

REDUKCIJA ZRAČNEGA PRITISKA NA MORSKI NIVO IN NJEN VPLIV NA ANALIZO POLJA
PRITISKA NAD JUGOSLAVIJO

REDUCTION OF AIR PRESSURE ON MEAN SEA LEVEL AND ITS INFLUENCE ON THE ANALYSIS OF
PRESSURE FIELD ABOVE JUGOSLAVIA

551.547.2

MIRAN TRONTELJ

Hidrometeoroški zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY:

In this paper a comparison is made between various methods of air pressure reduction on mean sea level. It is also a study of their influence on analysis of pressure field above Yugoslavia.

Various methods of reduction were obtained in such a way that different temperatures as well as different temperature gradients in the barometric formula were used. It was found that none of these methods was significantly better than others.

To eliminate the influence of the reduction as much as possible, local peculiarities of the station should be taken into account, such as: position, frequency of low level inversions, humidity and some others. Pressure field obtained in this way would be useful only in studies and analysis of large regions. Small variations of pressure are namely important for mesoscale analysis.

UVOD

Porazdelitev zračnega pritiska pokažemo najbolj praktično z izohipsami standardnih ploskev 850, 700, 500 mb itd. Horizontalna sprememba pritiska je sicer majhna v primerjavi z vertikalno, toda majhna horizontalna spremem-

ba je zelo pomembna pri študiju gibanj v atmosferi. Naše zanimanje za gibanja in porazdelitev pritiska v nivojskih ploskvah zahteva, da meritve zračnega pritiska na postajah reduciramo na primerjalni nivo. Za postaje, nižje od 500 m, uporabljamo za primerjalni nivo morski nivo. Pri redukciji pritiska na morski nivo uporabljamo barometrično formulo. Postopek je v principu podoben določanju višine s sondažo, le da tu ne poznamo temperature namišljenega zračnega stolpca med postajo in morskim nivojem.

Če uporabljamo pri prizemnih kartah dosedanje metode za redukcijo, se po kažejo v praksi pomembne razlike v načinu predstave med prizemnimi in višinskimi kartami. Pa tudi sicer različne države uporabljajo razne aproksimacije in zanemaritve pri hipsometrični enačbi in pride tako do razlik v polju pritiska na nacionalnih mejah.

HIPSOMETRIČNA ENAČBA

Za redukcijo zračnega pritiska na morski nivo uporabljamo več oblik hipsometrične enačbe. Oglejmo si hipsometrično enačbo, ki jo je izpeljal Laplace /1/.

$$z = K(1 + 0,00259 \cos 2\varphi) (1 + \alpha \bar{t}) \left(1 + \frac{z}{a}\right) \left(\frac{1}{1-\beta}\right) \log \frac{p_0}{p} \quad (1)$$

Posamezne oznake pomenijo:

z - nadmorska višina postaje

K - hipsometrična konstanta definirana z izrazom

$$\frac{2,3 \cdot R \cdot 273}{M \cdot g_0} = K$$

φ - geografska širina

\bar{t} - povprečna temperatura namišljenega zračnega stolpca v $^{\circ}\text{C}$.

a - polmer zemlje

p_0 - zračni pritisk na morskem nivoju

p - zračni pritisk na postaji

g_0 - težnostni pospešek na morskem nivoju pri 45° geografske širine

β - korekcija zaradi vlage, definirana z izrazom:

$$0,378 \frac{2\bar{e}}{p+p_0} = \beta$$

\bar{e} - srednji parni tlak v zračnem stolpcu

α - temperaturni koeficient prostorskega raztezka za zrak

Angot je napisal enačbo (1) za uporabo pri redukciji zračnega pritiska na morski nivo v obliki (4):

$$\log \frac{p_0}{p} = \frac{z}{(K + 67,53 \varphi + 0,003 z) (1/(1-\beta)) (1 + 0,00259 \cos^2 \varphi)} \quad (2)$$

V primerjavi z enačbo (1) je zanemaril produkt $\bar{t} \cdot z \frac{K\alpha}{a}$

Druga oblika hipsometrične enačbe je barometrična višinska formula:

$$p_0 = p \cdot e^{\frac{gz}{R_s \bar{T}_v}} \quad (3)$$

posamezne oznake pomenijo:

p_0 - zračni pritisk na morskem nivoju

p - zračni pritisk na postaji

g - težnostni pospešek

z - nadmorska višina postaje

R_s - individualna plinska konstanta za suhi zrak

\bar{T}_v - virtualna povprečna temperatura

Težnostni pospešek g je še funkcija nadmorske višine z in geografske širine φ .

