

ANALIZA VREMENSKE SITUACIJE S POJAVOM PIJAVICE U PETRINJI

Case Study of a Tornado in Petrinja

VLASTA TUTIŠ, MILAN SIJERKOVIĆ

Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb

Primljeno 16. listopada 1984., u konačnom obliku 4. veljače 1985.

Sažetak: Cilj ovoga rada bio je istraživanje okolnosti štu su uvjetovale pojavu pijavice, s velikim rušilačkim djelovanjem i nekoliko desetaka ozlijeđenih ljudi, na području grada Petrinje, u Baniji, pokrajini u jugoistočnom dijelu Središnje Hrvatske. U istraživanju su korištene metode sinoptičke analize, mezoanalize, analize stabilnosti atmosfere i radarske analize. Zaključak je da je pojava pijavice bila povezana s oblačnom „super-stanicom“, koja je u uvjetima jake lokalne statičke nestabilnosti i nestabilnosti u baroklinoj zoni stvorena na hladnoj fronti i koja se premještala u smjeru kretanja hladnoga zraka. Na gibanje i razvoj oblačne stanice utjecala je i okolna, umjereno visoka orografija.

Ključne riječi: Pijavica; Mezoanaliza; Radarska analiza; Stabilnost atmosfere; Hladna fronta; „Super-stanica“

Abstract: This study investigates the weather conditions which caused the occurrence of a tornado in Petrinja, a little town in Banija (the southeast part of the central Croatia). The tornado caused a lot of damage and many people were hurt. In this investigation, methods of synoptic analysis, mesoanalysis, static stability and radar analysis were used. We concluded that the occurrence of the tornado was related to a super-cell Cb cloud, which rose on the cold front and moved with it, under circumstances of strong local static instability and instability in the baroclinic zone. The movement and development of the cloud-cell was strongly influenced by the surrounding, medium high orography.

Key words: Tornado; Mesoanalysis; Radar analysis; Stability of the atmosphere; Cold front; Super-cell Cb cloud

1. UVOD

Dana 31. srpnja 1982. godine područje Petrinje je zahvatilo veliko nevrijeme povezano s pojavom pijavice, što je prouzročilo golemu materijalnu štetu (procijenjena je na oko 170 milijuna dinara), pri čemu je ozlijeđeno nekoliko desetaka osoba. Istoga je dana i u mnogim drugim krajevima središnje i istočne Hrvatske bilo pojava jake nestabilnosti atmosfere i nevremena.

Mehanizam nastanka pijavica još nije dovoljno poznat, ali je uočeno da se one javljaju u vrlo nestabilnoj atmosferi, nerijetko u izravnoj ili posrednoj vezi s prodorima hladnoga zraka.

Prema Bleekeru i Delveru (1951) značajno je i „diferencijalno zagrijavanje“, koje se osobito pojavljuje u kasnijem razvoju konvektivnih oblaka. U hladnome zraku s oborinama javlja se povišeni tlak, tzv. grmljavinska anticiklona, a oko njega prstenasto područje sniženog tlaka. Uslijed nepravilnosti oblika oborinskih područja, koje prate niz oblaka, što nastaju na hladnoj fronti ili liniji maha, u nekim će područjima nastati

i do dva minimuma tlaka iz kojih će se stvoriti pijavica. Humphreys (1940) smatra da struje zraka povučene u uzlaznu struju moraju u početku imati različite brzine ili smjerove, kao što je to slučaj s hladnom frontom kod koje se duž frontalne površine na visini ponegdje stvaraju lokalne konvekcije.

Za pojavu je karakterističan „lijevak“, jedan ili nekoliko, između oblaka i Zemljine površine.

Prema Wegeneru (1918) vidljiva cijev pijavice koja izlazi iz oblaka najčešće je nastavak nevidljivog horizontalnog vrtloga u oblaku, a koji nastaje uslijed tzv. vrtloga klizanja, što se stvaraju kod porasta brzine s visinom. Najčešće je vidljiva desna strana vrtloga, s obzirom na smjer gibanja oblaka, u kojoj je ciklonalni smjer okretanja.

U središnjem dijelu vrtloga vlada nizak tlak, a vjetar koji puše na ivici lijevaka može dostići brzinu 370 km h^{-1} (Mohorovičić, 1894), čemu se uglavnom može i pripisati velika razorna moć pijavice. Najveća žestina razaranja najčešće se ispoljava na području duljine 2–3 km i širine do 100 m.

Pojava pijavice u kontinentalnom dijelu naše zemlje je vrlo rijetka, a od onih koje su bile najizraženije i opisane su u našoj literaturi valja spomenuti pijavicu koja je 31. svibnja 1982. godine zahvatila Novsku (Mohorovičić, 1894), zatim pijavicu na Medvednici 22. srpnja 1973. (Jurčec 1978, Čapka 1978) i onu 10. srpnja 1977. u blizini Nove Varoši (Radosavljević, 1978).

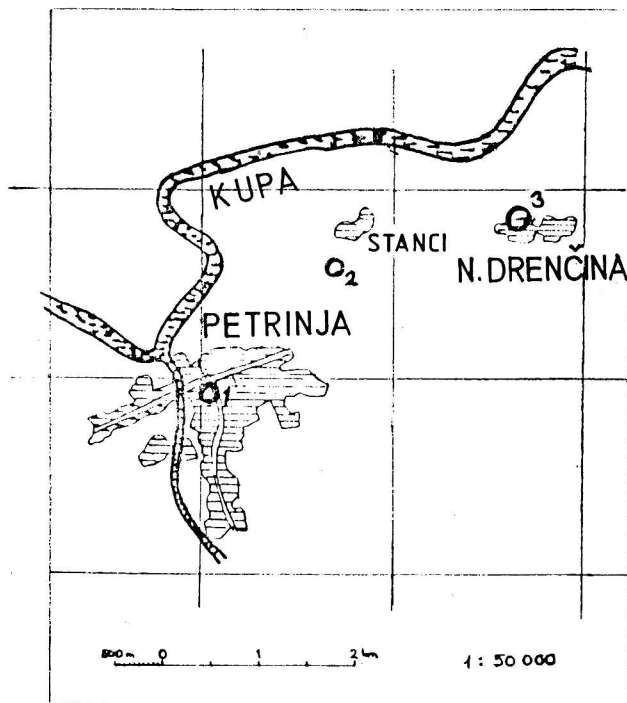
Cilj je ovoga rada da uz pomoć metoda sinoptičke i radarske analize i mezoanalize, kao i aerološke analize, istraži i utvrdi uzroke pojave pijavice na području Petrinje, što bi predstavljalo doprinos boljem razumijevanju ovoga atmosferskog fenomena i pokušajima njegovog prognoziranja.

2. KARAKTERISTIKE POJAVE PIJAVICE I NJEZINI UČINCI

Prema izjavama očevidaca, pijavica je na području Petrinje i njezine bliže okolice svojim lijevkom dotakla tlo u tri navrata u roku od nekoliko minuta, počevši od oko 18¹² sati.

Prvi put se to dogodilo u središtu Petrinje, u strome parku sa stoljetnim lipama, a zatim je krenula jednom od glavnih ulica prema sjeveroistoku i pri tome prešla put malo manji od 1 km (sl. 1.1).

Na tome putu oštećeni su samo objekti s lijeve strane ceste, tako da su uništene ograde prema cesti i krovne



Sl. 1.1. Shema Petrinje s početnim položajima kontakata pijavice s tlom

Fig. 1.1. Adrawing of Petrinja with marked pionts of touch-down of tornado funnel

konstrukcije prvog reda zgrada. Dio ograda je ostao u relativno dobrom stanju, ali ih je pijavica, zajedno s površinskim slojem zemlje, pomakla u lijevo.

Drugi put je pijavica dotakla tlo otprilike 2 km sjeveroistočno od mjesta gdje je prvi put „prizemljila“, u području novog naselja Petrinje, gdje su mnoge zgrade ostale bez krova.

Treći put je lijevak pijavice dotakao tlo na udaljenosti od oko 2 km od prethodnog mjesta prizemljenja, u Novoj Drenčini, gdje su pričinjene vrlo velike štete na zgradama, voćnjacima i vinogradima.

Pijavica je čupala drveće zajedno s korijenjem ili ga je pokidala na nekoj visini zavrtanjem oko njegove osi. Premjestila je neke parkirane automobile i do 10 m daleko. Ukupno je oštetila oko 500 kuća (uglavnom obiteljskih zgrada) od kojih 107 teže.

Na osnovi analize učinaka pijavice može se zaključiti da je područje zahvaćeno pijavicom bilo ukupne duljine oko 5 km i da mu je širina bila nejednaka, ali uglavnom između 20 i 30 m.

Prema učincima na predmetima može se zaključiti da je strujanje zraka u vrtologu pijavice bilo ciklonalno.

