

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **18** (1990/1991)

Številka 2

Strani 74-79, V

Jože Rakovec:

## **OBLAČNA KAPA NA HRIBU – Razlaga z računom**

Ključne besede: fizika, oblaki.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/18/1032-Rakovec.pdf>

© 1990 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

## OBLAČNA KAPA NA HRIBU – Razlaga z računom

Med ljudmi so razširjena mnoga vremenska spoznanja. Nekatera slone na dolgoletnih izkušnjah, so pa tudi taka, ki so bližje vražam kot resničnim spoznanjem. Oboje so ljudje izrazili z vremenskimi reki. Med zelo znanimi je tudi takle rek:

Hrib ima kapo, dež bo!

Pri tem je "hrib" lahko za Gorenjce npr. Stol, za Notranjce Nanos, za Štajerce pa npr. Boč. Povsod je ta rek razširjen, kjerkoli so hribi. Torej so prav vrhovi hribov res pogosto pokriti z oblačno kapo tudi tedaj, ko vreme sicer ni oblačno ali vsaj ni povsem oblačno.

### Zakaj v ozračju pride do kondenzacije

V zraku je vedno tudi nekaj vodne pare (od nekaj promil do nekaj procentov), zato se kaj lahko zgodi, da se zrak ohladi do rosišča ali celo bolj. Pri tem nastanejo drobne, nekaj tisočink milimetra velike kapljice, pri zelo nizki temperaturi pa ledeni kristalčki. Nastajajo torej oblaki.

Če pride do tvorbe kapljic pri tleh, pravimo temu megla, tiste v višinah pa imenujemo oblaki. Oblačna kapa na hribu pa je lahko oboje hkrati: tisti, ki je na hribu v njej, bo rekel da je v megli, tisti, ki od spodaj gleda na hrib, pa bo rekel da ima hrib oblačno kapo, da je torej na hribu oblak.

Zakaj je ravno hrib pogosto ovit z oblaki, na isti višini v okolici hriba pa jih ni? Zato, ker večina oblakov nastaja zaradi ohlajanja zraka ob dviganju. Ob hribih je to dviganje še posebej močno: če le piha veter, se mora ob hribu zrak dvigniti čezenj. Drug vzrok je, da se pobočja ob lepem vremenu bolj segrevajo, kot ravnine, saj nanje vpadajo sončni žarki pod večjim kotom. Ogret, redkejši in zato lažji zrak se ob pobočjih dviga — spet dviganje ob hribih.

Rekli smo, da dviganje zračnih mas torej pomeni tudi ohlajanje dvigajočega se zraka. Zakaj?

### Spremembe temperature ob dviganju in spuščanju zraka

V ozračju tlak z višino pada: pri tleh znaša okrog 1000 mbar\*, na višini 1500 m okrog 850 mbar, na 5000 m le še 500 mbar itd. Zaradi svoje teže

\* 1 bar je  $10^5$  Pa, torej je 1 mbar 100 Pa. Enota milibar sicer ni povsem v skladu z mednarodnim sistemom enot, vendar je zaradi razširjenosti dovoljena njena uporaba, predvsem v meteorologiji.

je zrak v ozračju razporejen tako, da je blizu tal gostejši, višje v ozračju pa redkejši. Če gostoto zraka označimo z  $\rho$ , tlak s  $p$ , višino z  $z$ , zemeljski pospešek pa z  $g$ , lahko zapišemo, da velja, da se za vsako spremembo višine  $\Delta z$  tlak v ozračju spremeni za  $\Delta p$ :

$$\Delta p = -\rho g \Delta z$$

Spremljajmo sedaj neko manjšo maso zraka, ki se dviga v ozračju. Ob dvigovanju prihaja v področje z nižjim zračnim tlakom. Ker tega dvigajočega se zraka nič ne omejuje, se tlak v njem povsem prilagaja okolišnjemu. To pomeni, da pri gibanju navzgor (pa tudi pri gibanju navzdol) tudi v našem zraku pride do spreminjanja tlaka in to tako, da se ta zrak pri dviganju razširja v večji prostor (pri spuščanju pa stiska na manjši prostor). Pri tem mora pri dviganju razriniti okolišnji zrak, torej opraviti delo  $A$  za povečanje svoje prostornine za  $\Delta V$ :

