

VPLIV KAPLJE HLADNEGA ZRAKA NA VREME SLOVENIJE THE INFLUENCE OF THE COLD POOL ON SLOVENIA

M. ROBAVS

551.515.33

Pri analizi višinskih podatkov se je pokazalo, da prevladuje v zmernem pasu v višji troposferi močan zahodnik. Termično je to močno zahodno strujanje podano s polarno fronto. Namreč, od pola prodira proti jugu hladni zrak, od juga se proti polu razširja topli tropski zrak. V področju, kjer se obe zračni masi zblížata, nastopijo zaradi obstoječih temperaturnih diferenc izredno močni vetrovi v ozko omejenem pasu. Polarna fronta se pozimi pomakne precej proti jugu, medtem ko zajema poleti višje geografske širine. Nad izrazito polarno fronto se pojavi področje vetrov z maksimalno hitrostjo, takoimenovani jet-stream. Zasledimo ga pri analizi vertikalnih presekov atmosfere in pri vetrovnih profilih. Zajema spodnjo stratosfero in zgornjo troposfero; navadno se njegovo jedro se nahaja v višini tropopavze. V zmernih širinah se pojavlja v vseh letnih časih, pozimi južneje kot poleti in z dvojno jakostjo. Pozimi nastopi v povprečju prvi maksimum v Aziji, Severni Ameriki in deloma v vzhodnem Atlantiku, drugi v Afriki.¹ Del jet-streama vidimo včasih že nad 500 mb ploskvi.

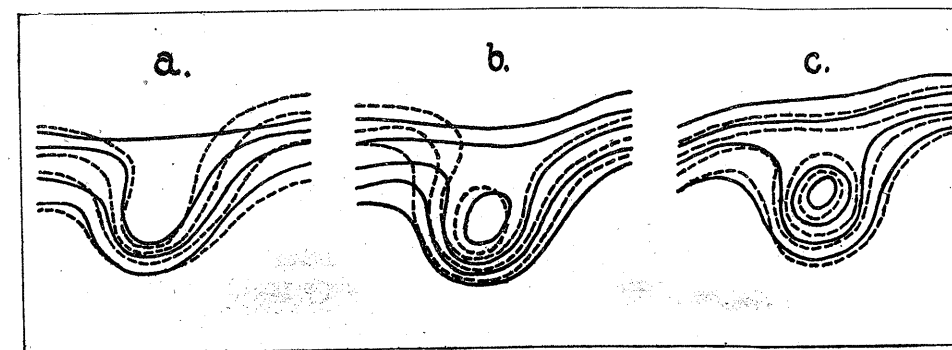
Valove, ki nastanejo zaradi sprememb v jakosti zonalnega strujanja in so povezani z valovanjem na polarni fronti, zasledimo najbolje na 500 mb ploskvi. Ti valovi imajo večjo ali manjšo valovno dolžino. Na severni hemisferi obstoji navadno istočasno štiri do pet takih valov.¹ Valovi se lahko razdelijo v ozke pasove, ki med seboj niso v fazi. Tisti valovi, ki imajo enako amplitudo, lahko preidejo v fazo s prodorom hladnega zraka od NW proti ekvatorju in obratno toplega zraka od SE proti polu. S tem nastane na severni strani topli greben, na južni pa hladna dolina. Ako se v naslednji fazi greben in dolina odcepita in osamosvojita v hladni niz na južni strani in v topli vis na severni strani, imenujemo takšno kvazistacionarno stanje blocking-effekt oziroma blokada. Pojav blokade zaustavi zonalno strujanje za daljši čas. Zasledimo jo v srednji in višji atmosferi, ko često zajema obsežno področje. Izkustvo je pokazalo,¹ da nastopa blokada na določenih mestih kot so: zahodnoevropska obala (Anglija, Skandinavija) in zahodna obala Amerike (vzhodni Pacifik, Aljaska).

Ob priliki blokade zasledimo na 500 mb ploskvi sledečo situacijo: preko večjega dela zahodnega ter severnega Atlantika prevladuje pretežno zonalno strujanje, ki se pred evropsko obalo razdeli v dva pasova, katerih eden je usmerjen proti severu, drugi na jug. Na severu nastali topli anticiklon imenujemo blokirani vis.

Hladni ciklon, ki nastane na južni strani, lahko sega do tal in je v tem primeru centralna depresija. Ako ne sega do tal, ga imenujemo kaplja hladnega zraka.

Za prognozo je važno, da ne zamenjamo blokade z dolgim valovanjem. Za blokado je karakteristična ravno cepitev zonalnega strujanja. Iz statistike je razvidno,¹ da nastane blokada kadar preide pretežno zonalno strujanje iz morja na kopno. Reuter si tolmači nastanek blokade na termični osnovi z ozirom na različno segretost kopnega in oceanov. Temu nasprotno pa opazimo, da se blokada pojavlja v vseh letnih časih, čeprav ne enako izrazito. Termična osnova in dinamični potek v zvezi z blokado predstavljata še nerešen problem in je zato napoved blokade otežkočena.