3. SINOPTIČKA ANALIZA

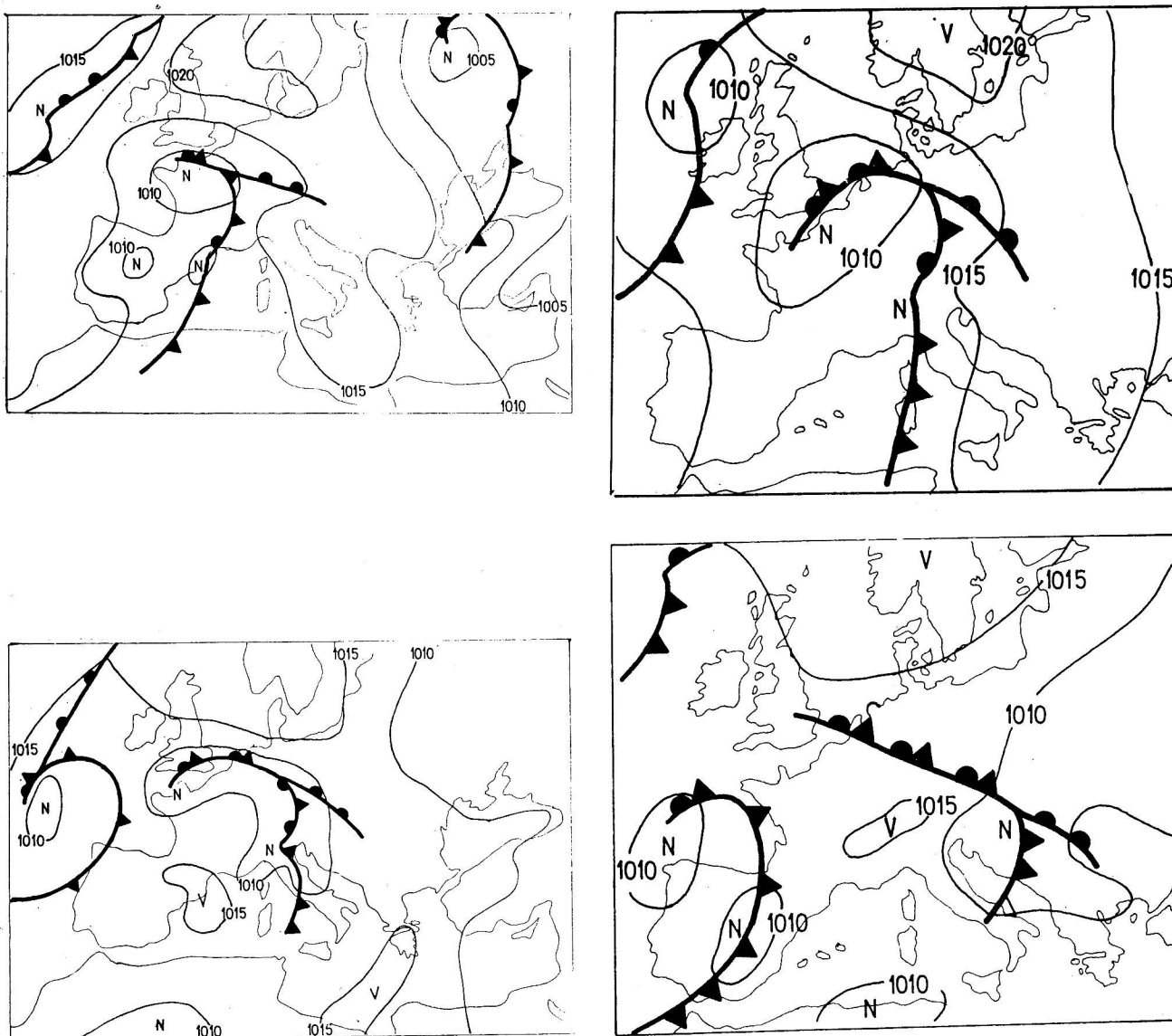
Karakteristike makrovremenske situacije u većem dijelu posljednje trećine mjeseca srpnja 1982. godine bile su održavanje ciklonalne aktivnosti iznad područja Atlantika i povremeno pritjecanje vlažnih i nestabilnih zračnih masa s Atlantika na evropski kontinent.

U posljednja dva dana srpnja prostrano se ciklonalno polje u prizemlju iznad jugozapadne Evrope, s frontalnim sustavom, postupno premještalo i širilo prema sjeveroistoku, uz nastavak procesa okluzije. To je vodilo narušavanju grebena sjevernoevropske anticiklone, što je zahvaćao naše područje nakon prijašnjih prodora oceanskog zraka sa sjeverozapada (sl. 3.1). Nekoliko sati prije pijavice u Petrinji (sl. 3.1c) ciklonalno se područje proširilo i na zapadni dio naše zemlje, a prolaz je frontalnog sustava uslijedio između 31. 7. u 12 GMT i 1. 8. u 00 GMT (sl. 3.1d).

Prije prodora hladnoga zraka na visini je iznad naših krajeva bio prisutan termobarički greben, dok se iznad jugozapadne i zapadne Evrope nalazila ciklona (sl. 3.2). Na nižim izobarnim plohama postojala je dobro izražena frontalna zona, uz hladnu advekciju u jugozapadnoj Evropi i toplu u našim krajevima. S obzirom na to da je na većim visinama advekcija bila slabije izražena, glavnina je energije potjecala od termičke asimetrije u nižim slojevima troposfere, uz pretvaranje zaliha raspoložive potencijalne energije u kinetičku.

Prodor oceanskog zraka u naše krajeve bio je u nižoj troposferi praćen dobro izraženom frontalnom zonom i advekcijom hladnoga zraka (sl. 3.3).

Valja naglasiti da je razmjerno brzo kretanje frontalnog sustava i prebacivanje hladnoga zraka preko Alpa



Sl. 3.1. Prizemne sinoptičke karte: a) 30. 7. 1982. u 12 GMT, b) 31. 7. 1982. u 00 GMT, c) 31. 7. 1982. u 12 GMT, d) 1. 8. 1982. u 00 GMT

Fig. 3.1. Surface synoptic charts: a) 30 July 1982, 12 GMT, b) 31 July 1982., 00 GMT, c) 31 July 1982, 12 GMT, d) 1 August 1982, 00 GMT

u toku 31. srpnja, nakon što se prije toga proces njihova premještanja odvijao dosta sporo, bilo potaknuto prodorom nove količine hladnoga zraka, uz pojavu ciklonalne aktivnosti, u istočni dio Atlantika, blizu evropskog kontinenta.

