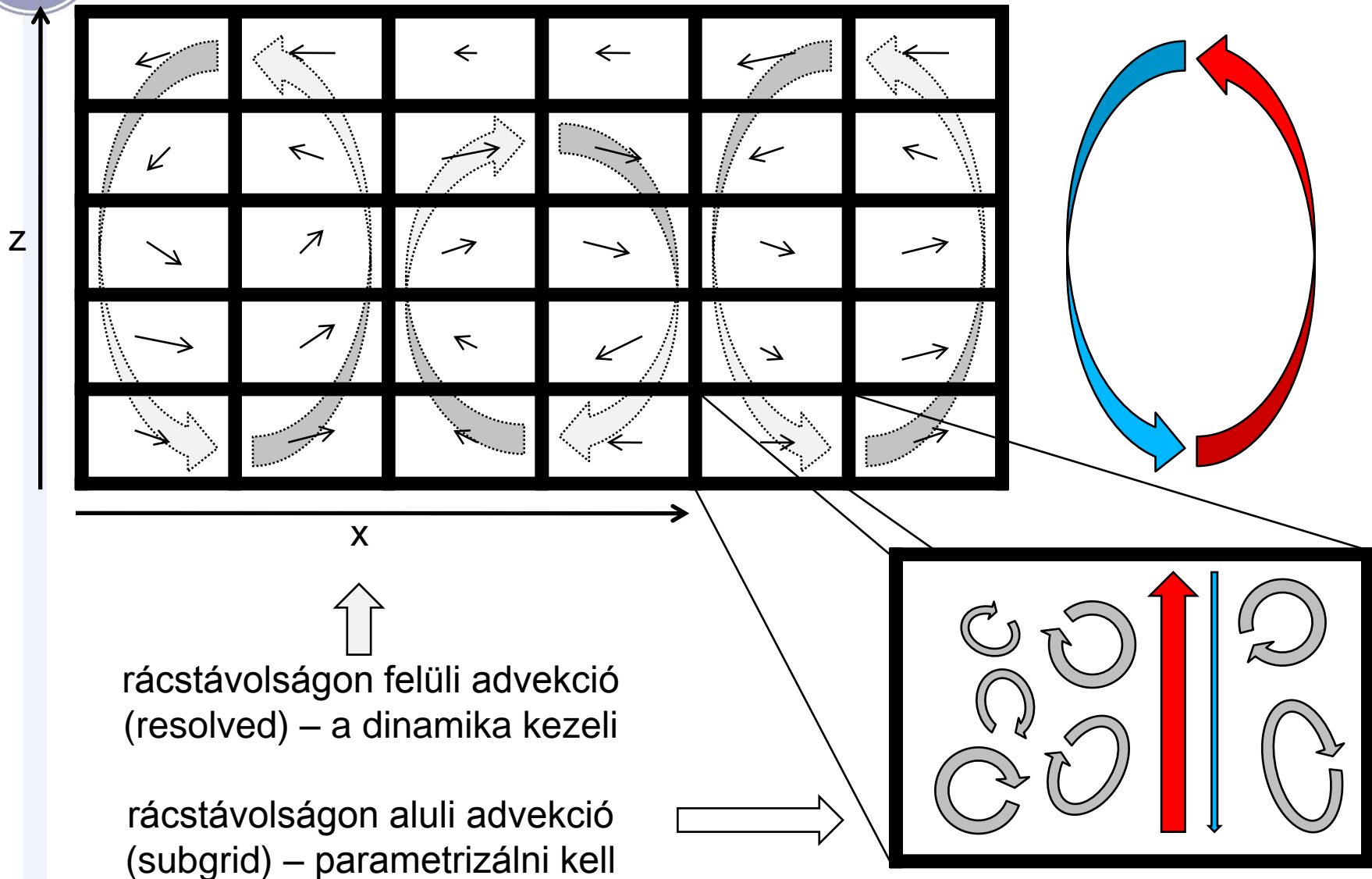


Vázlat

- Konvekció
- Turbulens áramlás
- Szürke zóna
- A Mass Flux algoritmus
- Módosítás
- Tesztek
- Validáció
- További teendők



Konvekció





Turbulens áramlás parametrizációja

Az AROME-ban:

•K-elmélet + Mass Flux

$$\overline{w' \phi'} = -K \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial z} + M (\phi_u - \bar{\phi})$$

$$M = a_u (w_u - \bar{w})$$

(név: Eddy Diffusion Mass Flux EDMF → EDKF mert a felhős részben Kain és Fritsch paramerizációját használják)

Megjegyzés: másik definíció szerint: $\overline{w' \phi'} = -K \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial z} + \frac{M}{\rho} (\phi_u - \bar{\phi})$

$$M = a_u \rho (w_u - \bar{w})$$

- w - vertikális sebesség
- ϕ - tetszőleges változó
- $\overline{w' \phi'}$ - vertikális turbulens fluxus
- $\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial z}$ - Φ átlagának vertikális gradiense
- K - turbulens diffúziós együttható
- $\bar{w}, \bar{\phi}$ - w és Φ átlaga
- w_u, ϕ_u - w és Φ értéke a feláramlási zónában
- a_u - a feláramlási zóna területi aránya a rácsterülethez képest
- ρ - sűrűség



Szürke zóna probléma

A sekély konvekciót:

- Alacsony felbontáson (kb. $dx > \sim 2\text{km}$) – parametrizáljuk
 - Magas felbontáson (kb. $\sim 125\text{m} > dx$) – nem parametrizáljuk, mert a dinamika kezeli
- De mi történik a köztes horizontális felbontáson?

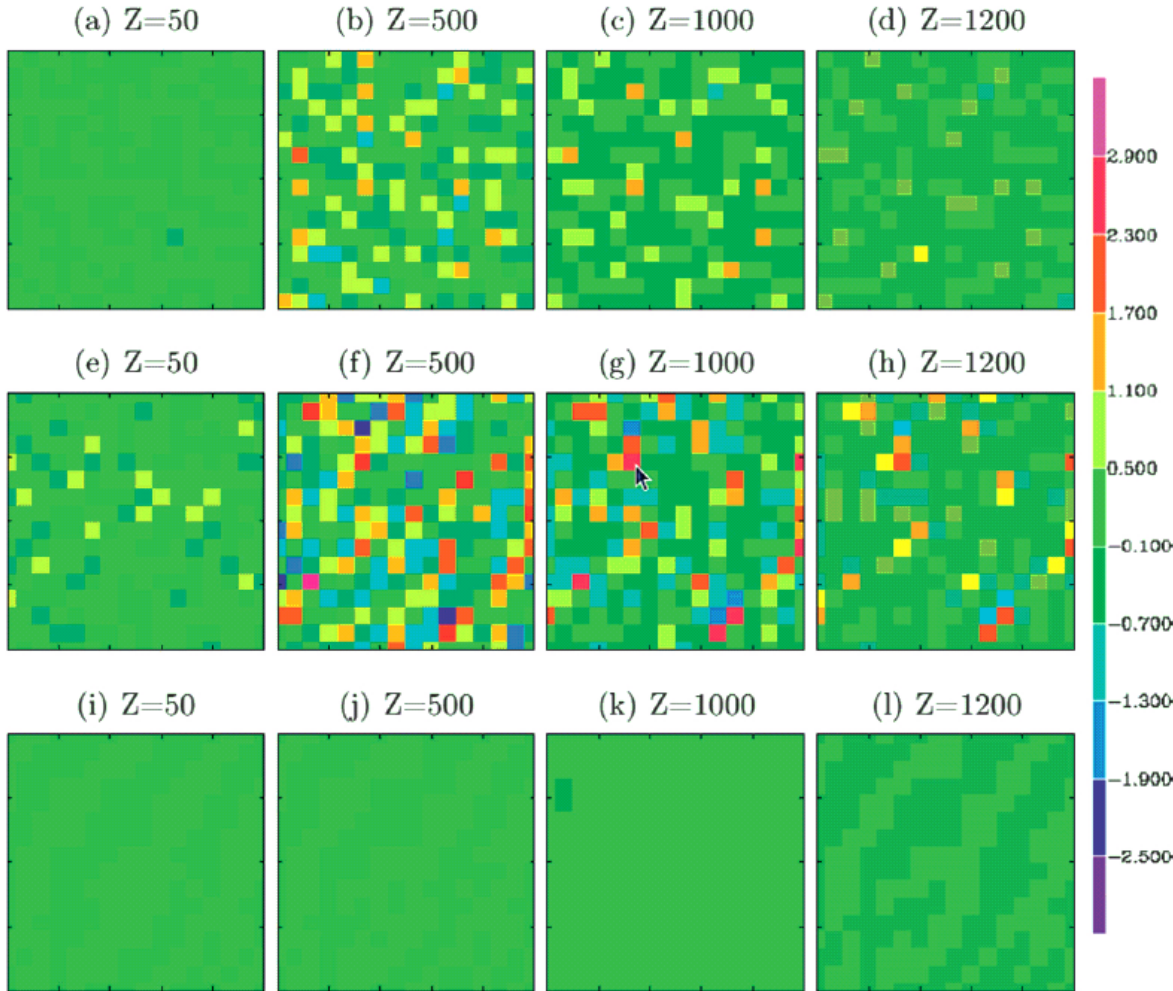
A modell dinamikája elkezd részlegesen kitermelni a sekély konvekció örvényeit → vagyis a **dinamika és a parametrizáció egyszerre kezeli ugyan azokat az örvényeket** → SZÜRKE ZÓNA



Szürke zóna probléma

Mi történik a szürke zónában?

Vertikális sebesség
különböző magasságokban
(MesoNH modell):



➤ LES felskálázva
 $dx = 62,5 \text{ m}$
(referencia)

➤ $dx = 1000 \text{ m}$
EDKF nélkül

➤ $dx = 1000 \text{ m}$
EDKF param.-val

FIG. 13. Horizontal cross sections of the vertical velocity at 50-, 500-, 1000-, and 1200-m altitude at 1000-m grid size for the IHOP case. (a)–(d) Successive means from the LES reference; (e)–(h) 1000-m grid size simulation with a 1D turbulence scheme and BL89 as mixing length without PMMC09; and (i)–(l) 1000-m grid size simulation with a 1D turbulence scheme and BL89 as mixing length with PMMC09.