Z že omenjenim valovanjem na polarni fronti nastanejo valovi oziroma meandri z večjo ali manjšo valovno dolžino in amplitudo.



Sl. 1

Slika 1 nam prikaže potek izohips (izvlečene črte) in izoterm (črtkane črte) na 500 mb ploskvi tekom procesa cepitve hladnega zraka v dolini v samostojno jedro. Za tak proces cepitve je potrebno, da topli zrak vsaj v enem višinskem grebenu prehitveva cirkulacijo in stremi za združitvijo z grebenom na nasprotni strani doline. Z združitvijo toplih grebenov je odcepljeno jedro hladnega zraka. Vsako jedro, obdano s toplejšo zračno maso, ima samostojno cirkulacijo in podane vse pogoje, da ga imenujemo višinska depresija.

Ako v zračnem steburu med 500 in 1000 mb ploskvijo odgovarja temperaturni razliki 5°C razlika višine za 10 dkm, je s tem podan vzrok za depresijo na 500 mb ploskvi pri slabo gradientnem pritiskovem polju pri tleh.

Višinska hladna depresija, ki ima samostojno cirkulacijo in v središču najnižje temperature, pri tleh pa ji odgovarja slabo gradientno pritiskovo polje, imenujemo kaplja hladnega zraka.

Z valovanjem na višinski polarni fronti nastanejo pri tleh frontalni cikloni, ki so temperaturno nesimetrični. Ko postane tak ciklon temperaturno simetričen, se lahko pretvori v centralno depresijo. Ako pa se ciklon z okludiranjem v nižinah izpolni, nastane višinska depresija — kaplja hladnega zraka. Z okludiranjem prizemnega ciklona, nastane pod kapljo slabo gradientno pri-

tiskovo polje. Nadaljni proces v zvezi z nastankom anticiklona pod kapljo sta obdelovala že Čadež² in Scherhag⁴

Obdelava je pokazala še sledeči način nastanka kaplje: za hladno fronto prodira v višinski dolini hladni zrak proti jugu, prizemni frontalni ciklon ni izrazit in se ne okludira, temveč se pomika naprej. Na njegovem prvotnem mestu se je pri tleh ustvarilo slabo oziroma brezgradientno polje, v višinah pa se je ta čas osamosvojila kaplja hladnega zraka.

Oba nastanka kaplje sta pod vplivom prevladujočega letnega časa.

Zato lahko delimo kaplje:

1. v letne in zimske,
2. a) v tiste, ki so nastale z okludiranjem prizemnega ciklona,
- b) v tiste, ki so nastale s prodorom hladnega zraka za hladno fronto pri slabogradientnem polju pri tleh.