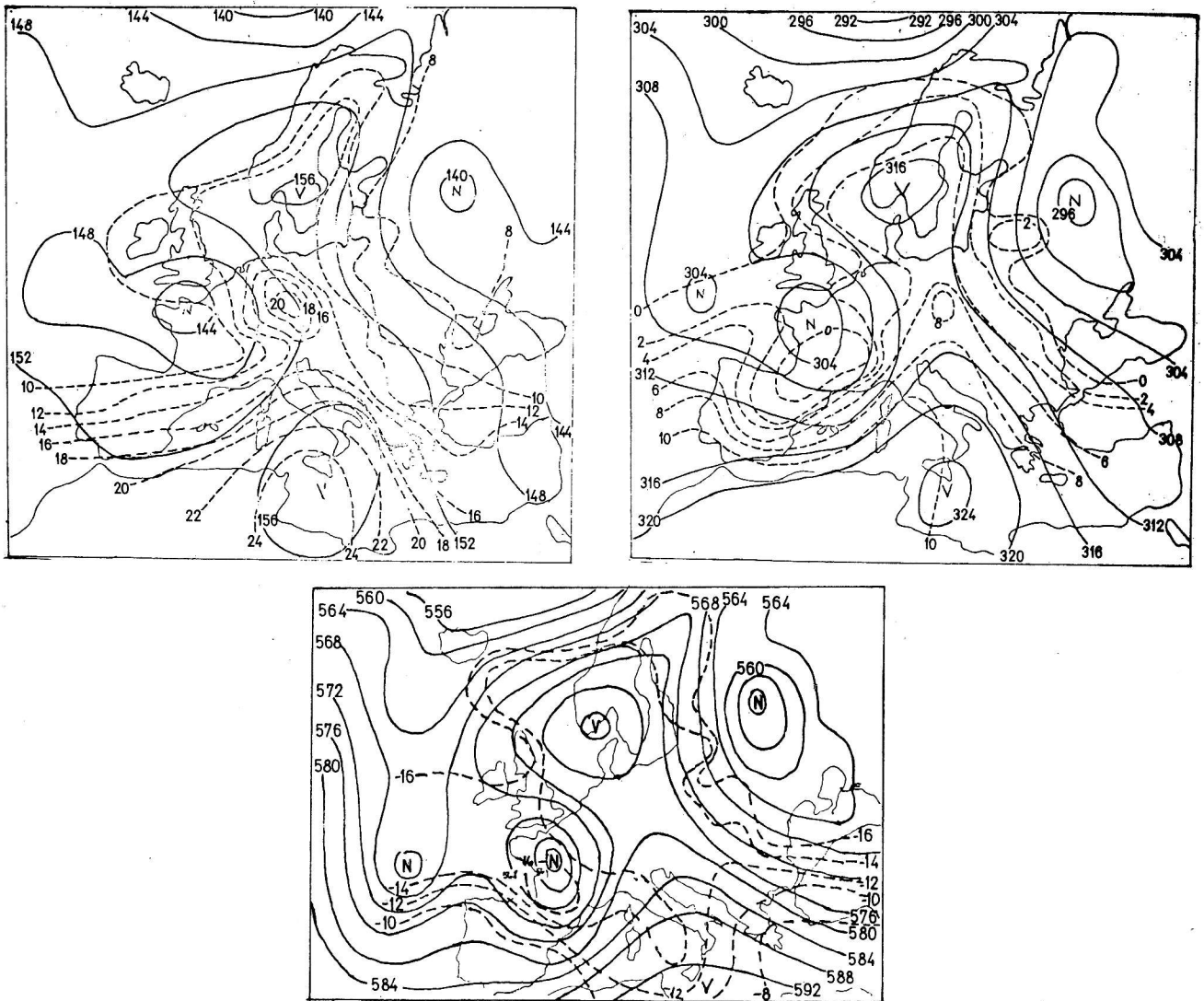
Prijelaz frontalnog sustava iznad središnje Hrvatske dobro se uočava i na vremenskom vertikalnom presjeku temperature zraka za Zagreb-Maksimir, koji je urađen do visine od 5 km i na kojemu su, radi otklanjanja utjecaja dnevnog hoda, odvojeno prikazani podaci od 00 i 12 GMT (sl. 3.4). Na nižim izobarnim plohama temperatura je rasla, kao posljedica advekcije toplog zraka s jugozapada, sve do 12 GMT 31. 7, a zatim je u sljedećih 12 sati došlo do njezina pada zbog advekcije hladnoga zraka nakon prolaza frontalnog sustava.

Iz sinoptičke se analize može zaključiti da je pojava pijavice u Petrinji, a tome valja pridružiti i pojave nevre-

mena u drugim krajevima Hrvatske dana 31. 7, mogla biti u izravnoj ili posrednoj vezi s prolazom frontalnog sustava i prodorom hladnoga zraka iz jugozapadne Evrope.

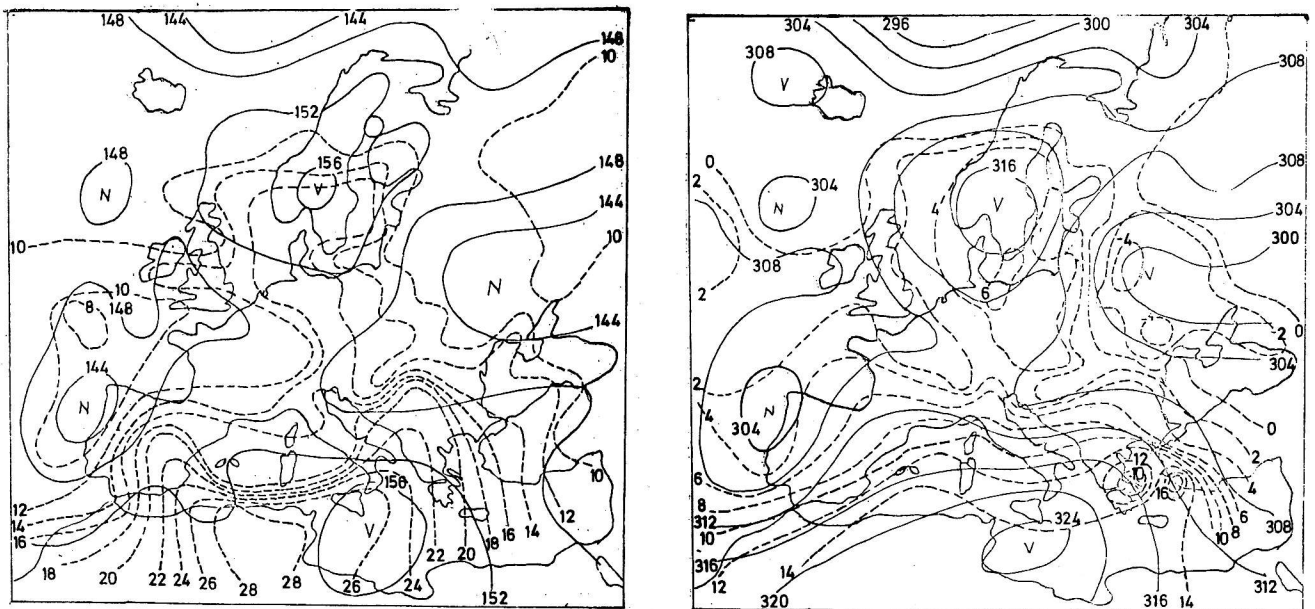
4. MEZOANALIZA VREMENSKE SITUACIJE

Radi utvrđivanja mogućnosti izravnog utjecaja frontalnog sustava na pojavu pijavice, metodama mezoanalize istražene su karakteristike vremenskih prilika u toku njegova prolaza iznad unutrašnjosti Hrvatske. Kao elementi mezoanalize korišteni su: 1) mezokarte tlaka; 2) stanični vremenski presjeci i grafikoni vremena; 3) karte izohijeta i 4) izohrone premještanja frontalnog sustava.



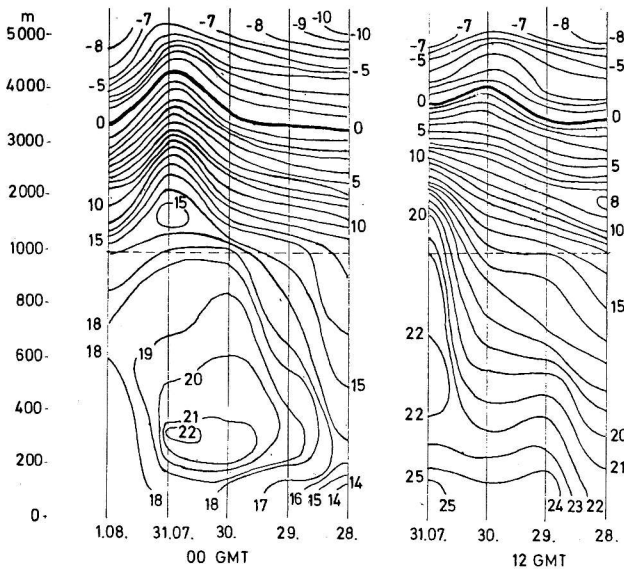
Sl. 3.2. Visinske sinoptičke karte prije prodora hladnog zraka 31. 7. 1982. u 00 GMT: a) 850 hPa, b) 700 hPa, c) 500 hPa

Fig. 3.2. Absolute topography charts (before cold air outbreak) on 31 July 1982 at 00 GMT: a) 850 hPa, b) 700 hPa, c) 500 hPa.



Sl. 3.3. Visinske sinoptičke karte nakon prodora hladnoga zraka 1. 8. 1982. u 00 GMT: a) 850 hPa, b) 700 hPa.

Fig. 3.3. Absolute topography charts (after cold air outbreak) on 1 August 1982 at 00 GMT: a) 850 hPa, b) 700 hPa.



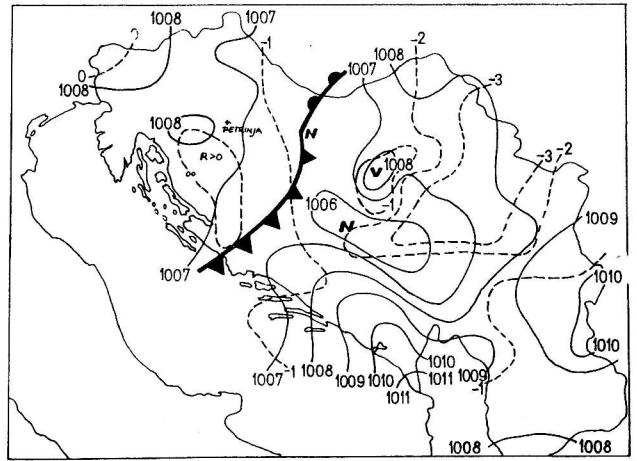
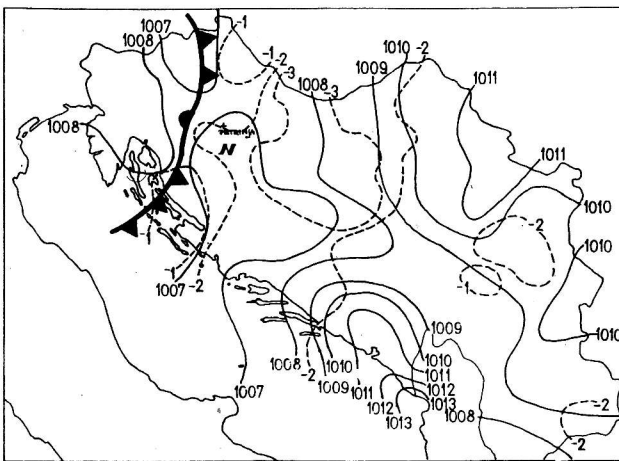
Sl. 3.4. Vremenski vertikalni presjek za Zagreb-Maksimir

Fig. 3.4. Vertical time cross-section for Zagreb.

