

Prilog metodama kritičke kontrole i objektivne analize meteoroloških podataka

A Contribution to the Methods of Quality Control and Objective Analysis of Meteorological Data

ČEDOMIR BRANKOVIĆ

SAŽETAK

U svrhu razvijanja cjelovitog sistema objektivna analiza — kritička kontrola definirana je metoda sukcesivnih polinomske aproksimacije kojom se kritička kontrola podataka vrši na jednom izobarnom nivou. U usporedbi sa subjektivnom analizom i s objektivnom analizom bez kritičke kontrole pokazano je da je sistem analize uz sukcesivne polinomske aproksimacije bolji. To je potvrđeno i prilikom testiranja različito dobivenih početnih meteoroloških polja u numeričkom modelu za kratkoročnu prognozu. Na kraju je ukazano na ona mjesta i momente čijim bi se izmjenama i dopunama unaprijedio čitav objedinjeni postupak kritičke kontrole i objektivne analize.

Ključne riječi: Kritička kontrola podataka; Objektivna analiza; Polinomska aproksimacija.

ABSTRACT

For the purpose of developing the entire objective analysis — quality control system, the method of successive polynomial approximation is defined. This method enables quality control of meteorological data at particular standard pressure level, i.e. in the »horizontal« sense. The comparison of successive polynomial approximations with subjective analysis and with objective analysis which does not include »horizontal« quality control shows that the system of analysing including successive approximations is giving better results. This was also confirmed when testing objective and subjective initial meteorological fields in the numerical model for short range weather forecasting. In conclusion the parts which could be improved or supplemented are pointed out.

Key words: Data quality control; Objective analysis; Polynomial approximations.

1. UVOD

Uvođenjem dinamičkog modela s primitivnim jednadžbama u operativnu prognozu vremena meteorološka služba uključila se u tokove potreba i metoda suvremene meteorologije. Obzirom da takav pristup prognozi zahtijeva i osuvremenjavanje analize, pristupilo se radu na objektivnoj analizi meteoroloških elemenata.

U početku je cilj rada bilo postavljanje objektivne analize kao pripremne faze u numeričkoj prognozi, ali se u toku samog rada dosta pažnje posvetilo i čisto dijagnostičkim aspektima objektivne analize.

U radu su prvo ukratko prikazane važnije metode objektivne analize. Više pažnje posvećeno je metodi polinoma iz koje su razvijene dvije primijenjene varijante. Proces analize uključuje i neizbježnu kritičku kontrolu. Primijenjena je i diskutirana standardna hidrostatička, a nakon toga opisana i predložena »horizontalna« kritička kontrola. Ona u postupku pripreme podataka za objektivnu analizu predstavlja izvjesnu novinu. Konačno, urađene su usporedne numeričke integracije u dinamičkom modelu na bazi meteoroloških polja dobivenih različitim objektivnom i subjektivnom analizom, da bi se predložena metoda testirala i usporedila s ostalima.

Svi postupci primijenjeni su na realnim podacima atmosfere do visine 100 mb. Na kraju je u zaključcima diskutirano o rezultatima i uočenim problemima, te o mogućnostima daljnjeg unapređenja citavog postupka.

2. POJAM I NAMJENA OBJEKTIVNE ANALIZE

Skup informacija s meteoroloških stanica raznih vrsta definira stanje atmosfere u odgovarajućem terminu opažanja. Analize ovih informacija vrše se u dijagnostičke i prognostičke svrhe. Postupak analize definiran je izvjesnom interpolacionom tehnikom, jer opažanja vršena na meteorološkim stanicama predstavljaju, u prikazu na geografskoj karti, slučajno raspoređene podatke. Tek je postupkom

interpolacije i ekstrapolacije moguće dobiti cjelovitu sliku vremenskog stanja nad određenim područjem. Tada govorimo o poljima meteoroloških elemenata, npr. polju temperature, polju geopotencijala i slično. Dakle, dobivanje polja elemenata je osnovna svrha analize meteoroloških informacija. Često su reprezentanti polja (kao na primjer izolacije, gradijenti, ekstremne točke i dr.) važniji od samih vrijednosti elemenata koje čine polje.

Dobivanje polja elemenata ili, ukratko, analizu moguće je ostvariti ili subjektivnim ili objektivnim načinom. U subjektivnoj analizi čovjek-analitičar odlučuje o svim aspektima obrade podataka. Međutim, osnovna namjena objektivne analize jest da u što većoj mjeri odstrani subjektivni utjecaj prilikom manipuliranja s informacijama. Zbog obilja podataka i brzine kojom treba obaviti analizu koriste se digitalni računski strojevi.

Prema tome, objektivna analiza u užem smislu može se definirati kao proces horizontalne interpolacije vrijednosti meteoroloških elemenata sa slučajno raspoređenih točaka mjerenja ili motrenja na diskretne i pravilno raspoređene točke neke unaprijed definirane mreže.

Širi pojam objektivne analize obuhvaća niz postupaka kao što su prijem podataka, njihovo dekodiranje, kontrolu, interpolaciju, usaglašavanje više meteoroloških polja i grafički ili neki drugi prikaz rezultata.

3. OPĆENITO O METODAMA OBJEKTIVNE ANALIZE

Pojam horizontalne interpolacije nije jednoznačan, tako da je danas metode objektivne analize moguće svrstati u nekoliko osnovnih grupa. Ovdje će biti prikazane ukratko, kronološkim redom.

Metoda lokalnog prilagođavanja. Vrijednosti meteorološkog elementa određuju se u točkama mreže prilagođavanjem neka matematičke funkcije tako da ona što bolje aproksimira podatke opažanja. Najčešće primjenjivane funkcije u ovoj metodi jesu algebarski polinomi, ali se koriste i ostale, na prim-

jer trigonometrijske, ortogonalne, sferne itd. Panofsky (1949) je prvi koristio polinom trećeg reda za objektivnu analizu u parcijalnim područjima mreže koja sadrže određeni broj stanica. U kasnijim radovima (Gilchrist i Cressman, 1954; Bushby i Huckle, 1957; Corby, 1961) metoda je modificirana, i oblik definirane funkcije određuje se za svaku pojedinu točku mreže iz okolnih stanica.

Metoda korekcije. Ona pretpostavlja da se raspolaže s nekim preliminarnim poljem. Preliminarno polje može biti ili prognostičko ili statističko ili njihova međusobna kombinacija. Takvo polje se popravljiva (korigira) podacima opažanja u okolici svake pojedine točke mreže. Ova metoda najčešće se susreće u rutinskoj primjeni, a definirali su je Bergthorsson i Döös (1955), dok Cressman (1959) uvodi izvjesne promjene. Kisegi (1976) je ispitivao primjenu ove metode nad područjem Evrope, a rezultati su prikazani u drugom dijelu ove publikacije.

Metoda varijacija. Osniva se na računu varijacija (vidjeti na primjer Sokolnikoff i Redheffer, 1966). Potrebno je odrediti minimalnu vrijednost integrala, čija je podintegralna funkcija kvadrat razlike između teoretskih i opaženih iznosa. Sasaki (1958) prvi primjenjuje ovu teoriju u svrhu objektivne analize meteoroloških polja. U kasnijem radu Sasaki (1969) proširuje podintegralnu funkciju još jednim članom, koji ima svojstvo filtriranja modova visokih frekvencija.

Iterativna metoda. Postupak je sličan kao u metodi korekcija, s tim da je početno polje definirano na temelju podataka opažanja. Međutim, rezultantno polje geopotencijala sadrži, zbog pogrešaka opažanja, procese malih razmjera pa je potrebno izgladivavanje. Metodu je definirao Haug (1959).

Metoda optimalne interpolacije. Ova metoda sadrži minimiziranje (u statističkom smislu) srednje pogreške interpolacije nekog meteorološkog polja u računskim točkama. Težinski faktori određuju se rješavanjem sistema linearnih algebarskih jednadžbi kojima su koeficijenti normalizirane autokorelacione funkcije za odstupanje elemenata od njihove normale (klimatološkog srednjaka). Metodu je definirao Gandin (1963).

Spektralna metoda. Vrijednosti polja u računskim točkama određuju se prilagođavanjem neke funkcije podacima opažanja u čitavom području analize odjednom. Najčešće se koriste ortogonalne funkcije. Ovaj način objektivne analize prvi je prikazao Flatery (1971).

Složena struktura atmosferskih procesa zahtijeva obradu više elemenata istodobno, tako da se u novije vrijeme razvija multivarijatna analiza (Schlatter, 1975).

4. METODA POLINOMA

Najčešće primjenjivane funkcije u objektivnoj analizi metodom lokalnog prilagođavanja jesu algebarski polinomi, pa se ova metoda naziva i metoda polinoma.

Metoda polinoma ne zahtijeva nikakve prethodne postupke s podacima, osim, što je i uobičajeno, kritičku kontrolu. Nadalje, metoda omogućava analizu bez oslanjanja na klimatološka ili prognostička polja. Izrada i testiranje izvršnih programskih elemenata za elektronsko računalo je jednostavnija i brža za ovu metodu nego za ostale.

Problem se sastoji u tome da se odredi ploha $f(x,y)$ koja će se najbolje prilagoditi podacima opažanja na ograničenom području. Ako je vertikalna koordinata tlak, radi se o analizi na izobarnom nivou pa je polinomski oblik tražene funkcije

$$f(x,y) = \sum_{i+j \leq r} a_{ij} x^i y^j, \quad 0 \leq i + j \leq r. \quad (4.1)$$

Ovdje su x i y pravokutne koordinate, a_{ij} koeficijenti polinoma, a r red ili stupanj polinoma. Razvoj relacije (4.1) za $r=2$ daje polinom drugog stupnja.

$$f(x,y) = a_{00} + a_{10}x + a_{20}x^2 + a_{01}y + a_{02}y^2 + a_{11}xy. \quad (4.2)$$

Da bi polinom (4.2) bio potpuno i jednoznačno određen mora biti poznato šest koeficijenata a_{ij} . To znači da je potrebno barem po šest podataka od x , y i f . Manje od šest podataka čini problem nerješivim.

Prilagođavanje polinoma (4.1) podacima opažanja vrši se metodom najmanjih kvadrata, tj. zahtijeva se da suma

$$S = \sum_n [f_{\text{obn}} - f(x,y)]^2 \quad (4.3)$$

bude minimalna. Ovdje je n broj podataka opažanja, a f_{obn} opažani podatak elementa f na poziciji x_n , y_n . Uvjet minimiziranja ostvaruje se rješavanjem linearnog nehomogenog sistema jednadžbi

$$\frac{\partial S}{\partial a_{ij}} = 0, \quad 0 \leq i + j \leq r. \quad (4.4)$$

Za slučaj $r=2$ sistem se sastoji od šest jednadžbi sa šest nepoznanica. Rješavanjem sistema odrede se koeficijenti a_{ij} , a vrijednost polinoma u točki s koordinatama x , y dobiva se uvrštavanjem tih koordinata u (4.1). Valja napomenuti da se promjenom broja podataka mijenjaju i vrijednosti a_{ij} , tako da određeni broj podataka definira najvjerojatniji polinom razdiobe elementa f nad promatranim područjem.

Matrični zapis kompletnog sistema jednadžbi ima oblik

$$F = A \cdot S', \quad (4.5)$$

gdje je F matrica slobodnih članova, A matrica nepoznanica (koeficijenti a_{ij}), a S' transponirana matrica sistema.

Matrica sistema definira determinantu sistema. Za nju vrijedi $S' = S$, jer se radi o simetričnoj matrici (za elemente simetrične matrice vrijedi $s_{ij} = s_{ji}$), tj. zamjenom redaka u stupcu matrica se nije promijenila. Matrični zapis (4.5) može se, dakle, pisati u obliku

$$F' = S \cdot A'. \quad (4.6)$$

U (4.6) su F' i A' transponirane matrice F i A . Relacije (4.5) i (4.6) imaju potpuno jednako znače-

nje. Važno je da se prilikom tvorbe matrice vodi računa o tome da matrice budu ulančane. To znači da u produktu matrica broj stupaca prve bude jednak broju redaka druge matrice, tj. da vrijedi

$$(1,m) = (1,m) \cdot (m,n) \text{ ili } (m,1) = (m,m) \cdot (m,1),$$

gdje prvi broj u zagradi označava retke, a drugi stupce matrice.

Kompletan matricni zapis na pr. relacije (4.6) za polinom drugog stupnja izgleda ovako

$$\begin{bmatrix} \Sigma f_{0Bn} \\ \Sigma f_{0Bn} x_n \\ \Sigma f_{0Bn} x_n^2 \\ \Sigma f_{0Bn} y_n \\ \Sigma f_{0Bn} y_n^2 \\ \Sigma f_{0Bn} x_n y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \Sigma x_n & \Sigma x_n^2 & \Sigma y_n & \Sigma y_n^2 & \Sigma x_n y_n \\ \Sigma x_n & \Sigma x_n^2 & \Sigma x_n^3 & \Sigma x_n y_n & \Sigma x_n y_n^2 & \Sigma x_n^2 y_n \\ \Sigma x_n^2 & \Sigma x_n^3 & \Sigma x_n^4 & \Sigma x_n^2 y_n & \Sigma x_n^3 y_n & \Sigma x_n^2 y_n^2 \\ \Sigma y_n & \Sigma x_n y_n & \Sigma x_n^2 y_n & \Sigma y_n^2 & \Sigma y_n^3 & \Sigma x_n y_n^2 \\ \Sigma y_n^2 & \Sigma x_n y_n^2 & \Sigma x_n^2 y_n^2 & \Sigma y_n^3 & \Sigma y_n^4 & \Sigma x_n y_n^3 \\ \Sigma x_n y_n & \Sigma x_n^2 y_n & \Sigma x_n^3 y_n & \Sigma x_n y_n^2 & \Sigma x_n y_n^3 & \Sigma x_n^2 y_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{00} \\ a_{10} \\ a_{20} \\ a_{01} \\ a_{02} \\ a_{11} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Za rješavanje linearnog nehomogenog sistema jednadžbi sistemski biblioteka Sveučilišnog računskog centra u Zagrebu za stroj UNIVAC 1100 posjeduje program LSIMEQ.