Posamezne države zelo različno reducirajo pritisk na morski nivo. Pri re-

dukciji uporabljajo eno od enačb (2) ali (3), vendar zanemarjajo posamezne korekcije in različno določajo povprečno temperaturo namišljenega stolpca zraka, ki je ne moremo meriti, na razne aproksimativne načine.

V Italiji na primer uporabljajo enačbo (2) in ne upoštevajo korekcije zaradi vlage, \bar{t} pa določajo tako:

$$\bar{t} = t + \frac{\gamma z}{2}$$

pri čemer je temperaturni gradient γ različen za posamezne mesece.

V ZDA pa določajo povprečno temperaturo \bar{t} tako, da računajo povpreček med izmerjeno temperaturo in temperaturo pred 12 urami.

Posebni meteorološki pogoji pogosto vodijo do anomalij pri absolutnih vrednostih reduciranega zračnega pritiska in pri horizontalnih gradientih, posebno nad goratim ozemljem ali v bližini širokih strmih pobočij. Med temi pogoji so močni vetrovi, močna radiacijska inverzija, stacionarno anticiklonalno vreme z opaznimi subsidencami, preugretje nad visokimi aridnimi tereni, prehod ostrih front z veliko temperaturno razliko /4/.

REDUKCIJA ZRAČNEGA PRITISKA

Pri redukciji zračnega pritiska na morski nivo je najteže določiti težo fiktivnega zračnega stolpca od morskega nivoja do postaje.

Ta stolpec nam mora predstavljati pristo atmosfero. Kako določiti srednjo virtualno temperaturo tega stolpca?

World Meteorological Organisation /4/ priporoča za redukcijo na morski nivo sledečo enačbo:

$$\ln \frac{p_0}{p} = \frac{g}{R_s} \cdot \frac{z}{(T + \gamma z/2 + e_s C_h)} \quad (4)$$

Če primerjamo enačbi (3) in (4.) vidimo, da je

$$\bar{T}_v = T + \frac{\gamma z}{2} + e_s C_h \quad (5)$$

kar pa je le aproksimacija.

Oglejmo si prispevek posameznih členov enačbe (5).

Temperatura na postaji

Izkušnja kaže, da dobimo prevelike variacije v reduciranem pritisku na morski nivo, če vzamemo za T kar odčitano temperaturo na postaji; posebno na visokih postajah, kjer je velika dnevna sprememba v temperaturi tal. Primerjava pritiskov, ki so reducirani na morski nivo na ta način, z ustreznimi barometričnimi merjenji na obalnih postajah kaže, da je dnevna sprememba v reduciranem pritisku za visoke postaje fizikalno nerealna.

Da bi se izognili temu učinku na visokih postajah, moramo najti funkcijo za temperaturo T , ki izloči dnevne spremembe temperature. Nekateri uporabljajo za temperaturo T povprečno temperaturo med merjeno temperaturo in temperaturo 12 ur prej T_{-12} . To izključi večino dnevnih sprememb.

Če je temperatura T odvisna tudi od drugih parametrov (ne le od odčitka temperature), lahko dopuščamo tudi drugačno izbiro T . Upoštevamo n.pr. dodatno funkcijo F , ki je odvisna od teh parametrov (različne vremenske situacije in geografska lega postaje).

Izbira gradienta

Če vzamemo, da je produkt $e_s C_h$ odvisen le od rosišča in neodvisen od členov T in $\frac{\gamma z}{2}$, imamo na izbiro sledeče možnosti pri izbiri spremenljivk:

1. varirata T in γ
2. γ = konstanten, T varira
3. γ varira, T je konstanten.

Druga metoda bi bila najprimernejša, ker stopnja svobode, ki je v T dovolj dobro kontrolira \bar{T}_v v vseh primerih, tudi če je γ konstanten.

Vlaga

e_s predstavlja srednji tlak vodne pare na postaji, izračunan iz nasičenega parnega tlaka, ki ustreza temperaturi rosišča ob opazovanju in 12 ur prej. Srednji parni tlak e_s je analogen temperaturi T in je torej funkcija T.