U unutrašnjosti Hrvatske bilo je područja bez oborina, ali i onih u kojima je za 24 sata palo više od 50 mm. Jezgre najvećih količina oborina pokazuju stano-vitu povezanost s položajem gorja, ali ne isključivu, što sve ukazuje na to da je glavina oborina bila u sklopu grmljavinske aktivnosti. To potvrđuje i lokalna analiza vremena na meteorološkim stanicama, a njezini elementi na tri glavne meteorološke stanice u relativnoj blizini Petrinje prikazani su na sl. 3.3. i 3.4.

Prolaz fronte bio je posvuda praćen porastom rela-tivne vlage i tlaka, neujednačenim padom temperature, povećanjem naoblake i skretanjem vjetera u smjeru kazaljke na satu, zatim pojavama grmljavina, sijevanja, pljuskovima, velikom većinom i kišom, i tučom, mje-stimično. Prema svemu sudeći, riječ je o prolazu ka-rakteristične hladne fronte II reda (Zverev, 1977).

Na osnovi tako provedene lokalne analize vremena, kao i analize satnih karata izohijeta (sl. 4.5), izrađena



Sl. 4.1. Mezokarte tlaka zraka s frontalnim sustavom, 31. 7. 1982. a) 15 GMT; b) 18 GMT (pune linije-izobare u intervalima od 1 hPa, crtkane linije-izolobare u intervalima od 1 hPa)

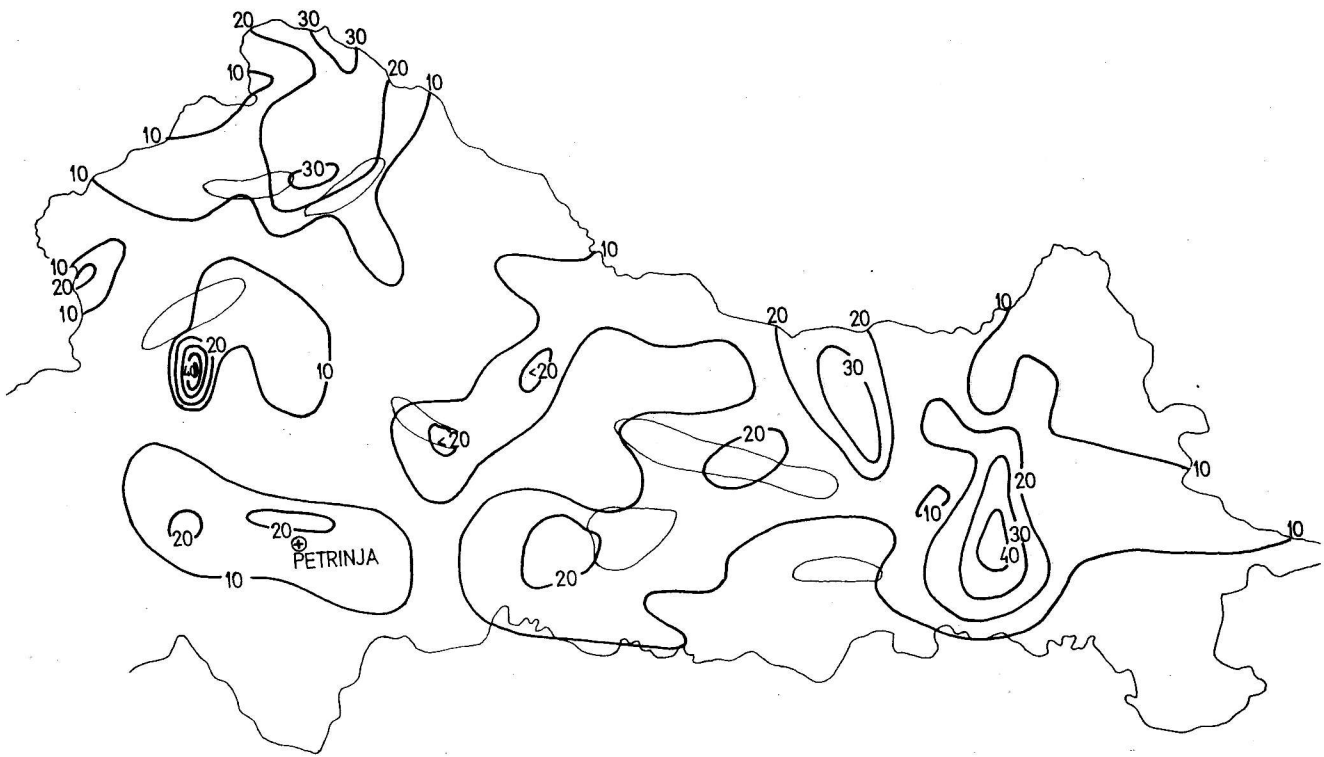
Fig. 4. Surface pressure mesoanalysis with the frontal system of 31 July 1982: a) 15 GMT, b) 18 GMT, (solid lines-isobars in 1 hPa intervals; dashed lines-isobars in 1 hPa intervals)

Položaj frontalnog sustava je određen na osnovi potanje analize sinoptičkih karata našega područja i može se zaključiti da se on premještao u smjeru sjevero-zapad-jugoistok, pri čemu je središnje krajeve Hrvat-ske, i područje Petrinje, izravno zahvatio između 15 i 18 GMT (sl. 4.1). Prolaz frontalnog sustava bio je praćen malim porastom tlaka jer je zbog slabo iz-ražene advekcije hladnoga zraka s jugozapada njezin doprinos lokalnoj promjeni tlaka bio mali. U toku premještanja frontalni sustav je sustigao mezociklonu u toplome zraku, koja se uključila u cirkulaciju valnog poremećaja na njemu.

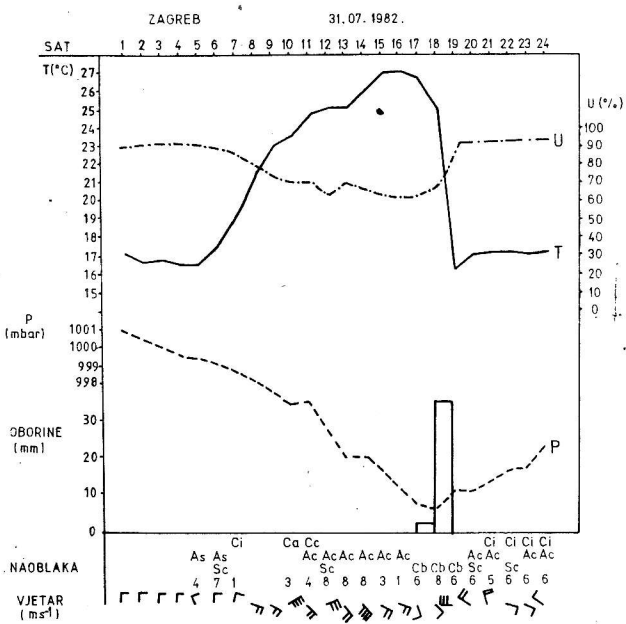
Utjecaj frontalnog sustava na vremenske prilike bio je vrlo neujednačen, o čemu svjedoči raspodjela količina oborina koje je prouzročio (sl. 4.2).

je karta izohrona premještanja frontalnog sustava iznad naših krajeva u razdoblju od 15 do 21 sat (sl. 4.6).