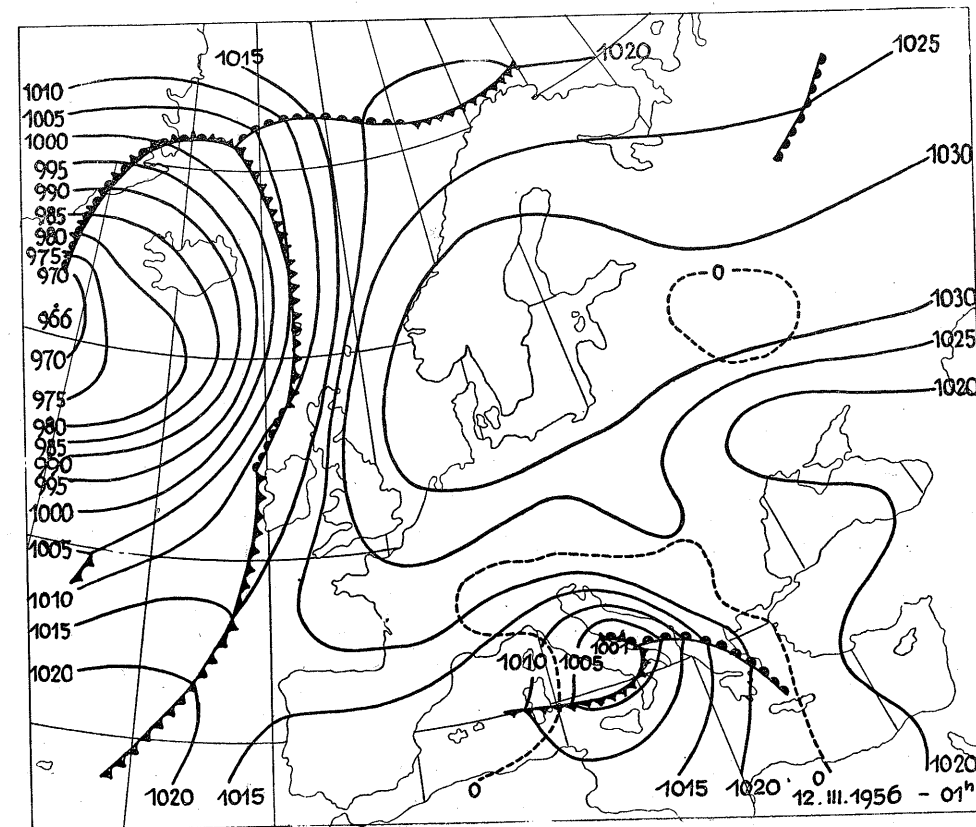
PRIMER ZIMSKE KAPLJE HLADNEGA ZRAKA

Sinoptična situacija

Od 8. III. do 16. III. 1956 je nastala kaplja s prodorom hladnega zraka za hladno fronto.

V začetku štadija prevladuje preko zahodnega Atlantika pretežno zonalna cirkulacija, ki na vzhodnem Atlantiku in nad Evropo preide v meridionalno. Hladni zrak je dotekal iz severa preko srednje Evrope proti jugu. Toda predno preidem na problem kaplje, naj omenim za to obdobje zelo značilno ustvarjanje blokade nad severovzhodnim Atlantikom in nad evropskim kontinentom. Namreč, s prodorom hladnega zraka proti srednji in južni Evropi, se je aktiviral prodor toplega zraka preko severovzhodnega Atlantika proti Skandinaviji. V prvi polovici obdobja, je nastal višinski topli vis nad Skandinavijo, istočasno ob izločitvi kaplje hladnega zraka nad srednjo in južno Evropo. Najbolj izrazit je ta pojav na 500 mb-ploskvi od 12. III. ob 16. uri, kjer je bila (na približno isti geografski dolžini) na geografski širini 67° temperatura -22°C, na geografski širini 45° pa temperatura -37°C. Torej 22 širinskih stopinj severneje zasledimo 15°C višjo temperaturo.

V času od 8. do 12. III. je nastala kaplja hladnega zraka ob sledeči sinoptični situaciji: Za hladno fronto, ki se je preko Balkana umaknila dalje na vzhod, se je nad zahodno Evropo okrepil anticiklon, se širil dalje v srednjo Evropo in se je 12. III. (sl. 2) združil z ruskim anticiklonom. V višinah je ta čas segala hladna dolina od severne Rusije preko Ukrajine in Balkana vse do Sredozemlja. Zaradi aktivnosti toplega zraka v višinskem grebenu nad Skandinavijo in z druge strani v višinskem grebenu preko Črnega morja se je hladni zrak v dolini odcepljal v samostojno jedro. Topli greben nad Skandinavijo je bil bolj aktiven od vzhodnega in se je izločil v samostojni topli vis (11. III. 1955). Južno od njega je nastajala in se razvijala kaplja hladnega zraka (sl. 3). 12. III. jo zasledimo razcepljeno v dva dela: vzhodni del se preko Rusije umika preko NE, zahodni del zajema Alpe, Karpate, Severni Jadran, Slovenijo in severno Italijo. S pomikom kaplje proti zahodu se je ob prodoru hladnega