ANALIZA ZRAČNEGA PRITISKA REGIONALNIH KART JUGOSLAVIJE

Med meteorološkimi pogoji, ki vodijo do anomalij pri absolutnih vrednostih reduciranega zračnega pritiska nad goratim ozemljem, je najbolj pomembno stacionarno anticiklonalno vreme. Zato sem pri izbiri vremenskega tipa, ki sem ga obdelal, ta pogoj upošteval na prvem mestu. Tako je vladalo 13.1.1965 nad Jugoslavijo mrzlo anticiklonalno vreme, nad Italijo pa ciklonalno, 21.8.1965 pa anticiklonalno vreme z visokimi temperaturami nad vso južno Evropo. Prikazati sem želel tudi posledice dnevnega kolebanja temperature na redukcijo pritiska. Za zgoraj naštetе dneve sem računal redukcijo ob 0300 GMT in ob 1500 GMT. Izobare na prikazanih kartah so označene le s številkami nad 1000 mb.

Iz vremenskih kart za omenjene termine sem dobil podatke za temperaturo in zračni pritisk. Redukcijo sem računal po enačbi (3) s tem, da je \bar{T}_v za posamezne metode različna:

$$\text{Metoda a: } \bar{T}_v = T_1 = 273 + t + \frac{\gamma}{2} z; \quad \gamma = 5^\circ\text{C}/1000\text{m}$$

$$\text{Metoda b: } \bar{T}_v = T_3 = 273 + t + \frac{\gamma}{2} z; \quad \gamma = \text{spremenljiv}$$

$$\text{Metoda c: } \bar{T}_v = T_4 = 288 \text{ st K}$$

$$\text{Metoda d: } \bar{T}_v = T_2 = 273 + \frac{t+t_{-12}}{2} + \frac{\gamma}{2} z; \quad \gamma = 5^\circ\text{C}/1000\text{m}$$

Metoda e: je enaka kot metoda a, le da postaj višjih od 150 m pri analizi nisem upošteva.

Za računanje vrednosti funkcije $\exp \frac{gz}{R \bar{T}_v}$ iz enačbe (3) sem uporabljal jene Linkejeve tabele /7/. Tabele so izračunane za nadmorsko višino z do 600m za vsakih 10 m in za temperaturo od -20°C do $+30^\circ\text{C}$ za vsaki 2°C . Za določitev vmesnih točk sem uporabil linearno interpolacijo, saj se funkcija $\exp \frac{gz}{R \bar{T}_v}$ v tem območju:

$$(1,00 \leq \exp \frac{gz}{R \bar{T}_v} \leq 1,07) \text{ dovolj dobro približuje premici.}$$

Vlaga nisem mogel upoštevati, ker nisem imel na razpolago primernih podatkov. Pri redukciji pritiska v Jugoslaviji tudi sicer zanemarjamo korekcijo zaradi vlage.

Ostale oznake pomenijo:

$$T_1 = t + \frac{\gamma}{2} z, \quad \gamma = 5^\circ\text{C}/1000 \text{ m}$$

t - temperatura zraka v $^\circ\text{C}$ odčitana v trenutku opazovanja

$$T_2 = \frac{t+t_{-12}}{2} + \frac{\gamma}{2} z, \quad \gamma = 5^\circ\text{C}/1000 \text{ m}$$

t_{-12} - temperatura zraka v $^\circ\text{C}$ odčitana 12 ur pred opazovanjem

$$T_3 = t + \frac{\gamma}{2} z, \quad \gamma = 5,5^\circ\text{C}/1000\text{m} \text{ za januar, } 6,7^\circ\text{C}/1000\text{m} \text{ za marec in } 4,8^\circ\text{C}/1000 \text{ m za avgust.}$$

$$T_4 = 15^\circ\text{C}$$

p - zračni pritisk na postaji v mb reduciran na 0°C .

Korekcija težnostnega pospeška g zaradi geografske širine v Jugoslaviji ne pride v poštev, ker leže vse postaje med 41° in 47° severne širine in korekcija ne preseže napak pri meritvah. Prav tako je tudi korekcija g zaradi nadmorske višine manjša od napak pri meritvah.

Kakor je razvidno iz gornjega, sem pri različnih metodah redukcije spreminjal le \bar{T}_V in temperaturni gradient.

Pri kartah (a) - oznaka karte se ujema z oznako metode - sem upošteval temperaturo T izmerjeno na postaji in konstanten temperaturni gradient $\mathcal{G} = 5^{\circ}\text{C}/1000 \text{ m}$. Ta način redukcije - enačba (3) in za $\bar{T}_V = 273 + t + \frac{\mathcal{G} z}{2}$ uporabljamo v Jugoslaviji.

