

DINAMIČNA ANALIZA DOGAJANJ OB MEJI RAZLIČNIH ZRAČNIH MAS

DYNAMIC ANALYSIS OF PROCESSES AT THE INTERFACE OF TWO DIFFERENT AIR-MASSSES

Mark ŽAGAR¹

(mentor Jože RAKOVEC²)

prispelo 27. decembra 1999

sprejeto v končni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Celovito preučevanje zgradbe hladne fronte in njenega napredovanja v pogojih različne atmosferske stabilnosti ter trenja s tlemi in razporeditve hrapavosti podlage ni možno drugače, kot s pomočjo računskega modela. Dogajanje ob fronti, poenostavljeno prikazani kot diskontinuiteti, je opisano analitično le v prosti atmosferi, kjer so ugotovljene in pojasnjene tudi pomanjkljivosti takega opisa. Raziskavo vplivov različne podlage na sinoptična dogajanja opravimo v več delih, analitično in numerično. Končna ugotovitev je, da učinki razlik v hrapavosti podlage določajo tok le v povsem spodnji, največ nekaj sto metrov debeli plasti.

SUMMARY

Dynamical structure and propagation of a cold front in different atmospheric stability conditions: surface drag or roughness, are being examined through numerical simulation (using FITNAH-RKM). Analytically only the free atmosphere processes are being studied; some imperfections of such analytical approach are shown. The effects, associated with different roughness only determine, according to the results of numerical experiments, the flux characteristics in some lower hundred meters of the atmosphere.

¹ Mark Žagar, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, mark.zagar@rzs-hm.si

² Jože Rakovec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, joze.rakovec@uni-lj.si

1 FRONTE

Prikazana je izpeljava enačbe za naklon frontalne ploskve oziroma meje med dvema zračnima masama z različnimi dinamični in termodinamičnimi lastnostmi:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f}{g} \cdot \frac{v_{gH} - \frac{\Theta_H}{\Theta_T} v_g T}{\frac{\Theta_H}{\Theta_T} - 1}$$

Prikazana je tudi povezava med vertikalnimi gibanji na obeh straneh diskontinuitete, ugotovitev pa je razmeroma zanimiva:

$$w_r|_m = w_H|_m$$

To je seveda posledica dejstva, da zadevo gledamo v geostrofskem približku, ob dejanskih frontah pa kot vzroki raznih pojavov prevladujejo ageostrofski dejavniki.

2 VPLIV TAL NA TOK ZRAKA

Na kratko je ponovljena teorija opisa zračnega toka v planetarni mejni plasti in v prizemni plasti. Na virtualni meji je potrebno oba opisa sklopiti, kar je v diplomski nalogi narejeno z nekaj variantami: preko sklapljanja strižne napetosti, koeficienta turbulentne difuzivnosti ali odvoda $\partial u / \partial z$. Za najbolj primerno se je izkazala varianta z uporabo slednjega. Če torej na višini h izenačimo hitrost vetra po Ekmanovi špirali oziroma po logaritmskem zakonu:

$$\frac{u_*}{k} \ln \frac{h}{z_0} = u_k \sqrt{1 + e^{-ah} (e^{-ah} - 2 \cos ah)}$$

in oba vertikalna odvoda:

$$\frac{u_*}{kh} = au_g e^{-ah} \frac{\cos ah + \sin ah - e^{-ah}}{\sqrt{1 + e^{-ah} (e^{-ah} - 2 \cos ah)}}$$

z iterativnim reševanjem sistema dveh enačb dobimo neznanke, torno hitrost u_* in višino prizemne plasti h .

Vertikalni potek horizontalnega vetra, dobljen na omenjen način, je primerjan z rezultatom numeričnega modela FITNAH-RKM, ujemanje pa je zelo dobro.

3 STRIŽENJE VETRA NA MEJI RAZLIČNO HRAPAVE PODLAGE

Če veter piha preko ali vzdolž meje dveh različno hrapavih podlag, se zaradi konvergence oziroma divergence zraka pri tleh v spodnji plasti atmosfere pojavijo vertikalne hitrosti:

$$w(d) = -\frac{1}{k\Delta y} \int_{z_0}^d \left(u_{*2} \ln \frac{z}{z_{02}} \sin \psi_2 - u_{*1} \ln \frac{z}{z_{01}} \sin \psi_1 \right) dz,$$

kjer je Δy širina področja konvergence ali divergence (ker je ne poznamo, jo v primerjavi z modelom nadomestimo z mrežno razdaljo), ψ pa odklon vetra v prizemni plasti, ki ga, tako kot torno hitrost, dobimo po malo prej omenjeni poti.