$$A = p \Delta V$$

Vidimo, da je opravljeno delo za sicer enako spremembo prostornine drugačno pri tleh, kjer je tlak  $p$  velik, kot nekje višje v ozračju, kjer je tlak manjši. Zato bomo obravnavali le majhne spremembe višine  $\Delta z$ , pri katerih lahko predpostavimo, da se tlak le neznatno spremeni. Npr. blizu tal velja, da se na 100 m višine spremeni za okrog 10 mbar, kar je le okrog en odstotek njegove vrednosti.

Odkod energija za opravljanje tega dela? Morda iz okolice, na račun okolišnjih zračnih mas? Ne, dvigajoči se zrak je skoraj nič ne dobi iz okolice, saj je dvigajoča se masa zraka obdana s podobnimi gmotami, ki se morda tudi dvigajo. Tudi te bi rabile energijo za opravljanje dela ob razpenjanju. Nekaj je sicer mešanja z okolišnjim, mirujočim zrakom; tam je torej nekaj izmenjave toplote z okolico. Toda vsaj za osrednji del v dvigajočem se toku velja, da mora vsaka posamezna masa zraka v njem kar sama poskrbeti za potrebno energijo iz svoje lastne zaloge energije: saj jo ima - rečemo ji notranja energija  $w_n$ . Njena sprememba  $\Delta w_n$  se kaže s tem, da se spreminja temperatura  $T$ :

$$\Delta w_n = m c_V \Delta T$$

Sprememba notranje energije na enoto mase je tem večja, čim večje so spremembe temperature  $\Delta T$ . Specifična toplota  $c_V$  pove, za koliko se spremeni notranja energija, če se enemu kilogramu zraka spremeni temperatura za eno stopinjo. Za zrak je specifična toplota  $c_V$  pri običajni temperaturi  $718 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Ker torej dvigajoči se zrak za opravljanje dela pri razpenjanju

uporablja svojo notranjo energijo, se mu ta zmanjšuje ravno za toliko, kot opravi dela

$$A = -\Delta w_n$$

ali, če uporabimo že zapisana izraza za delo in notranjo energijo

$$p\Delta V = -mc_V\Delta T$$

Odtod bi že lahko ugotovili spremembo temperature, če bi le znali določiti, za koliko se bo spremenila prostornina, ko se bo zračna masa dvignila za  $\Delta z$ . Za pline velja, da se v njih ohranja razmerje tlaka, volumna in temperature tako, da je

$$pV/T = konst$$

Ko se ob spremembi višine za  $\Delta z$  spremeni tlak za  $\Delta p$ , se spremenita tako temperatura, kot tudi prostornina. Zato sklepamo takole: če naj se ohrani razmerje števca in imenovalca, morata biti relativna sprememba  $pV$  enaka relativni spremembi  $T$ . Torej sta relativni spremembi tlaka  $\Delta p/p$  in prostornine  $\Delta V/V$  skupaj tolikšni, kot je relativna sprememba temperature  $\Delta T/T$

$$\Delta p/p + \Delta V/V = \Delta T/T$$

Odtod torej zvemo, da je

$$\Delta V = V(\Delta T/T - \Delta p/p)$$

To vstavimo v člen  $p\Delta V$ , ki v energijski enačbi predstavlja opravljeno delo in dobimo

$$pV(\Delta T/T - \Delta p/p) = -mc_V\Delta T$$

oz. po preureditvi

$$(pV/T)\Delta T - V\Delta p = -mc_V\Delta T$$

Ker smo že rekli, da je  $pV/T$  za vsak plin konstantna količina, to ponovno uporabimo. Ponovno se spomnimo tudi, da se tlak v zračni masi prilagaja okolišnjemu tlaku, ki se z višino spreminja:  $\Delta p = -\rho g\Delta z$ . Oboje vstavimo v enačbo in dobimo

