

UPORABA PROGNOZIRANIH POLJ POTENCIALNE VRTINČNOSTI ZA IZBOLJŠANJE NAPOVEDOVANJA INTENZIVNIH PADAVIN

USE OF PREDICTED FIELDS OF POTENTIAL VORTICITY FOR ENHANCED INTENSIVE PRECIPITATION FORECAST

Metod KOŽELJ¹
(mentor Tomaž VRHOVEC²)

prispelo 10. avgusta 2000

sprejeto v dokončni obliki 22. novembra 2000

POVZETEK

Stanje ozračja opišemo z osnovnimi količinami, to je s tlakom, temperaturo, vlažnostjo, smerjo in hitrostjo vetra, ... toda te količine včasih ne prikažejo stanja ozračja v ustrezni obliki. Uporaba potencialne temperature θ kot vertikalne koordinate omogoči uporabo potencialne vrtničnosti kot uporabnega diagnostičnega orodja. Potencialna vrtničnost je že dolgo poznana količina, vendar pa do pred kratkim ni bila v splošni uporabi. Razvoj računalniških orodij je omogočil uporabo različnih diagnostičnih pripomočkov v vsakdanji rabi. V diplomskem delu je predstavljena izpeljava potencialne vrtničnosti v različnih vertikalnih koordinatnih sistemih, na kratko pa je opisana tudi povezava med potencialno vrtničnostjo in padavinami.

SUMMARY

The state of the atmosphere is usually described using basic quantities, such as air pressure, temperature, humidity, wind field, ... But these quantities sometimes don't show the state clearly. Using somehow unusual coordinate system with potential temperature θ as vertical coordinate offers possibility for efficient use of potential vorticity as diagnostic tool. The potential vorticity has been long known to meteorology but has not been in wide use until recently. The development of computer technology has offered possibility to use different diagnostic tools in operational environment. The derivation of potential vorticity equation in various vertical coordinates is presented in the thesis. Connection between potential vorticity and precipitation is briefly described and a case study is presented.

¹ Metod Koželj, Hidrometeorološki zavod R. Slovenije, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, metod.kozelj@rzs-hm.si

² Tomaž Vrhovc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tomaz.vrhovec@uni-lj.si

1 UVOD

Že precej zgodaj so meteorologi iskali diagnostična orodja. Leta 1940 je Carl-Gustaf Rossby v svojem članku o enačbah plitve vode izpeljal količino, ki jo je poimenoval *potencialna vrtničnost*. Drugi meteorologi so sledili Rossby-jevi ideji in so potencialno vrtničnost uporabili kot količino, s katero lahko določamo stanje ozračja. Stanje ozračja naj bi po njihovem določale tri med seboj neodvisne količine. Poleg potencialne vrtničnosti naj bi to bili še potencialna temperatura in specifična vlažnost.

Neodvisno od njihovega dela je Hans Ertel objavil članek o splošnem vrtničnem teoremu v povezavi s hidrodinamičnimi invariantami. Kot poseben primer je omenil adiabatno gibanje in v zvezi s tem količino, ki jo je poimenoval *invarianta adiabatne vrtničnosti*. Leta 1949 je Jule G. Charney objavil članek, v katerem je ponovil Ertlovo izpeljavo, rezultat pa primerjal z Rossby-jevo potencialno vrtničnostjo. Od tod verjetno izvira današnje imenovanje Ertlove *invariante adiabatne vrtničnosti* z nazivom *potencialna vrtničnost*.

Korak k praktični uporabi potencialne vrtničnosti kot diagnostične količine je naredil Ernst Kleinschmidt v svojem članku, ki je izšel v treh delih v letih 1950 in 1951. V svojem članku je obravnaval primer ciklogeneze iz marca 1943. Pri tem je uporabil ohranitev potencialne vrtničnosti kot pripomoček za sledenje delom zraka.