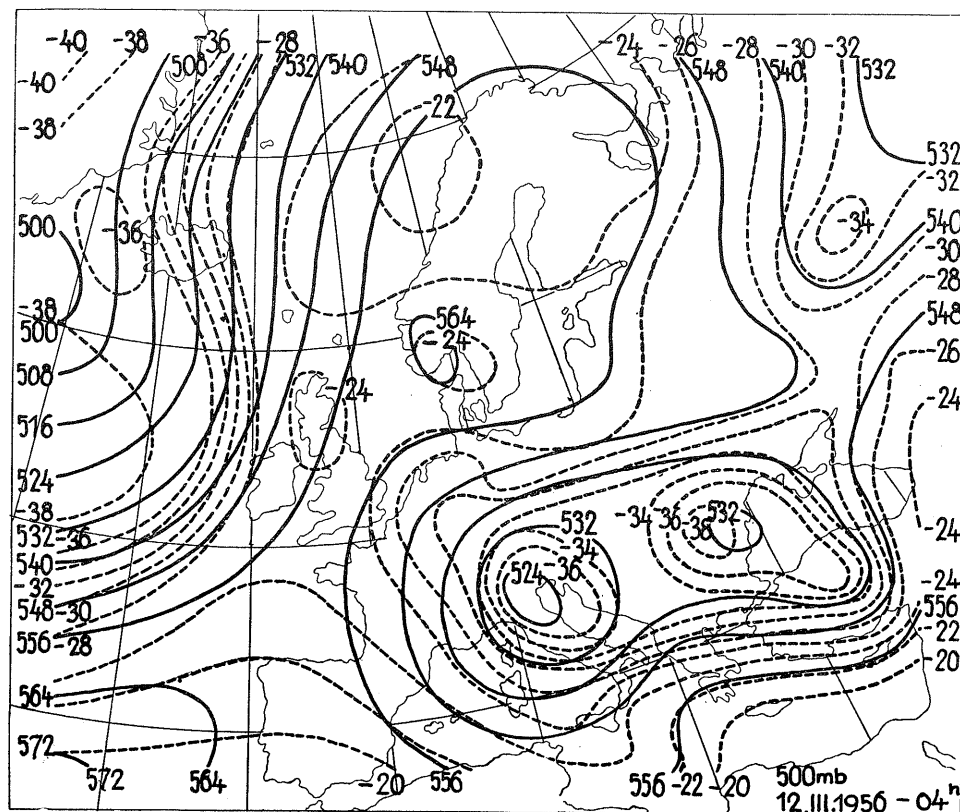
Sl. 2

zraka nad toplo morsko površje ustvarila depresija za jedrom v Genovskem zalivu.

V dobi do 15. III. se je kaplja še cepila, depresija se je iz Genovskega zaliva umikala preko Jadrana proti SE, medtem, ko se je anticiklon nad zahodno in severno Evropo krepil. Kaplja se je 15. in 16. III. umaknila v Malo Azijo. Nad Slovenijo se je v višinah in pri tleh ustvarilo slabo gradientno polje. Obdobje vpliva kaplje na naše kraje je s tem končano.

Gibanje kaplje

V času od 8. do 10. III. dobiva hladno jedro v centru višinske doline nad vzhodno Evropo in nad Balkanom samostojno cirkulacijo. 10. III. je horizontalna os kaplje zavzemala smer NE—WSW. Pri tleh je pod njo le slabo gradientno polje, kar odgovarja definiciji kaplje hladnega zraka. Zgradba kaplje je razvidna iz priloženega vertikalnega preseka atmosfere (sl. 4 a, b), ki pokaže, da se jedro kaplje nahaja nad Budimpešto v višini pod 600 mb ploskvijo. V stratosferi zasledimo nad kapljo najtoplejši zrak, medtem ko sega tropopavza najnižje ravno nad najhladnejšim zrakom kaplje. Črte enake potencialne tem-

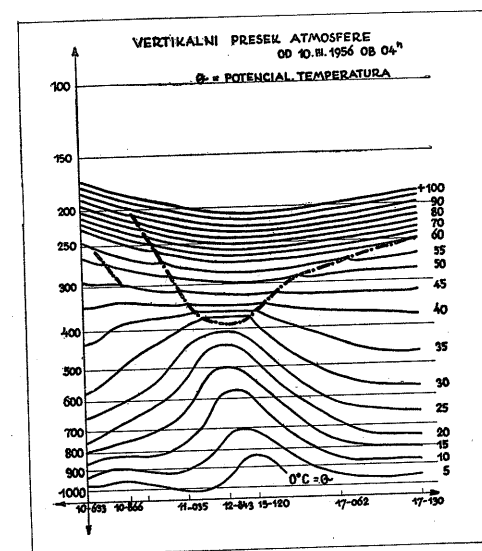


SI. 3

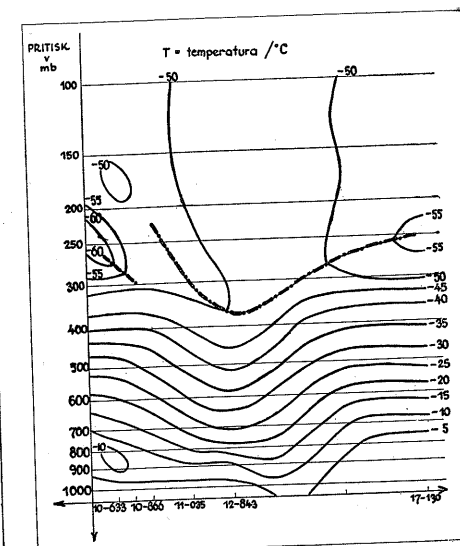
perature nam predstavljajo izentropske ploskve, na katerih se nahajajo potnice. Izentropske ploskve se na desni polovici kaplje (sl. 4 a) dvigajo, torej se tudi zračni delci v tem delu dvigajo; v levi polovici se izentropske ploskve spuščajo in obenem tudi zračni delci. Dokaz zato nam poda relativna vlaga, ki je na levi strani manjša kot na desni strani kaplje. Istočasno pokažejo izoterme na levi strani subsidenčno izverzijo kot posledico spuščanja zraka. S primerjavo priloženih tempov od 10. III. ob 4. uri iz Dunaja in Münchena (sl. 5), dobimo sledeče: Na Dunaju se relativna vlaga z višino le malo spreminja, atmosfera je v glavnem stabilna. München se nahaja na levi strani kaplje in pokaže v nižinah majhno relativno vlago ter subsidenčno inverzijo, v višini na 500 mb poteka relativna vlaga enako kot na Dunaju.

