

## VSTOPANJE OKOLIŠNJEGA ZRAKA V KUMULUSNI OBLAK

### ENTRAINMENT INTO A CUMMULUS CLOUD

**Mojca DOLINAR<sup>1</sup>**  
(mentor Jože RAKOVEC<sup>2</sup>)

prispelo 12. novembra 1999

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

#### POVZETEK

Z enodimenzionalni modelom mešanja zraka na robu oblaka (Paluch 1979) so preučevani primeri oblakov, katerih lastnosti so merili z letalom nad Furlanijo in nad Gradcem v Avstriji. Oblačni zrak, oslavljen z okolišnjim zrakom iz določenega nivoja, lahko prodre do nekaj kilometrov nižjega nivoja merjenja v razumnem času. Vertikalne hitrosti, izračunane s tem modelom, so bile običajno večje kot izmerjene vertikalne hitrosti.

#### SUMMARY

Cloud air and clear air measurements are analysed to determine the mode of entrainment in cumulus congestus clouds. The data were collected in 15 cloud towers sampled above Graz and Friuli in August and September 1994. The Paluch method, which is based on a comparison of the total water mixing ratio and wet equivalent potential temperature in the cloudy air and nearby environment, was used to identify the origin of the in-cloud air at the observation level. The analysis shows that in most examined clouds one edge of the cloud is diluted with environmental air, that originates from the level several kilometres above the level of observation. The other edge of the cloud is more diluted and cloudy air originates from several different levels above the observation level. The mixed regions are typically found in downdrafts and in weaker updraft regions. Values of total water mixing ratio shows that most of examined clouds have undiluted adiabatic cores, while values of cloud air wet equivalent potential temperature shows quite the opposite. This situation could be the consequence of different causes. The total water mixing ratio could be increased due to precipitation particles from higher levels of the cloud, which separated while falling down to the observation level. Low wet equivalent potential temperature in the cloud core in comparison with that at the cloud base could be the consequence of poorly predicted cloud base properties. Wetting of Rosemount temperature sensor in the cloud core could be

<sup>1</sup> Mojca Dolinar, Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Vojkova 1 b, 1000 Ljubljana, Slovenija, mojca.dolinar@rzs-hm.si

<sup>2</sup> 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

another reason for low measured wet equivalent potential temperatures in cloud core. Separately, the mass flux method is used to determine the presence of undiluted cloud cores. Regions with adiabatic total water mixing ratio are tending to be in the faster upward moving interior of the cloud. The analysis shows that examined clouds have undiluted adiabatic regions.

#### 1 UVOD

Mehanizem mešanja okolišnjega zraka je kompleksen in zaenkrat še slabo poznan. V zadnjih dveh desetletjih so znanstveniki razvili dovolj zanesljive instrumente za merjenje fizikalnih količin v oblakih. Na podlagi teh in predhodnih meritev so nastale različne teorije, ki razlagajo mehanizem mešanja okolišnjega zraka v oblak (Prupacher in Klett 1978, Rauter in Yau 1987, Rogers in Yau 1989). Glavna dilema je glede nivojev vstopanja zraka v oblak. Nekateri zagovarjajo mešanje oblačnega z okolišnjim zrakom samo na vrhu oblaka, medtem ko drugi dopuščajo možnost vstopanja tudi pri straneh oblaka.

S pomočjo meritev, narejenih v kumulusnih oblakih nad Gradcem in Furlanijo, poizkušamo ugotoviti mehanizem mešanja okolišnjega zraka v merjene oblake. Pri mešanju oblačnega zraka s suhim in ponavadi hladnejšim zrakom se oblačni zrak ohladi in del kapljic izhlapi, da se vzpostavi nasičena vlažnost. Z merjenjem vodnosti in temperature tako lahko posredno ugotovimo, koliko zraka iz okolice je primešano v oblak. Z merjenjem vertikalnih hitrosti dobimo dodatno informacijo o slabitvi oblaka, saj mešanje zavira vzgornik.