Vendar potencialna vrtničnost kot diagnostična količina ni že tedaj prišla v splošno uporabo, saj se je takrat kot vertikalna koordinata že uveljavil zračni tlak p . Potencialna vrtničnost v koordinatnem sistemu, kjer je vertikalna koordinata p , ni kaj prida uporabna. Veliko bolj uporabna je v koordinatnem sistemu, kjer je vertikalna koordinata potencialna temperatura θ . Ovira za uporabo te vertikalne koordinate je bila najbrž ta, da potencialna temperatura ni direktno merljiva, zračni tlak pa je. Že koncem 19. stoletja so na razne načine (zmaji, baloni, ...) ugotavljali stanje atmosfere. Običajno so merili temperaturo in zračni tlak, tako da se je zračni tlak kar sam ponudil za vertikalno koordinato.

Potencialno vrtničnost so uporabljali na mnogih področjih, vedno pa bolj v teoretičnih delih in razpravah, manj pa v praksi kot rutinski pripomoček. Razvoj računalništva je v osemdesetih letih dosegel stopnjo, ko je postala uporaba računalnikov samoumevna, tudi kot pripomoček za analizo stanja ozračja. Tako je postala kot vertikalna koordinata zanimiva tudi potencialna temperatura, s tem pa se je povečalo zanimanje tudi za potencialno vrtničnost. Leta 1985 je izšel članek (Hoskins in sod. 1985) "*On the use and significance of isentropic potential vorticity maps*". Ta članek je vzpodbudil uporabo potencialne vrtničnosti kot diagnostičnega pripomočka v dinamični meteorologiji. Potencialna vrtničnost se lahko uporabi tudi kot pripomoček za preverjanje (verifikacijo) kvalitete prognostičnih modelov.

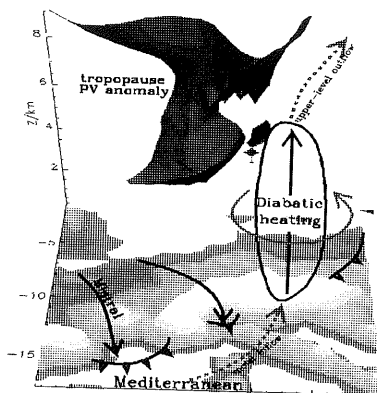
2 POTENCIALNA VRTINČNOST IN PADAVINE

Približno polovica padavin v Alpah je povezana s prehodom hladne fronte. Osnovne mehanizme prehoda fronte preko gorske pregrade poznamo že dolgo. Glavni vpliv gorske pregrade se kaže kot upočasnitev in preoblikovanje front zaradi zajezitve hladnega zraka na privetni strani pregrade. Pri intenziviranju pojavov ob fronti igra vlogo tudi predfrontalni fen, ki zmanjšuje statično stabilnost, kar je včasih dovolj, da se sprožijo močni konvektivni

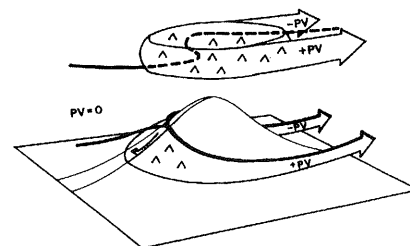
fen, ki zmanjšuje statično stabilnost, kar je včasih dovolj, da se sprožijo močni konvektivni padavinski procesi. Z upočasnitvijo fronte in zaježitvijo hladnega zraka za Alpami sta povezana ciklonalni in anticiklonalni tok okoli obeh koncev Alp. Ciklonalni tok se kaže kot mistral, anticiklonalni tok pa kot burja. Velikokrat v takem primeru nad Genovskim zalivom nastane sekundarni ciklon, ki povzroči močne padavine na južnem obrobju Alp. Napovedljivost nastanka sredozemskega ciklona je dokaj dobra, zaradi pogostih močnih deževij pa bi radi mehanizme nastanka podrobno poznali. Zato so začeli v letih 1993 in 1994 pripravljati projekt MAP (*Mesoscale Alpine Project*), kot eden izmed pripomočkov za spoznavanje teh mehanizmov se ponuja potencialna vrtinčnost.

3 SPREMINJANJE POTENCIALNE VRTINČNOSTI

V splošnem obstajajo trije mehanizmi za spreminjanje potencialne vrtinčnosti: vdor stratosferskega zraka z visoko potencialno vrtinčnostjo v nižje plasti, nastanek potencialne vrtinčnosti zaradi trenja in nastanek potencialne vrtinčnosti zaradi diabatnega ogrevanja (slika 1).