Izoterme so na 500 mb karti 10. ob 4. uri že zaključene. Istočasno vzeta relativna topografija 500/1000 mb se precej ujema s prizemnim strujanjem. Lahko sklepamo, da izpolnjuje zračni steber med 500 in 1000 mb ista zračna masa. Scherhag⁴ navaja to kot pogoj, da se kaplja giblje z nižinskimi izobarami. Med 8. in 10. III. se je centralni del kaplje pomaknil nekoliko južneje odgovarjajoč slabi nižinski severni cirkulaciji. 11. III. se na 500 mb ploskvi

kaplja še vedno zadržuje nad Panonsko nižino in sega do Alp. Njena horizontalna os je zavzela smer W-E, kaplja se je popolnoma ločila od svojega izvora in dosegla vrhunec. Obdana je z močnimi vetrovi, razen na severni strani, kjer prevladuje vzhodno strujanje, kar pa odgovarja hidrodinamični teoriji o splošni cirkulaciji atmosfere. Najmočnejše vetrove zasledimo tekom 11. III. (500 mb ploskev) na južnem delu kaplje. Zasledila sem, da predstavlja močno strujanje na določeni strani kaplje njenemu gibanju nekakšno pregrado. Tudi iz drugih opaženih primerov se da sklepati, da se kaplja ne pomika v smeri pravokotno na to močno strujanje, temveč jo to strujanje lahko le pritegne s seboj. V



SI. 4 a

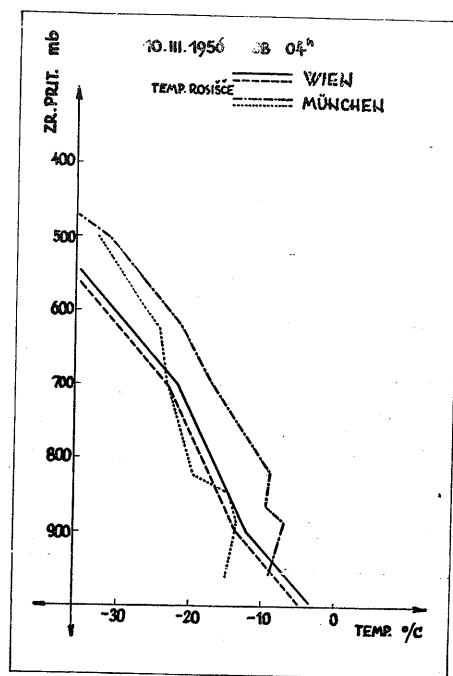


SI. 4 b

našem primeru zasledimo 11. III. močne severne vetrove na zahodni strani kaplje, kateri naj bi pritegnili kapljo s seboj proti jugu. Istočasno zasledimo tudi na južni strani kaplje močne zahodne vetrove, ki pritegnejo kapljo v svoje zahodno strujanje, torej proti vzhodu. 12. III. je kaplja že razcepljena v dva dela: v vzhodnega s centralnim področjem nad Romunijo, ki se pomika dalje na vzhod ter v zahodnega s centralnim delom na severno Italijo in severnim Jadrantom. Za nas je zlasti zanimivo gibanje zahodnega dela prvotne kaplje, ki ni izgubil na intenziteti in se je v naslednjih dneh izražal kot samostojna kaplja hladnega zraka.

Prvi hladni zrak je v višinah prodril v Genovski zaliv že 11. III. in povzročil nastanek depresije. Naslednji dan se je kaplja nad Alpami še ohladila. Severno-sredozemska depresija se je tega dne pomaknila proti južni Italiji in se nad morjem še poglobila za 7 mb. Temu potovanju depresije sledi v višinah tudi kaplja. Pomik kaplje v začetku obdobja je razumljiv, kajti relativna topografija 500/1000 mb od 12. ob 4. uri kaže enotno zračno maso, ki je najhladnejša ravno nad Slovenijo in severnim Jadrantom. 13. III. je jedro kaplje nad južno Italijo in severnim Sredozemljem oslabilo, nižinska depresija se je na

morju poglobila še za 6 mb. Popoldne tega dne se je kaplja nad morjem izpolnila. Omenjeni pojav se ujema z Mayerjevo³ teorijo o vertikalni impulzni izmenjavi zračnih delcev: Izmed mnogih motenj, ki



SI. 5

rušijo laminarne tokove, je posebno značilna vertikalna izmenjava zračnih delcev, ki deluje na laminarni tok kot pospešek podan z enačbo:

$$\frac{dV}{dt} = - \frac{I}{\rho} \frac{\delta}{\delta z} \left(A \frac{\delta V}{\delta z} \right)$$

Iz te enačbe je razvidno, da je za nastop impulzne izmenjave potrebna sprememba horizontalnega vetra z višino $\frac{\delta V}{\delta z}$ in koeficient izmenjave A.