Pri kartah (b) je $\bar{T}_V = T + \frac{\mathcal{G} z}{2}$ in je \mathcal{G} spremenljiv. Za januar sem vzel temperaturni gradient $\mathcal{G} = 5,8^{\circ}\text{C}/1000 \text{ m}$, za avgust pa $\mathcal{G} = 4,8^{\circ}\text{C}/1000 \text{ m}$. Take temperaturne gradiente uporabljajo pri redukciji v Italiji.

Meteorolog Harrison /3/ predlaga, naj bi prizemne karte po možnosti dale gradiente pritiska na nivoju površine zemlje, da bi tako lahko na karti določali prizemne vetrove. Če postavimo tako zahtevo, moramo uporabiti nad zelo velikim področjem isto redukcijsko temperaturo, morda celo vrednost, ki je popolnoma neodvisna od atmosferskih razmer, kakor je na primer pri določitvi QNH (altimeter setting) v letalski meteorološki službi. Kot osnova je tu vzeta ICAO standardna atmosfera : $p_0 = 1013,25 \text{ mb}$ - pritisk na morskem nivoju in $T_0 = 15^{\circ}\text{C}$ - temperatura na morskem nivoju /5/. CNH vrednosti dajo nad višjimi področji poleti visok, pozimi pa nizek pritisk. Izrazita primera sta postaji Kriva Palanka in Bitola.

Pri inverzijah in močnih preugretjih nam temperatura na postaji, kot izhodiščna temperatura, da je nezadovoljive rezultate. Dnevno kolebanje temperature se zaradi redukcije prenese na debelo plast zraka, kar vodi k nenaravno velikim kolebanjem pritiska na razgibanih zemeljskih področjih.

Še najbolj primerna se zdi vmesna rešitev med trenutno temperaturo T na postaji in QNH. V Ameriki uporabljajo namesto trenutne temperature na postaji, povprečno vrednost med to temperaturo in temperaturo izmerjeno 12 ur pred opazovalnim terminom T_{-12} . S tem smo dnevno variacijo temperature skoro popolnoma izključili. V zmernih širinah se tako izenačijo jutranje inverzije in popold-

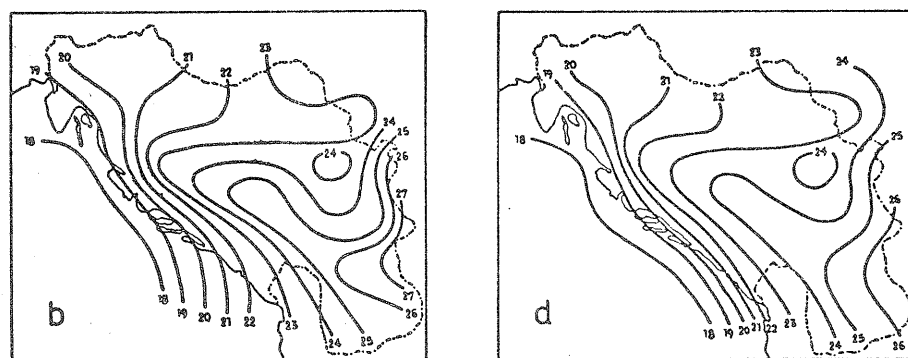
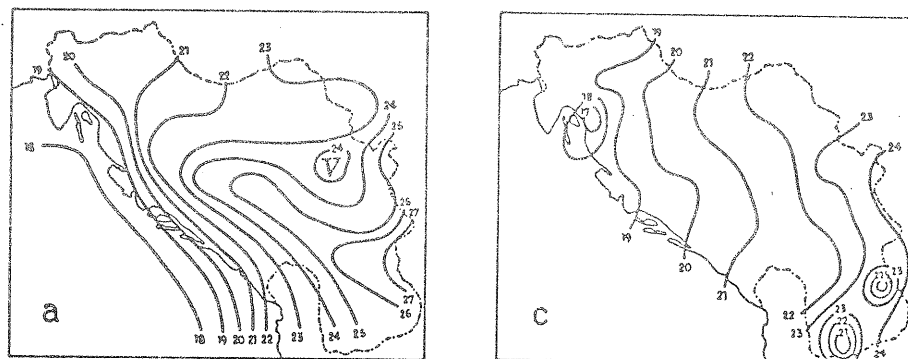
danska preugretja in dobimo dobre srednje vrednosti. (karte d). Le pozimi, ko se nad nekaterimi področji ob stacionarnem anticiklonalnem vremenu zadržujejo talne inverzije prek celega dne, so te srednje vrednosti sistematično prenizke.