$$konst.\Delta T + V\rho g\Delta z = -mc_V\Delta T$$

Ko združimo oba člena, ki vsebujeta spremembo temperature, na levi strani enačbe, in upoštevamo tudi, da je  $m = \rho V$ , dobimo

$$(konst. + mc_V)\Delta T = -mg\Delta z$$

Ker obravnavamo neko konstantno maso zraka  $m$ , je ta prav gotovo skrita tudi v konst. (To pomeni, da je  $\rho V/T$  sorazmerno obravnavani masi plina  $m$ .) Izpostavimo  $m$  iz oklepaja, tisto kar ostane v njem, označimo s  $c_p$ , pa dobimo

$$mc_p\Delta T = -mg\Delta z$$

Uvedli smo novo konstanto  $c_p$ , za zrak je pri običajni temperaturi  $c_p = 1004 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Ko delimo enačbo z  $m$  in jo preuredimo, dobimo

$$\Delta T/\Delta z = -g/c_p$$

Ker je  $g/c_p = 9.81 \text{ kgms}^{-2}/1004 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1} \approx 10 \text{ K}/1000 \text{ m}$ , smo torej ugotovili, da se zraku pri dviganju skozi ozračje zmanjšuje temperatura za 10 stopinj na vsak kilometer dviga, pri spuščanju pa povečuje za prav toliko.

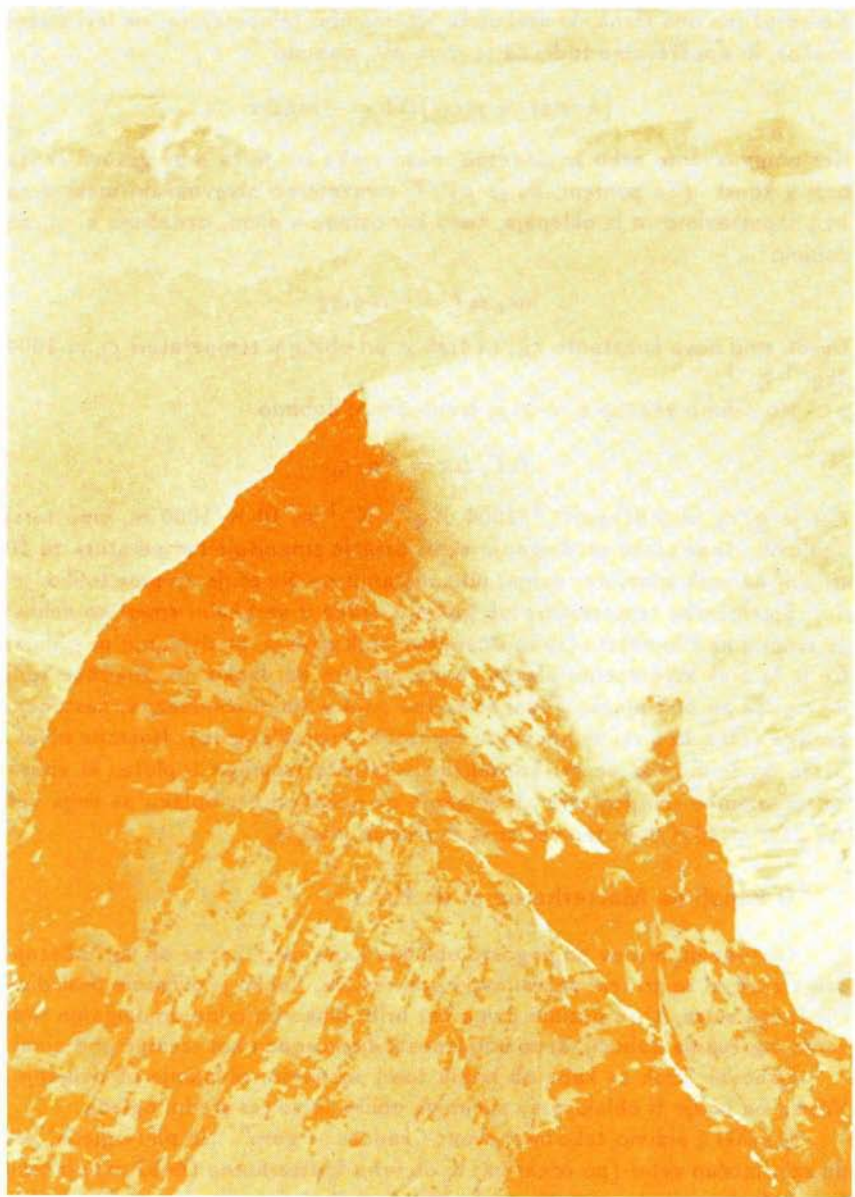
Spremembe temperature ob gibanju zraka v vertikalni smeri so velike: 10 stopinj na kilometer. Ob spuščanju se zrak ogreva, ob dviganju pa ohlaja. Če je le zrak sorazmerno vlažen, pride pri tem kaj lahko do ohladitve tudi do rosišča ali pod njega. Tedaj se vodna para v zraku kondenzira; nastanejo kapljice (ob zelo nizki temperaturi pa drobni kristalčki ledu). Nastane oblak. Samo omenimo, da se pri kondenzaciji sprošča izparilna toplota, ki vpliva na spremembo temperature ob dviganju ali spuščanju; v oblaku ne velja več  $\Delta T/\Delta z = 10 \text{ K}/\text{km}$ , temveč so spremembe manjše.