Nastanek depresije z vdorom hladnega zraka nad toplo morsko površino je v glavnem vezan na vertikalno impulzno izmenjavo, podano s konvekcijo, kajti trenje je nad morsko površino majhno. Poiščimo enačbo, ki bo vezala spremembo horizontalnega vetra z višino in spremembo povprečne virtualne temperature v določenem zračnem stebri.

$$\frac{\delta V_g}{\delta z} = \frac{g}{21} \mathbf{K} \times \nabla \ln T_v \quad (p = \text{const})$$

Sorodnost obeh enačb nam poda odnos med relativno topografijo in vertikalno impulzno izmenjavo.

Temperaturne diference med zrakom in tlemi nastopijo takrat, kadar imamo kapljo nad toplo podlago. Vertikalno impulzno izmenjavo v zračnem stebri nam poda sprememba relativne topografije 500/1000 mb v območju kaplje, ki sega od 500 mb ploskve do tal. Minimalni relativni topografiji odgovarja maksimalna impulzna izmenjava, pri izotermnem temperaturnem polju pri tleh. Največja izmenjava se izvrši v centru kaplje, kjer se je kaplja najbolj segrela. Ob tem se absolutna topografija v zgornji polovici zračnega stebra dvigne, v spodnji polovici pa zniža, pri čemer nastane pri tleh depresija.

Odgovarjajoč temu je potekal tudi razvoj sinoptične situacije: Istočasno, ko se je v Sredozemlju ustvarila samostojna depresija, je kaplja nad Sredozemljem oslabela in se širila proti NE, težišče samostojne višinske cirkulacije se je ponovno preneslo nad Panonsko nižino. Nato se njena horizontalna os zavrti v pozitivni smeri za 90° in zavzame smer N-S. To rotacijo si tolmačim z različnim strujanjem na različnih straneh pod kapljo, kajti v severnem delu se kaplja giblje odgovarjajoč vzhodni nižinski cirkulaciji proti zahodu, v južnem delu pa odgovarjajoč tamkajšnji nižinski cirkulaciji proti jugu, oziroma jugovzhodu. S tem se je kaplja razširila. 14. III. jo zasledimo ponovno razcepljeno v severni in južni del. Severni del sedaj le meji na Slovenijo, južni del zajema južno Italijo in del Sredozemlja. Kaplja se je nad morjem v spodnjih plasteh otoplila odgovarjajoč vertikalni impulzni izmenjavi zračnih delcev hladnega jedra nad toplim morskim površjem.

Intenzivnost kaplje

Iz 500 mb ploskve od 8. in 9. III. je razvidno, da ima kaplja že samostojno cirkulacijo, vendar je še vezana s prvotnim izvorom hladnega zraka in se zato še krepi. 10. III. se je v višinah barično še poglobljala, hladni zrak pa je zajemal vedno nižje plasti. Na zemeljskem površju je povzročal porast pritiska, katerega zasledimo tega dne enakomerno razporejenega pod območjem kaplje. V področjih razjasnitev lahko k temu porastu pritiska prištejemo še komponento radiacijskih ohladitev, katere so značilne za zimska obdobja in povečajo prizemne ohladitve. Poleg tega je za intenziteto kaplje važna še vertikalna impulzna izmenjava³, posebno v že omenjenih primerih, kadar pride kaplja nad toplejšo morsko površino.

Padavine

Zasledimo jih v področju kaplje pozimi le v manjših količinah. Njih nastanek sem že tolmačila z dviganjem zračnih delcev po izentropskih ploskvah v desnem delu kaplje (sl. 4 a, 4 b). Pravilno izbran presek atmosfere preko kaplje nam nazorno razkrije področja dvigajočega se zraka, zlasti pa potek relativne vlage z višino. Za intenziteto padavin so bistveni procesi, ki se dogajajo na obrobju kaplje, zlasti na meji med kapljo in toplim grebenom, kateri se širi od SE ali od SW ob kaplji navzgor. Izrazite padavine nastopijo, kadar je tropski zrak v višinskem grebenu aktiven. Finski meteorolog Palmén⁵ razlaga področja padavin z raztekanjem tokovnic v toplim grebenu, kajti divergenca tokovnic povzroča dviganje zraka in s tem kondenzacijo.

Z rotacijo horizontalne osi se premaknejo tudi področja padavin. Na primer: do 10. III. zasledimo padavinska področja le na vzhodnem delu kaplje,

11. III. se je to področje preneslo na severovzhodni del kaplje, kajti ta dan se je os kaplje pozitivno zavrtela za 90° . Nihanje padavin z ozirom na določene dni si razlagam z valovanjem tropskega zraka ob kaplji.

V zgornjem primeru zasledimo skoro vedno snežne padavine, zlasti v Sloveniji, v majhni količini. Kaplja je nastala s cepitvijo arktičnega zraka in je obdržala nizke temperature. Arktični zrak pa je zelo hladen in vsebuje malo vlage.