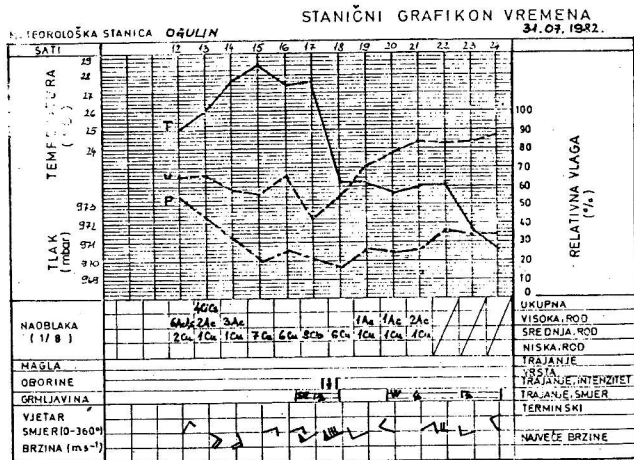
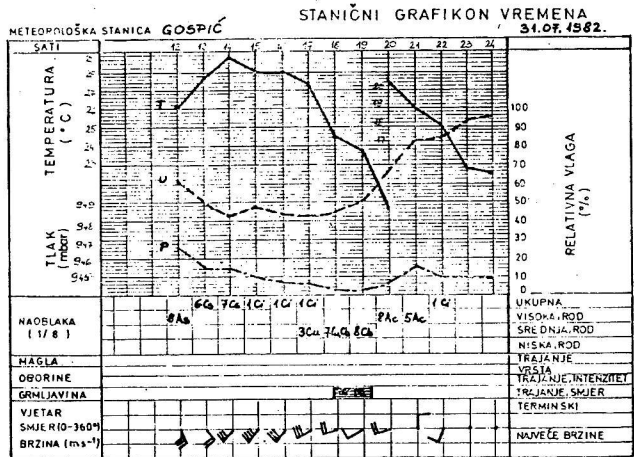
Može se zaključiti da se frontalni sustav premještao preko unutrašnjosti Hrvatske u smjeru sjeverozapad-jugoistok, što je potvrda prethodno provedene sinoptičke analize, da je brzina njegova kretanja bila neujednačena, i u prosjeku oko 40/h, i da je hladna fronta zahvatila područje Petrinje između 17.30 i 18 sati. To potvrđuje i izvještaj meteorološkog motritelja u Petrinji, koji je prve pojave grmljavine zamijetio već oko 17 sati na jugozapadu od Petrinje. Odatle se također može zaključiti da se pojava pijavice može pripisati atmosferskim zbivanjima vezanim za prolaz hladne fronte.



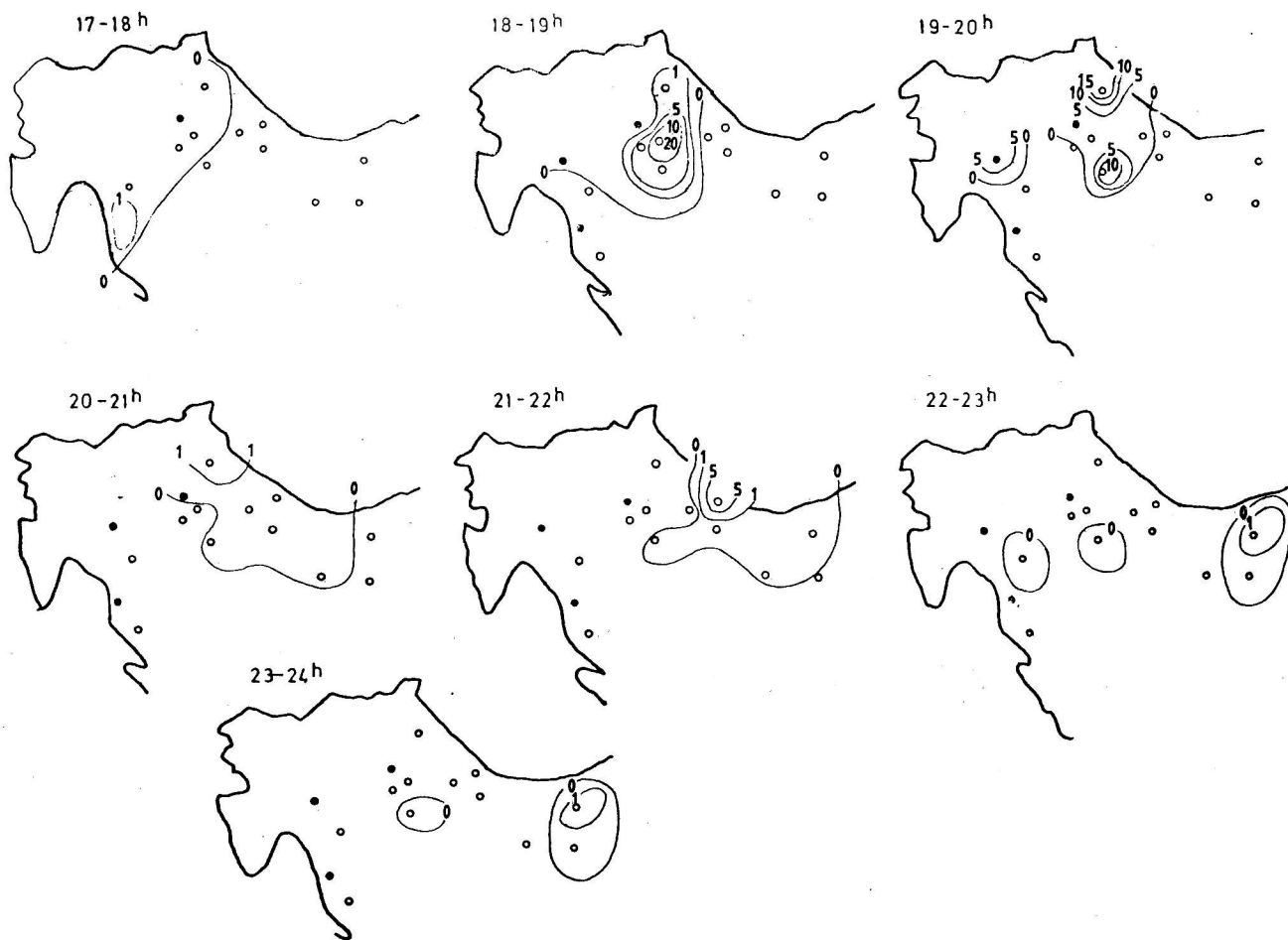
Sl. 4.2. Karta izohijeta 24-satnih količina oborina, 1. 8. 1982.
Fig. 4.2. 24-hour amounts of precipitation of 1 August 1982.



Sl. 4.3. Stanični vremenski presjek za Zagreb-Maksimir, 31.7.1982
Fig. 4.3. Station time section for Zagreb, 31 July 1982.



Sl. 4.4. Stanični grafikoni vremena za Gospić i Ogulin, 31. 7. 1982.
Fig. 4.4. Station time section for Gospić and Ogulin.



Sl. 4.5. Izohijete satnih količina oborina (mm)
 Fig. 4.5. Hourly charts of the rainfall amounts

5. ANALIZA STABILNOSTI ATMOSFERE

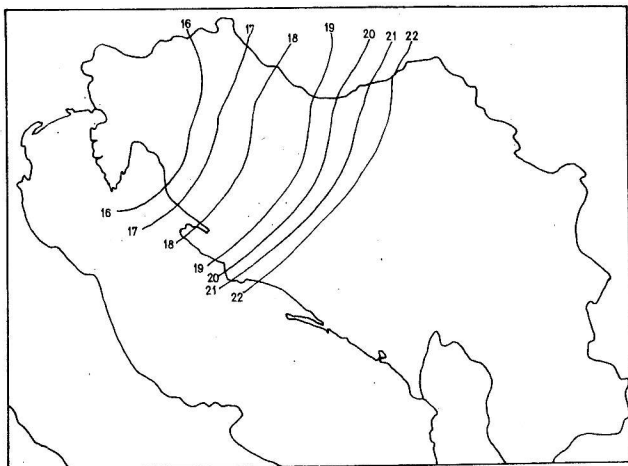
Unatoč spoznaji da je vrijeme pojave pijavice u Petrinji približno koincidiralo s prolazom hladne fronte i da dinamički procesi uzrokovani frontalnim zonama imaju važnu ulogu u oslobađanju energije nestabilnosti (Beebe i Bates, 1955), valjalo je utvrditi koliki je doprinos njezinoj pojavi potjecao od nestabilnosti atmosfere na širem području, a koliki od lokalne nestabilnosti.