Za vsako postajo bi bilo potrebno izračunati kot dodatek $k \frac{T+T_{-12}}{2}$ neko F , ki bi upoštevala posebnosti prizemne plasti (inverzijo ...). Za Nemčijo je Klausner /6/ določil korekcijo zaradi inverzije s pomočjo radiosondnih meritev in jo tabeliral kot negativni dodatek, kar v mb za posamezne temperature.

Kot primerjavo sem izrisal karte (e) tako, da sem upošteval le postaje nižje od 150 m (slika 5). Pri teh postajah redukcija zelo malo vpliva na dejansko porazdelitev pritiska in bi lahko imeli te karte za najboljši približek dejanskemu polju pritiska. Pomanjkljivost, ki tu nastopa, je majhno število nižinskih postaj v Bosni in Hercegovini, Makedoniji in Sloveniji. Seveda pa vplivajo zelo močne jutranje inverzije tudi na nizkih postajah, ki leže v kotlini, na redukcijo pritiska.

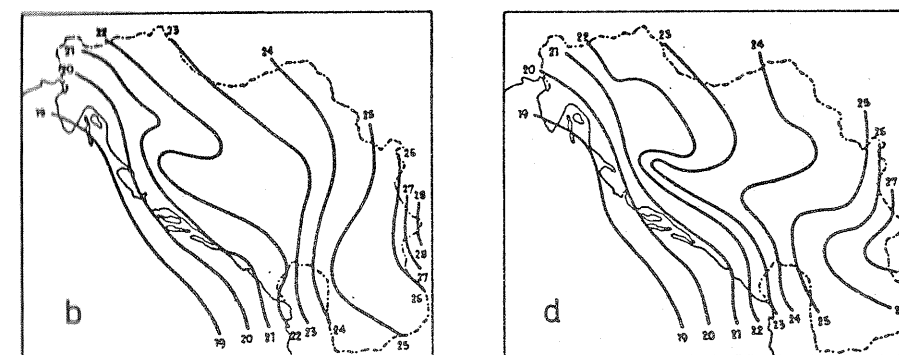
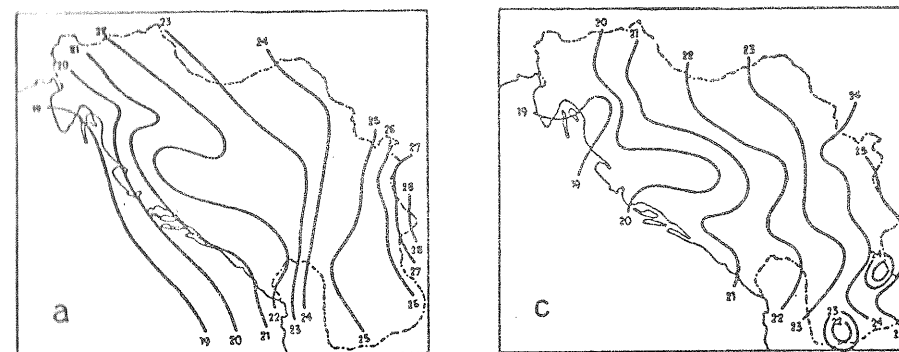
S l i k i 1. in 2.: Karti (a) in (b) se popolnoma ujemata, saj se le pri treh postajah (245, 481, 582) razlikuje velikost redukcije po metodi (a) oziroma (b) za 0,2 mb. Greben visokega zračnega pritiska nad Bosno in Hercegovino, ki je gotovo posledica napak zaradi redukcije, je najbolj izrazit na sliki 1 (karti a, b). To si razlagamo tako, da se je to področje zaradi anticiklonalnega vremena ponoči ohladilo močnejše od drugih predelov. V povprečju so temperature nižje za $4,3^{\circ}\text{C}$, postaje 242, 245 in 353 pa so zabeležile 8°C , postaja 257 pa celo 10°C nižjo temperaturo od popoldanske.

Karti c (slika 1, 2) nam nasprotno kažeta nad Bosno in Hercegovino neizrazito dolino nizkega zračnega pritiska. Na zelo visokih postajah (582, 492) dobimo globok niz, kar pa je posledica orografije. Centri nizkega zračnega pritiska se pojavijo le nad visokimi področji in ne segajo prek dolin.