A Mass Flux algoritmus

- g - grav. gyorsulás
- $\frac{g}{\theta_v}$ - virt. pot. hőmérséklet
- $\frac{w'\theta'_v}{\theta_v}$ - virt. pot. hőm felszíni fluxusa
- L_{BL89} - Bougeault-Lacarrère féle felfelé irányuló keveredési úthossz

INICIALIZÁCIÓ

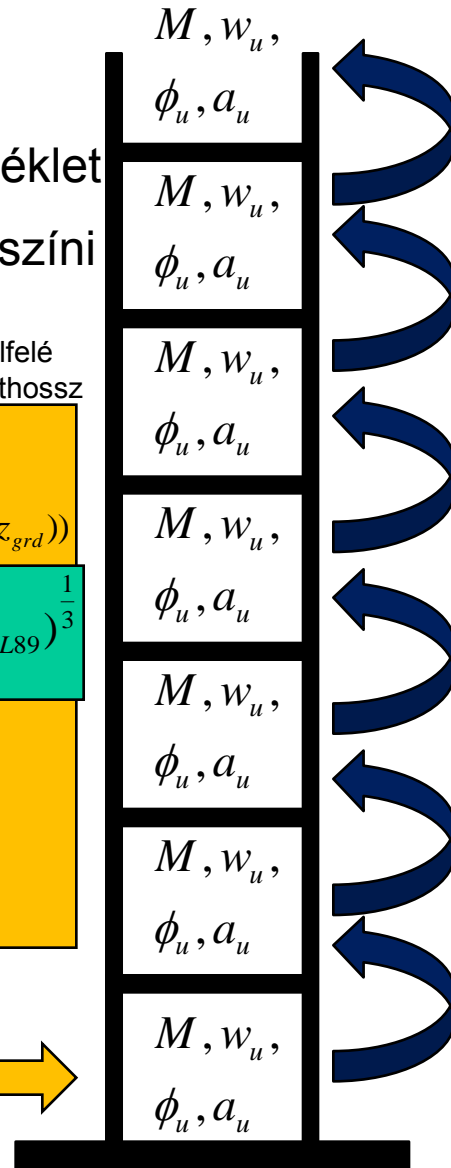
$$w_u^2(z_{grd}) = \max\left(0,0001 \frac{m^2}{s^2}; \frac{2}{3} TKE(z_{grd})\right)$$

$$M = XCMF * \left(\frac{g}{\theta_v} \overline{w'\theta'_v} L_{BL89}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$a_u(z_{grd}) = \min\left(\frac{M}{\sqrt{w_u^2}}; 0,33\right)$$

$$w_u^2(z_{grd}) = \left(\frac{M}{a_u}\right)^2$$

megj.: az eredeti egyenletekben a sűrűség is szerepel



$$\frac{1}{M} \frac{\partial M}{\partial z} = (\varepsilon - \delta)$$

$$\frac{\partial \phi_u}{\partial z} = -\varepsilon(\phi_u - \bar{\phi})$$

ε - bekeveredés

δ - kikeveredés

Felfelé integrálásnál:

1. Ellenőrzi, hogy elérte-e az LCL-t (lifting condensation level)
 - a) Nem - ε, δ Pergaud szerint számolja
 - b) Igen - ε, δ Kain és Fritsch szerint számolja
2. Kiszámolja: M, w_u, ϕ_u, a_u
3. Lezárja, ha $M \leq 0$ vagy $w_u^2 \leq 0$ (ill. ha a felhőmagasság 3000 m fölé ér, 4000 m-re mesterségesen lecsökkenti az M -et 0-ra)



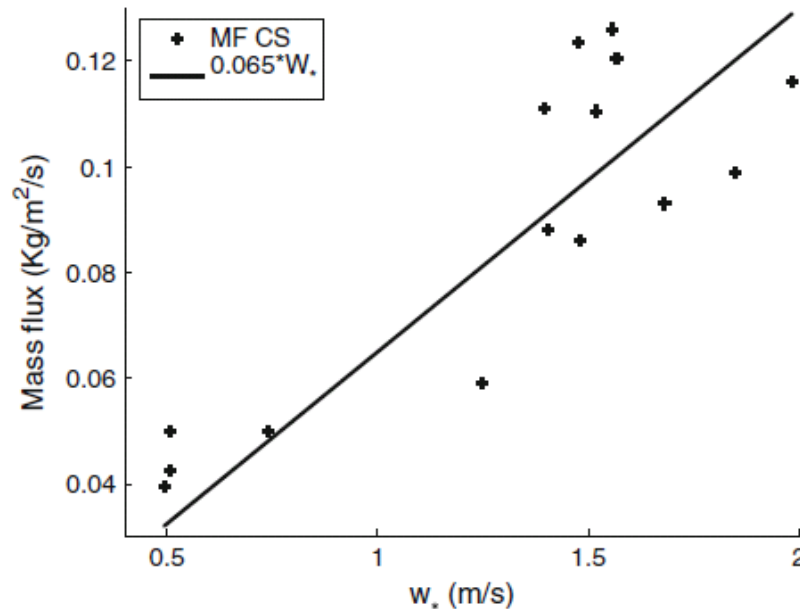
Módosítás

$$M = XCMF * \left(\frac{g}{\theta_v} \overline{w' \theta'_{v \text{ grd}}} L_{BL89} \right)^{\frac{1}{3}}$$

z_i – a keveredési réteg magassága

Vertikális sebesség skálája: $w_* = \left(\frac{g}{\theta_v} \overline{w' \theta'_{v \text{ grd}}} z_i \right)^{\frac{1}{3}}$, ha $\overline{w' \theta'_{v \text{ grd}}} \geq 0$

Mass Flux értékek a w_* függvényében,
LES adatok alapján (PERGAUD, 2009)



$$M = XCMF * w_*$$



$$XCMF = 0,065$$

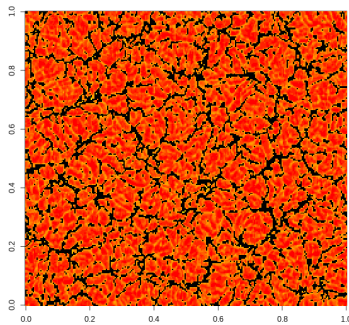
Jelenleg ez van az AROME-ban



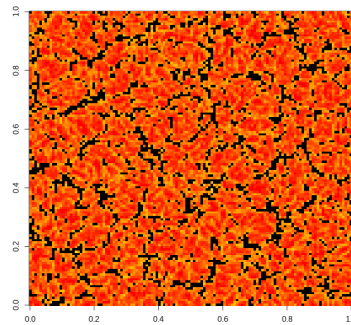
Módosítás

Felskálázott mezők alapján következtetni a felszínen inicializált Mass Flux értékek horizontális felbontásától való függésére (ötlet: Honnert et al. 2011).

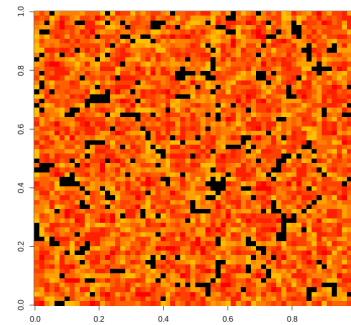
A nyomkövető koncentrációjának struktúrája a felszín feletti rétegben LES ($dx = 62,5$ m) szimuláció és a belőle képzett felskálázott mezők (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 méter) alapján + feketével jelölve a Mass Flux-szal rendelkező rácspontok (feltétel: $w > 0$; $w > w_{\text{átlag}}$; $c - c_{\text{átlag}} > c_{\text{szórás}}$, ahol c a nyomkövető koncentrációja)



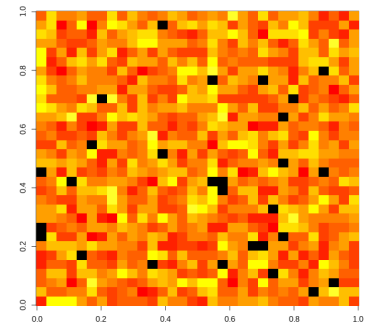
62,5 m



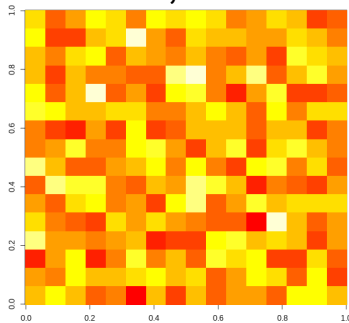
125 m



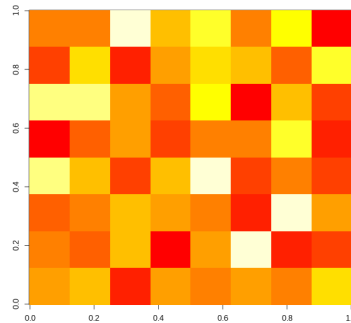
250 m



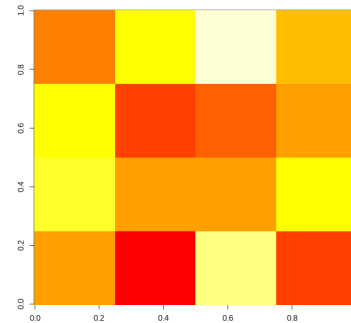
500 m



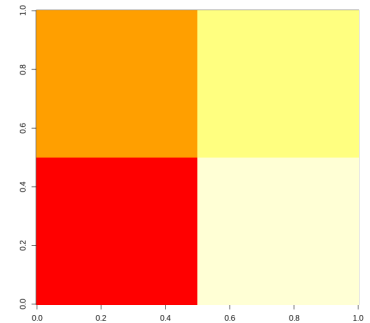
1000 m



2000 m



4000 m



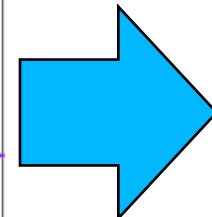
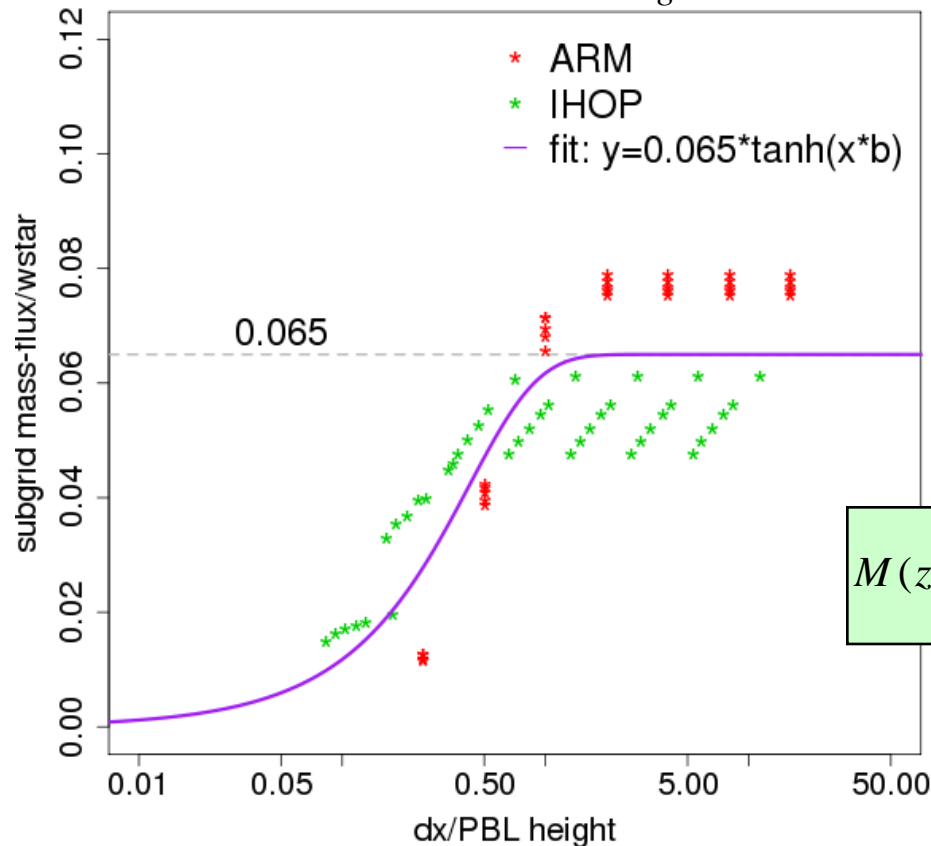
8000 m



Módosítás

Feltételezzük: $M_{resolved}(62.5m) = M_{total}$

$$M_{subgrid}(dx) = M_{total} - M_{resolved}(dx)$$



Illesztett függvény:

$$f(x) = 0.065 \cdot \tanh(x \cdot b)$$

(tanh() ötlete → Boutle et al. 2014)



Implementáltuk a kódba:

$$M(z_{grd}) = 0.065 * \tanh\left(\frac{\sqrt{dx * dy}}{h} * 1.86\right) * \left(\frac{g}{\theta_v} \overline{w' \theta'_{v_{grd}}} L_{BL89}\right)^{\frac{1}{3}}$$