Ranije je istaknuto da je za polinom drugog stupnja potrebno odrediti šest koeficijenata a_{ij} , odnosno da je za to potrebno barem šest podataka elementa f . Međutim, u praksi se rijetko koristi točno šest podataka za određivanje polinoma drugog stupnja. Obično se uzima više podataka, što je posljedica zahtjeva da sistem jednadžbi bude preodređen (engl. overestimate). Ovo se čini zbog toga što podaci mogu sadržavati razne pogreške koje nastaju ili kao posljedica opažanja, ili kao posljedica transmisije podataka. Preodređen sistem definira metodom najmanjih kvadrata najvjerojatnije koeficijente polinoma.

5. MODIFIKACIJA METODE POLINOMA I PRIMJENA

U većini radova koji su tretirali metodu polinoma analizirani element bila je visina izobarnih nivoa H . Podaci visina se nadopunjuju članovima koji sadrže vjetar i prognostičke visine izobarnih nivoa (Bushby i Huckle, 1975; Corby, 1961). Stvarni vjetar u tom slučaju prilagođen je geostrofičkom u sumi najmanjih kvadrata (4.3). Taj član sadrži ageostrofički efekt, tako da u slučaju većih pogrešaka opažanja vjetra dolazi do znatne deformacije plohe polinoma (Döös, 1969). Modificirani ili upotpunjeni oblik sume (4.3) glasi

$$S = \sum_n p_1 (H_{0Bn} - \sum_{i=1}^r a_{1i} x_i^n y_i^n)^2 + \sum_m p_2 [(u_{0Bm} - u)^2 + (v_{0Bm} - v)^2] + \sum_1 p_3 (H_{f1} - \sum_{i=1}^3 a_{1i} x_i^1 y_i^1)^2 \quad (5.1)$$

Simboli u gornjoj relaciji imaju ovo značenje: — p_1, p_2, p_3 su težinske funkcije koje su definirane tako da veću težinu u proračunu imaju one opažane vrijednosti koje su bliže računskoj točki u kojoj se određuje vrijednost polinoma.

— n, m, e su redom: broj izmjerenih visina izobarnog nivoa, broj motrenja s vjetrom i broj podataka prognostičkog polja.

— $H_{0Bn}, u_{0Bn}, v_{0Bn}$ su osmotrene vrijednosti visina izobarnog nivoa i komponenata vjetra.

— u, v su komponente geostrofičkog vjetra dobivene po relaciji

$$u = -\frac{g}{f} \frac{\partial H}{\partial y} \quad \text{ i } \quad v = \frac{g}{f} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (5.2)$$

gdje su derivacije određene iz (4.1). Tako, na primjer, za $r=2$, komponente geostrofičkog vjetra imaju oblik

$$u = -\frac{g}{f} (a_{01} + 2a_{02}y + a_{11}x) \quad (5.3)$$

$$v = \frac{g}{f} (a_{10} + 2a_{20}x + a_{11}y).$$

— H_{fi} su vrijednosti prograstičkog polja na poziciji x_i, y_i .

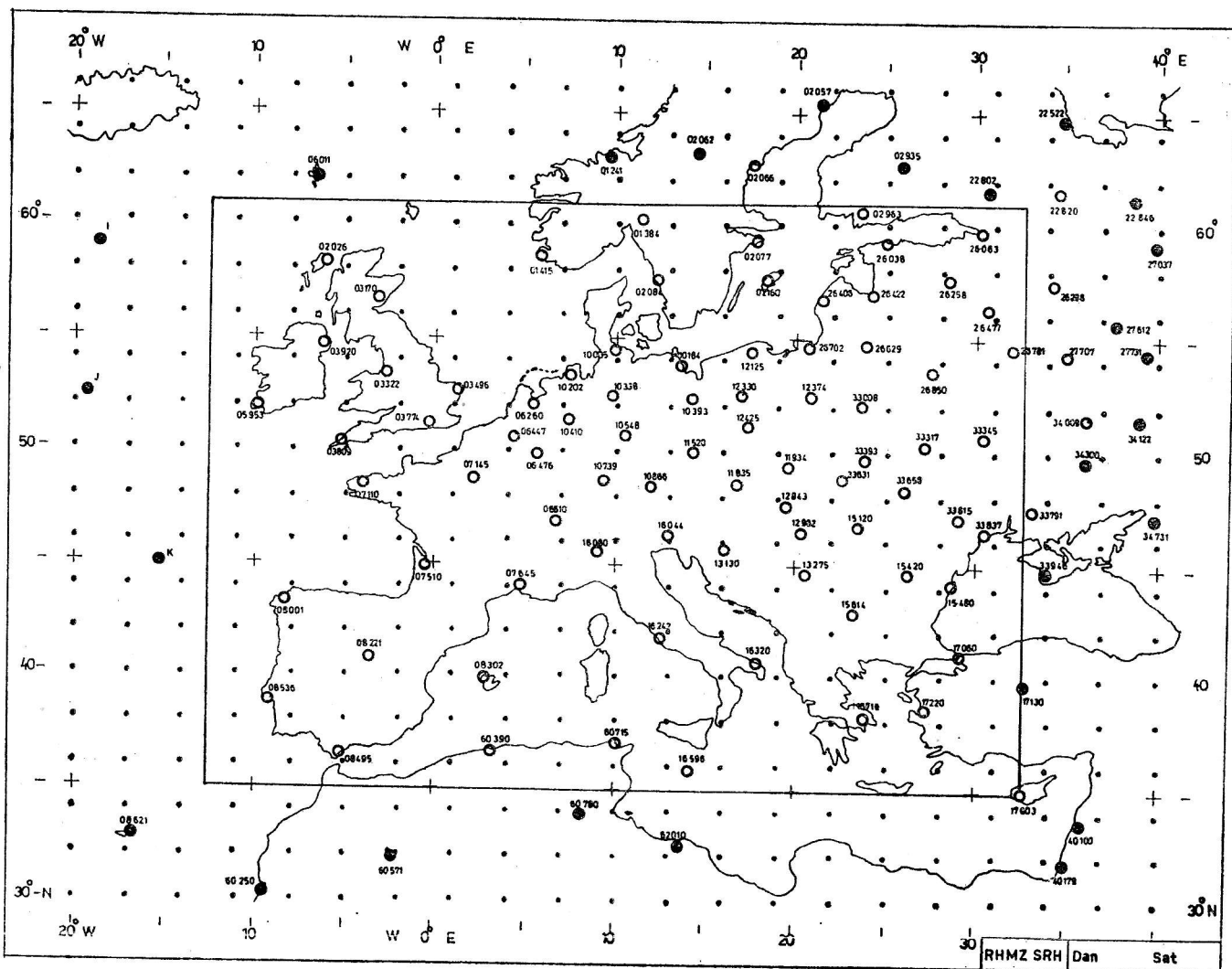
Metodu polinoma moguće je primjeniti na podatke opažanja na dva načina. Prvi je da se najvjerojatniji polinom određuje nad unaprijed definiranim područjem. U ovom slučaju nije potrebno određivati težinske funkcije, ali prilagođavanje različitih polinoma u susjednim područjima može uzrokovati diskontinuitete u vrijednostima analiziranog elementa na granici tih područja. Drugi način jest da se jedan polinom određuje za svaku točku mreže. Ovdje je nužno definirati težinske funkcije, a također se zahtijeva dosta vremena i memorije računala.

6. VARIJANTE METODE POLINOMA

U radu Kisegija (1976) i u nepubliciranom izvještaju Jurčec i Brankovića (1975), opisane su tri varijante metode polinoma korištene u Republičkom hidrometeorološkom zavodu SR Hrvatske. Ovdje će u kratko biti spomenuti algoritmi ovih varijanti.

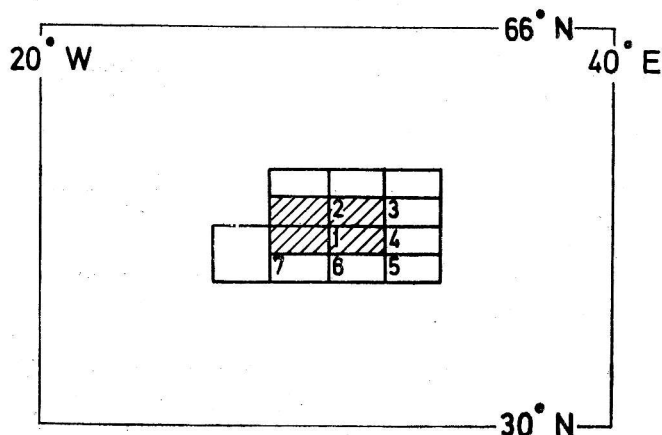
Da bi se izbjeglo računanje težinskih faktora, jer je velik problem kako oni trebaju opadati s udaljenošću, objektivna analiza prvo je definirana u verziji koju je iznio Panofsky (1949). Područje analize razloženo je u manja, elementarna područja, koja se međusobno preklapaju da ne bi došlo do pojave diskontinuiteta na granicama. Primjena metode po elementarnim područjima povezana je u cjelovitu objektivnu analizu u čitavom području prikazanom na slici 6.1. na dva načina: a) fiksiranjem granica elementarnih područja bez obzira na broj stanica koje se nalaze unutar njih (varijanta S), i b) definiranjem i traženjem najmanjeg broja stanica koji je dovoljan za objektivnu analizu u elementarnim područjima (varijanta N).

Varijanta S. Prvo elementarno područje nalazi se u onom dijelu područja analize gdje je najveća gustoća stanica. U ovom slučaju to je srednja Evropa (sl. 6.2.) Drugo elementarno područje translirano je u odnosu na prvo prema sjeveru, treće u odnosu na drugo prema istoku i dalje kako je prikazao na slici 6.2. Na taj način središnje računске točke svih elementarnih područja opisuju neku vrstu spirale. Rubna elementarna područja moraju prelaziti granicu područja objektivne analize bar za jedan prostorni korak, da bi se odredile vrijednosti analiziranog elementa na samoj granici.

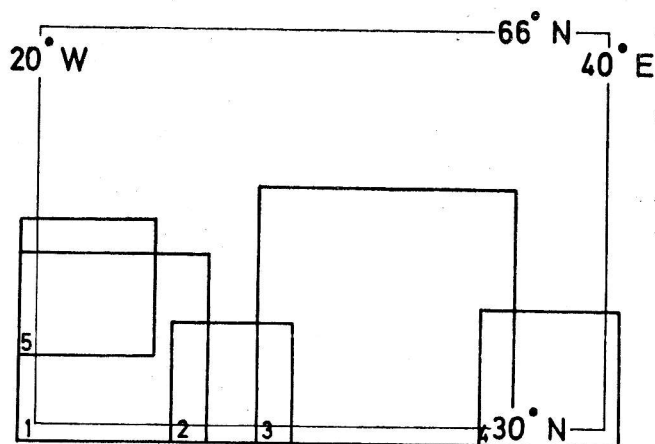


Slika 6.1. Područje analize, računске тоčke i radiosondažне stanice. Granično područje čine tri reda računских тоčaka i odijeljeno je od unutarnjeg punom linijom. Stanice duž granice spomenute u točki 9. označene su kao puni veći kružići.

U elementarnim područjima ove varijante može nedostajati nuždan broj stanica (podataka) za rješenje sistema linearnih jednadžbi. U takvim slučajevima koriste se već proračunate vrijednosti iz računskih točaka prethodnog elementarnog područja.



Slika 6.2. Varijanta S. Sjenčano je označeno prvo elementarno područje. Broj 1 odnosi se na središnju točku tog područja. Ostali brojevi označavaju središnje točke područja koja formiraju »spiralu«.



Slika 6.3. Varijanta N. Shematizirani prikaz biranja elementarnih područja.

Varijanta N. Da bi granice područja objektivne analize ušle u elementarna područja, ishodišna točka prvog elementarnog područja nalazi se jedan korak zapadno i jedan korak južno od koordinata $\varphi=30^\circ \text{ N}$ i $\lambda=20^\circ \text{ W}$ (sl. 6.3.). Toj ishodišnoj točki

daje se prirast od jednog koraka mreže prema istoku i prema sjeveru, sve dok se elementarno područje ne proširi toliko da se u njemu nalazi traženi ili veći broj podataka. Onda se primjenjuje metoda polinoma. Prelaz na iduće elementarno područje prikazan je na sl. 6.3. I ovdje su diskontinuiteti izbjegnuti preklapanjem elementarnih područja.

Varijanta T. Ova varijanta razlikuje se od prethodne dvije i spada u drugi način primjene polinoma, spomenutog u točki 5. Za svaku računsku točku zasebno računat je polinom iz okolnih podataka opažanja, a težinska funkcija računata je prema izrazima opisanim u drugom dijelu ove publikacije.

7. REZULTATI PRIMJENE VARIJANTI POLINOMSKE METODE

Primjena objektivne analize na prizemne i visinske podatke od 21.-23. srpnja 1973. godine u 00 i 12 GMT u području slike 6.1. učinjena je sa sve tri varijante.