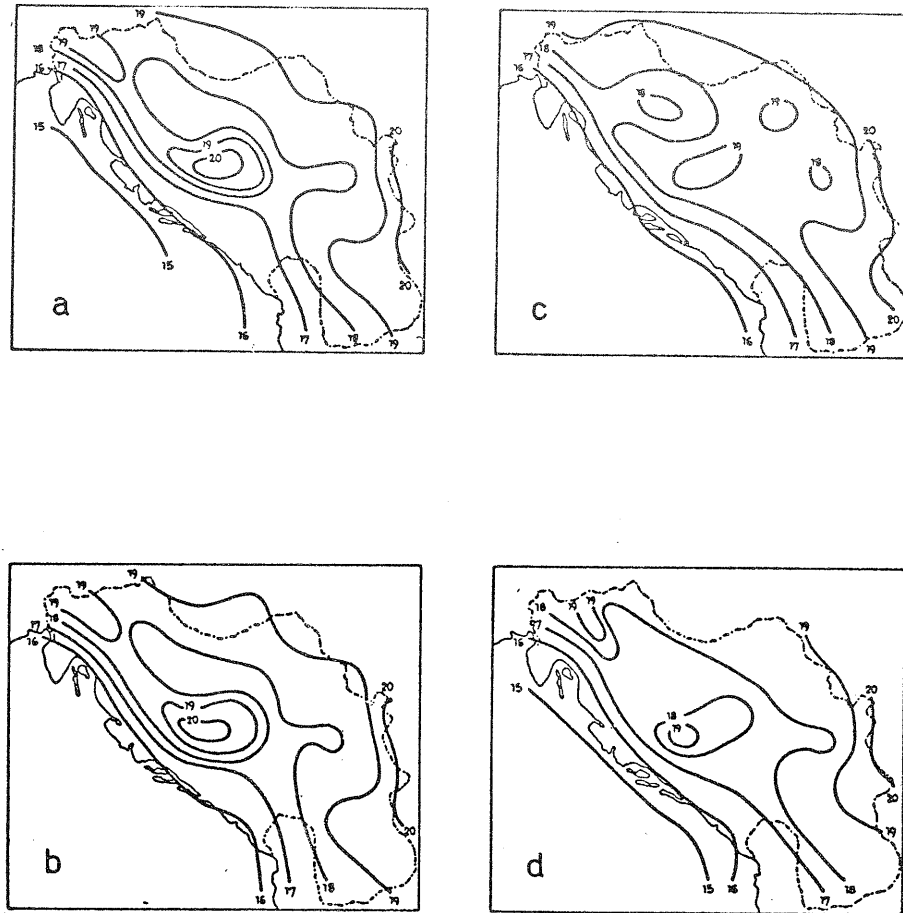
Slika 1 Analiza baričnega polja nad Jugoslavijo za 13. 1. 1965 ob 0300 GMT - Pritisk reduciran po metodah a, b, c in d

Fig. 1 Analysis of pressure field above Yugoslavia on 13 January, 1965, at 0300 GMT - Pressure reduced according to methods: a, b, c and d, respectively



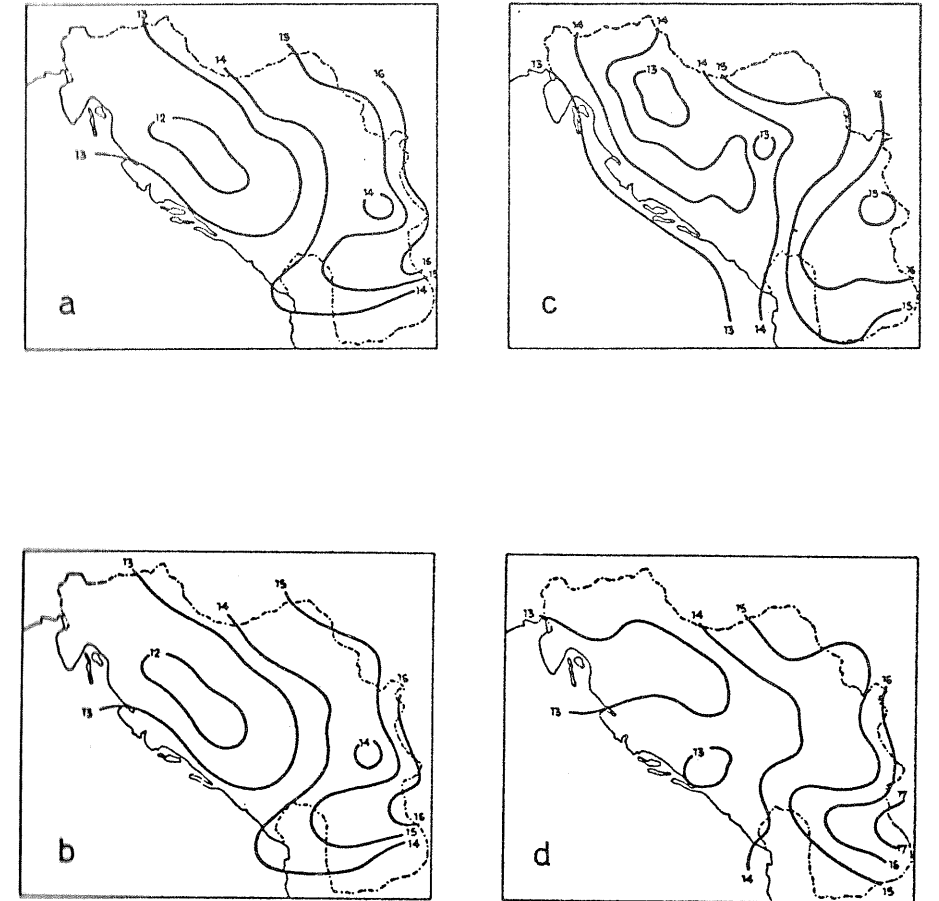
Slika 2 Analiza baričnega polja nad Jugoslavijo za 13. 1. 1965 ob 1500 GMT - Pritisk reduciran po metodah a, b, c in d.