Radi ocjene mogućeg utjecaja prvog faktora izračunate su vrijednosti veličine σ , kako je to pokazano u radu Tutiš (1984), koja u (x, y, p) koordinatnom sustavu hidrodinamičkih jednadžbi atmosfere predstavlja koeficijent uz vertikalnu brzinu w . Prema definiciji,

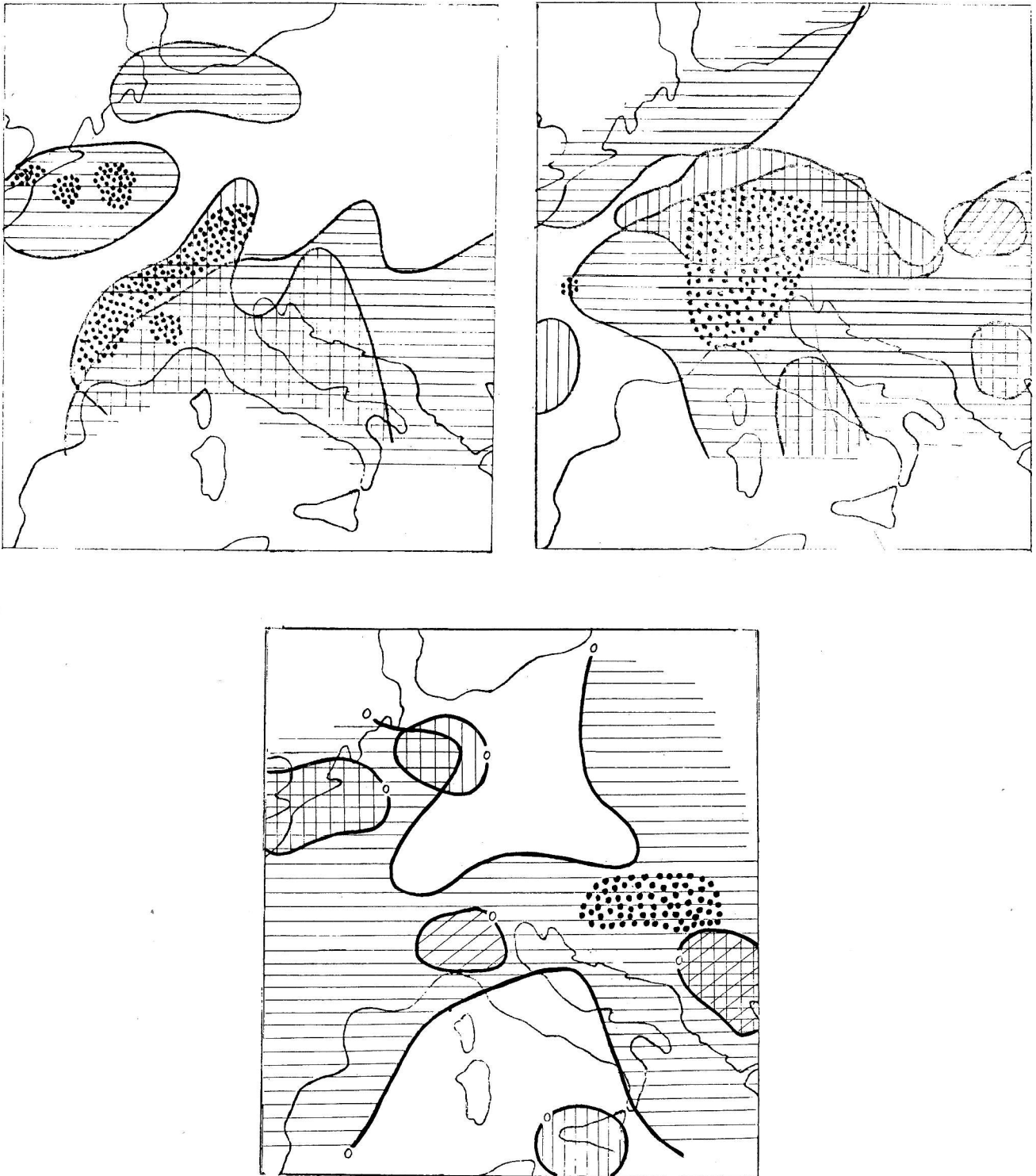
$$\sigma = - \frac{\alpha}{\Theta_e} \frac{\partial \Theta_e}{\partial p}$$

gdje je α – srednji specifični volumen, a Θ_e – srednja ekvivalentna temperatura u sloju atmosfere. Općenito vrijedi: $\sigma > 0$ – stabilno, $\sigma = 0$ – neutralno, $\sigma < 0$ – nestabilno stanje.

Provedena je prostorna analiza veličine σ za tri sloja i za tri uzastopna aerološka termina, koja obuhvaćaju razdoblje u kojemu se pojavila pijavica (sl. 5.1).



Sl. 4.6. Izohrone premještanja frontalnog sustava
 Fig. 4.6. Isochromes of frontal movement.



Sl. 5.1. Prostorna analiza σ i pojava nestabilnosti: a) 31. 7. 1982. u 00 GMT; b) u 12 GMT; c) 1. 8. 1982. u 00 GMT (vodoravne crte—nestabilnost u sloju 850—700 hPa; okomite crte—nestabilnost u sloju 700—500 hPa; kose crte—nestabilnost u sloju 500—400 hPa; točke—opažene pojave nestabilnosti)

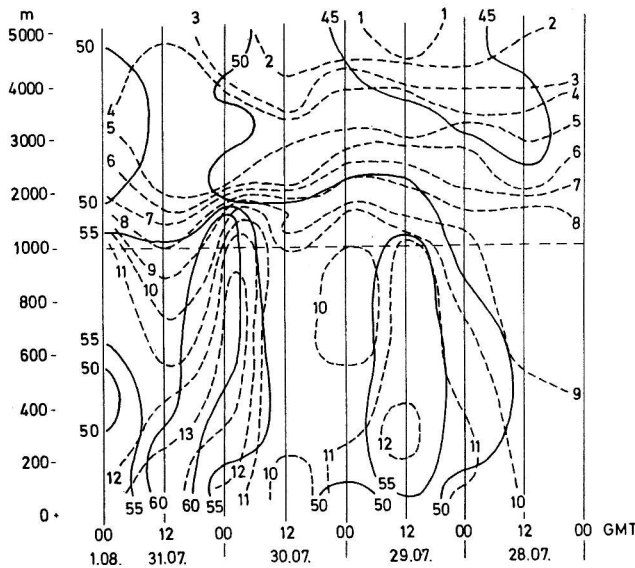
Fig. 5.1. Static stability analysis for three layers. The areas of unstable atmosphere ($\sigma < 0$) are indicated as follows. Horizontal lines represent the lowest layer between 850 and 700 hPa, vertical lines represent the layer between 700 and 500 hPa and inclined lines represent the layer between 500 and 400 hPa. Dots represent the area where convective clouds and storms were simultaneously registered: a) 31 July 1982 at 00 GMT, b) 31 July 1982 at 12 GMT, c) 1. August 1982 at 00 GMT.

Analiza pokazuje da su na promatranom području u cijelome razdoblju postojali uvjeti za pojave nestabilnosti, jer je barem jedan od slojeva atmosfere bio prema definiciji nestabilan, pri čemu su niži slojevi bili potencijalno nestabilniji. To je dijelom posljedica

neravnomjerne advekcije temperature na različitim visinama. (Prije prolaza fronte na većim visinama je topla advekcija bila slabija nego u nižim slojevima, što općenito uvjetuje povećanje vertikalnog temperaturnog gradijenta i nestabilnost unutar zračne mase).

Raspored stvarnih pojava nestabilnosti pokazuje i naglašenu povezanost s položajem većih planinskih sustava (prisilno dizanje toplog i vlažnog zraka na području Alpa), kao i s drugim uređenim gibanjima većih razmjera (širenje i premještanje ciklonalnog polja).

Na vremenskom vertikalnom presjeku ekvivalentne temperature i omjera miješanja za Zagreb-Maksimir (sl. 5.2) prolaz hladne fronte dobro se uočava u padu ekvivalentne temperature i omjera miješanja u sloju atmosfere nižem od 1500 metara.



Sl. 5.2. Vertikalni vremenski presjek za Zagreb-Maksimir za ekvivalentnu temperaturu (puna linija) i omjer miješanja (crtkana linija)

Fig. 5.2. Vertical time cross-section for Zagreb, solid lines – equivalent temperature, dashed lines – mixture ratio

Vidimo također da su potencijalni uvjeti za nestabilnost u najnižem sloju atmosfere bili dobro izraženi i prije prolaza fronte, što se slaže i sa prostornom analizom veličine σ (sl. 5.1).

Lokalna analiza statičke stabilnosti atmosfere na širem području Zagreba (sl. 5.3) ukazuje na to da je već u ranim poslijepodnevним satima postojala mogućnost razvoja grmljavinskih oblaka do visine oko 13 km, pri čemu bi vrhovi najrazvijenijih Cb-a mogli probiti tropopauzu (njezina visina je oko 11,5 km).