A kódban:

Lehetséges beállítás: $h = \text{PBL height}$

$h = L_{BL89}$

$M_{subgrid}/w^*$ arány a felszínen a dx/PBL magasság függvényében



Tesztelés

A módosításunk tanulmányozására idealizált AROME futtatásokat használunk (ARM és IHOP eset, de itt csak az IHOP van bemutatva)
Vizsgált paraméterek:

TKE – turbulens kinetikus energia [m^2/s^2]

- subgrid TKE → a history-fájlokból
- resolved TKE → kiszámolva:

$$TKE_{res} = \frac{1}{2} [(u - \langle u \rangle)^2 + (v - \langle v \rangle)^2 + (w - \langle w \rangle)^2]$$

- teljes TKE = subgrid TKE + resolved TKE

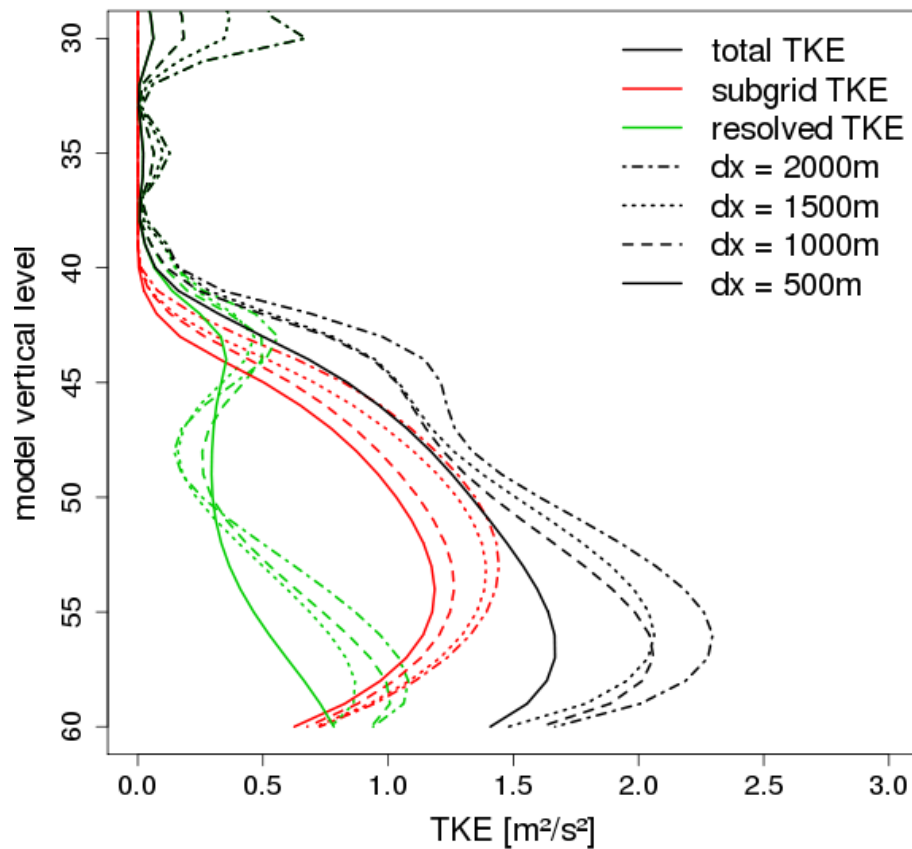
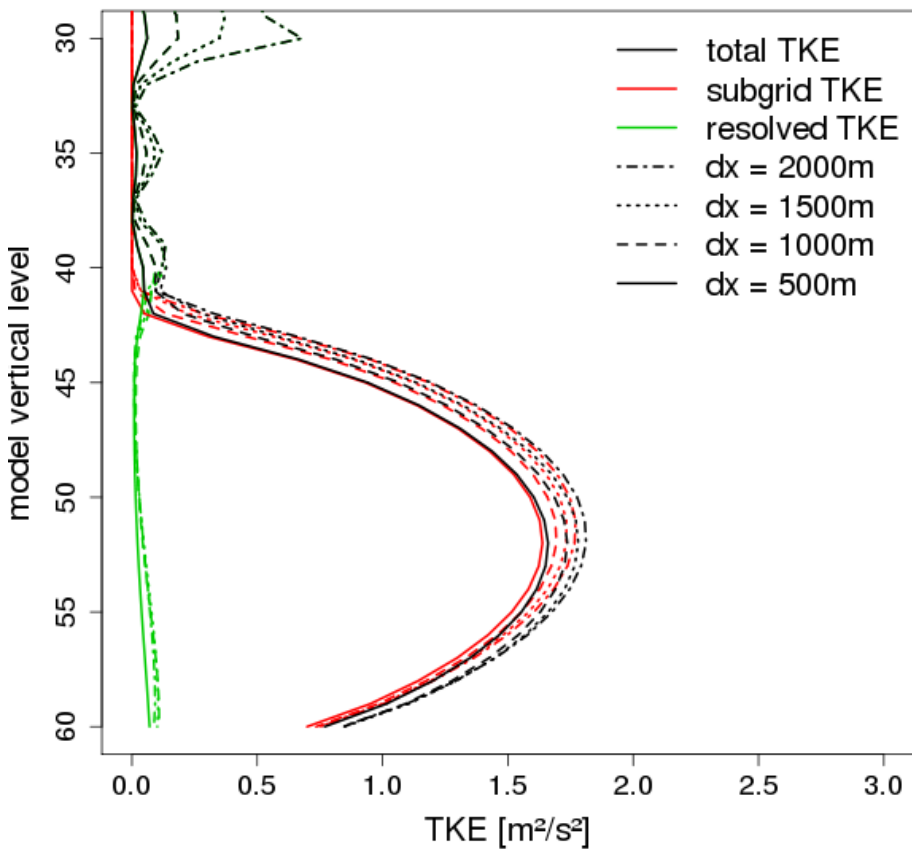
WTHV – virtuális potenciális hőmérséklet vertikális turbulens subgrid fluxusa [Km/s] (subgrid buoyancy flux) → a history-fájlokból

(modell-szint magasságok: level 60 → ~ 10 m
level 45 → ~ 1116 m
level 30 → ~ 4004 m)

Referencia idealizált AROME simulációk:

EDKF-fel

EDKF nélkül



Az átlagos teljes, subgrid és resolved TKE [m²/s²]

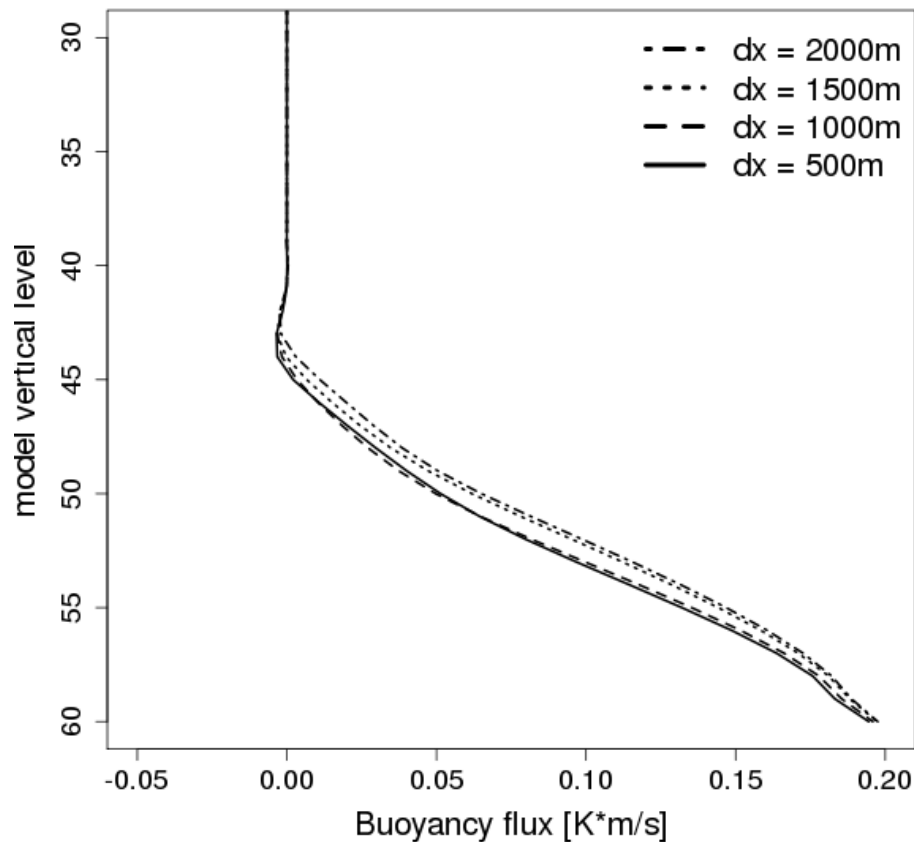
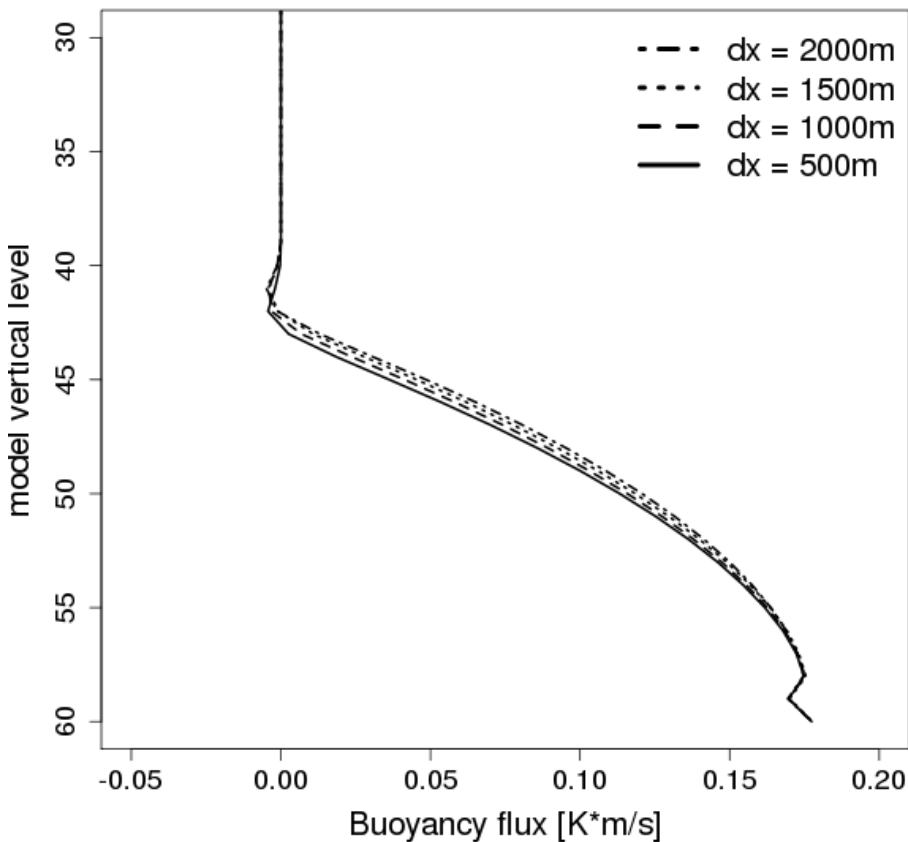


Tesztelés

Referencia idealizált AROME simulacók:

EDKF-fel

EDKF nélkül



Az átlagos virt. pot. hőm. vert. turb. subgrid fluxusa [Km/s]