Fig. 2 Analysis of pressure field above Yugoslavia on 13 January, 1965, at 1500 GMT - Pressure reduced according to methods a, b, c and d, respectively



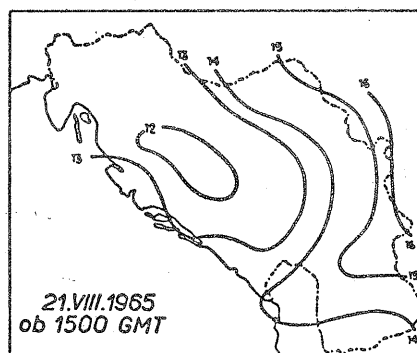
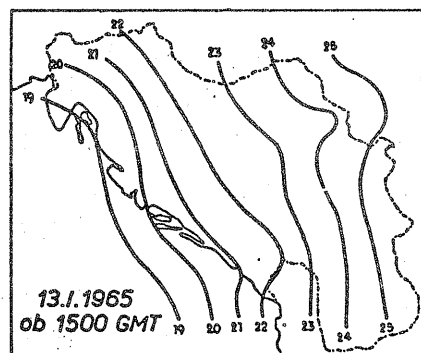
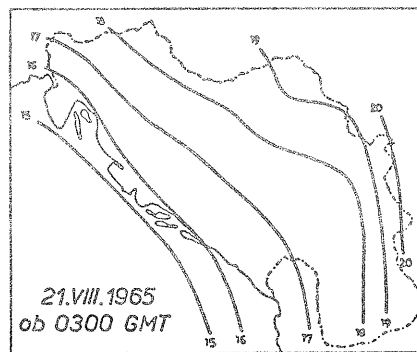
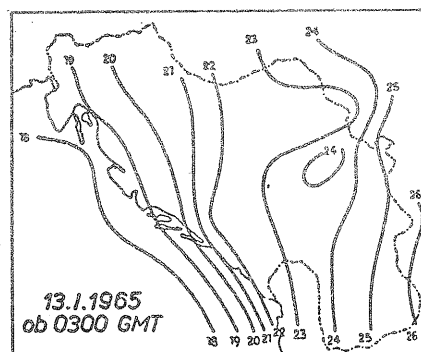
Slika 3 Analiza baričnega polja nad Jugoslavijo za 21. 8. 1965 ob 0300 GMT - pritisk reduciran po metodah a, b, c in d.

Fig. 3 Analysis of pressure field above Yugoslavia on 21 August, 1965, at 0300 GMT - Pressure reduced according to methods a, b, c and d, respectively



Slika 4 Analiza baričnega polja nad Jugoslavijo za 21. 8. 1965 ob 1500 GMT - Pritisk reduciran po metodah a, b, c in d

Fig. 4 Analysis of pressure field above Yugoslavia on 21 August, 1965, at 1500 GMT - Pressure reduced according to methods a, b, c and d, respectively



Slika 5 Analiza baričnega polja nad Jugoslavijo za 13. 1. 1965 ob 0300 in 1500 GMT ter 21. 8. 1965 ob 0300 in 1500 GMT - Pritisk reduciran po metodi e

Fig. 5 Analysis of pressure field above Yugoslavia on 13 January, 1965, at 0300 and 1500 GMT and on 21 August, 1965, at 0300 and 1500 GMT - Pressure reduced according to method e

Na karti d (slika 1) je greben visokega zračnega pritiska nad Bosno in Hercegovino izražen nekoliko šibkeje. Če primerjamo karti d (slika 1, 2), opazimo podobnost. Izključili smo dnevno variacijo temperature in v stacionarnem stanju je ostalo izobarno polje nespremenjeno.