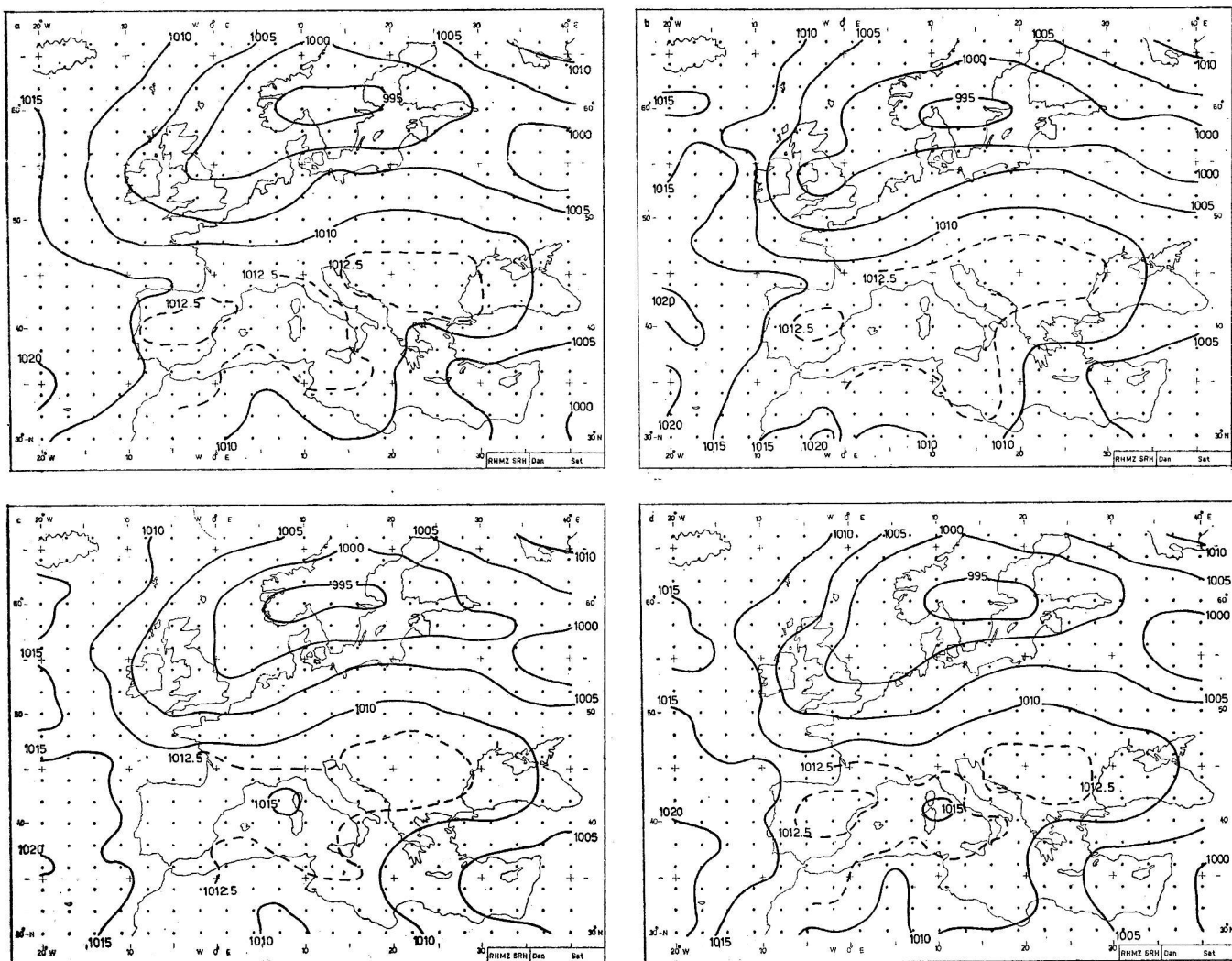
Za prostornu diskretizaciju uzeti su koraci $\Delta\varphi=2^\circ$ i $\Delta\lambda=3^\circ$. Širinskom koraku mreže odgovara 222 km za svaku vrijednost geografske širine φ . Dužinski ko-

rak je promjenljiv, te na južnoj granici područja analize (30° N) iznosi 289 km, a na sjevernoj (66° N) zbog konvergencije meridijana 136 km.

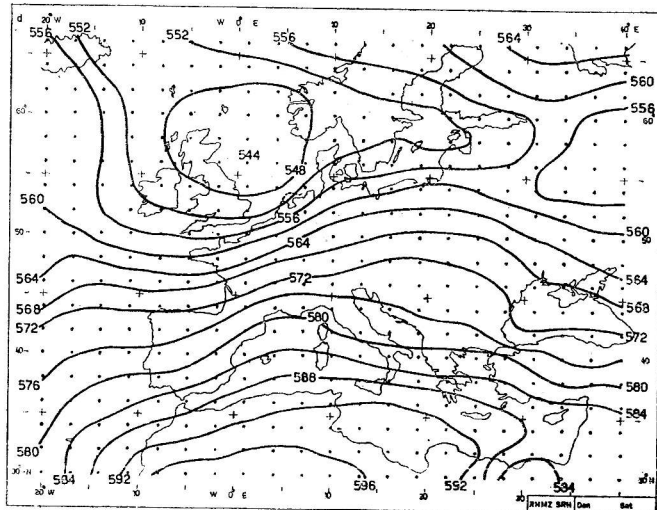
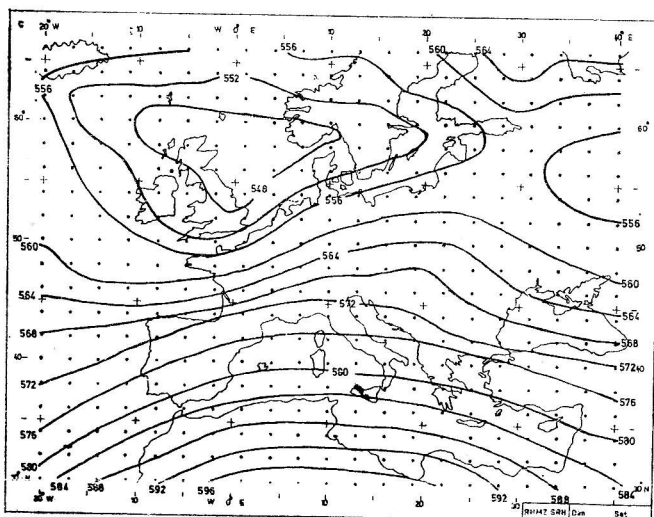
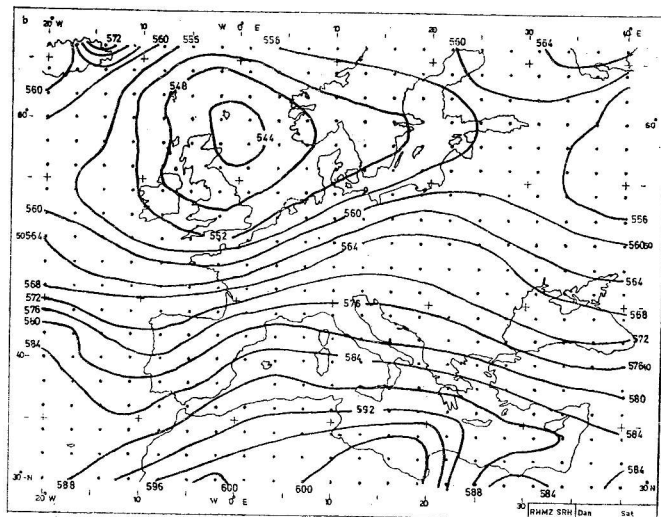
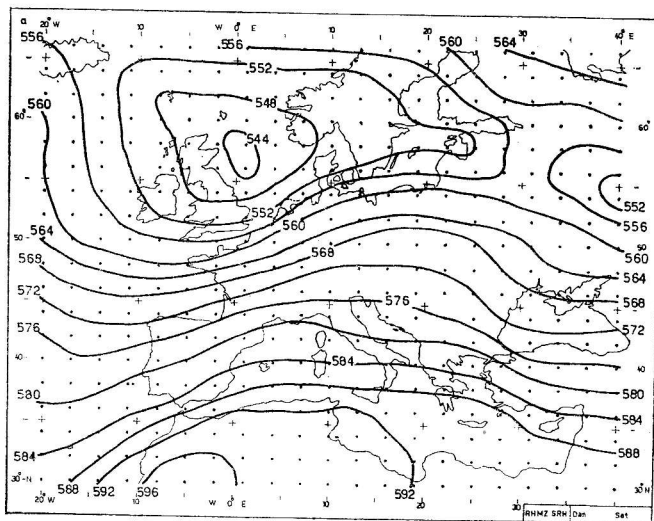
Visinski podaci sadržavali su geopotencijal i temperaturu na devet standardnih nivoa 1000-100 mb (osim 250 mb), vjetar do 150 mb i vlagu u obliku deficita rosišta na većini stanica u donjoj troposferi.

Kisegi (1976) je prikazao komparativnu analizu spomenutih varijanti. Ovdje će se samo ukratko osvrnuti na neka analizirana polja.

Slika 7.1. prikazuje polje prizemnog tlaka u terminu 00 GMT, 21. srpnja 1973., koje je analizirano subjektivno i objektivno opisanim varijantama metode polinoma. Centar niskog tlaka iznad sjeverne Evrope u svim je analizama jednako lociran i s jednakim iznosom. Oblici i vrijednosti izobara u ostalim dijelovima područja analize praktički su isti, osim na granicama. Ovako dobro međusobno podudaranje karakteristika je prizemne karte bilo kojeg analiziranog elementa, a također i visinskih karata elementa s eazmjerno jednolikom razdiobom, kao što su geopotencijal i temperatura. Problem neadekvatnog prikaza na granicama zbog nedostatka podataka nije se mogao izbjeći niti u jednoj objektivnoj analizi.



Slika 7.1. Prizemni tlak 21. srpnja 1973. u 00 GMT. a) subjektivna analiza, b) varijanta S, c) varijanta N, d) varijanta T.



Slika 7. 2. AT 500 mb, isto kao u slici 7.1.

U slici 7.2. prikazane su analize geopotencijala 500 mb plohe na isti način kao i za prizemni tlak. I ovdje su opće značajke polja sadržane u svim analizama, a ovo se odnosi na polja geopotencijala svih izobarnih nivoa i u svim terminima.

Objektivno analizirana polja komponenata vjetra u usporedbi sa subjektivnom analizom, ali i međusobno, više se razlikuju. Detaljnom analizom slike 7.3. nameće se zaključak da se radi o jednom istom polju. Razlike u vrijednosti i lokaciji izotaha su relativno male, dok su nešto veće u samom obliku izotaha. Uočljivi su preveliki iznosi zonalne komponente na granicama, u poljima dobivenim sa S i N varijantom, a također, nerealno veliki gradijent u blizini južne granice kod varijante T. Ovi nedostaci posljedica su velike promjenljivosti polja vjetra (pa time i njegovih komponenata), kojima se polinomi teže prilagođavaju. Problem bi se vjerojatno mogao prevazići primjenom polinoma višeg reda.

Polja temperature ponašaju se slično kao i polja geopotencijala, pa ovdje nisu opisana.

Na kraju ovog prikaza treba napomenuti da kvaliteta analize varijantama S i N ovisi i o pravilnosti rasporeda stanica unutar elementarnog područja analize. Ukoliko su stanice unutar takvog područja rav-

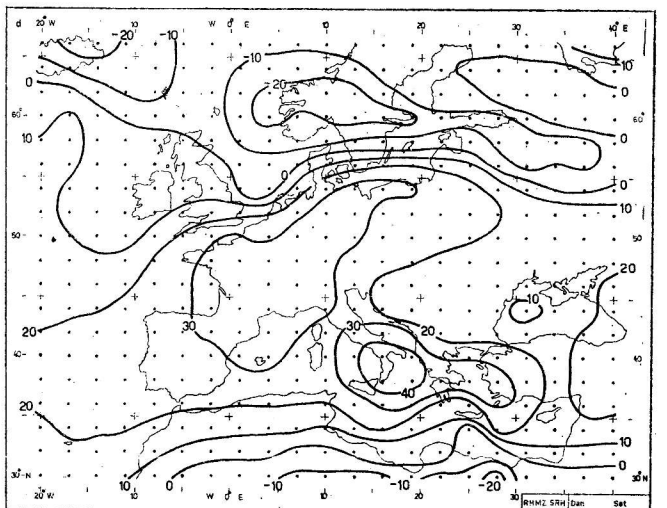
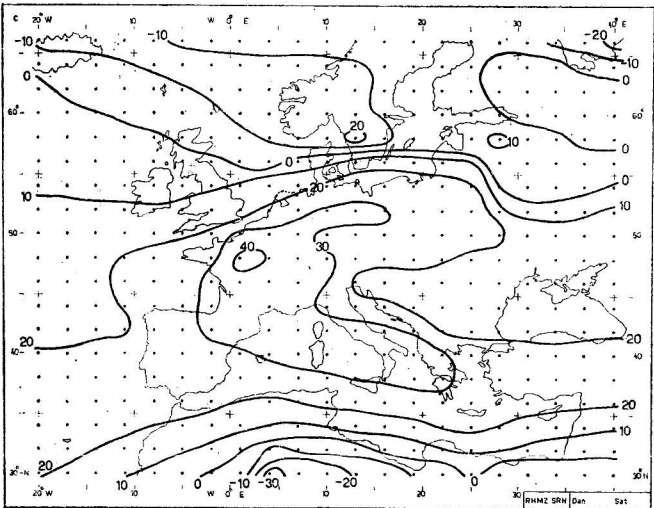
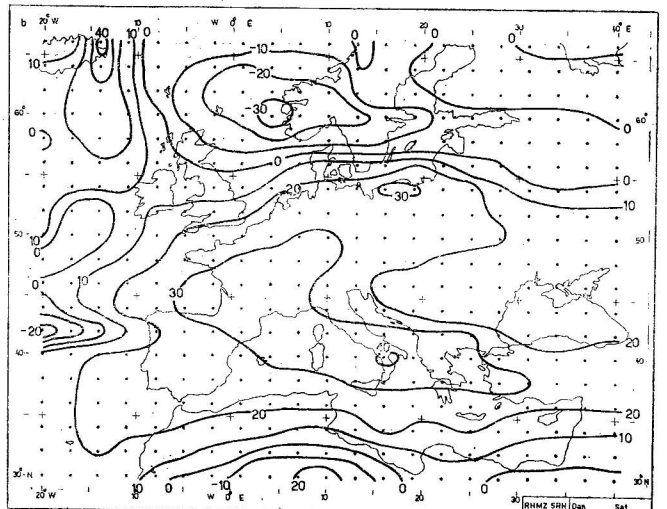
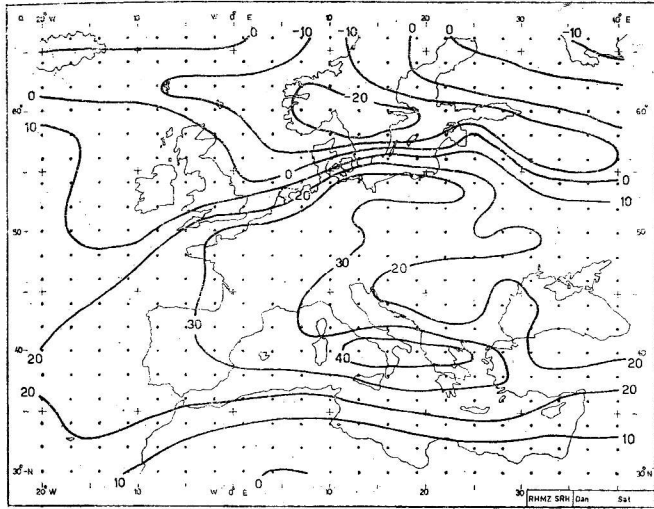
nomjernije raspoređene (uz pretpostavku da su podaci točni ili bar prihvatljivi), analiza je kvalitetnija, i obratno.