#### 2 METODE ANALIZE MERITEV

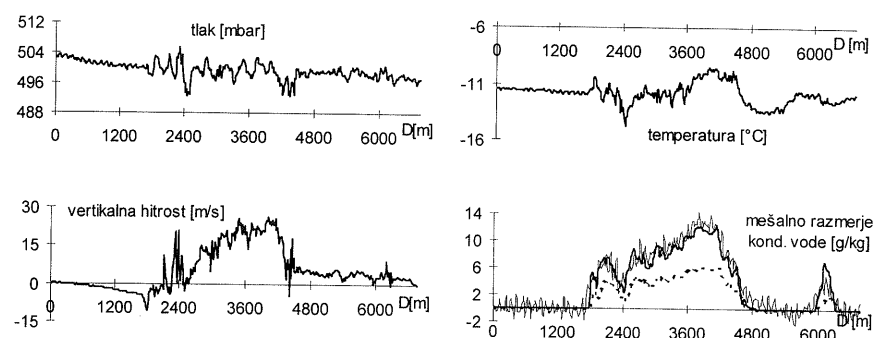
Za analizo meritev sem uporabila Paluchino metodo, ki s pomočjo dveh parametrov, ki se ohranjata pri adiabatnem dviganju, ugotovi izvor zraka v oblaku. Ta dva parametra sta mešalno razmerje vse vode v zraku ( $W_i$ ) in nasičena ekvivalentna potencialna temperatura ( $\theta_e$ ). Nasičena ekvivalentna potencialna temperatura ( $\theta_e$ ) je količina, ki se ohranja vzdolž nasičene reverzibilne adiabate. Pri adiabatnem dviganju in spuščanju zraka se opisana parametra ohranjata, pri mešanju dveh različnih zračnih mas pa se seštevata linearno.

S pomočjo vertikalnega toka mase lahko analiziramo, kolikšen delež oblaka je adiabatan. Poiščemo relativno in kumulativno frekvenčno porazdelitev vertikalnega toka mase zraka (delež od celotnega vertikalnega toka mase v oblaku na višini merjenja) v odvisnosti od mešalnega razmerja vse vode ( $W_i$ ). Mešalno razmerje vse vode izrazimo kot delež adiabatnega mešalnega razmerja vse vode ( $W_i^{AD}$ ).

#### 3 REZULTATI

Za raziskavo so uporabljene meritve temperature ( $T$ ), tlaka ( $p$ ), vertikalne hitrosti ( $w$ ) in meritve mešalnega razmerja tekoče (kondenzirane) vode oblačnega zraka ( $W_i$ ) z metodo CSIRO-King ter metodama evaporacije in potencialne temperature. Meritve so se izvajale vsake 0.1 s in pri hitrosti letala 150 m/s je to pomenilo na vsakih 15 m v horizontalnem profilu oblaka. Opazovanje oblakov z letalom so bila izvršena poleti 1994. Primer meritev za oblak nad Gradcem (2.8.1994) je na sliki 1.

Analiza kaže, da so robovi v vseh oblakih oslavljeni zaradi mešanja z okolišnjim zrakom. Na enem robu je bil oblačni zrak v večini oblakov mešanica okolišnjega zraka iz dveh diskretnih nivojev. Del zraka iz oblačne mešanice je izviral izpod baze oblaka, medtem ko je drugi del izviral iz nivoja nad nivojem merjenja. Zrak, ki izvira pod bazo, je primarni oblačni zrak. To pomeni, da se konvekcija za nobenega od merjenih oblakov ni začela pri tleh, ampak s stekanjem zraka nekje višje v atmosferi. Iz zadnjega višjega nivoja je okolišnji zrak lahko vdrl v oblak, ko je vrh oblaka prodiral skozi ta nivo, ali pa kasneje skozi stranske robove oblaka. Na teh robovih so bile izmerjene vertikalne hitrosti manjše kot tiste iz jedra, vendar niso bile vedno negativne. En rob oblaka je bil običajno bolj oslavljen. Oblačni zrak iz tega roba je bil mešanica okolišnjega zraka iz več različnih nivojev. Izmerjene vertikalne hitrosti so na teh robovih dosegale največje negativne vrednosti in tudi pasovi z izmerjeno negativno vertikalno hitrostjo so bili širši. Ker se je močno oslavljen zrak na robu oblaka pojavil pri večini merjenih oblakov, lahko sklepamo, da na mešanje okolišnjega zraka v oblak vpliva nek zunanji dejavnik. Tak dejavnik bi bil lahko splošen veter v atmosferi, ki povzroči, da se okolišnji zrak na privetnem robu zajeda v oblak in tako pospešuje mešanje okolišnjega zraka v oblak. Seveda bi bilo to potrebno podrobneje raziskati in potrditi z ustreznimi meritvami.