Najbolj izglajene izobare nam kažejo karte e (slika 5). Vprašanje pa je, koliko ustreza to polje pritiska dejanskemu stanju, saj v vsej Bosni in Hercegovini, južni Srbiji in Makedoniji nimamo postaj, ki bi bile niže od 150 m. Postaj višjih od 150 m pa pri analizi teh kart nisem upošteval.

Sliki 3. in 4.: Center visokega zračnega pritiska, ki se pojavlja na kartah (a in b), (slika 3), nad Bosno in Hercegovino, je gotovo posledica napak zaradi redukcije, saj preide na popoldanskih kartah (a in b), (slika 4) celo v center nizkega zračnega pritiska. Če pogledamo temperaturno razporeditev, vidimo, da so se temperature povečale v povprečju za $10,6^{\circ}\text{C}$, nad omenjenim področjem pa od 15°C (242, 245, 257) do 18°C (353). Podobno tudi v Sloveniji.

Karti (b), (slika 3 in 4) se kljub zmanjšanemu temperaturnemu gradientu (v primerjavi z metodo (a), kjer je $\gamma = 5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, sem pri metodi (b) upošteval gradient $\gamma = 4,8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) popolnoma ujemata s kartama (a), (slika 3 in 4), saj se pritisk spremeni le pri dveh postajah in še to le za 0,1 mb.

Ker na porazdelitev pritiska, reduciranega pri konstantni temperaturi - QNH močno vpliva orografija (karti c), (slika 3 in 4), se verjetno rezultati, ki jih dobimo pri redukciji pritiska z metodo (d), (slika 3 in 4) mnogo bolj ujemajo z dejansko porazdelitvijo pritiska. Nad Bosno in Hercegovino dobimo manj izrazit center visokega zračnega pritiska v jutranjih urah (karta d), (slika 3) in dokaj brezgradientno polje popoldne (karta d), (slika 4).

SKLEPI

Vsaka od uporabljenih petih metod redukcije na morski nivo ima kako pomanjkljivost.

1. Pri vremenskih tipih, ki sem jih obdelal, se kaže pri uporabi redukcije, ki je v veljavi v Jugoslaviji, v glavnem sledeč vpliv na analizo regionalnih kart Jugoslavije: področje visokega zračnega pritiska v jutranjih urah, oziroma nizkega zračnega pritiska v popoldanskem času, ki se pojavlja nad goratim predelom Bosne in Hercegovine, ni v skladu z dejansko porazdelitvijo pritiska.
2. Izbira temperaturnega gradienta ne vpliva bistveno na velikost redukcije.
3. QNH vrednosti kažejo premočan vpliv orografije in so primerne le za ravne platoje.
4. Še najboljše rezultate da metoda redukcije, ki izključuje dnevno variacijo temperature.
5. Vpliv redukcije zračnega pritiska na analizo kart bi zmanjšali na minimum, če bi upoštevali pri določitvi T_v povprečje iz trenutne temperature in temperature 12 ur prej, povprečen temperaturni gradient, ki se najbolj ujema z dejanskim gradientom v Jugoslaviji, vlago in dodatno funkcijo, ki bi izključevala vpliv inverzij in orografije. Rezultate bi na ta način lahko hitro obdelovali verjetno samo z računskim strojem.

LITERATURA

- /1/ M.Laplace: *Traité de Mécanique céleste*, Paris 1805
- /2/ M.Čadež: *Uvod u dinamičko meteorologiju*, Beograd 1959
- /3/ M.Schuepp: *Das Problem der Luftdruckreduktion auf das Meeresniveau*, VI. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie in Bled, Beograd 1962

- /4/ World Meteorological Organisation, Technical Note N^o 7, WMO - N^o 36 T.P. 12, Geneve 1954
- /5/ Berry, Bollay and Beers: *Handbook of Meteorology*, McGraw-Hill Book Company, Inc. 1945.
- /6/ L.Klauser: *Zur Luftdruckreduktion in deutschen Alpenvorland*. Atti del Sottimo Congresso Internazionale di Meteorologia Alpina. Geofisica e Meteorologia, Vol. XI (1963), Genova.
- /7/ F.Linke: *Meteorologisches Taschenbuch IV.*, Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H., Leipzig 1939.