8. KRITIČKA KONTROLA PODATAKA OPAŽANJA PO METODI RUBCOVA

Preliminarne objektivne analize prikazane u prethodnoj točki dobivene su varijantama metode polinoma bez prethodnih manipulacija s podacima, izuzevši eliminacije grubih pogrešaka. Međutim, kako podaci opažanja sadrže i druge vrste pogrešaka, potrebno ih je ili korigirati ili eliminirati, dakle potrebno je izvršiti kritičku kontrolu.

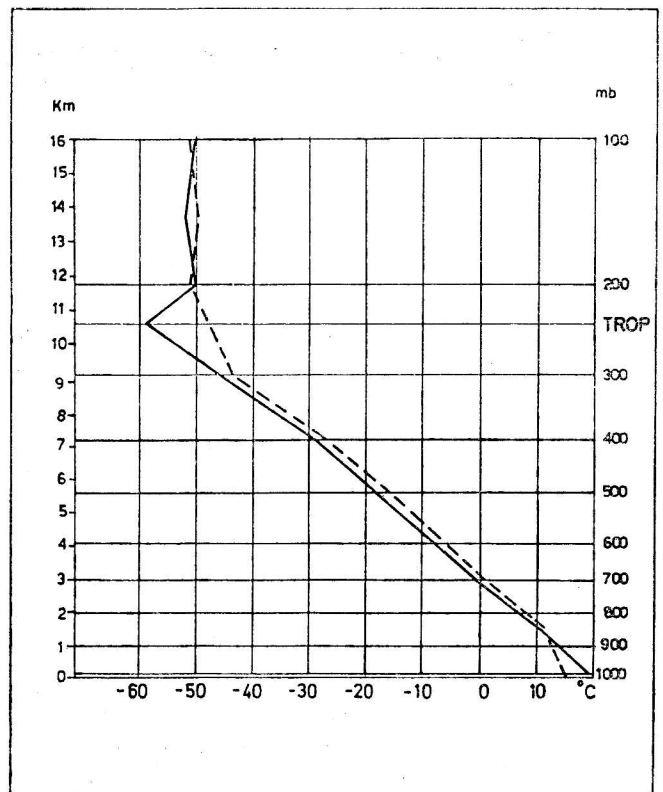
Radinović (1969) navodi kao pogodnu, metodu Rubcova za kritičku kontrolu. Primjenom ove metode na podatke termina 21. srpnja 1973. u 00 GMT uočne su neke osobenosti.

Prvo, u izvjesnim slučajevima kriterij Rubcova nije zadovoljen, ali nije moguće odrediti da li je pogreška podataka geopotencijala ili temperature. Npr. sondažna stanica 10548 daje odstupanje od hidrostatske ravnoteže u sloju 300/200mb za -67 m. U susjednom nižem i u susjednom višem sloju odstupanja su znatno manja i s pozitivnim predzna-

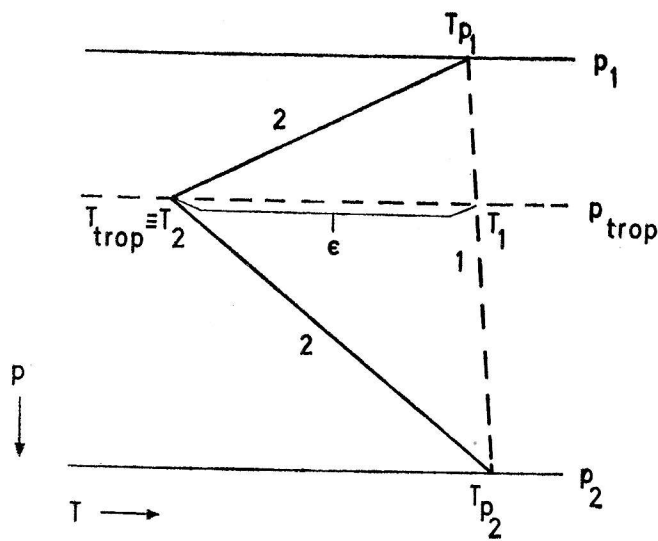


Slika 7.3. Zonalna komponenta vjetra na 300 mb, isto kao u slici 7.1.

kom. Protivni predznak odstupanja u susjednim slojevima mogao bi indicirati na grešku geopotencijala, ali to nije pouzdano budući da su iznosi odstupanja tolerantni. Vertikalni profil temperature (slika 8.1.) pokazuje da je na tropopauzi (240 mb) izmjerena podatak od -57.7°C . On narušava linearost promjene temperature visinom u sloju 300/200 mb i dovodi u pitanje primjenljivost metode Rubcova u blizini tropopauze. S druge strane, ako se ne uzmu u obzir ekstremi temperature na tropopauzi dobivaju se nerealni profili temperature. Pitanje je na koji način te ekstreme uvažiti. Slika 8.2. prikazuje odnos izobarnih nivoa i tropopauze. Krivulja 1 (linearna promjena) daje temperaturu T_1 , a krivulja 2 daje T_2 , što je, ustvari, prava vrijednost temperature na tropopauzi. Greška ϵ ovisi o položaju tropopauze između standardnih nivoa p_1 i p_2 , te o profilu temperature. U nekim slučajevima ona ide čak do 10 stupnjeva. Zbog nemogućnosti kontrole podataka temperature na tropopauzi ovim kriterijem i zbog poteškoće oko uvažavanja tih podataka u strojnom programskom elementu, ostalo se na tome da bi u budućnosti i njih trebalo uvažiti.



Slika 8.1. Vertikalni profil temperature (u stupnjevima C) na stanici 10548, $\varphi=50.37^{\circ}\text{ N}$, $\lambda=10.38^{\circ}\text{ E}$ (puna krivulja) i iz objektivne analize u točki $\varphi=50^{\circ}\text{ N}$, $\lambda=10^{\circ}\text{ E}$ (crtkano) za 21. srpanj 1973. u 00 GMT.



Slika 8.2. Greška interpolacije ϵ zbog neuvažavanja podatka temperature T_{trop} na tropopauzi. Interpolacija se vrši između dva izobarna nivoa.

Druga osobitost, koja je uočena prilikom primjene metode Rubcova na podatke, jest da neke stanice imaju zabilježene vrijednosti geopotencijala koje se ne uklapaju u cjelovitu sliku polja, ali ipak metoda daje dobre rezultate. To je, na primjer, slučaj u tri podatka visine 200 mb plohe (bezgradijentno polje) iznad zapadne Evrope, u blizini mlazne struje s horizontalnim smicanjem vjetra. Nadalje, dvije stanice na približno istoj geografskoj širini (Izmir i Atena) javljaju porast geopotencijala od zapada prema istoku, iako vjetar na obje stanice ne ukazuje na veće promjene. Očito, radi se o pogrešnim podacima geopotencijala koje kriterij Rubcova ne detektira.

Zaključak bi bio da kritička kontrola hidrostatske ravnoteže nije dovoljna za analizu podataka u blizini mlazne struje i tropopauze, jer bi zahtijevala ili odbacivanje većeg broja podataka temperature i geopotencijala ili dozvolila utjecaj efekata manjih razmjera na horizontalnu neusklađenost ovih polja.

9. KRITIČKA KONTROLA METODOM SUKCESIVNIH POLINOMSKIH APROKSIMACIJA

U metodi za horizontalnu kontrolu, koja će ovdje biti iznesena, svi raspoloživi podaci unutar područja analize i u blizini granica podvrgnuti su sukcesivnim polinomskim aproksimacijama.

Prvu aproksimaciju određuje polinomska ploha drugog stupnja uzimajući u obzir sve raspoložive podatke nekog meteorološkog elementa na jednom izobarnom nivou. Cilj ove aproksimacije jest da se odrede i eliminiraju sve one vrijednosti koje ne zadovoljavaju unaprijed definirane kriterije. U tu svrhu promatraju se razlike između podataka opažanja i vrijednosti polinomske aproksimacije na istim stanicama. Te razlike definiraju se kao polinomska odstupanja x_i , a dobivene su bilinearnom interpolacijom (vidjeti npr. Radinović, 1969, strana 237). Na taj način odredi se polje polinomskih odstupanja nad područjem analize. Svojevrsne vrijednosti sva-

kog tako definiranog polja jesu srednje apsolutno odstupanje \bar{x} i standardna devijacija S . Testiraju se one vrijednosti odstupanja x_i za koje je zadovoljeno

$$|\bar{x}_i| \geq \bar{x} + \frac{S}{2}. \quad (9.1)$$

Promatramo odstupanje x_N koje zadovoljava uvjet (9.1). Ako između okolnih šest odstupanja postoji bar jedno istog smisla, a iznosa unutar intervala $x_N \pm S/2$, tada se x_N pripisuje efektima definiranih razmjera i zadržava se u analizi. Ukoliko nema takvog podatka, x_N se odbacuje kao pogrešno, ako se nalazi unutar područja analize.

Ukoliko su takva odstupanja na definiranim stanicama duž granica (vidi sliku 6.1.), smatraju se pogrešnim zbog lošeg prilagođavanja polinoma drugog stupnja rubnim opdacima. Test se ponavlja s polinomom trećeg stupnja, a to predstavlja drugu aproksimaciju.

Prva i druga aproksimacija definiraju objektivnu analizu »graničnog područja«. Ono se sastoji od tri reda računskih točaka područja analize, kako je prikazano na sl. 6.1.

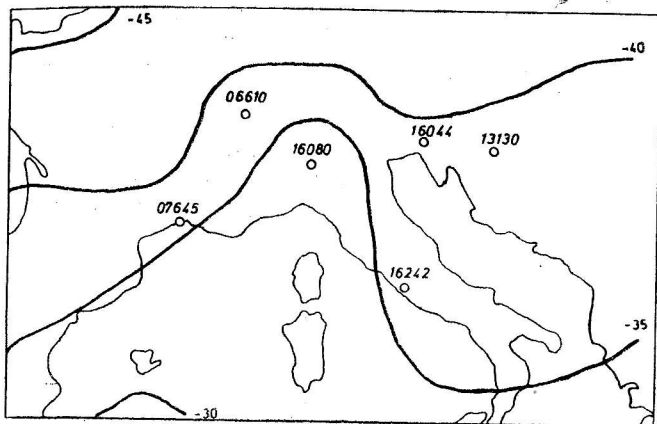
Nekom od ranije prakazanih varijanti metode polinoma, određuje se treća aproksimacija i to nakon odbacivanja pogrešnih podataka, koja se detektiraju prvom (odnosno drugom) aproksimacijom. Treća polinomska aproksimacija uzima u proračun za svaku točku mreže 12 okolnih stanica na visinskim kartama, a 18 u prizemnim.

Ideja kojom se rukovalo pri definiranju prve (i druge) aproksimacije osniva se na objektivnoj analizi klimatoloških vrijednosti geopotencijala i temperature 100 i 200 mb nivoa. Klimatološka polja nose u sebi elemente zajedničke svim podacima koji ga generiraju. Na sličan način se prvom (drugom) aproksimacijom odbacuju ona opažanja koja se ne uklapaju u zajedničku strukturu polja dobivenog pomoću svih raspoloživih vrijednosti. Nadalje, klimatološki podaci »nemaju pogrešaka«, te su omogućili testiranje samih polinoma. Tako se može zaključiti da polinom trećeg stupnja ima izvjesne prednosti nad polinomom drugog stupnja, ali ne toliko bitne da ga isključi u ovim razmatranjima. Upotreba jednog ili drugog polinoma ovisi o specifičnosti situacije. Razlike su najveće na granicama, dok ih u unutrašnjosti praktički nema.

Spomenuta procedura uključuje, na izvjestan način, i usporedbu subjektivne analize, s obzirom da je velike razlike u obje analize lako uočiti i provjeriti. Prednost je subjektivne nad ovako definiranom objektivnom analizom da je npr. polje vjetra moguće korigirati prema polju geopotencijala, te vremenskim i prostornim promjenama. Ovo posljednje nije bilo uključeno u analizu prikazanih polja.

10. UTJECAJ MEZO-PROCESA NA ANALIZU

Ovdje će biti prikazan problem vezan uz situaciju kad postoje izvjesni podaci za koje se ne može reći da znatno odstupaju od ostalih, ali se na neki način ne uklapaju u cjelovitu sliku polja. U slici 10.1. prikazana je objektivna analiza temperature (bez prethodne kritičke kontrole) na 300 i 200 mb T varijantom za termin 21. srpnja 1973. godine u 12 GMT.



Slika 10.1. Objektivna analiza temperature (u stupnjevima C) na 300 mb (gore) i 200 mb (dolje) za 21. srpanj 1973. u 00 GMT.

Značajka ove analize jest da je iznad sjeverne Italije i Genovskog zaljeva lociran nešto topliji zrak nego što je na okolnim stanicama. Tablica 10.1 daje podatke sondaža za promatrano područje.

Tablica 10.1. Sondažni podaci temperature (stupnjevima C) na 300 i 200 mb za stanice iz sl. 10.1.

Stanica	300 mb	200 mb
06610	-39.5	-56.7
07645	-35.7	-50.7
13130	-39.1	-56.9
16044	-41.1	-57.1
16080	-31.3	-47.3
16242	-36.9	-52.3

Uočljivo je da stanice 07645 i 16080 registriraju topliji zrak u višim slojevima atmosfere. Podaci sinoptičkih stanica koje se nalaze u neposrednoj blizini navedenih radiosondažnih stanica javljaju da su opaženi Cu congestusi, oblaci velikog vertikalnog razvoja. Može se reći da se radi o razvijenom predfrontalnom sistemu, koji su po porastu temperature u višim nivoima registrirale dvije sondažne stanice.

Ovo je u skladu s primjedbom Hoxita i dr. (1976). Oni su proučavali slučajeve interakcije između razvijene konvektivne naoblake i okolne zračne struje.