Slika 1. Grafičen prikaz meritev za oblak nad Gradcem 2.8.1994  
Figure 1. Measurements of cloud parameters in cloud above Graz on the 2<sup>nd</sup> August 1994

#### 4 SKLEP

Meritve temperature zraka v oblaku, mešalnega razmerja vse vode in vertikalnih hitrosti v oblaku so dale konsistentno sliko strukture oblakov. Meritve vertikalne hitrosti so bile tipično korelirane z meritvami mešalnega razmerja vse vode. Mešalno razmerje vse vode je za večino oblakov potrdilo obstoj nepremešanih adiabatnih jeder. Tudi analiza z vertikalnim tokom mase je potrdila obstoj teh jeder, medtem ko so se izmerjene temperature zraka vedno razlikovale od izračunanih adiabatnih vrednosti.

Izmerjeno mešalno razmerje vse vode v oblaku kaže, da jedro oblaka ni bilo oslavljen z okolišnjim zrakom, medtem ko meritve temperature oblačnega zraka kažejo ravno nasprotno. Na tako sliko mešalnega razmerja vse vode in temperature oblačnega zraka lahko vpliva več dejavnikov:

-Mešalno razmerje vse vode oblačnega zraka se je lahko povečalo na račun padavinskih kapljic, ki so med padanjem na merilni nivo iz višjih delov oblaka razpadle v oblačne kapljice.

-Zaradi časovne oddaljenosti sondaže okolišnjega zraka so razmere na bazi oblaka določene z manjšo natančnostjo.

-Izmerjeni oblaki imajo zelo veliko vodnost, zato je velika možnost, da je prišlo do navlažitve Rosemountovega temperaturnega senzorja.

Enodimenzionalni model mešanja zraka na robu oblaka je pokazal, da oblačni zrak, oslavljen z okolišnjim zrakom iz določenega nivoja, lahko prodre do nekaj kilometrov nižjega nivoja merjenja v razumnem času. Vertikalne hitrosti, izračunane s tem preprostim modelom, so bile običajno večje kot izmerjene vertikalne hitrosti. Močnejše spuščanje zraka ob robovih oblaka lahko delno pojasnimo tudi s kompenzacijskim spuščanjem zraka.

#### ZAHVALA

Zavodu ERSa iz Furlanije - Julijske krajine se zahvaljujemo za dovoljenje za uporabo njihovih podatkov.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The ERSa of Friuli-Venezia Giulia is appreciated for allowing the use of their aircraft data.

#### LITERATURA

- Paluch I.R., 1979: The entrainment mechanism in Colorado cumuli. *J.Atmos.Sci.*, **36**, 2467-2478.  
Prupacher H.R., Klett J.D., 1978: *Microphysics of clouds and precipitation*. Reidel, Dordrecht, Holland, 714.  
Rauter G.W., Yau M.K., 1987: Mixing mechanism in cumulus congestus clouds. Part 1: Observations. *J.Atmos.Sci.*, **44**, 781- 797.  
Rogers R.R., Yau M.K., 1989: *A short course in cloud physics*, Pergamon Press, McGill University, Canada, xiii + 293.