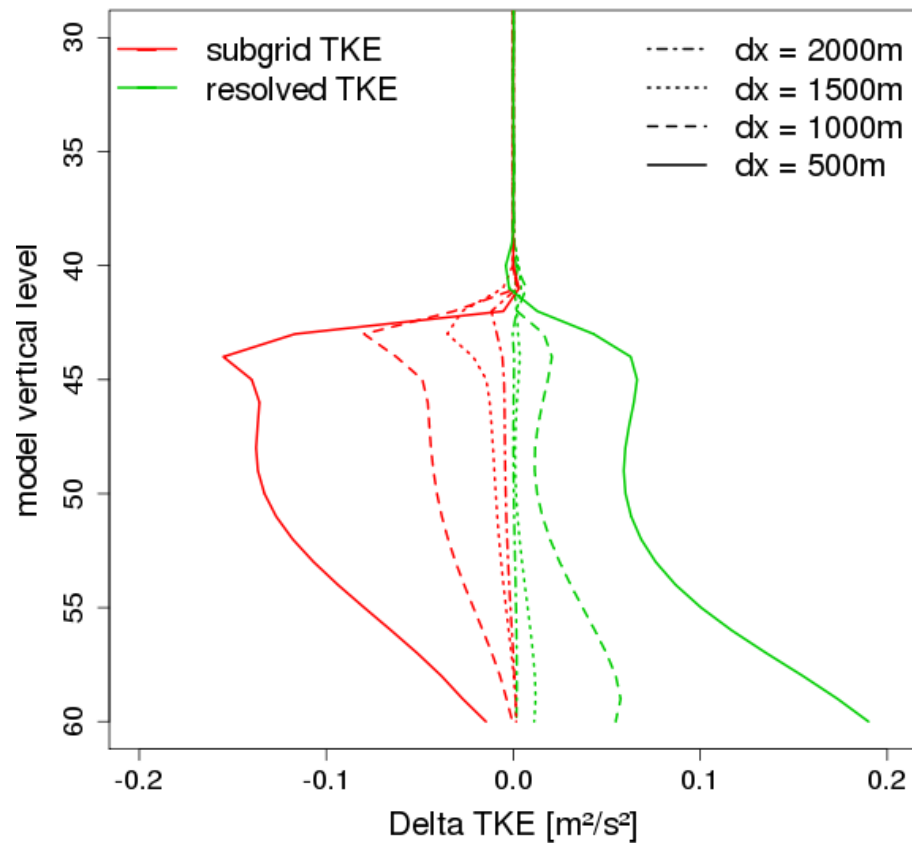
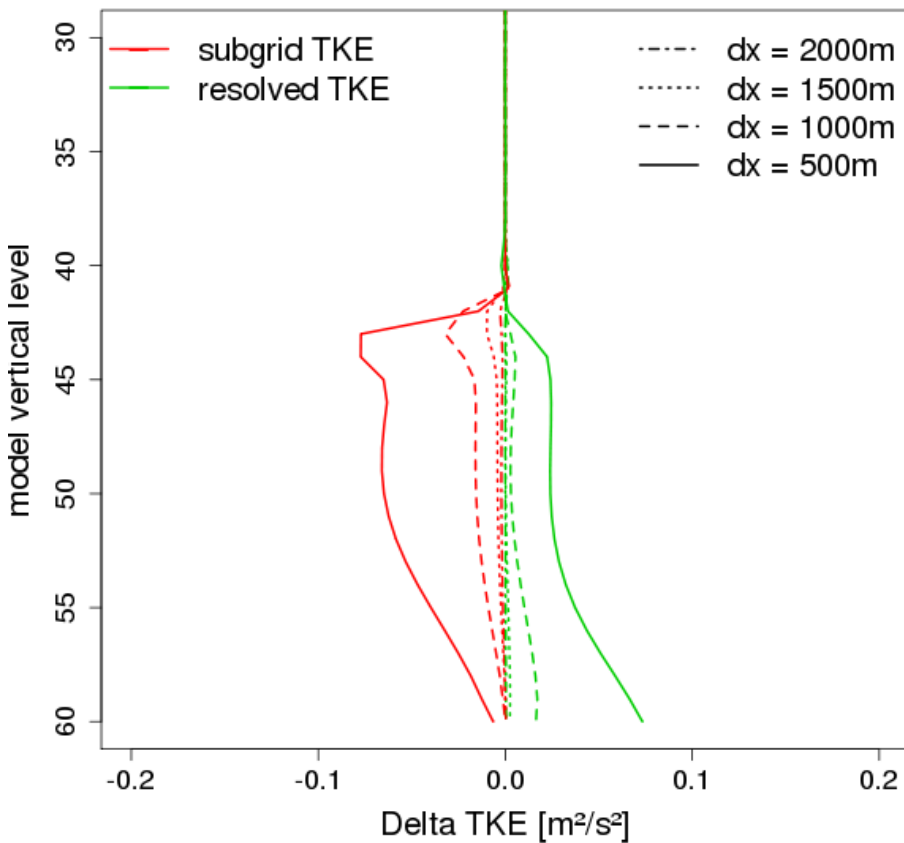


Tesztelés

Eltérések a referenciától:

$h = \text{PBL magasság}$

$h = L_{\text{BL89}}$

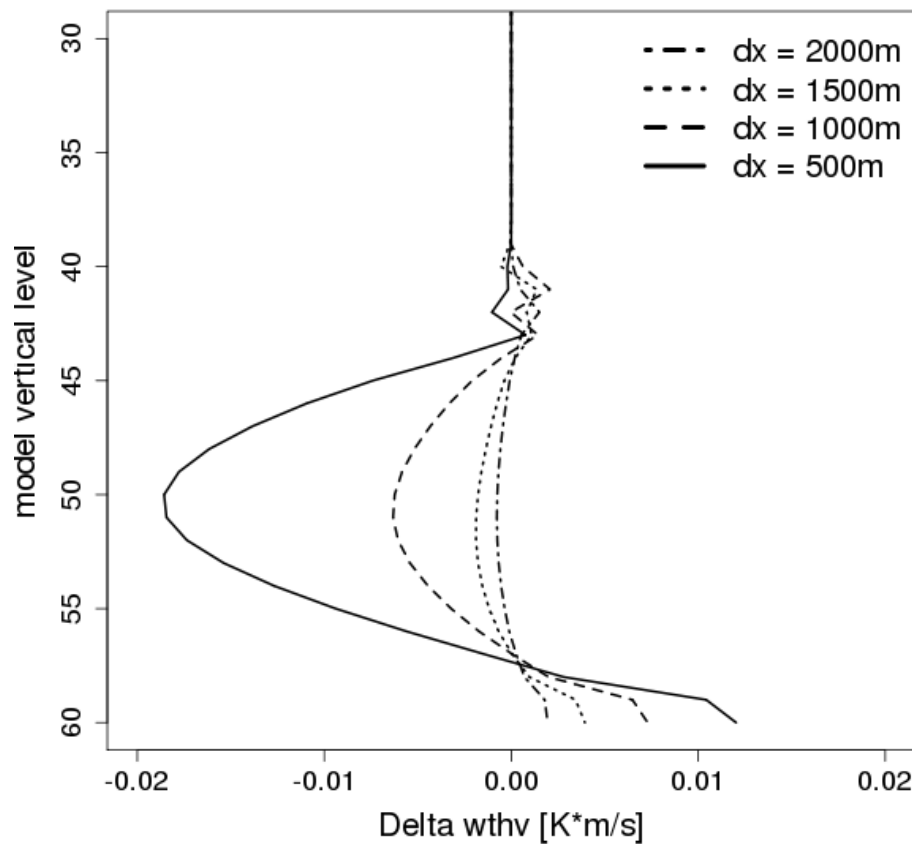
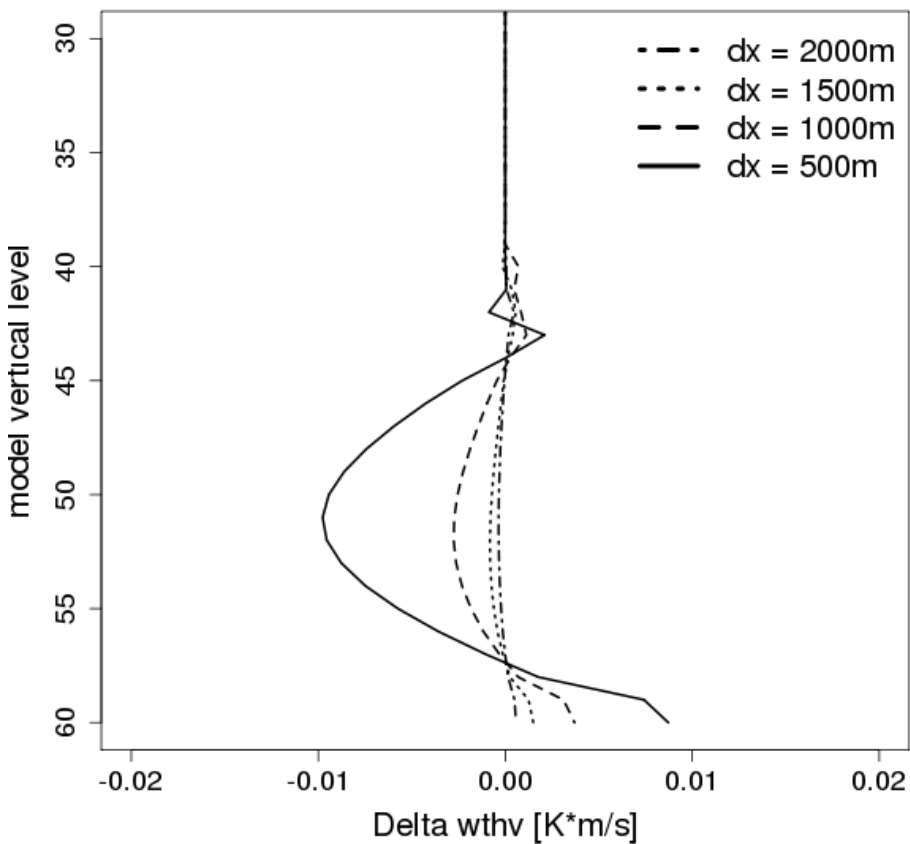


Delta átlagos subgrid és resolved TKE [m^2/s^2]

Eltérések a referenciától:

$h = \text{PBL magasság}$

$h = L_{\text{BL89}}$



Delta átlagos buoyancy flux [Km/s]