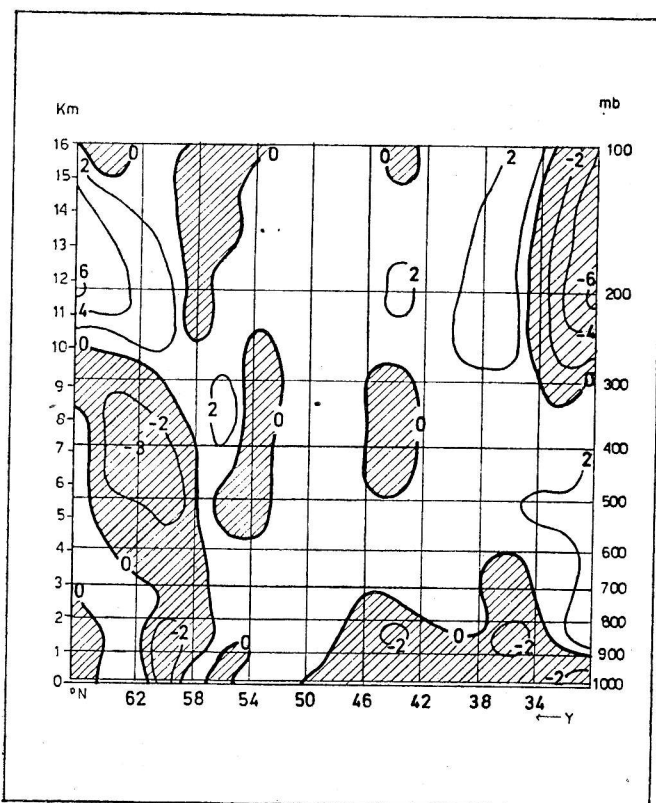
Došli su do zaključka da u višoj troposferi i nižoj stratosferi, u područjima niz vjetar (u odnosu na oblake velikog vertikalnog razvoja) dolazi do supsidencije zraka i zatopljenja. Ovi oblaci ponašaju se kao pokretne prepreke obzirom na okolnu struju, pa dolazi do efekta zavjetrinskog vala. U nekim slučajevima zabilježeni su porasti temperature od 6 stupnjeva/sat na 300 mb, a u ekstremnom slučaju do 13 stupnjeva na 200 mb.

Očito je stoga, da su opisana odstupanja realna, te bi ih na neki način trebalo ugraditi u mehanizam kritičke kontrole, ukoliko se radi o analizi manjih razmjera. Dakle, objektivna analiza bi izgubila u vjerodostojnosti ukoliko se samo kruto poštuju kriteriji izneseni u točki 9. Međutim, kako god problem izgledao jasan, njegovo rješenje bi zahtijevalo uvođenje i fizikalnih parametara u proces analize, a ne samo matematičkih, pogotovo ako se želi dobiti realna i fina struktura polja.

11. REZULTATI OBJEKTIVNE ANALIZE UZ PRIMJENU KRITIČKE KONTROLE PODATAKA

Ocjena objektivne analize u ovoj točki osniva se na usporedbi sa subjektivno analiziranim poljima istog termina. Ona je pokazana deskriptivno, jer se nizom testova utvrdilo da čisto kvantitativni izraz ne može opisati sve osobine polja.

Polinomskim aproksimacijama određeno je polje tlaka, te visinska i prizemna polja temperature i komponenta vjetra za termin 21. srpnja 1973. u 00 GMT. Analize prizemnog tlaka, temperature u nižoj

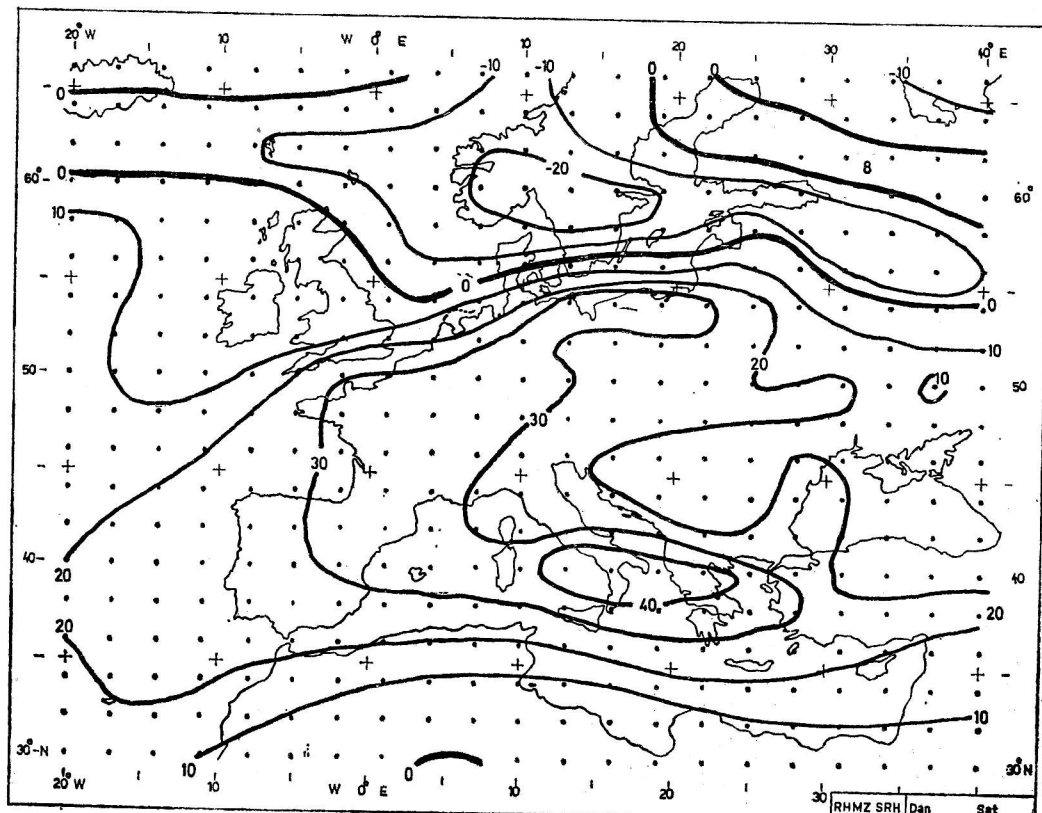
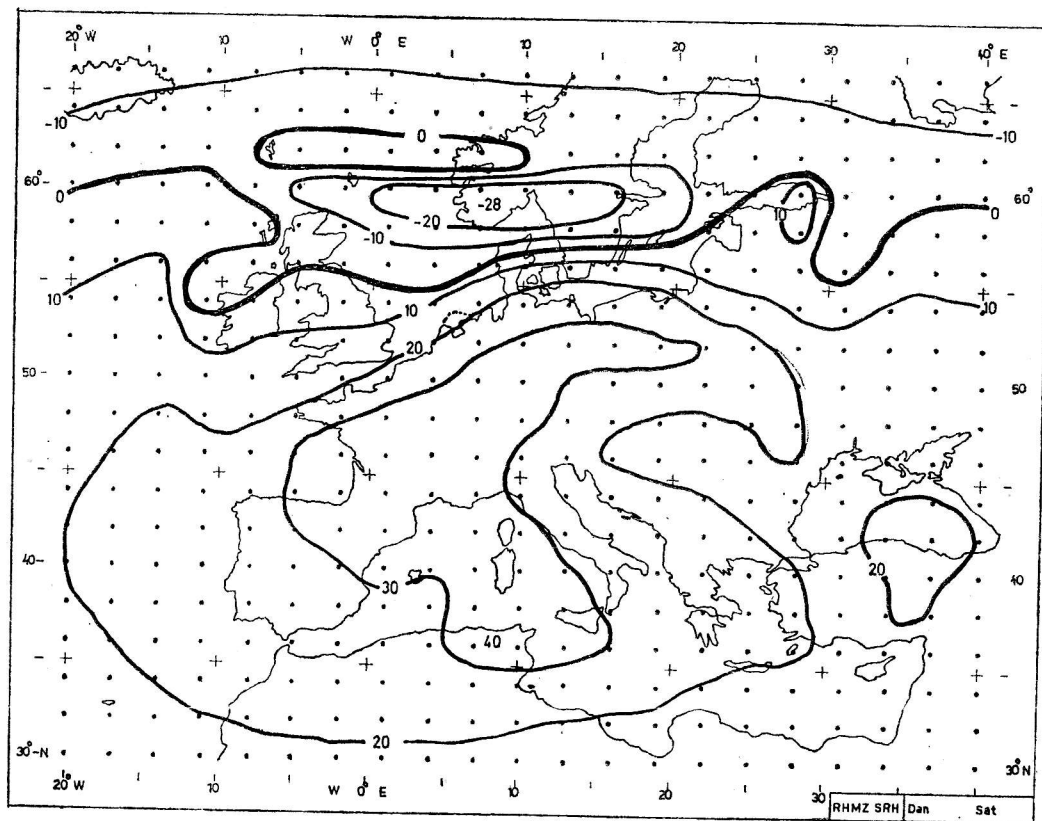


Slika 11.1. Razlike objektivno i subjektivno analiziranih vrijednosti temperature duž 16° E za 21. srpanj 1973. u 00 GMT.

i srednjoj troposferi, te vjetra u nižoj troposferi daju prihvatljive rezultate i nisu zahtijevale postupak druge aproksimacije. Svakako da ne postoji idealno podudaranje istovjetnih subjektivno i objektivno analiziranih polja, ali razlike nisu tolike da bi ukazivale na veće pogreške objektivne analize. Komponente vjetra srednje i više troposfere uključuju drugu aproksimaciju.

Daljnji problem svojstven svim podacima, a posebno geopotencijalu više troposfere jest da pogreške visinom rastu. Istodobno se broj podataka smanjuje, što znatno otežava analizu. Ovo se odražava i u termičkoj i u dinamičkoj strukturi više troposfere, dobivenoj objektivnom analizom.

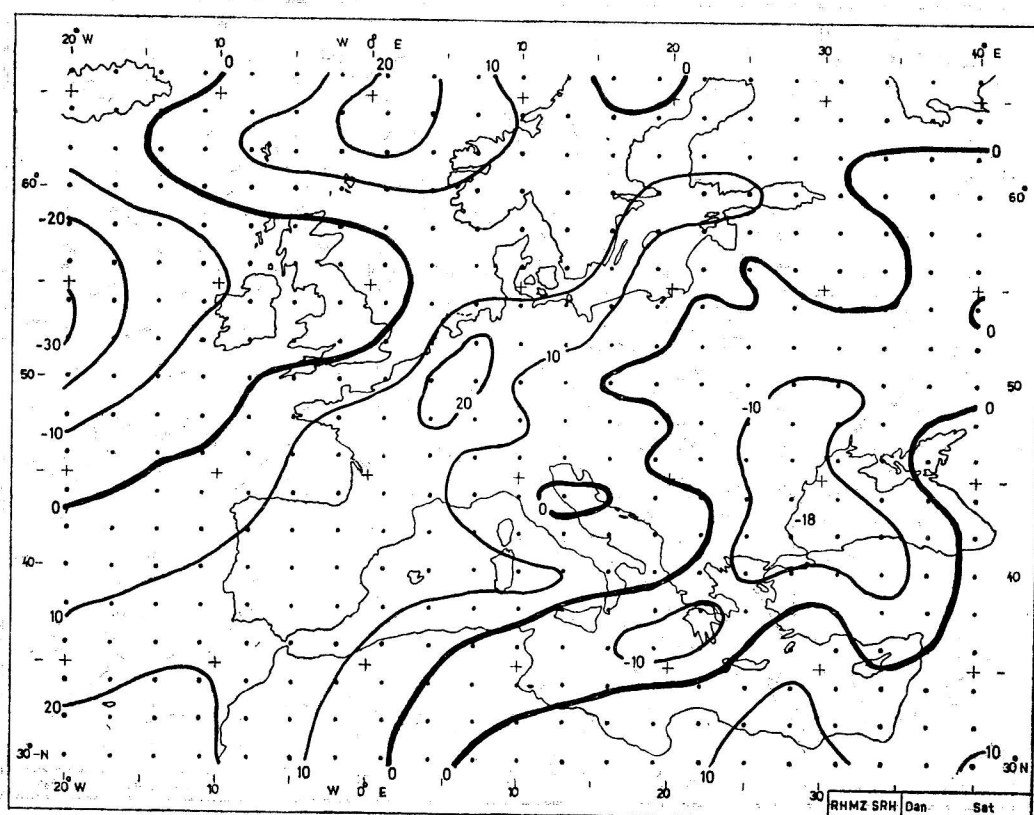
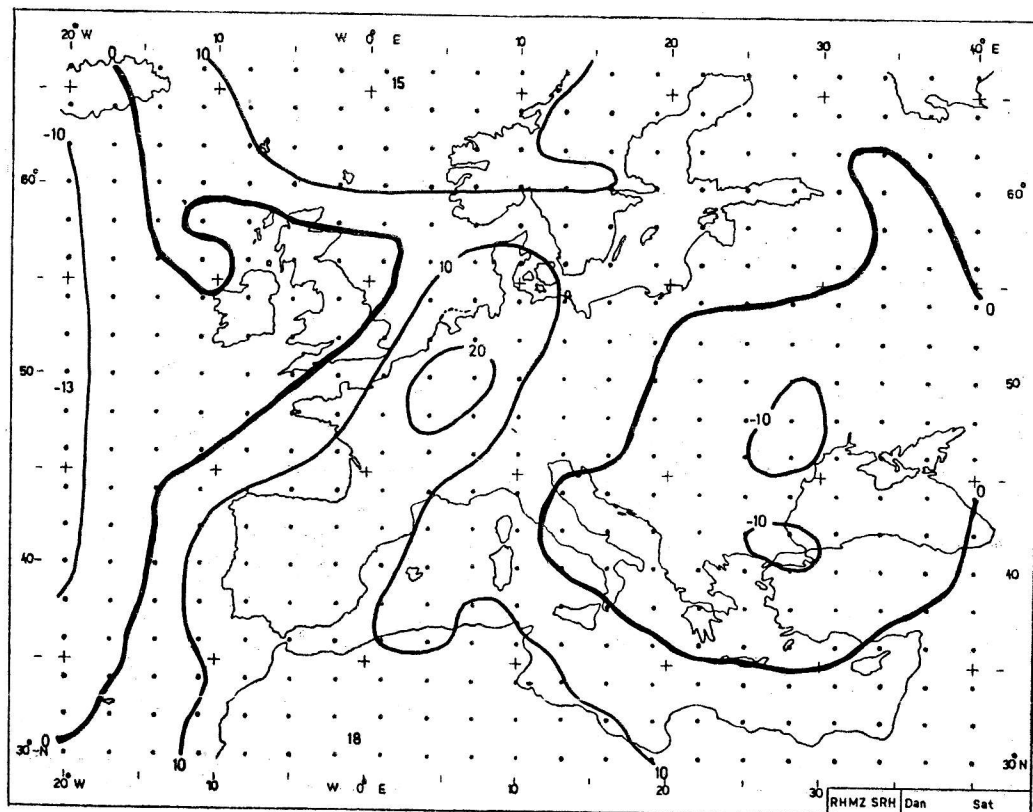
Na slici 11.1. prikazan je vertikalni presjek duž $\lambda=16^\circ$ E razlika temperature objektivne i subjektiv-



Slika 11.2.
Zonalna komponenta vjetra na 300 mb za 21. srpanj 1973. u 00 GMT dobivena objektivnom (gore) i subjektivnom (dolje) analizom.

ne analize. Pojačani gradijenti razlika izraženi su naročito na južnoj i sjevernoj granici plohe 200 mb i djelomično na sjevernoj granici ploha 300 i 400 mb. Iako su, na prvi pogled, iznosi maleni, oni nisu beznačajni ako se ovako objektivno analizirana polja temperature tretiraju kao početna polja u dinamičkom modelu s vremenski konstantnim granicama.