### O kapah na Matterhornu in ob Krnu

Ob vrhovih hribov so pogosto oblačne kape zato, ker se ob vetru čeznje dviga zrak, ki se pri tem ohladi malo pod rosišče. Lahko je dviganje posledica splošnega vetra, ki se prisilno dviga čez hrib, lahko pa pride do dviganja tudi zaradi ogrevanja pobočij, ki so bolj izpostavljena soncu kot ravnine pod njimi.

Osnovni vzrok za kape ob hribih torej poznamo: ohlajanje ob dviganju. Včasih pa imajo ti oblaki prav zanimive oblike in so res vredni oglada.

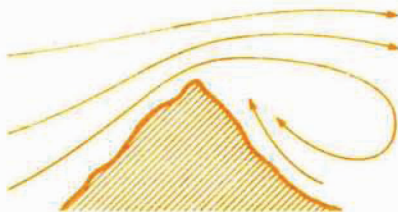
Na sliki 1 vidimo tako imenovano "kadečo se goro". Na sliki izgleda, kot da zelo močan veter (po oceni naj bi ob vrhu Matterhorna (4482 m) ob času fotografiranja pihalo s 20-30 m/s) oblak "odpihuje" na zavetrno stran hriba. Izgleda, kot bi oblak prilepljen miroval ob hribu. V resnici pa oblak nastaja



Slika 1. Kadeča se gora. Oblak ob vrhu Matterhorna (foto J. Galimberti, julij 1951)

na zavetrni strani hriba zato, ker tam ob veliki hitrosti nastane vrtinec zraka, ki v zavetrju povzroča srk navzgor. Tako pride do znatnega dviganja zraka za hribom (slika 2).

Slika 2. V zavetrju hriba nastane vrtinec, ki povzroča dviganje zraka.



Kaj pa venec oblakov okrog Krna (2244 m, slika 3 na naslovnici)? Ob pobočjih se je od sonca zrak ogrel in se zato začel dvigati. Oblaki so še sorazmerno tanki, čez kako uro ali dve, ko bo dviganje preseglo višino hriba, pa bo že ves vrh zakrit.

*Jože Rakovec*

YU ISSN 0351-6652

# PRESEK 2