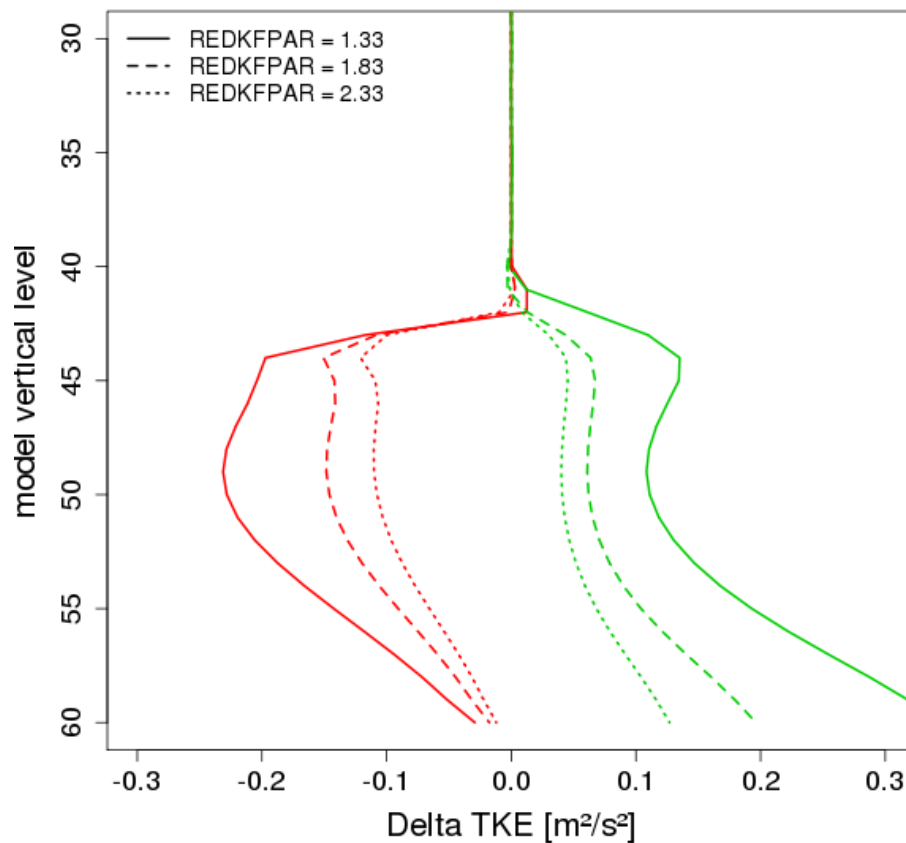
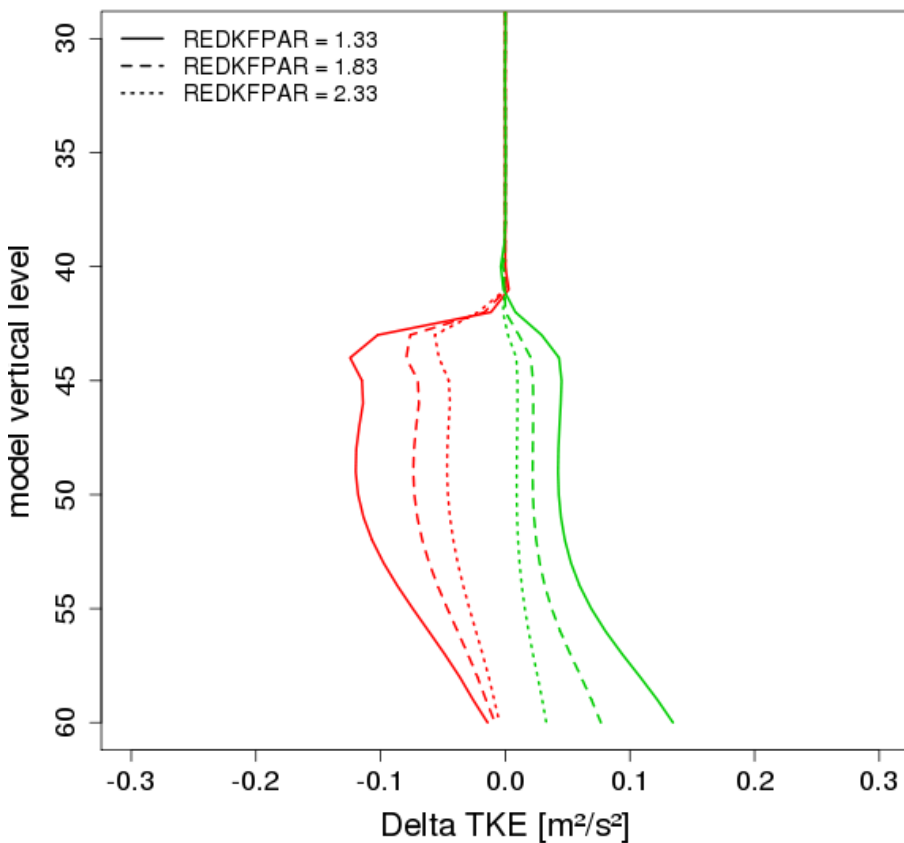


Tesztelés

Eltérések a referenciától – a REDKFPAR paraméter hatása
 $dx = 500m$ esetén:

$h = \text{PBL magasság}$

$h = L_{BL89}$



Delta átlagos subgrid (piros) és resolved (zöld) TKE [m^2/s^2]



Validáció

- A validációhoz egy nyári 15 napos időszakot használtunk: 2015. június 1. – 15.
- A sekély konvekció szürke zónájához az operatívnál magasabb felbontást kellett használni
- 2,5 km-es helyett 1 km-es felbontáson egy referencia futtatást végeztünk el
- Ezzel hasonlítottuk össze a módosított modellt
- Kétféle beállítást teszteltünk:
 - $h = \text{PBL magasság}$ (zöld)
 - $h = L_{\text{BL89}}$ (sárga)
- Sajnos az 1 km-en futtatott próbafuttatás eredményei egyelőre gyengébbek mint az operatívak