Slike 11.2. i 11.3. prikazuju objektivnu i subjektivnu analizu u i v komponenta vjetra na 300 mb. Objektivno polje zonalne komponente ima u usporedbi sa subjektivnim ove značajke: 1) neadekvatno smicanje i velike brzine na južnoj granici, 2) područje zapadnog smjera (pozitivni iznosi) unutar i u blizini jakog istočnog smjera, 3) maksimalni vjetar reduciran je samo na jednu točku od 40 ms^{-1} jugo-



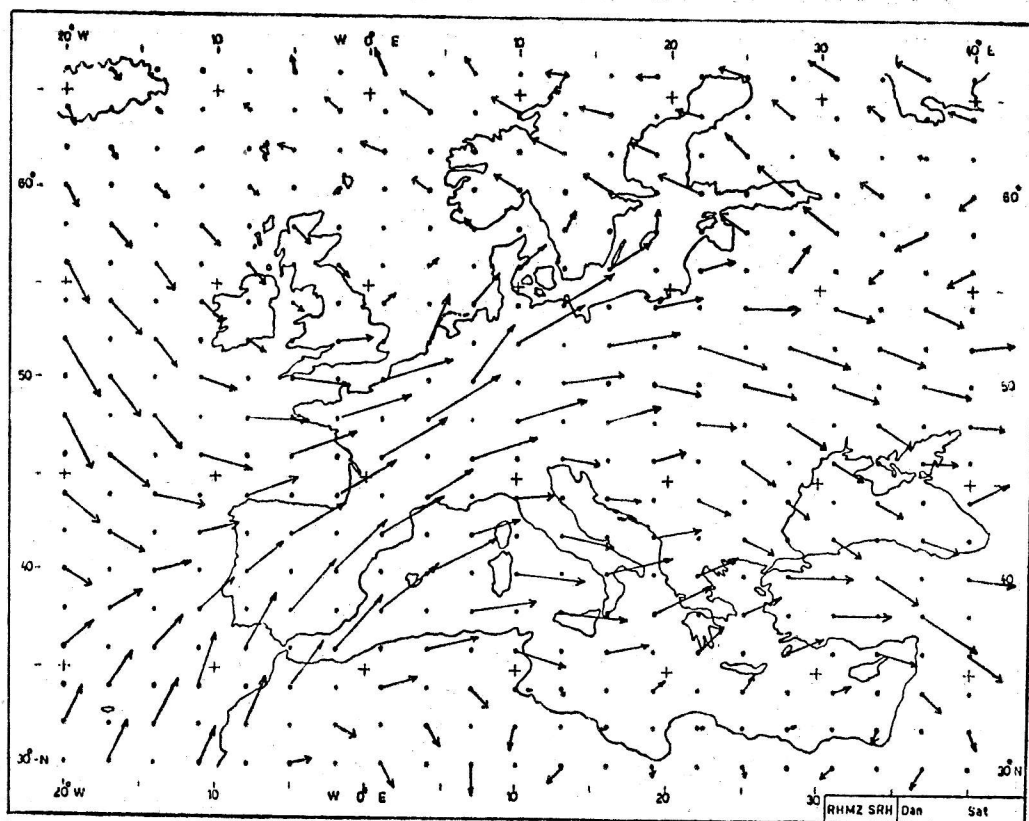
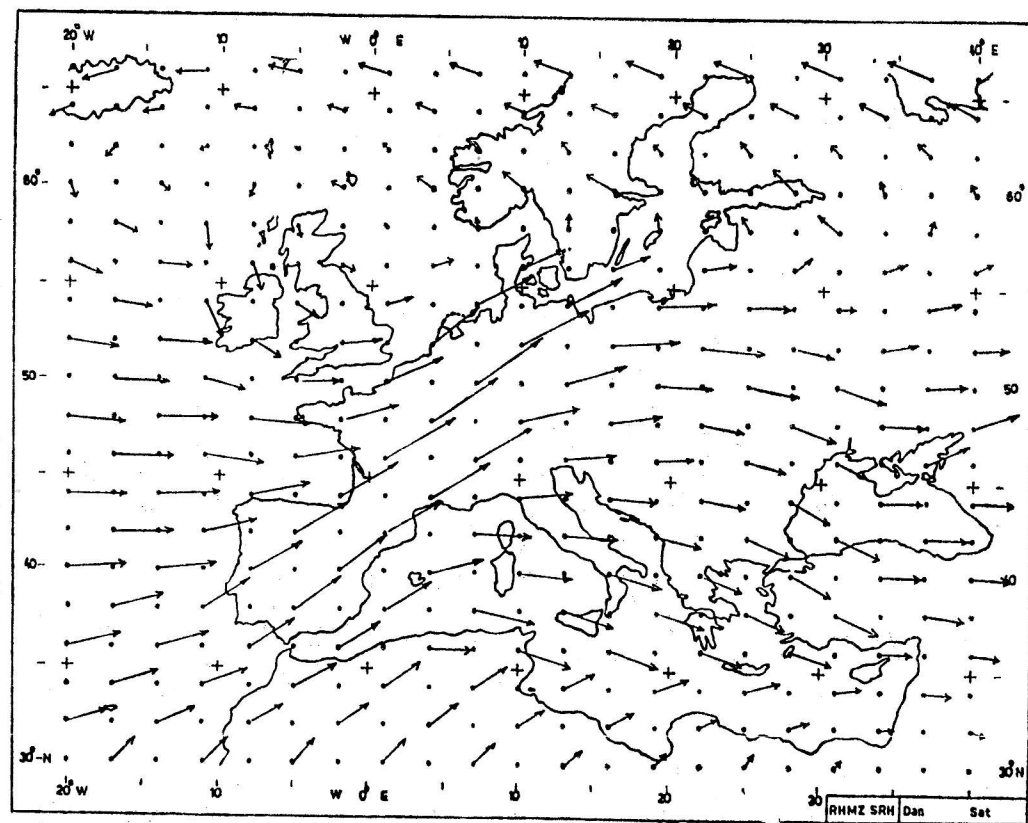
Slika 11.3.
Meridionalna
komponenta vjetra,
isto kao u slici 11.2.

zapadno od područja stvarnog maksimalnog vjetra, 4) u području stvarnog maksimalnog vjeta brzine su smanjene.

Meridionalne komponente također daju razlike, ne toliko uočljive, ali svakako značajne za razvoj. Područja sjevernih (negativni predznak) i južnih smjerova su općenito dobro locirana, no iznosi se ne podudaraju. Ovo se naročito odnosi na zapadnu (i juž-

nu) granicu, gdje je došlo do smanjenja (povećanja) brzina u odnosu na subjektivno analizirano polje.

Iznesene činjenice mogle bi se sintetizirati u nekoliko primjedbi: 1) definirana polinomska metoda nije u mogućnosti prikazati izrazita smicanja u polju vjeta, niti slijediti fine promjene u strukturi polja, tako da su izgladivanja neminovna, 2) neprihvatljive granične vrijednosti su najveći problem



Slika 13.1.
Početno strujno polje u modelu na $\sigma=0.425$ dobiveno iz objektivne (gore) i subjektivne analize (dólje)

analize, a posljedica su, kako malog broja opažanja, tako i loših podataka na rubovima.

Ako se za granično područje analize uzme 12 ili više stanica dobivaju se, u promatranoj situaciji, umjetni gradijenti ili diskontinuiteti. Oni se prvom (drugom) aproksimacijom izbjegavaju, ali na račun točnosti analize u zonama povećanih horizontalnih gradijenata.

12. TESTIRANJE OBJEKTIVNE ANALIZE INTEGRACIJOM U DINAMIČKOM MODELU

U sljedećim točkama opisana je primjena objektivno i subjektivno analiziranih polja meteoroloških elemenata u dinamičkom modelu za prognozu vremena. Naime, međusobnom usporedbom prognoza dobivenih od različitih početnih polja i usporedbom sa stvarnom situacijom moguće je izvesti zaključke o valjanosti objektivne analize. Drugim riječima, »različita« polja su primjenom u modelu podvrgnuta istom tretmanu, a ustvrđuje se da li se »razlike« u početnim poljima manifestiraju u prognozi.

U svrhu testiranja objektivne analize nije nužno detaljno poznavati dinamički model za prognozu, pa će se ovdje iznijeti samo neka opća svojstva. Primjenjeni model opisan je u radu Mesingera i Janjića (1973). Definiran je u sigma koordinatnom sistemu za ograničeno područje, čije su granice dane u slici 6.1. Granični uvjeti u toku integracije ostaju konstantni.

Struktura modela, koji je korišten u ovom radu, obuhvaća pet računskih sigma nivoa, čije vrijednosti odozgo prema dolje iznose 0.150, 0.425, 0.650, 0.825, 0.950, što znači da su debljine sigme slojeva 0.30, 0.25, 0.20, 0.15 i 0.10. Gornja granica modela je na 100 mb, dok je horizontalno razlaganje isto kao kod objektivne analize. Vremenski korak iznosio je 10 minuta. Orografija je isključena iz modela jer ona nije bitna za promatranu namjenu.

13. INTERPOLACIJA ANALIZIRANIH POLJA SA STANDARDNIH NIVOA NA SIGMA NIVOE MODELA

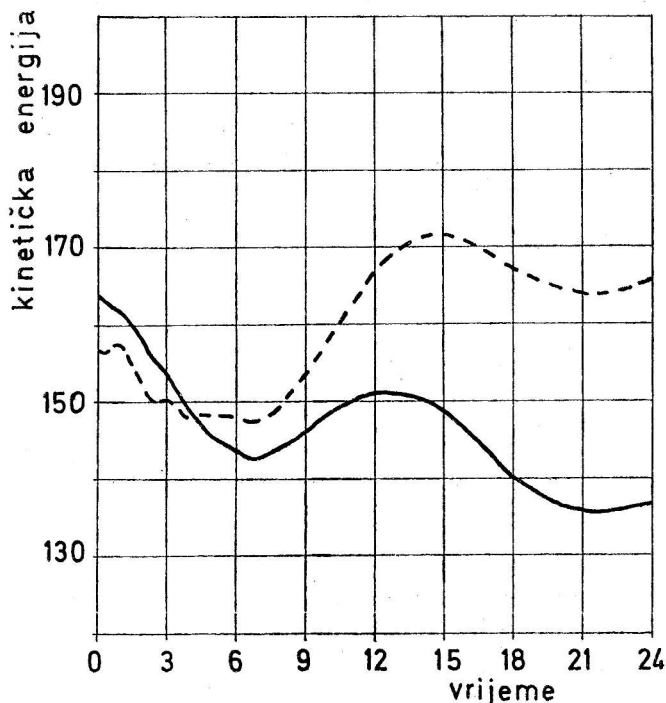
Vrijednosti objektivno i subjektivno analiziranih polja moraju se prije početka integracije interpolirati sa standardnih nivoa (na njima je vršena analiza podataka opažanja), na nivoe modela. Zbog jednostavnosti učinjena je obična linearna interpolacija. Slika 13.1. prikazuje strujno polje na sigma nivou 0.425 dobiveno interpolacijom iz objektivnih i subjektivnih analiza na okolnim standardnim nivoima. Kao što se vidi, isti podaci zbog različitog tretmana u postupku analize uzrokuju različita početna polja u modelu. Bitna razlika u prikazanim poljima je u tome što objektivnom analizom nisu dobro prikazane jače sjeverne komponente vjetra u pozadini visinske ciklone nad Atlantikom, te slabije sjeverne komponente iznad Afrike, gdje objektivno polje ima jaču južnu struju.

Jasno je, već prije samog rada modela, da će konstantne vrijednosti na granicama imati utjecaja na razvoj situacije nakon nekog vremenskog intervala. Pitanje je kako se i u kojoj mjeri ove razlike u početnim poljima odražavaju u prognozi.

14. REZULTATI NUMERIČKIH INTEGRACIJA U MODELU

Razlika u početnim poljima odražava se i u razlici kinetičke energije tokom integracije. Ona se računa u svakom vremenskom koraku i prikazana je u slici 14.1.

Povećanje energije u modelu s objektivnim poljem pripisuje se prvenstveno nešto pojačanom vjetru na granici područja integracije. Približno podudarni oblik krivulja indicira na istovjetnost procesa u modelu bez obzira na razlike u početnim poljima.



Slika 14.1. Srednja kinetički energija (SI jedinice) u modelu. Puna krivulja označava da se počelo sa subjektivno analiziranim poljima, a crtkana s objektivno analiziranim.