Slika 1. Kombinacija treh mehanizmov za spreminjanje potencialne vrtinčnosti.
Figure 1. Combination of PV changing mechanisms.

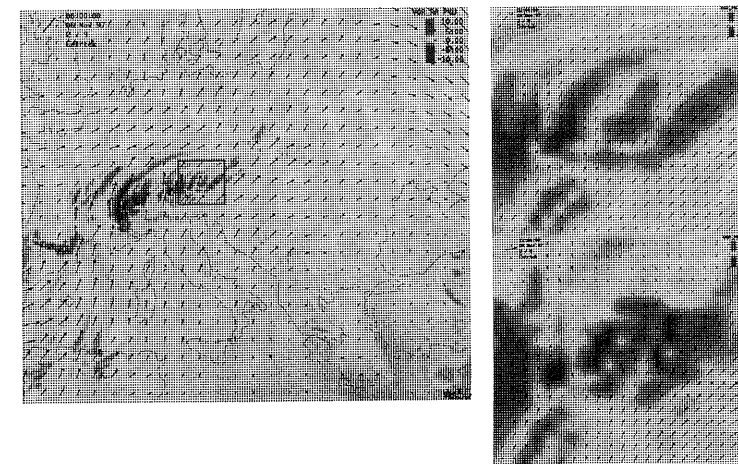


Slika 2. Nastajanje potencialne vrtinčnosti zaradi trenja
Figure 2. PV production caused by friction

Vsak izmed teh mehanizmov se pokaže nekoliko drugače. Povečanje potencialne vrtinčnosti zaradi vdorov stratosferskega zraka v nižje plasti ozračja ima navadno večje geografske razsežnosti, na koncu pa se razvije v ciklonalne tvorbe.

Potencialna vrtinčnost lahko nastane zaradi trenja ob gorskih pregradah (slika 2). Zrak gorske pregrade obtaka, ob tem na zavetrni strani nastaja potencialna vrtinčnost. Na desni strani nastaja pozitivna potencialna vrtinčnost, na levi pa negativna. Z vetrom se nastala potencialna vrtinčnost prenaša naprej, zato nastanejo značilni trakovi potencialne vrtinčnosti (slika 3). Podoben je mehanizem nastanka potencialne vrtinčnosti nekoliko višje na gorskih pregradami, kjer prihaja do lomljenja gravitacijskih valov. Tudi v tem primeru nastanejo trakovi potencialne vrtinčnosti.

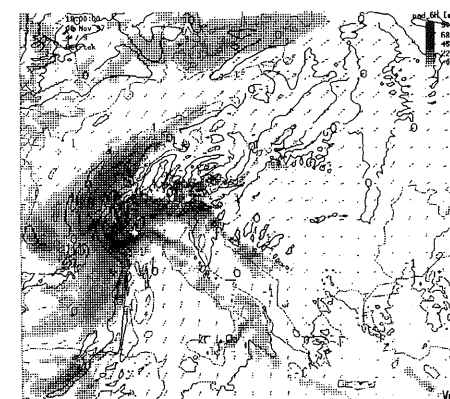
Trakovi potencialne vrtinčnosti nastanejo ob močnih vetrovih in so manjših krajevnih dimenzij. Tudi tako nastala potencialna vrtinčnost bi morda lahko vplivala na intenzivnost padavin, vendar nastane na zavetrni strani gorskih pregrad, kjer je pomemben proces fenizacija. Zaradi fenizacije padavin tam navadno ni, oziroma so neintenzivne.



Slika 3. Trakovi potencialne vrtinčnosti na območju vzhodnih Alp. Na slikah so narisana polja anomalije potencialne vrtinčnosti na ploskvi $\theta=305K$ in vetrovno polje pri tleh. Na sliki spodaj desno je slika polj, kakršni sta bili 6 ur kasneje kot na sliki zgoraj desno. Na spodnji sliki se lepo vidi spremenjeno vetrovno polje, takšno spremembo pa je nakazovalo polje anomalije potencialne vrtinčnosti na sliki zgoraj desno.

Figure 3. PV banners over east Alps area. Figures show fields of PV anomaly on surface $\theta=305K$ together with ground wind field. Lower right figure shows fields as predicted for 6 hours later than those on upper right figure. Change of wind field has been predicted by PV anomaly field, show on upper right figure.