14. III. zasledimo po vsem Balkanu intenzivne padavine, vendar te niso nastale samo v zvezi s kapljo, temveč so vezane na frontalni sistem egejske depresije.

V območjih kaplje, kjer nastopijo pozimi razjasnitve, ne nasledimo izrazite konvekcije.

Vreme v Sloveniji

Nizke temperature, ki so s prodorom kaplje poleg višin zajele tudi nižje plasti, so povzročile močne ohladike in le malo padavin ter s tem prizadele zlasti elektro-gospodarstvo v Sloveniji. Temperaturno delimo to obdobje v tri dele:

Med 8. in 10. III. beleži največji padec temperature (do -23°C) Kredarica. Ohladitev je v zvezi s centralnim delom kaplje, ki je ta dan zajel Alpe. Najhladnejši zrak se je zadrževal okoli 700 mb ploskve, to je na višini Kredarice. Na nižinskih postajah zasledimo te dni le manjše ohladike, razen jutranjih radiacijskih ohladike. 10. III. je nastopila zlasti na Kredarici prehodna otoplitev. Jedro kaplje se je tega dne pomaknilo iznad Panonske nižine proti jugu, tako da je nad Slovenijo dotekal nekoliko toplejši zrak. Tudi vse nižinske postaje beležijo cirusne oblake.

11. III. preidemo v drugi in obenem najhladnejši del obdobja. Amplitude temperaturnih krivulj so majhne. Najnižjo temperaturo beleži Kredarica (-22°C) 12. III. ob 7. uri zjutraj. Ohladitev je nastopila, ker se je tega dne os kaplje zavrtela v smer W-E in se je s tem razširilo centralno področje kaplje nad Slovenijo in v Alpe. Vse postaje beležijo povprečno dnevno temperaturo pod 0°C , razen Kopra. Severna Slovenija ima za 6° nižjo povprečno dnevno temperaturo kot Koper. Hladni zrak je prodrl iz NE in v glavnem v severno in vzhodno Slovenijo. V tem obdobju prevladujejo severni vetrovi. Prva postaja, ki beleži NE veter še v toplem zraku 10. III. je Jezersko, za njo Slovenjgradec, ostale postaje beležijo vzhodnik šele 11. III. Postojna ima burjo, tudi Koper in Ajdovščina beležita manjšo burjo, Novo mesto pa močnejše vetrove.

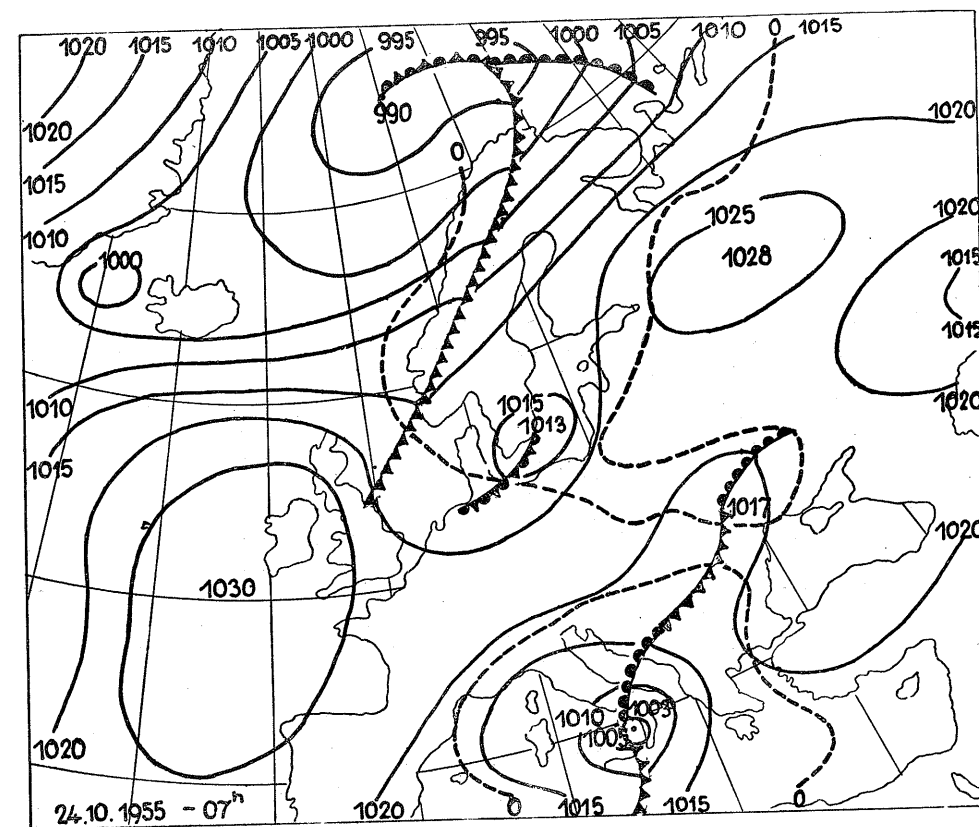
Oblačnost, ki jo 8. in 9. III. zasledimo v alpskih predelih, je še ostanek hladne fronte, ostale postaje imajo že razjasnitve. Istočasno z vzhodnikom se poveča nizka in srednja oblačnost. 10. III. je Kredarica že v megli, Slovenjgradec beleži rahlo sneženje. Nekatero postaje beležijo sneženje, druge nimajo popolne oblačnosti in vendar beležijo sledove snežink. V Ljubljani se je vidnost poslabšala. Nastopila je za kapljo, izpolnjeno z arktičnim zrakom, značilna motnost v ozračju. Največ padavin je dobila severna polovica Slovenije, zlasti alpski svet, jugozahodna Slovenija pa sploh ni imela padavin.