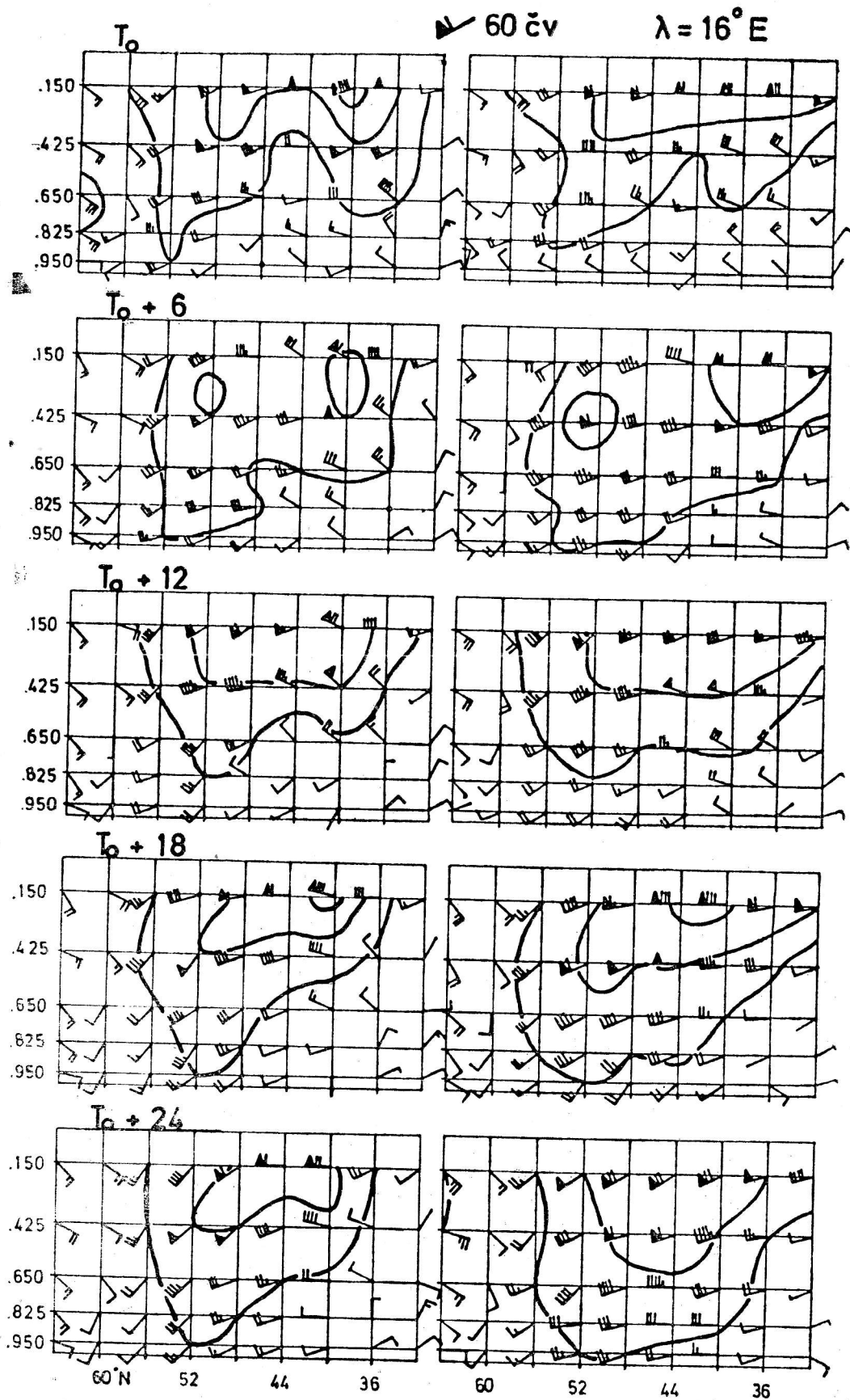
Da bi se provjerilo u kojoj mjeri eventualno netočna objektivna analiza u području maksimalno vjetra doprinosi povećanju kinetičke energije, zamijenjene su objektivne analize vjetra na 300 i 200 mb subjektivnom. Ponovljena prognoza sa ovako definiranim početnim poljima pokazala je da opisana izmjena ne donosi znatnije promjene. Zaključak bi bio da na promjene kinetičke energije ne utječu samo podaci vjetra više troposfere, već i podaci ostalih slojeva, a moguć je i utjecaj povećanih horizontalnih gradijenata temperature (koji su opisani u točki 11.).

Opis rezultata ćemo nastaviti prikazom vertikalnih presjeka strujnog polja i izvedenih polja vrtložnosti i divergencije. Svrha ovih razmatranja jest ustanoviti ponašanje polja vjetra, čijim se podacima polinomi najteže prilagođavaju (vidjeti opaske u točki 11.), te ustanoviti ponašanje spomenutih deriviranih polja, koja često sadrže više informacija (u kvantitativnom smislu) o polju strujanja nego što ih daje sam vjetar.

U slici 14.2. prikazani su meridionalni presjeci polja vjetra duž $\lambda = 16^\circ$ E u početnom terminu T_0 , te za

svakih 6 sati prognoze. Uočljivo je da objektivno analizirana polja daju znatno veću brzinu na najvišem nivou i južnoj granici. Ovo je posljedica uzimanja u proračun podataka vjetra sa viših širina nad kojima je locirana mlazna struja. Naime, zbog nedovoljnog broja podataka opažanja u blizini juž-

ne granice, morali su se uzeti u obzir okolni podaci da bi sistem linearnih jednadžbi bio rješiv. Najbliži uporabivi podaci nalaze se upravo na stanicama znatno sjevernije od promatrane točke, a oni već sadrže informacije o mlaznoj struji.



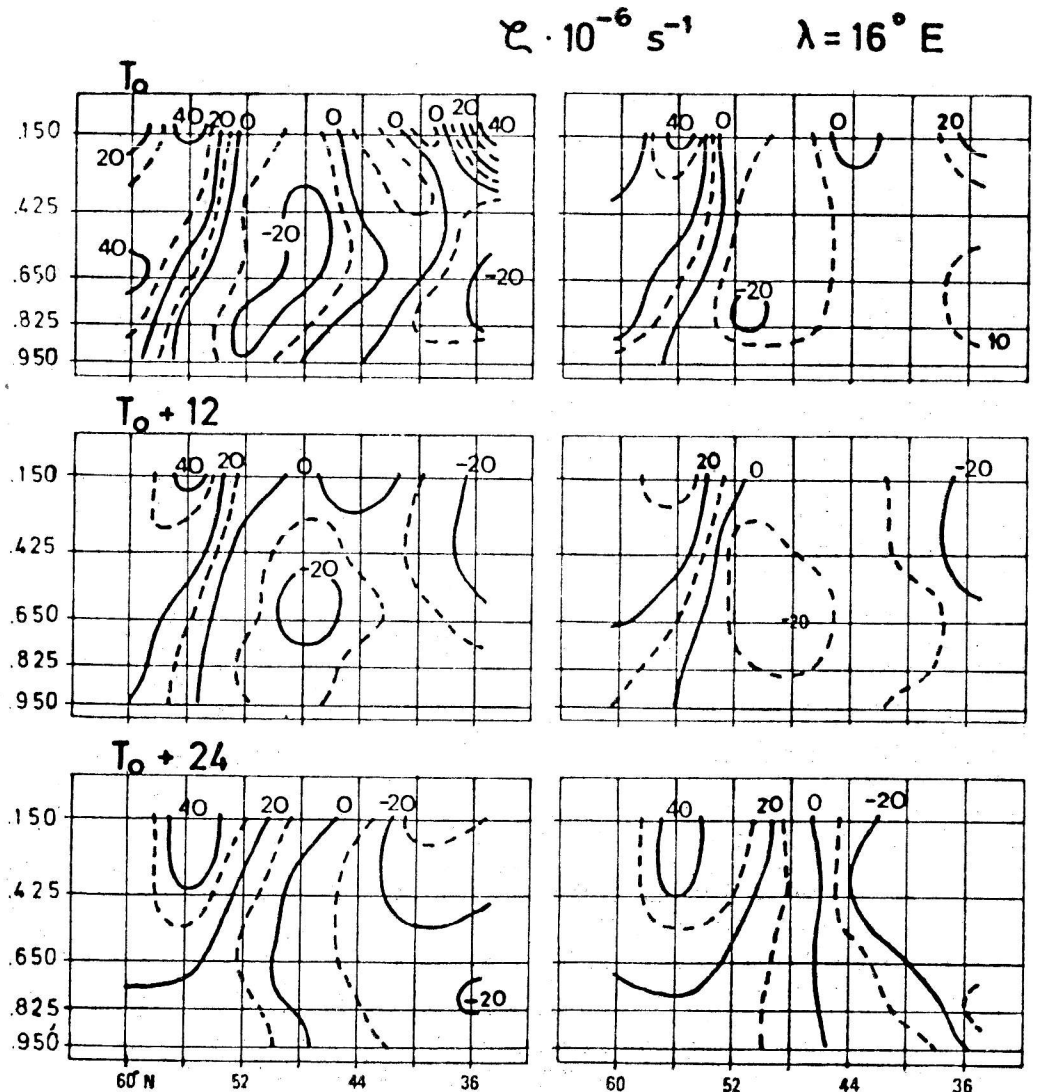
Slika 14.2.
Vertikalni presjeci u polju vjetra duž $16^\circ E$ za početnu subjektivnu (lijevo) i objektivnu analizu (desno).

Vjetar u meridionalnim presjecima u prognoštikim terminima daje kvalitativno neznatne razlike između subjektivne i objektivne analize. Svakako je najimpresivnije odvajanje jezgri maksimalnog vjetra nakon 6 sati integracije i njihovo ponovno spajanje nakon 12 sati. Usporedbom veličina područja koja omeđuje izotaha 25 čv u obje 24-satne prognoze, porast kinetičke energije u modelu sa početnim objektivno analiziranim poljima može se pripisati, bar djelomično, prenosu pojačanog momenta gibanja s graničnog područja unutrašnjosti i na niže nive.

U slici 14.3. prikazana su polja relativne vrtložnosti slično kao u prethodnoj slici. Objektivno analizirano polje u terminu T_0 razlikuje se u odnosu na subjektivno po smanjenom gradijentu vrtložnosti na najvišem nivou i ograničenom ekstremu anticiklonalne vrtložnosti u nižoj troposferi. No, bez obzira na početne razlike, tok integracije u oba slučaja približno je isti. 24-satna prognoza daje gotovo jednaku razdiobu vrtložnosti u višim širinama. U nižim širinama i donjoj troposferi objektivna analiza daje veću anticiklonalnu vrtložnost. Također, multa krivulja pomaknuta je južnije, te je ovako pojačan gradijent vrtložnosti vezan uz jača strujanja na nižim nivoima (usporediti sa slikom 14.2.), koja pak generiraju intenzivniji razvoj sistema.

Vertikalne razdiobe divergencije u T_0 razlikuju se znatno više nego što je slučaj s vrtložnosti (slika 14.4.) To ukazuje na činjenicu da je divergencija, koja je u prosjeku za red veličine manja od vrtložnosti, više osjetljiva na promjene u polju strujanja. Početna polja su ipak donekle slična, osobito u srednjoj i donjoj troposferi. Južna granica pokazuje znatne razlike, koje proističu, kako je već rečeno, od znatno jačeg vjetra u objektivnoj analizi. Od izvjesne podudarnosti u $T_0 + 12$ dolazi se na vrlo malu sličnost presjeka u 24-satnoj prognozi. Ipak zajednička karakteristika oba presjeka jest slabljenje iznosa divergencije što govori da je došlo do uravnotežavanja polja vjetra po smjeru i jakosti.

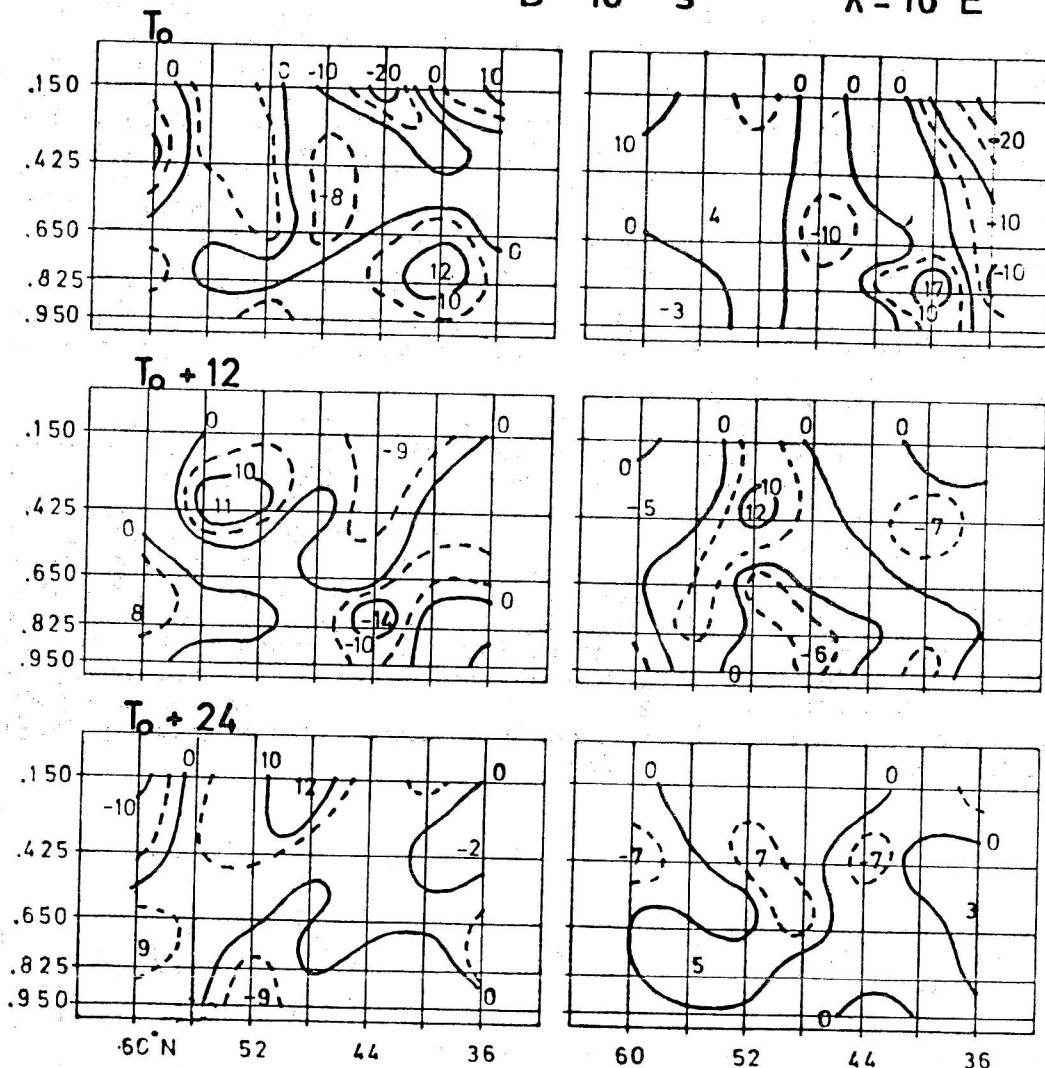
Konačno, moguće je zaključiti da postoji kvalitativna sličnost u prikazanim rezultatima obje analize, odnosno da je u kvalitativnom smislu objektivna analiza dobro postavljena. Međutim, postojeće razlike u iznosima pojedinih elemenata sugeriraju da je potrebno posvetiti veliku pažnju problemu podataka opažanja u smislu što svestranijeg iskorištavanja postojećih informacija. Prije svega, čini se da bi trebalo definirati tzv. »bogus« stanice i podatke koji će se uključiti u onim analizama i situacijama kada je broj podataka nedovoljan ili kada su podaci nekvalitetni, osobito u blizini granica područja analize.