Kadar pride do diabatnega ogrevanja, se ploskve $\theta=konst.$ spustijo. Zaradi tega pod območjem največjega ogrevanja nastane pozitivna potencialna vrtinčnost, nad tem območjem pa nastane negativna potencialna vrtinčnost. Diabato ogrevanje ozračja je najpogosteje posledica kondenzacije vlage v ozračju, posledica kondenzacije vlage so tudi padavine (slika 4).



Slika 4. Na kombinaciji slike polja anomalije potencialne vrtinčnosti in polja padavin se dobro razbere lokacija, prav tako pa tudi smer napredovanja fronte.

Figure 4. Combination of PV anomaly field and precipitation field shows the location of front

Najpomembnejšo vlogo pri nastanku močnih padavin ima veter, saj zaradi prisilnega dviga ob gorskih pregradah pogosto prihaja do proženja konvekcije v nestabilnih zračnih masah. Zaradi dviganja se lahko kondenzira velika količina vlage in se ob tem sprosti velika količina latentne toplote. Zaradi diabatnega ogrevanja pri tleh nastaja pozitivna potencialna vrtinčnost, višje v ozračju pa negativna potencialna vrtinčnost. Zaradi takega načina nastanka potencialne vrtinčnosti je ni smiselno uporabiti kot prognostični pripomoček. Količina nastale potencialne vrtinčnosti je namreč odvisna od količine padavin, uporabna pa bi bila ravno obratna zveza.

Pri nastanku močnih padavin nad ravninskimi območji in morjem so pomembni tudi drugi procesi v ozračju. Najpomembnejši je dviganje zraka v frontalni coni. Frontalne cone krajevno pogosto sovpadajo s pozitivnimi anomalijami polja potencialne vrtinčnosti. To sovpadanje sega različno visoko in lahko seže tudi visoko v stratosfero. Zaradi sovpadanja pozitivne anomalije polja potencialne vrtinčnosti in frontalne cone krajevno sovpadajo tudi pozitivne anomalije polja potencialne vrtinčnosti in maksimumi padavin. Padavine seveda niso omejene le na območje frontalne cone, ampak tudi so tudi v območju pred fronto (pri topli fronti) oziroma za njo (pri hladni fronti). Anomalije v polju potencialne vrtinčnosti so razmeroma velikih razsežnosti in zaradi tega niso uporabne za krajevno podrobnejše napovedovanje.

Sodobni meteorološki modeli padavine dokaj dobro napovedujejo tako krajevno kot časovno, zato polj potencialne vrtinčnosti praktično ne moremo uporabiti za izboljšanje napovedi. Predvsem padavine, ki nastanejo oziroma se intenzivirajo zaradi vpliva reliefa, bodo še bolj napovedljive z modeli, ki bodo imeli boljšo ločljivost in bodo tako bolj upoštevali obliko reliefa. Potentialna vrtinčnost se bolje izkaže kot uporaben pripomoček za študij procesov, ki privedejo do nastanka in poglobitve sekundarnega ciklona na območju zahodnega Sredozemlja.

LITERATURA

- Charney, J. G. (1948), On the scale of atmospheric motions. *Geophys. Publ.*, **17**.
- Ertel, H. (1942), Ein neuer hydrodynamischer Wirbeisatz. *Meteorologische Zeitschrift*, **59**, 277-281.
- Hoskins, B. J., McIntyre, M. E., in Robertson, A. W. (1985), On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 877-946.
- Rossby, C.-G. (1940). Planetary flow patterns in the atmosphere. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **66** 68 - 87.
- Kleinschmidt, E. (1950a). Ueber Aufbau und Entstehung von Zyklonen (I. Teil). *Meteorologischen Rundschau*, **3**, 1-6.
- Kleinschmidt, E. (1950b). Ueber Aufbau und Entstehung von Zyklonen (II. Teil). *Meteorologischen Rundschau*, **3**, 54-61.
- Kleinschmidt, E. (1951). Ueber Aufbau und Entstehung von Zyklonen (III. Teil). *Meteorologischen Rundschau*, **4**, 96-108.