Izračunata je vertikalna brzina u oblaku prema metodi Gluškovice:

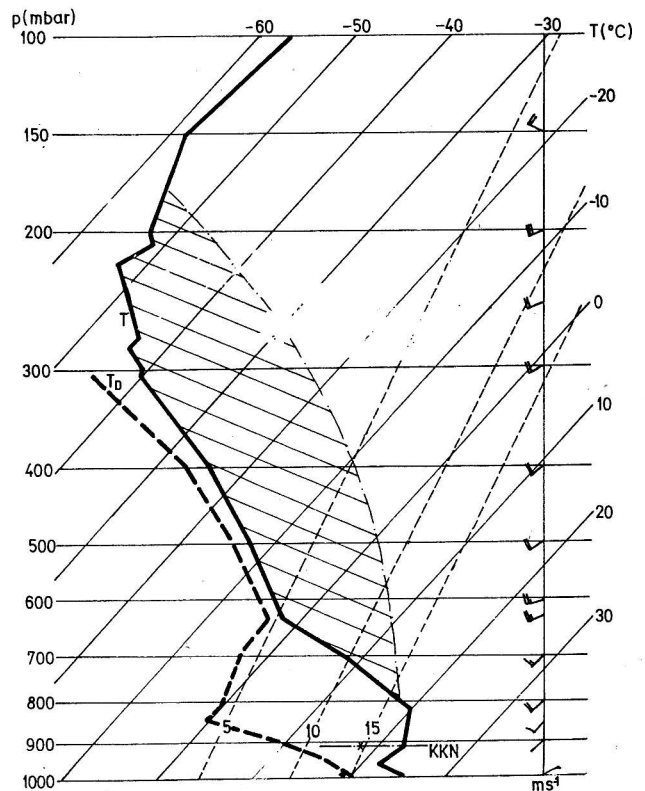
$$w = \sqrt{2 \left[(T_m - T) - \left(1 - \sqrt{\frac{\Sigma T - T_s}{\Sigma T_m - T_s}} \right) (T_m - T_s) \right] \frac{(T_o - T_{sn})}{T_o}} \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1},$$

gdje su: T_o – temperatura na konvektivnom kondenzacijskom nivou u presjecištu s krivuljom stanja; T_s –

temperatura na računskom nivou u presjecištu sa suhom adiјabatom čije je polazište točka na krivulji stanja na prethodnom računskom nivou: T_m – isto kao T_s , ali je presjecište s mokrom adiјabatom; T_{sn} – isto kao T_s , ali je polazište na konvektivnom kondenzacijskom nivou.

Dobivena je vrlo velika vertikalna brzina i njezina je maksimalna vrijednost od 39 ms^{-1} bila na visini od oko 5,8 km, gdje je izmjerena temperatura -13°C . Proračuni su dali mogućnost stvaranja tuče promjera zrna oko 2,5 cm u oblaku.

Postojanje inverzijskog sloja niže od KKN, prema Beebeu i Batesu (1955), ima bitnu ulogu u jačini konvekcije, s obzirom na to da dopušta postupno grijanje i nagomilavanje vlažnog zraka horizontalnom advekcijom. Istovremeno se gornji slojevi troposfere hlade i nestabilnost se povećava, sve dok neki mehanizam ne ukloni inverziju i dovede do eksplozivnog razvoja konvekcije.



Sl. 5.3. Aerološki dijagram za Zagreb-Maksimir, 31. 7. 1982. u 12 GMT

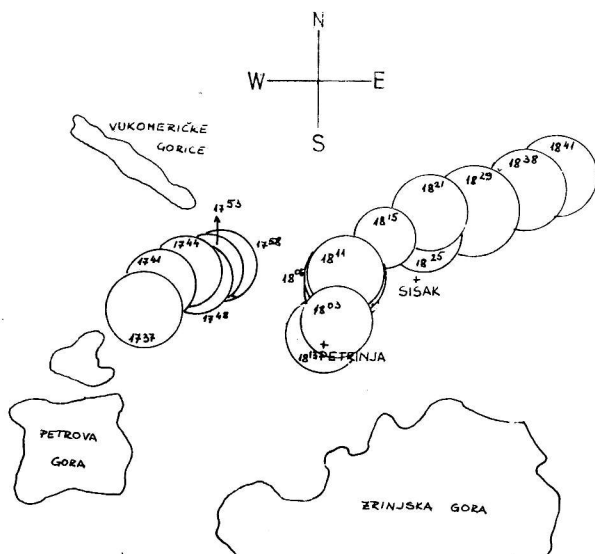
Fig. 5.3. Aerological diagram for Zagreb on 31 July 1982 at 12 GMT

Može se zaključiti da su u atmosferi na širem području Zagreba (koje obuhvaća i Petrinju) postojali povoljni uvjeti za razvoj oblaka vertikalnog razvitka s pojavama koje karakteriziraju olujnu aktivnost već unutar tople zračne mase.

6. RADARSKA ANALIZA

Za razdoblje pojave pijavice kraj Petrinje analizirani su radarski odrazi iznad tog dijela Hrvatske maksimalne radarske refleksije (Gelo, 1976) i s obzirom na promjenu položaja utvrđeno je postojanje oblačne stanice, koja se na duljini od oko 67 km premještala brzinom od prosječno $39,3 \text{ kmh}^{-1}$. Brzina premještanja je dakle jednaka onoj koja je utvrđena za brzinu kretanja hladne fronte, ali je osjetno manja, gotovo dvostruko, od srednje brzine u oblačnom sloju, što je svojstveno oblačnim stanicama većih razmjera.

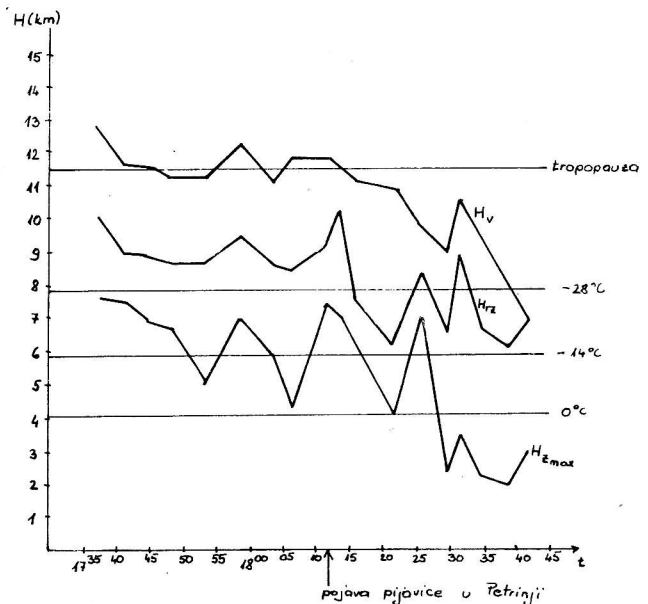
Unatoč diskontinuitetu u mjerenju radarskih odraza između 17.58 i 18.03 sati (sl. 6.1) nedvojbeno je da se u razdoblju pojave pijavice oblačna stanica nalazila iznad Petrinje. Njezin je opći smjer premještanja bio SW-NE ali uz određena odstupanja. To je u suglasju sa zapažanjima Beebea i Batesa (1955) da se pri postojanju određenog gibanja okolnog zraka, ali bez jakog vertikalnog smicanja vjetra (kao što je to bilo u ovom slučaju), oluje uglavnom gibaju u smjeru vjetra, ali nepravilno mijenjaju brzinu i smjer. Ako se uzme u obzir i početni dio staze, može se zaključiti da se oblačna stanica prije dolaska u područje Petrinje najprije kretala na sjeveroistok, zatim je u kraćem vremenskom razdoblju (od oko 5 minuta) imala smjer WNW i kretala se jugoistočnim obroncima Vukomeričkih gorica, da bi se od Petrinje zaputila nizinskim područjem najprije na sjever, zapadno od sjeverozapadnih obronaka Zrinske gore, a zatim na sjeveroistok prema Sisku, Moslavini i Moslavačkoj gori. Moguće je da je dio staze oblačne stanice na širem području Petrinje bio donekle uvjetovan i položajem okolnog gorja. Prema Geli (1976), brda relativne visine veće od 300 m znatno utječu na brzinu i smjer gibanja olujnih oblaka, makar se njihovi vrhovi protežu i preko 10 km visine.



Sl. 6.1. Radarski odrazi oblačne stanice na širem području oko Petrinje (na rubu kruga označeno je vrijeme mjerenja)

Fig. 6.1. Radar analysis of cloud cells around Petrinja.

Već prvo radarsko mjerenje oblačne stanice u 17.35 pokazuje da je ona bila probila tropopauzu (sl. 6.2) i da zadovoljava kriterije tučoopasnosti. Vrh oblačne stanice (H_V) bio je do oko 18.12 sati iznad tropopauze, što ukazuje na vrlo povoljne uvjete za njezin razvoj. Tome su (prema Geli 1976) pridonijeli izostanak jačeg vertikalnog smicanja vjetra, kao i okolno gorje (Zrinska gora) davanjem dodatnog impulsa za oslobodenje energije nestabilnosti. Oko tog vremena su izmjerene i maksimalne vrijednosti visine točke maksimalne radarske refleksije (H_{zmax}), kao i visine vrha pojačanog radarskog odraza (H_{VZ}). Potom je došlo do zamjetnog snižavanja vrha oblačne stanice, za više od 4 km, kao i visine drugih mjernih radarskih parametara.