Slika 14.3.
Vertikalni presjeci u polju vrtložnosti, isto kao u sl. 14.2.

$$D \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda = 16^\circ \text{ E}$$



Slika 14.4.
Vertikalni presjci u
polju divergencije,
isto kao u sl. 14.2.

15. ZAKLJUČAK

Rezultati objektivne analize pokazali su da valjanost polja najvećim dijelom ovisi o provedenoj kritičkoj kontroli podataka na samim stanicama i gustoći podataka, naročito u blizini graničnih područja. To je s jedne strane poznata činjenica, ali ovo istraživanje pokazuje sposobnost metode polinoma da dobro prikaže početna polja uz kvalitetne podatke u gustoj mreži stanica.

Kritička kontrola hidrostatičke ravnoteže metodom Rubcova nije dovoljna za procjenu kvalitete podataka temperature i geopotencijala, i zbog toga je neminovna i horizontalna kontrola podataka. Iako se prikazana metoda sukcesivnih polinomskih aproksimacija pokazala korisnom u detekciji grubljih pogrešaka, ne samo u polju temperature i geopotencijala već i u polju vjetra, rezultati dobiveni numeričkom integracijom u modelu ukazuju da primijenjena metoda još uvijek nije dovoljna da otkloni pogreške ili nekonzistentnost ulaznih podataka u odnosu na promatrane razmjere u modelu.

Iako se iz dosadašnjeg rada ne može definitivno utvrditi prednost objektivne analize polja temperature ili geopotencijala (iz kojeg se može izvesti početno polje temperature), prikazani rezultati ukazuju na problem kakvoće podataka geopotencijala u

višoj troposferi s obzirom na polje vjetra u blizini mlazne struje. Ovo ujedno narušava njegovu primjenu za određivanje temperature.

S druge strane temperaturno polje je osjetljivo na diskontinuitete u području tropopauze, koji se, većinom, ne mogu kontrolirati hidrostatičkom ravnotežom u tom sloju. Čini se, međutim, da bi se ovaj nedostatak mogao otkloniti ubacivanjem podataka temperature i tlaka u kritičku kontrolu (Glasnović, 1978), što do sada nije učinjeno. Drugi je način da se sva dobivena polja (temperature, geopotencijala i vjetra) podvrgnu procesu inicijalizacije u svrhu, bar djelomičnog usaglašavanja ovih polja prema geostrofičkoj i termičkoj ravnoteži.

Nadalje, iako to nije bio prvenstveni cilj istraživanja, rezultati pokazuju da je prognostički model osjetljiv na već nekoliko nekvalitetnih podataka u početnom stanju. Stoga verifikacija objektivne analize integracijom u modelu nije dovoljna garancija za njezinu opću kvalitetu. Prikazana polja izvedenih veličina vrtložnosti i divergencije (koja su još više osjetljiva na pogreške u polju vjetra od samih komponenata brzina) ukazuju da se radi o greškama u strukturi mezo — procesa u početnom stanju, pa je opći utisak da bi se ovo moglo otkloniti primjenom nekog od procesa inicijalizacije.

LITERATURA

- Bergthorsson, P. i B.R. Döös, 1955: Numerical Weather Map Analysis. *Tellus*, **7**, 329-340.
- Bushby, F.H. i V.M. Huckle, 1957: Objective Analysis in Numerical Forecasting. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **83**, 232-247.
- Corby, G.A., 1961: Some Experiments in the Objective Analysis of Contour Charts. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **87**, 34-42.
- Cressman, G.P., 1959: An Operational Objective Analysis System. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- Döös, B.R., 1969: Numerical Analysis of Meteorological Data. U: *Lecture on numerical short-range weather prediction*, WMO Regional Training Seminar 1965, Hidrometeoizdat, Leningrad, 678-706.
- Flattery, T.W., 1971: Spectral Models for Global Analysis and Forecasting. *Tech. Rept. 242*, Air Wea. Serv., U.S. Air Force, 42-54.
- Gandin, L.S., 1963: *Objektivnij analiz meteorologičeskijh poljeij*. Hidrometeoizdat, Leningrad, 287 str.
- Gilchrist, B. i G.P. Cressman, 1954: An Experiment in Objective Analysis. *Tellus*, **6**, 309-318.
- Glasnović, D., 1978: *Objektivna analiza vertikalnih presjeka*. Mag. rad, Sveuč. u Zagrebu, Centar za postdipl. studij, 45 str.
- Haug, O., 1959: A Method for Numerical Weather-Map Analysis. *Scient. Rept. 5*, Det. Norske Meteor. Inst.
- Hoxit, L.R., C.F. Chappell i J.M. Fritsch, 1976: Formation of Mesolows or Pressure Troughs in Advance of Cumulonimbus Clouds. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 1419-1428.
- Jurčec, V. i Č. Branković, 1975: *Prvi rezultati integracije modela za ograničenu oblast s primitivnim jednadžbama gibanja u sigma koordinatnom sistemu*. Rep. hidrometeor. zavod SR Hrvatske, 60 str., nepublicirano.
- Kisegi, M., 1976: *Primjena metoda objektivne analize stanja atmosfere iznad južnih dijelova Evrope*. Mag. rad, Sveuč. u Zagrebu, Prirod.-matem. fak., 97 str.
- Mesinger, F. i Z.I. Janjić, 1973: *Opis modela za ograničenu oblast s primitivnim jednačinama na finoj mreži pogodnog za objektivnu prognozu veličina u prizemnom graničnom sloju*. Eksperimentalna provera modela., Centar za atmos. nauke pri Prirod.-matem. fak. u Beogradu, 83 str., nepublicirano.
- Panofsky, H., 1949: Objective Weather-Map Analysis. *J. Meteor.*, **6**, 386-392.
- Radinović, Dj., 1969: *Analiza vremena*. Zavod za izdav. udžbenika SR Srbije, Beograd, 367 str.
- Sasaki, Y., 1958: An Objective Analysis Based on the Variational Method. *J. Meteor. Soc. Japan*, **36**, 77-78.
-, 1969: Proposed Inclusion of Time Variation Terms, Observational and Theoretical in Numerical Variational Objective Analysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **47**, 115-124.
- Schlatter, T., 1975: Some Experiments with a Multivariate Statistical Objective Analysis Scheme. *Mon. Wea. Rev.*, **103**, 246-257.
- Sokolnikoff, I.S. i R.M. Redheffer, 1966: *Mathematics of Physics and Modern Engineering*. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 752 str.

SUMMARY

In the first part of this paper there is a short review of the methods for objective analysis of meteorological data. In particular, some details of the polynomial method are described, and the two variants based on this method are shown. The area of analysis (Fig. 6.1.) is divided to several elementary subareas. The polynomial objective analysis is applied at each particular subarea. To avoid discontinuity in the field to be analysed, neighboring subareas partially overlap. Objective analysis in the entire area in Fig. 6.1. is performed by two variants: first, by

fixing the boundaries of elementary subareas (Fig. 6.2.) without regard for the number of stations in a particular subarea and second, by searching for the minimum number of stations which should be sufficient for objective analysis. In the latter case dimensions among subareas vary (Fig. 6.3.).

The results of application of subjective and various objective analysis are shown in Figs. 7.1., 7.2. and 7.3. It should be pointed out that the third variant is described by Kisegi in the second part of this Volume. In general, as the presented figures show the meteorological fields are very similar to one another. Thus, the variants qualitatively provide good analyses, but some quantitative differences exist. The quality of the two described variants depends on the regularity of station distribution within an elementary subarea.

Furthermore, a critical review of the Rubcov's metode for quality control of meteorological data is given since hydrostatic control cannot take into consideration values of temperature at the tropopause (Figs. 8.1. and 8.2.).

For the purpose of developing the entire objective analysis — quality control system, the method of successive polynomial approximations is defined. The first approximation considers all available data of a meteorological element at any particular standard pressure level. To eliminate the values which do not satisfy some criterion defined beforehand, the polynomial deviations at given stations are considered.

These deviations are obtained as the differences between the actual values and the polynomial approximations. If the proposed criterion is not satisfied at the stations in the boundary area (see Fig. 6.1.) the second approximation is performed, but now with the third order polynomial. Afterwards, by using some of the variants mentioned above the third approximation is defined and the procedure completed. The comparison of results obtained by the given procedure and subjectively analysed fields is shown in Figs. 11.2. and 11.3. Some conclusions are significant: the proposed method is not competent for analysing well marked horizontal wind-shear and therefore smoothing is inevitable.

Finally, initial meteorological fields defined objectively and subjectively are integrated in the numerical model for short range weather forecasting. Such an objective analysis judgement is shown to be very practical. The results are described by the vertical cross sections of wind field and derived fields: relative vorticity and divergence (Figs. 14.2., 14.3. and 14.4.). There are practically no qualitative differences, except in the last figure. But these existing differences suggest that a great care must be dedicated to the observations in the sense of more completely utilizing the data available.

In conclusion the parts which could be improved or supplemented are pointed out.

LIST OF SYMBOLS

A	— matrix of unknown quantities (coefficients a_{ij}) in a linear nonhomogeneous system of equations
A'	— transposed matrix A
F	— matrix of observed quantities of meteorological element f in a linear nonhomogeneous system of equations
F'	— transposed matrix F
H	— isobaric height
H_{fl}	— forecasted isobaric height at position x_e, y_e
H_{obs}	— observed isobaric height
S	— matrix of system in a linear nonhomogeneous system of equations
S'	— transposed matrix S
a_{ij}	— polynomial coefficients
f	— the Coriolis parameter
f_{obs}	— observed meteorological element f at position x_n, y_n
$f(x,y)$	— space surface defined by the polynomial function
g	— acceleration of gravity
l	— number of forecasting field values
m	— number of observations including wind
n	— number of observations; number of measured isobaric heights
p_1, p_2, p_3	— weighting functions
r	— degree of polynomial function
s_{ij}	— element of matrix of system
u, v	— geostrophic wind components
u_{obs}, v_{obs}	— observed wind components
x, y	— rectangular coordinates
x_i	— polynomial deviation from observed value
x_n, y_n	— rectangular coordinates of observed meteorological element
x	— mean absolute deviation of polynomial approximation from observed value
σ	— latitude
λ	— longitude
φ	— vertical coordinate in the numerical model

LIST OF FIGURES

- 6.1. Area of analysis, grid points, TEMP stations. Boundary area is defined by three outer grid-point rows. It is separated from the inner area by a solid line. The stations at boundary area mentioned in Section 9. are marked as larger black circles.
- 6.2. S-variant. The first elementary subarea is shaded. Number 1 is related to the central point of this subarea. Other numbers denote central points of elementary subareas which are forming the »spiral«.
- 6.3. N-variant. The order of elementary subarea selection is indicated by the number in the lower left hand corner of each subarea.
- 7.1. Mean-sea-level pressure for July 21, 1973, 00Z. a) Subjective analysis, b) objective S-variant, c) objective N-variant, d) objective T-variant. Contour spacing is 5 mb.
- 7.2. Same as Fig. 7.1. but 500 mb level. The heights are given in decametres.
- 7.3. Same as Fig. 7.1. but 300 mb zonal wind isotachs. The units are in ms^{-1} .
- 8.1. Actual temperature profile in degrees centigrade for station 10548 at $50.37^\circ E$ (solid), and from objective analysis at grid point $50^\circ N$ and $10^\circ E$ (dashed) for July 21, 1973, 00Z.

- 8.2. Interpolation error ϵ caused by not taking into consideration the value of temperature T_{trop} at the tropopause. The interpolation is taken between the two pressure levels.
- 10.1. Objective analysis of temperature field in degrees centigrade at 300 mb (above) and at 200 mb (below) for July 21, 1973, 12Z.
- 11.1. Differences between objectively and subjectively analysed values of temperature at $16^\circ E$ for July 21, 1973, 00Z.
- 11.2. Zonal wind at 300 mb for July 21, 1973, 00Z; objective analysis above and subjective below.
- 11.3. Same as Fig. 11.2. but meridional wind.
- 13.1. Initial wind field at $\sigma=0.425$ in the primitive equation model obtained by objective (above) and subjective analysis (below).
- 14.1. Average kinetic energy (SI units) in the model. Solid line denotes that initial fields were obtained subjectively, and dashed line is for objectively derived initial fields.
- 14.2. Wind field in 6-hour intervals in the meridional cross section at $16^\circ E$. The subjectively analysed initial field is in the upper left, and objectively analysed initial field is in the upper right. Solid lines are isotachs, and flags denote wind velocity in knots.
- 14.3. Vorticity in 12-hour intervals in the meridional cross section at $16^\circ E$. The subjectively analysed initial field is in the upper left, and the objectively derived initial field is in the upper right.
- 14.4. Same as Fig. 14.3. but for divergence field.

LIST OF TABLES

- 10.1. Temperature soundings in centigrade degrees at 300 mb and 200 mb levels for TEMP stations from Fig. 10.1.

SADRŽAJ

	strana
Sažetak	3
Abstract	3
Uvod	5
Pojam i namjena objektivne analize	5
Općenito o metodama objektivne analize	5
Metoda polinoma	6
Modifikacija metode polinoma	7
Varijante metode polinoma	7
Rezultati primjene varijante polinomske metode	9
Kritička kontrola podataka opažanja po metodi Rubcova	10
Kritička kontrola metodom sukcesivnih polinomskih aproksimacija	12
Utjecaj mezo-procesa na analizu	12
Rezultati objektivne analize uz primjenu kritičke kontrole podataka	13
Testiranje objektivne analize integracijom u dinamičkom modelu	17
Interpolacija analiziranih polja sa standardnih nivoa na sigma nivoe modela	17
Rezultati numeričkih integracija u modelu	17
Literatura	21
Summary	21
List of symbols	22
List of figures	22
List of tables	22