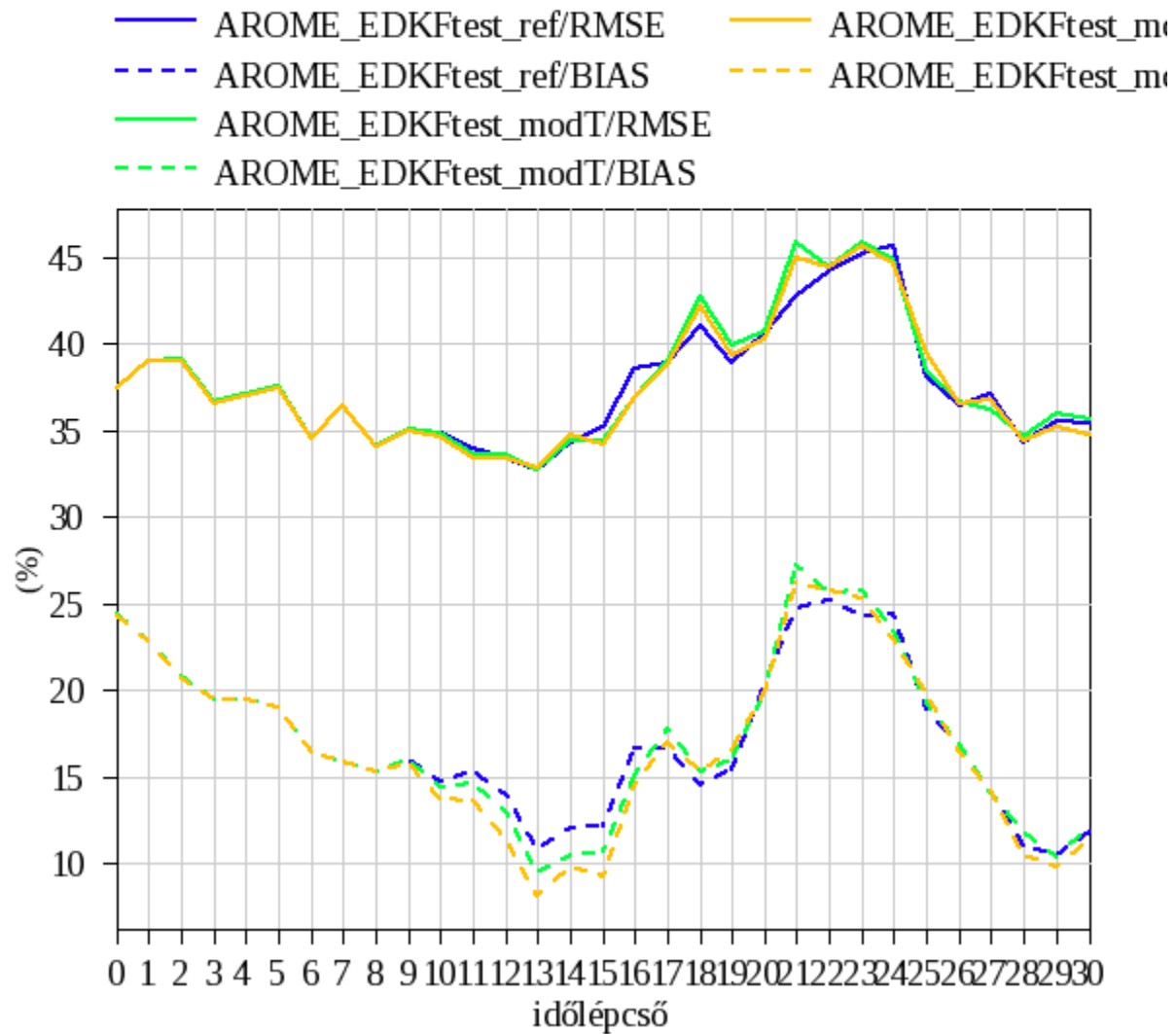


Időszak: 2015-06-01 - 2015-06-15

Terület: AROME_max400

Változó: N

Futtatás: 00



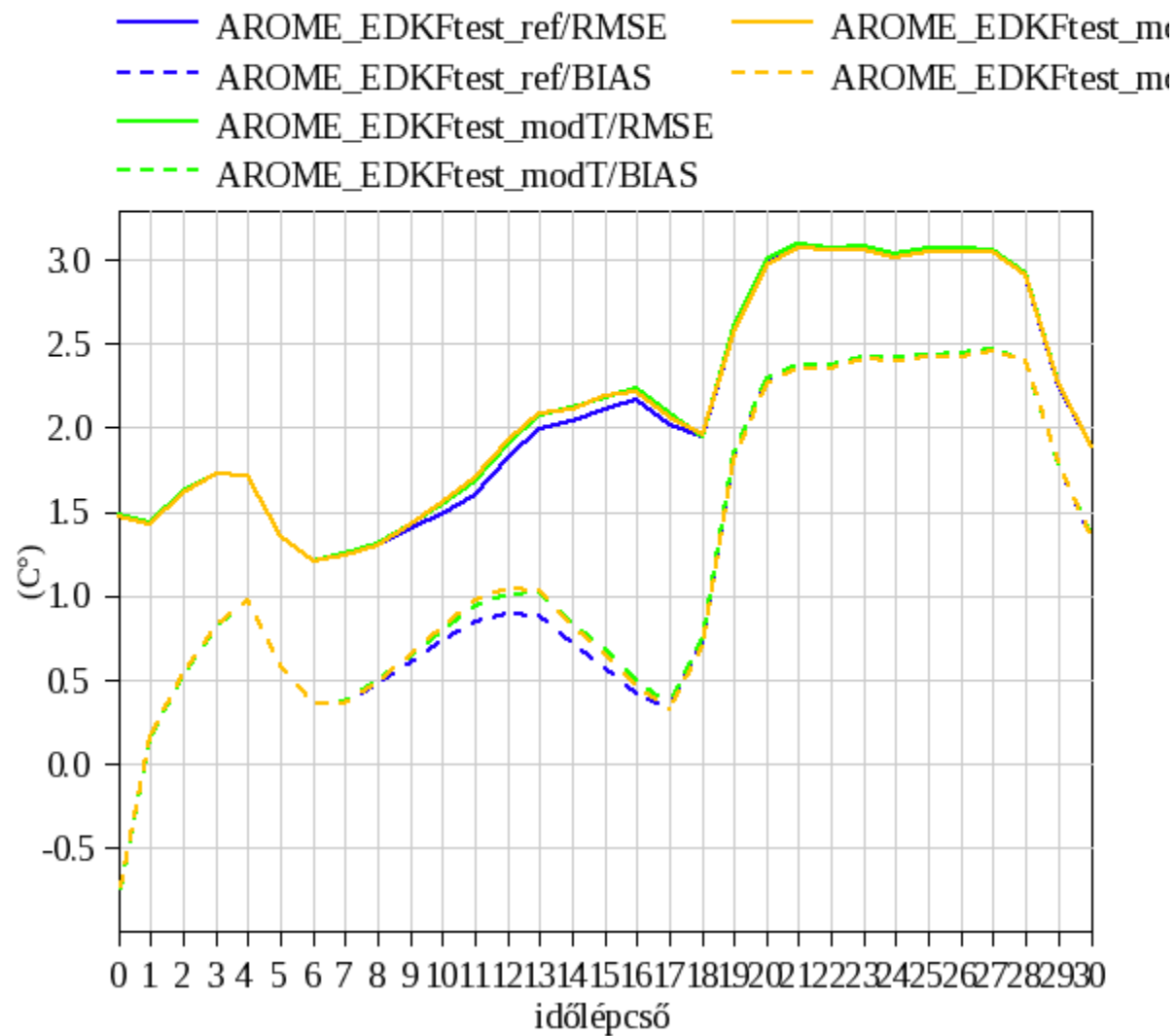


Időszak: 2015-06-01 - 2015-06-15

Terület: AROME_max400

Változó: T2m

Futtatás: 00





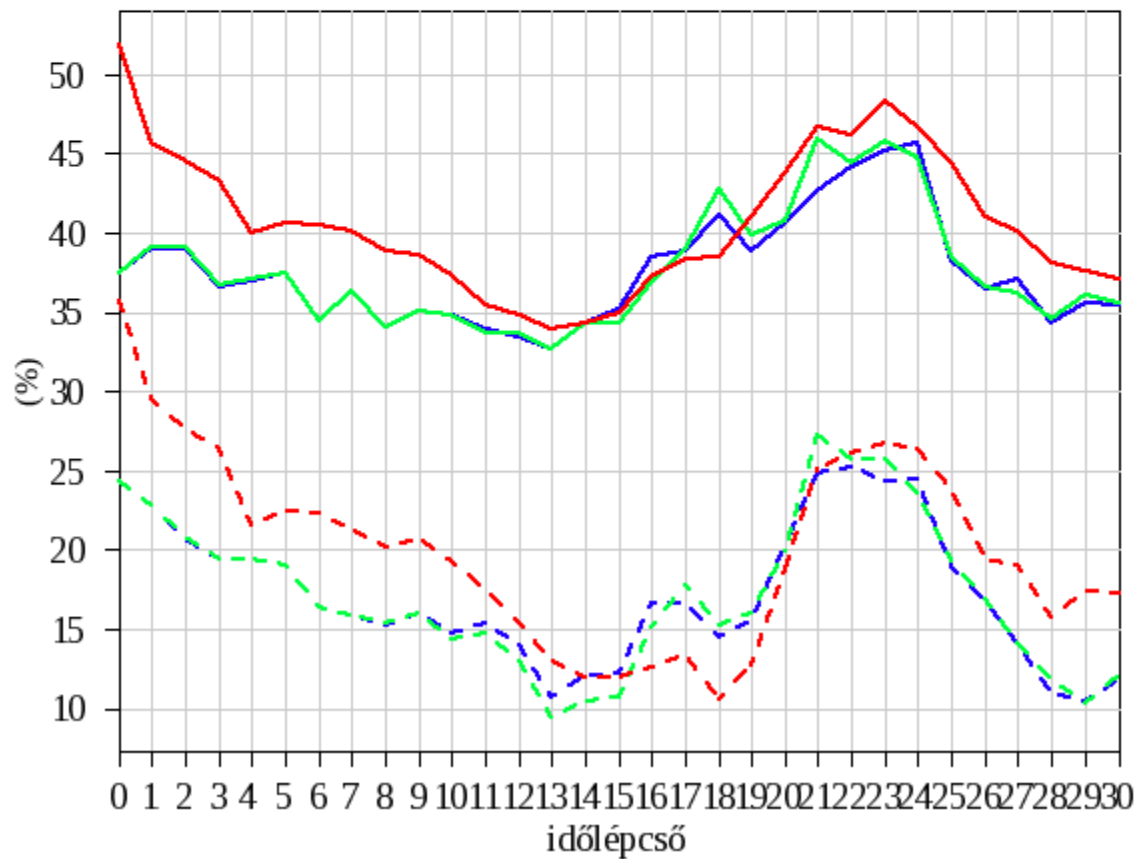
Időszak: 2015-06-01 - 2015-06-15

Terület: AROME_max400

Változó: N

Futtatás: 00

- AROME_EDKFtest_ref/RMSE
- AROME_OPER/RMS
- - - AROME_EDKFtest_ref/BIAS
- - - AROME_OPER/BIAS
- AROME_EDKFtest_modT/RMSE
- - - AROME_EDKFtest_modT/BIAS