Sl. 6.2. Vremenski niz radarskih parametara oblačne stanice (H_V - vrh oblačne stanice; H_{zmax} - visina točke maksimalne radarske refleksije; H_{VZ} - visina vrha pojačanog radarskog odraza (zmax - 10 dB))

Fig. 6.2. Time section of cloud-cell radar parameters (H_V - a cloud-cell top, H_{zmax} - a height of maximum radar reflexivity point; H_{VZ} - a height of a maximum reflection (zmax - 10 dB).

S obzirom na brzinu premještanja, duljinu života, horizontalne i vertikalne dimenzije i duljinu staze, prema WMO klasifikaciji oblačnih stanica (1981) promatrana oblačna stanica, s kojom je bila povezana pojava pijavice u Petrinji, spada u skupinu „super-stanica“.

Valja naglasiti da je na cijelom dijelu staze, od Petrinje na sjeveroistok, u vrijeme radarskih mjerenja postojao „zid oblaka“ što je naznačavao položaj hladne fronte, i da su promjene položaja oblačne stanice određene prema položajima zona najveće radarske refleksije. Zamjećuje se (sl. 6.1) i prividna nelogičnost retrogradnog gibanja oblačne stanice na području Petrinje, upravo u vrijeme pojave pijavice. To je, prema Newtonu i Katzu (1958), vjerojatno posljedica raspadanja starih ćelija na lijevoj strani oluje i formiranja novih na njezinoj desnoj strani. Inače, šire područje Siska (Gelo,

1976) može se okarakterizirati, s obzirom na grmljavisku aktivnost, kao izvorišno, odnosno kao područje koje omogućava dugotrajniji i jaki razvitak konvektivnih oblaka.

ZAKLJUČAK

Sinoptička analiza i analiza presjeka pokazuje da je pojava pijavice bila u vezi s prolazom hladne fronte, u sklopu cjelokupnog premještanja frontalnog sustava iz jugozapadne Evrope na sjeveroistok, pri čemu je frontalna zona bila osobito izražena na nižim izobarnim plohama, u donjem dijelu troposfere.

Provedene su subjektivna mezoanaliza i lokalna analiza vremenske situacije, uz pomoć mezokarata tlaka, satnih karata izohijeta i staničnih grafikona vremena radi utvrđivanja vremenskih karakteristika hladne fronte, točnijeg lociranja njezina položaja i određivanja brzine premještanja. Može se zaključiti da je, prema promjenama u tlaku, temperaturi, vlazi, naoblaci i vjetru i vremenskim pojavama, posrijedi bila hladna fronta II reda, da je njezin utjecaj na vremenske prilike bio prilično neujednačen, osobito u pogledu oborina, koje su većinom bile u sklopu grmljavinske aktivnosti. Frontalni sustav se premještao u unutrašnjost Hrvatske u općem smjeru sjeverozapad-jugoistok, prosječnom brzinom od oko 40 km/h i zahvatio je područje Petrinje između 17.30 i 18.00 sati.

Analiza statičke stabilnosti na širem području provedena je pomoću veličine σ , a lokalne pomoću vremenskog vertikalnog presjeka i aerološkog dijagrama za Zagreb. Pokazalo se da su na širem području postojali uvjeti za pojave nestabilnosti, pri čemu su niži slojevi troposfere bili potencijalno nestabilniji. Na užem području, koje uključuje i Petrinju, postojali su povoljni uvjeti (vertikalna brzina 39 ms^{-1} , promjer zrna tuče u oblaku 2,5 cm) za razvoj oblaka jakog vertikalnog razvitka s pojavama koje karakteriziraju olujnu aktivnost zone.

Radarska analiza je pokazala da se u vrijeme prve pojave pijavice (18.12 sati) iznad područja Petrinje nalazila oblačna stanica, koje je vrh bio probio visinu tropopauze i koja se na dužini od oko 67 km premještala prosječnom brzinom od $39,3 \text{ kmh}^{-1}$. S obzirom na brzinu premještanja, duljinu staze premještanja, oblačna stanica spada u skupinu tzv. super-stanica. Razvoj oblačne stanice, koji je doveo do pojave pijavice, bio je potaknut i utjecajem okolnog gorja dodatnim impulsom za oslobođenje energije nestabilnosti.

LITERATURA

- Beebe, R. G. i F. C. Bates, 1955: A mechanism for assisting in the release of convective instability; *Mon. Wea. Rev.*, 83, 1–10
 Bleeker, W. and A. Delver, 1951: *Archiv für Meteorologie*, 220.
 Čapka, B., 1978: Mezoanaliza vremenske situacije 22. 08. 1973. u sjevernoj Hrvatskoj; 1st Conference on Protection against Atmospheric Storms, Arandelovac, IV, 1–10

- Fujita, T., Newstein, H. and Trepper, M., 1956: Mesoanalysis – An important Scale in the Analysis of Weather Data; US Weather Bureau, Research Paper 39, 83 str.
 Gelo, B., 1976: Razvoj i gibanje konvektivnih oblaka u sjevernoj Hrvatskoj u razdoblju radarskih mjerenja; magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 72 str.
 Gluškova, N. I., 1956: Nekotorie utočenija k prognozu grada; *Tr. VGI*, 5, 5–9.
 Humphreys, 1940: *Physics of the Air*; 218 pp.
 Jurčec, V., 1978: Numerička prognoza mezosistema za vrijeme oluje na području Zagreba; 1st Conference on Protection against Atmospheric Storms, Arandelovac.
 Mohorovičić, A., 1894: Tornado bei Novska; Zagreb
 Newton, C. W. and S. Katz, 1958: Movements of large convective storms in relation to winds aloft; *Bull. Am. Met. Soc.* 32, 129–136.
 Poje, D., 1957: Tromba u Rovinju 19. 02. 1955; *Vesnik Hidrometeorološke službe FNRJ*, Beograd, br. 1–2, 70–79.
 Radosavljević, M., 1978: Analiza sinoptičke situacije pri kojoj je došlo do formiranja vremenske nepogode poznate pod nazivom tromba, 1st Conference on Protection against Atmospheric Storms, Arandelovac.
 Sijerković, M., 1976: Istraživanje lokalnih vjetrova u Hrvatskoj metodom mezoanalize; Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 93 str.
 Tutiš, V., 1984: A Spatial Analysis of Static Stability; 18th International Conference for Alpine Meteorology, Opatija, *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova*, 160–163.
 Wegener, A., 1918: *Meteor*, Zeitschrift; 245.
 WMO, 1981: *The Dynamic of Hailstorms and Related Uncertainties of Hail Suppression*; Geneva.

SUMMARY

On 31 July 1982. there was a severe hail and thunderstorm associated with a tornado in Petrinja (the little town in Banija, southeast part of the central Croatia). Many people were hurt and a lot of damage was done.

While moving from the southwest to the northeast, the funnel of the tornado touched the ground three times. The whole event lasted only a few minutes. The area where the tornado touched the ground was 5 km long altogether and mostly 20 to 30 m wide.

Synoptic and vertical time cross-section analyses shows that the tornado was connected to a cold front which was moving from north-west Europe to the south east and which was well-defined in the lower part of the troposphere.

Subjective meso- and local analyses including surface pressure analyses, hourly charts of the rainfall amounts and station time sections were made to determine the cold front characteristics, its more accurate location and velocity. We may conclude that it was a cold front of the second order which influenced the local weather mainly through thunder storms and rainshowers, rather randomly spaced.

The mean velocity of the cold front movement through Croatia from west to east was 40 km h^{-1} . The storm passed Petrinja between 5:30 and 6 p.m.

The values of static stability (σ) were calculated for three tropospheric layers from data of about 35 European radiosounding stations. The analysis of local instability was based on a vertical time cross-section and an aerological diagram for Zagreb.

It was shown that the atmosphere was unstable over a larger area, especially in the lower parts of the troposphere. The significant severe cloud development conditions (vertical wind speed 39 mh^{-1} , hailstone diameter in cloud 0.025 m) existed over very local area, including Petrinja. These conditions were also influenced by the existence of an inversion layer below the convective condensation level, as well as by the baroclinic instability in the frontal zone.

Radar analysis showed that at the time of the first tornado funnel touchdown (6:12 p.m.), there existed a cloud cell over the area of Petrinja whose cloud top penetrated over tropopause level. The cloud cell speed was 39.3 kmh^{-1} on a path 67 km long.

According to the velocity, life period, space dimensions and path length the cloud cell was categorized as a super-cell.

The cloud-cell development, which was connected with the tornado, was triggered by the influence of the surrounding mountains as well.