4 HLADNA FRONTA V PLANETARNI MEJNI PLASTI

Frontalna cona se zaradi interakcije s podlago deformira. Dinamične vzroke za deformacijo, se pravi zaradi spreminjanja vetra v planetarni mejni plasti, smo razdelali v prejšnjih poglavjih. Potek naklona frontalne cone z višino je torej:

$$\tan \alpha(z) = \frac{f \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \sin \psi - \frac{u_*^2}{z}}{g \left(\frac{\Theta_H}{\Theta_T} - 1 \right)}$$

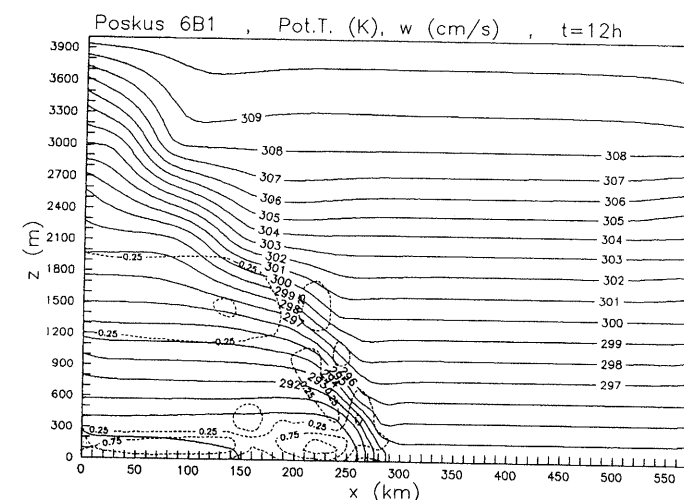
Če se zazremo v zgornjo enačbo ugotovimo, da se naklon manjša, bliže tlem gremo, kar je sicer logično, saj naklon frontalne cone vzdržuje striženje vetra, vendar neskladno z resničnostjo. V naravi seveda na obliko frontalnega čela vplivajo drugi dejavniki, predvsem tako imenovani težnostni tok oziroma poenostavljeno rečeno valjenje hladnega zraka po podlagi. Njegova hitrost je

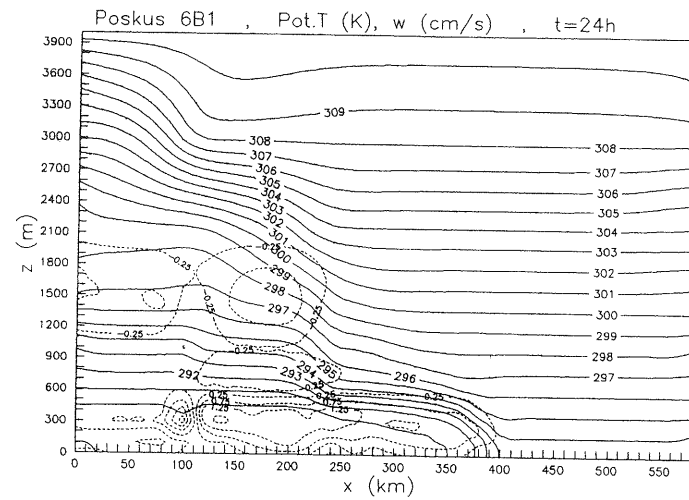
$$c(z) = Fr \sqrt{g(d-z) \frac{\Delta \Theta}{\Theta_T}},$$

kjer je Fr Froudovo število, d pa višina stolpca hladnega zraka.

5 REZULTATI NUMERIČNEGA MODELA

Simulirali smo veter nad različno konfigurirano podlago raznih hrapavosti, ter napredovanje hladne fronte v spodnjih nekaj kilometrih atmosfere. Razlike med simulacijami so predvsem glede stabilnosti ozračja. Med ugotovitvami omenimo na primer, da hrapavost podlage na frontalno cono deluje frontolitično, da fronta napreduje hitreje v nestabilni atmosferi ter da tedaj, ko ni siljenja za napredovanje fronte v sinoptični skali, fronta od nekega časa napreduje le še v spodnjih nekaj sto metrih, da torej težnostni tok popolnoma prevlada. En primer takega simuliranega napredovanja fronte je prikazan na sliki 1.





Slika 1 a and b. Napredovanje hladne fronte pri tleh zaradi težnostga toka.
Figure 1 a and b. The displacement of a front at the ground due to the gravity current.

LITERATURA:

- Garrat, J.R. in Physick, W.L., 1986: Numerical study of atmospheric gravity currents: I. Simulations and observations of cold fronts, *Beitr. Phys. Atmos.*, **59**, 282-300
Steinacker, R., 1992: Dynamical aspects of frontal analysis, *Met. Atmos. Phys.*, **48**, 93-104