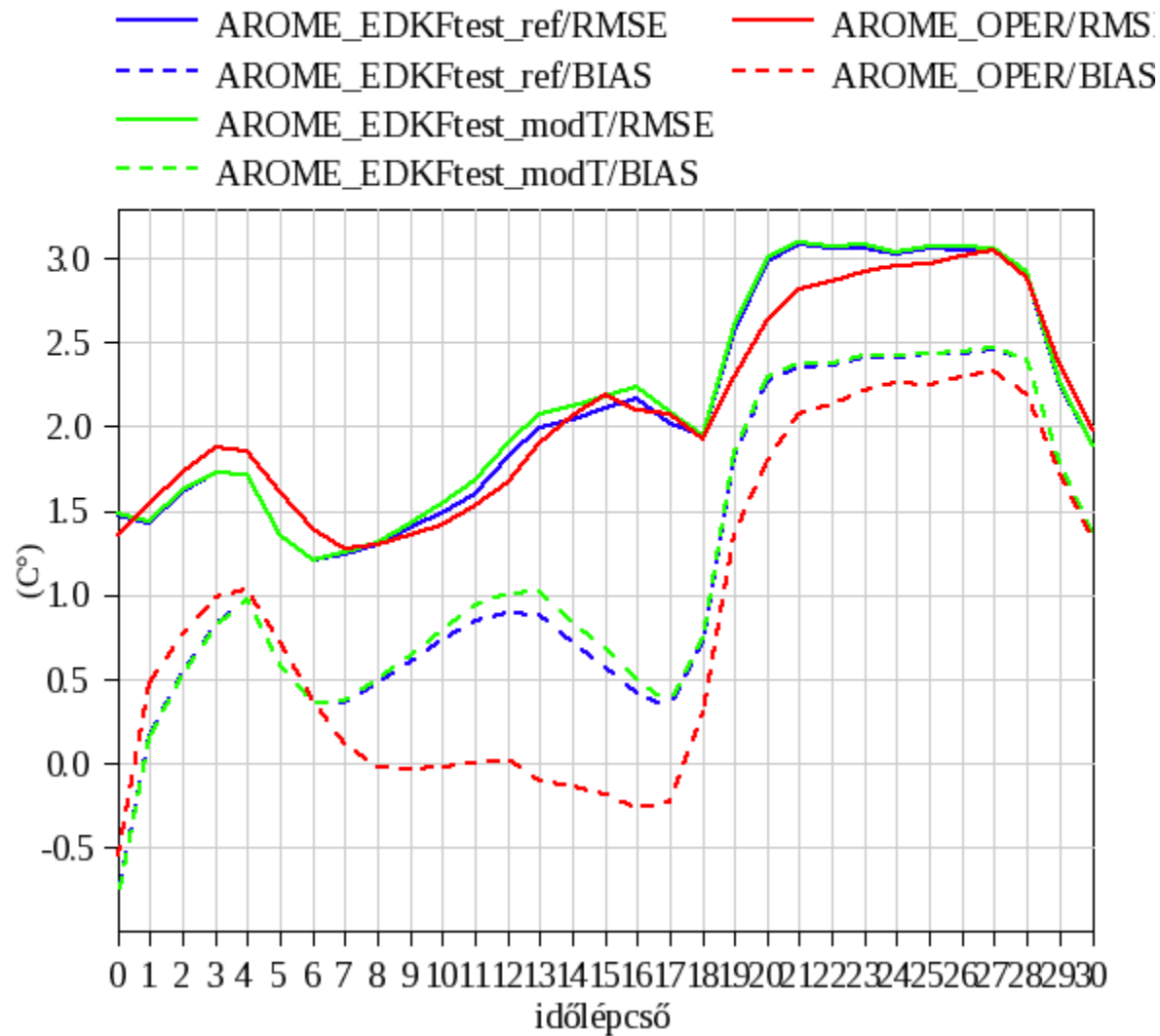


Időszak: 2015-06-01 - 2015-06-15

Terület: AROME_max400

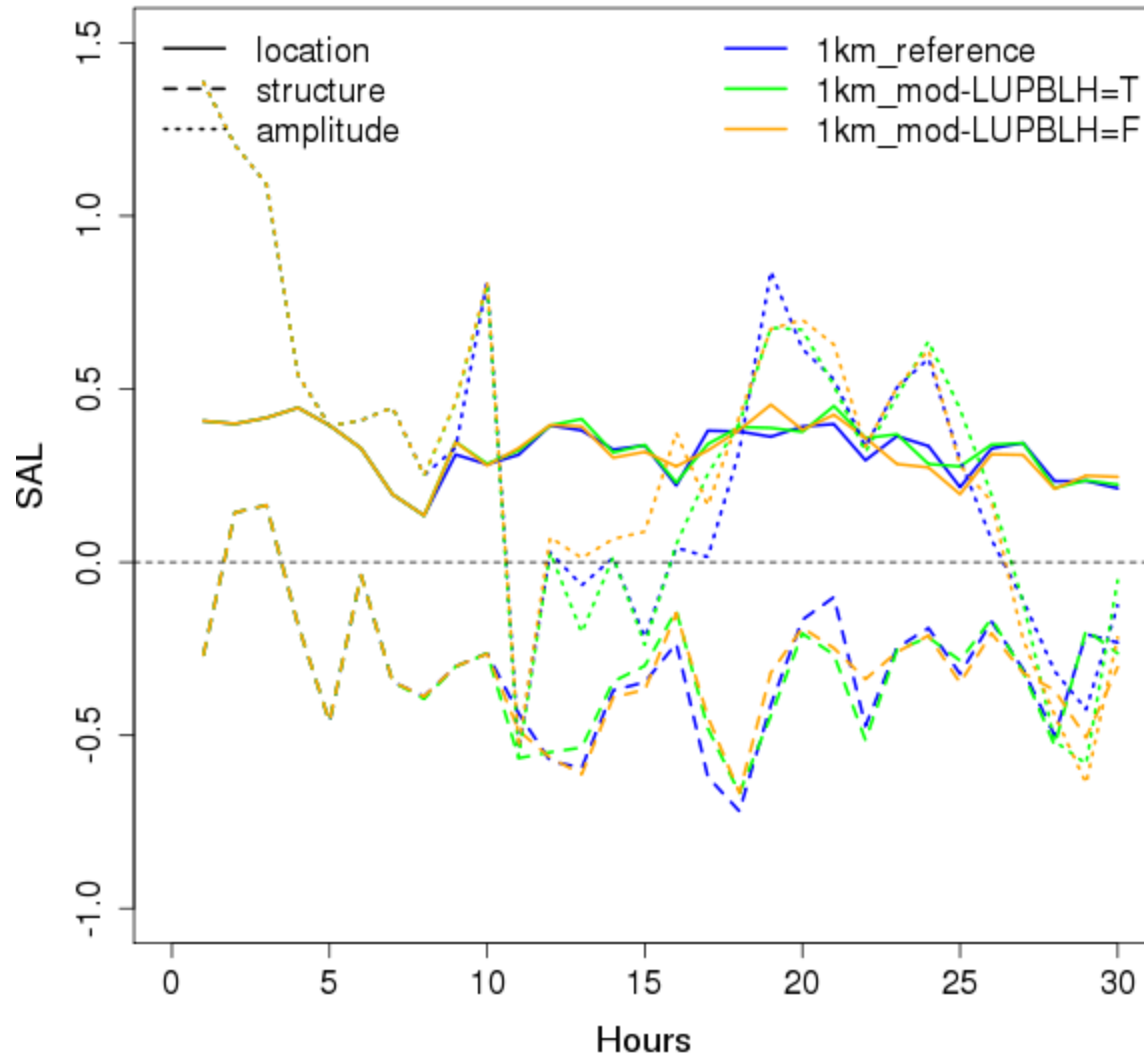
Változó: T2m

Futtatás: 00





SAL verifikáció





További teendők

- További tesztek – 500 m-es felbontáson
- Tuning elvégzése
- Publikáció

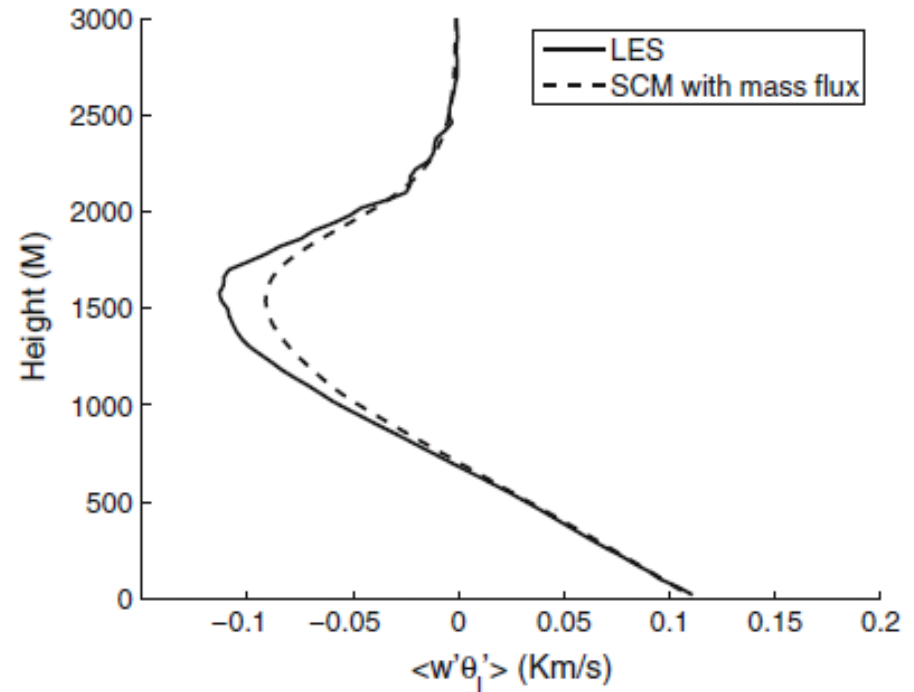
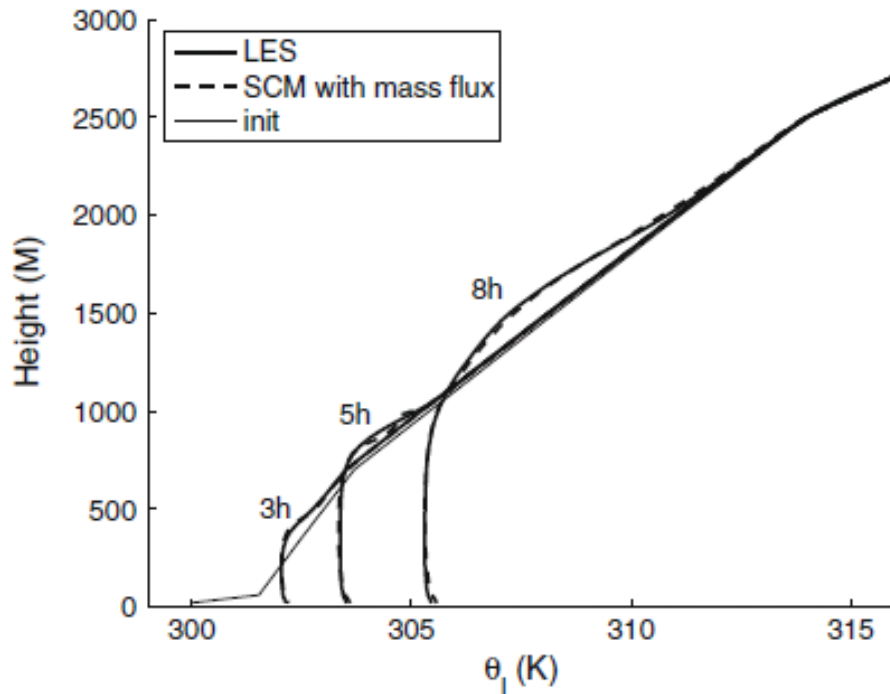
Köszönöm a figyelmet!



Alapítva: 1870

A nedves potenciális hőmérséklet vertikális profiljának alakulása a PHR-ben egy LES szerint

A vertikális hőfluxus profilja egy LES szerint





Pótdia

$$w_u \frac{\partial w_u}{\partial z} = B_u - \varepsilon w_u^2 - P$$

$$\varepsilon_{dry} = \max \left[0; C_\varepsilon \frac{B_u}{w_u^2} \right]$$

$$\frac{\partial u_u}{\partial z} = -\varepsilon(u_u - u) + C_u \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$$

$$\delta_{dry} = \max \left[\frac{1}{L_{up} - z}; C_\delta \frac{B_u}{w_u^2} \right]$$

$$\frac{\partial v_u}{\partial z} = -\varepsilon(v_u - v) + C_v \frac{\partial \bar{v}}{\partial z}$$

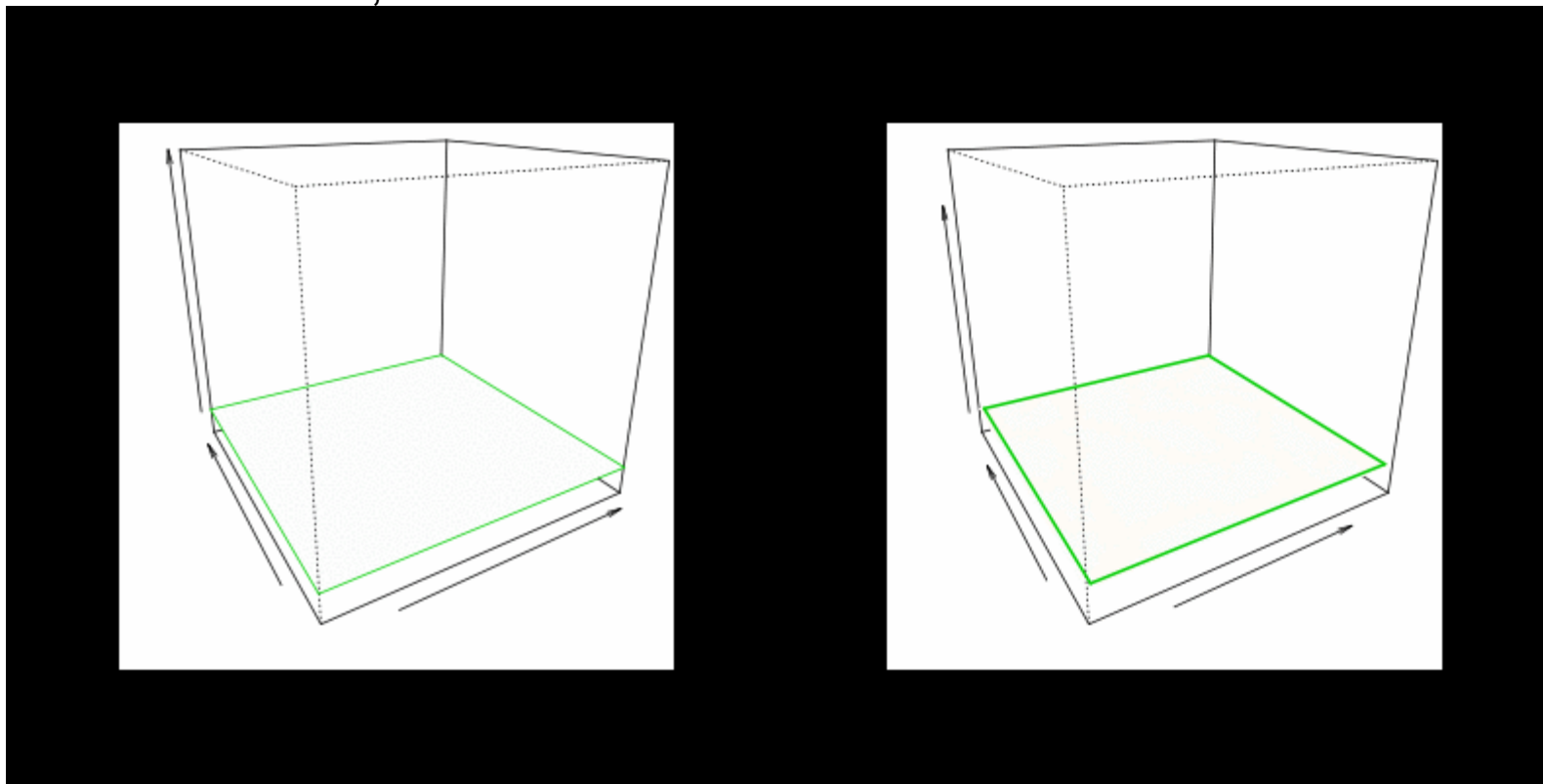
$$CF = C_{cf} a_u$$

$$\bar{r}_c = r_{up} CF$$

$$TKE_{resolved} = \frac{1}{2} \langle (u_i - \langle u_i \rangle)^2 + (v_i - \langle v_i \rangle)^2 + (w_i - \langle w_i \rangle)^2 \rangle$$

Large-eddy simulation (LES) – MesoNH
62,5 m

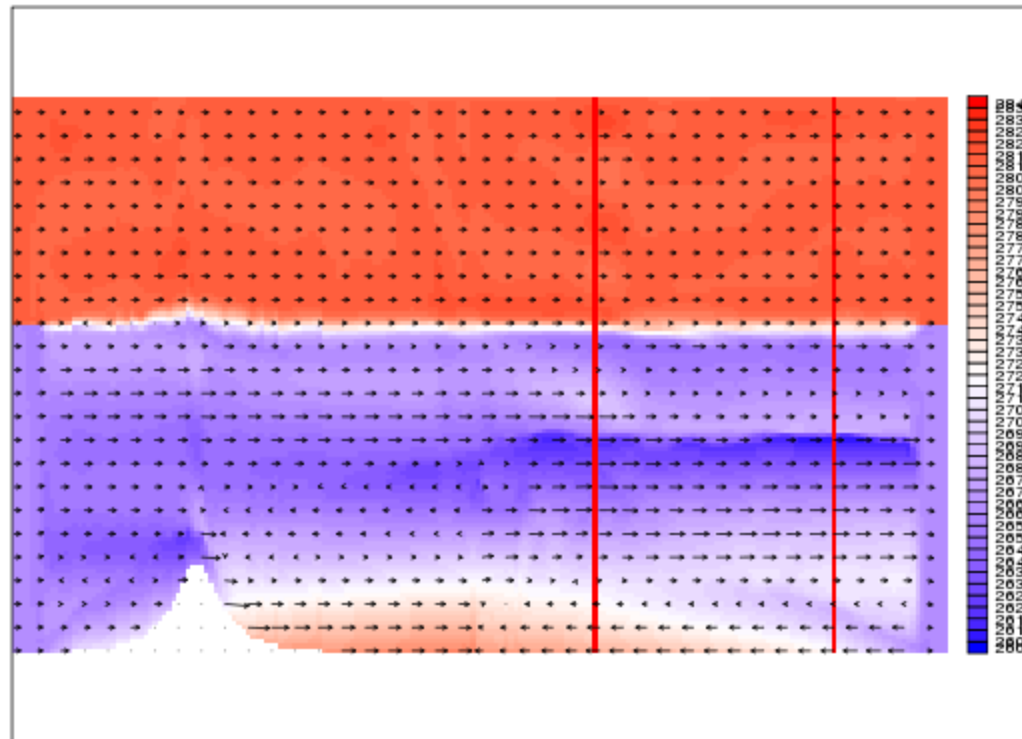
AROME (EDKF nélkül)
500 m



A vertikális sebesség szerkezete a planetáris határrétegben

- Egy LACE projekt keretében a vertikális sebesség vertikális diffúziójának hatását vizsgáltuk az ALADIN-NH modellben
- Ehhez a fizikai parametrizációból származtatott vertikális sebesség turbulens fluxusából tendenciát számoltunk és a dinamikába vezettünk
- Vertikális 2D és valós eseteken teszteltük
- A hatása gyenge, de erősen turbulens rácspontokban jelentékeny is lehet ($w: \sim 1-2$ m/s, $T: \sim 1$ K)
- Terv: implementáljuk és teszteljük az AROME-ban is

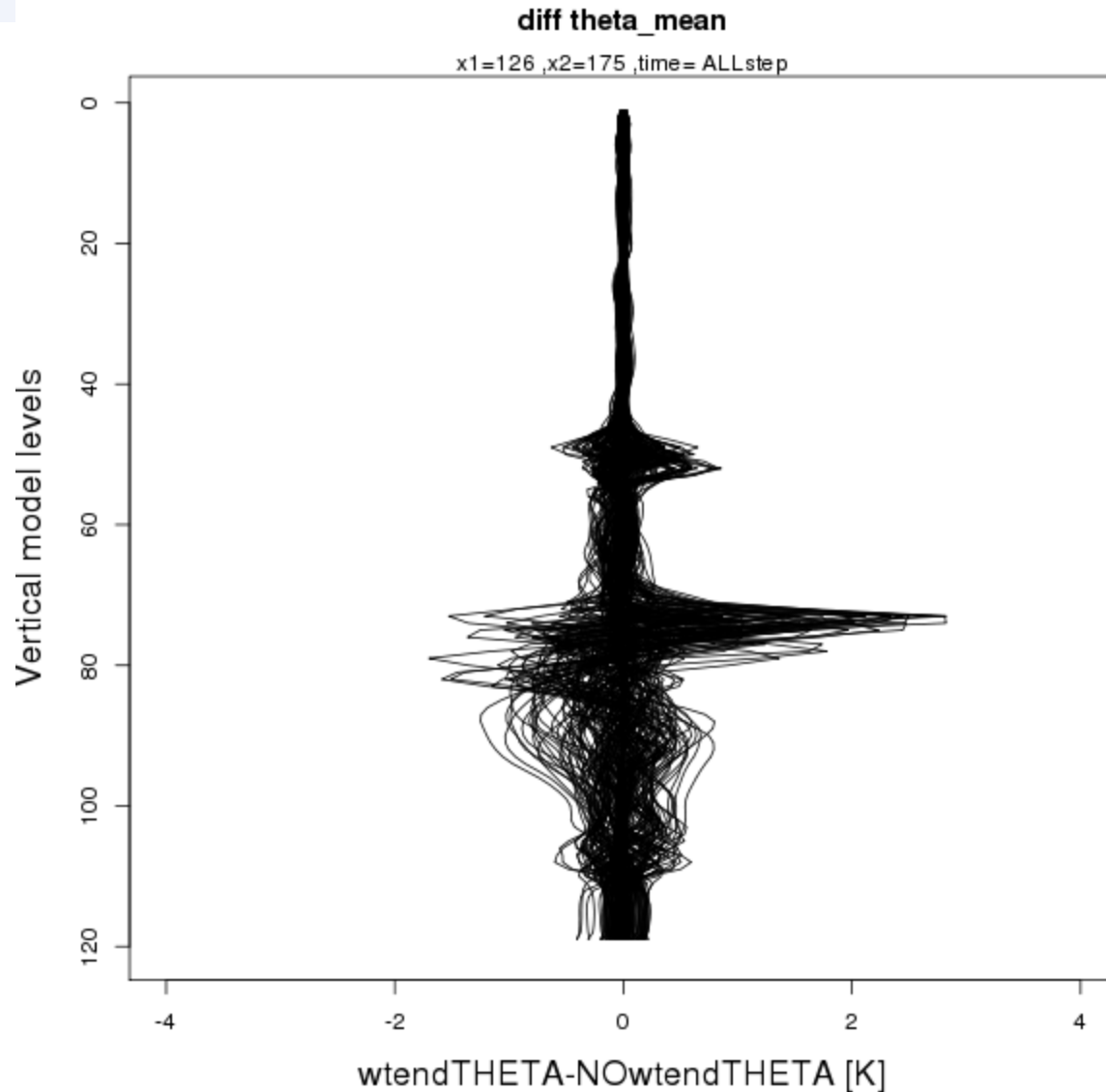
Time step: 9000



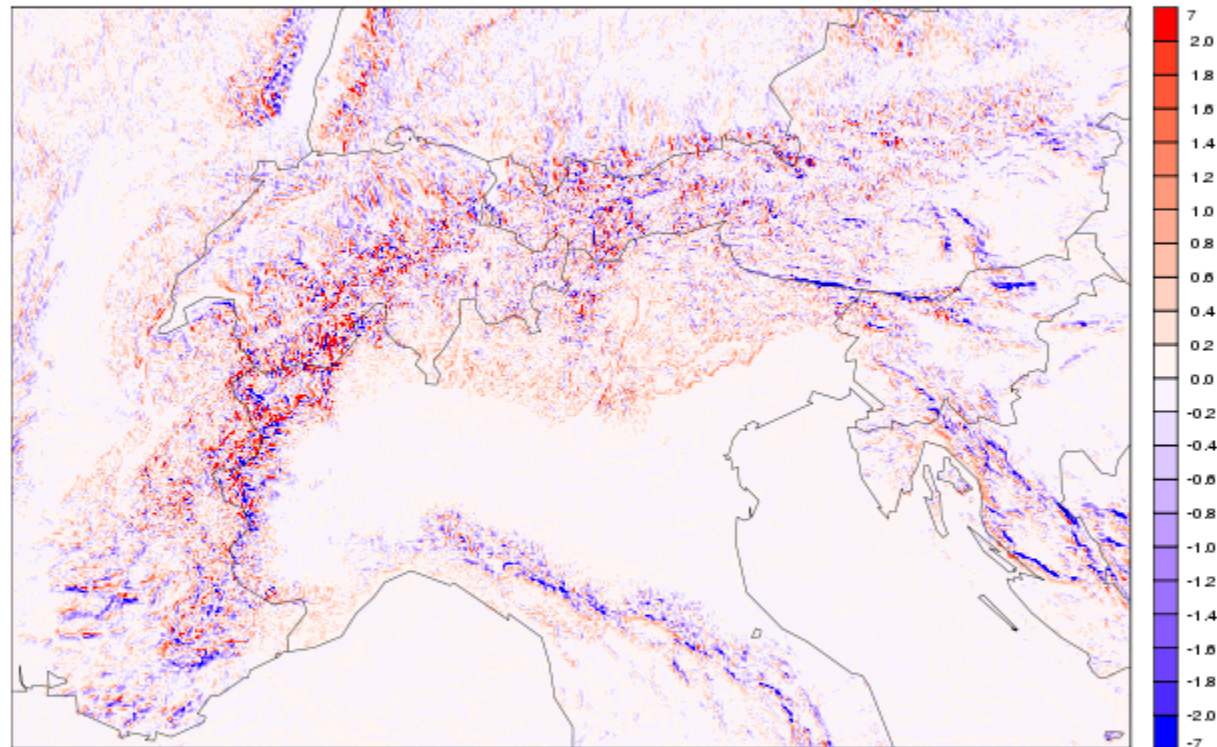
The arrangement of the vertical 2D experiments - the temperature field [K] with the wind arrows.



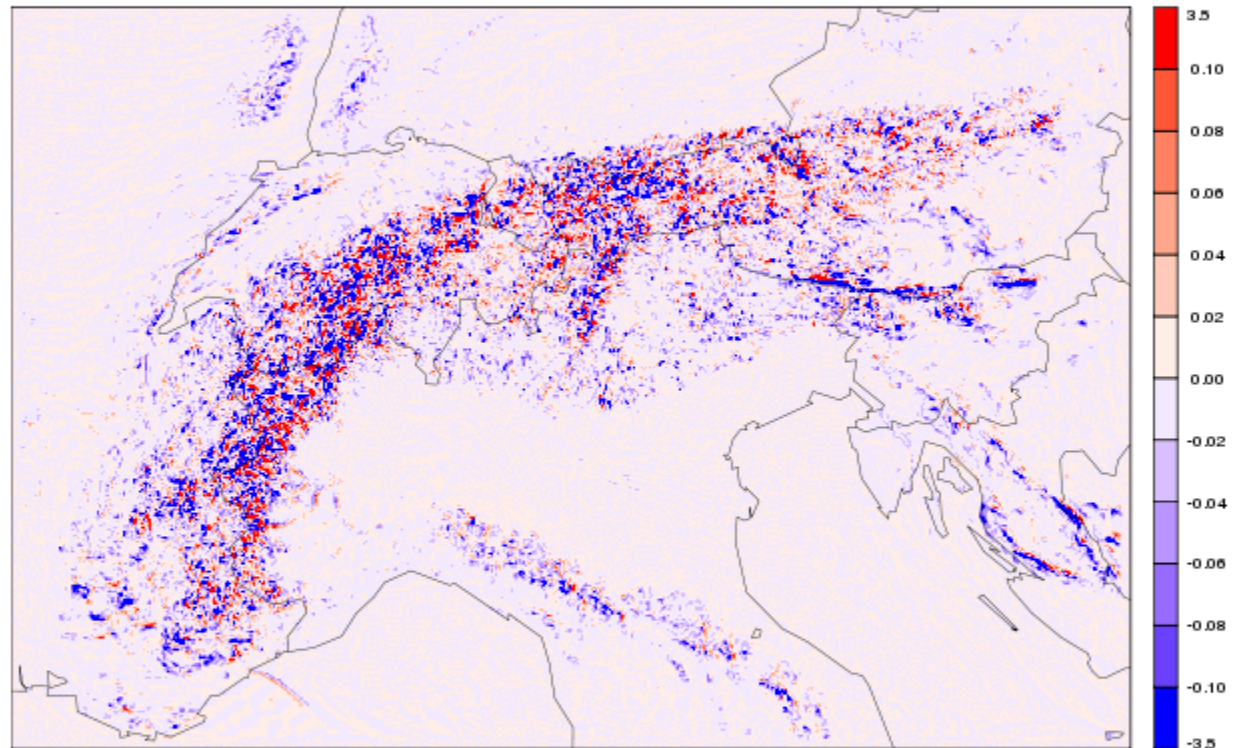
Pótdia



Differences of the mean profiles of the potential temperature between the experiments with and without the modification (modified - reference) during the simulation.



The vertical velocity field [m/s] without the modification.



Differences (modified - reference) in the vertical velocity fields [m/s]