PRIMER KAPLJE HLADNEGA ZRAKA V OKTOBRU

Sinoptična situacija

V času od 21. X. do 26. X. 1955 je kaplja vplivala na vreme v srednji in južni Evropi in je nastala z okludiranjem prizemne depresije

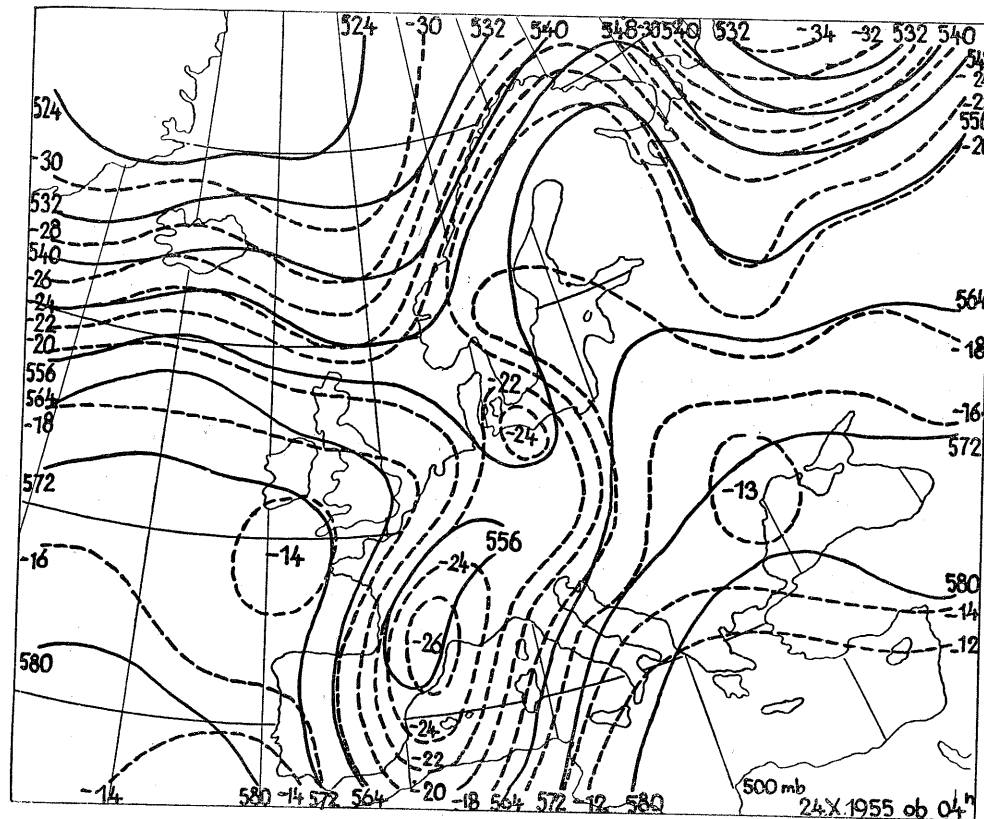
Na višinah prevladuje preko Atlantika pretežno zonalno strujanje, tako da poteka polarna fronta preko Atlantika in Islanda proti Skandinaviji. Po odcepitvi višinskega hladnega jedra nad srednjo Evropo se je preko Skandinavije



Sl. 6

ponovno okrepila polarna fronta. Severnoatlantska depresija uvaja ob levem obrobju kaplje topli zrak proti južni Skandinaviji. Podoben topli greben meji ob desno obrobje kaplje. V nižinah je depresija zajemala srednjo Evropo in se od 21. X. dalje polni s splošnim porastom pritiska nad evropskim kontinentom. V višinah je nastajala kaplja hladnega zraka in se pomika proti Španiji in zahodnem Sredozemlju (sl. 6, 7). Obseg kaplje se veča, njena os rotira v smer N-S. Aktiven topli višinski greben preko severne Italije pospešuje cepitev na 500 mb ploskvi. V nižjih plasteh je kaplja še enotna in se njen centralni del

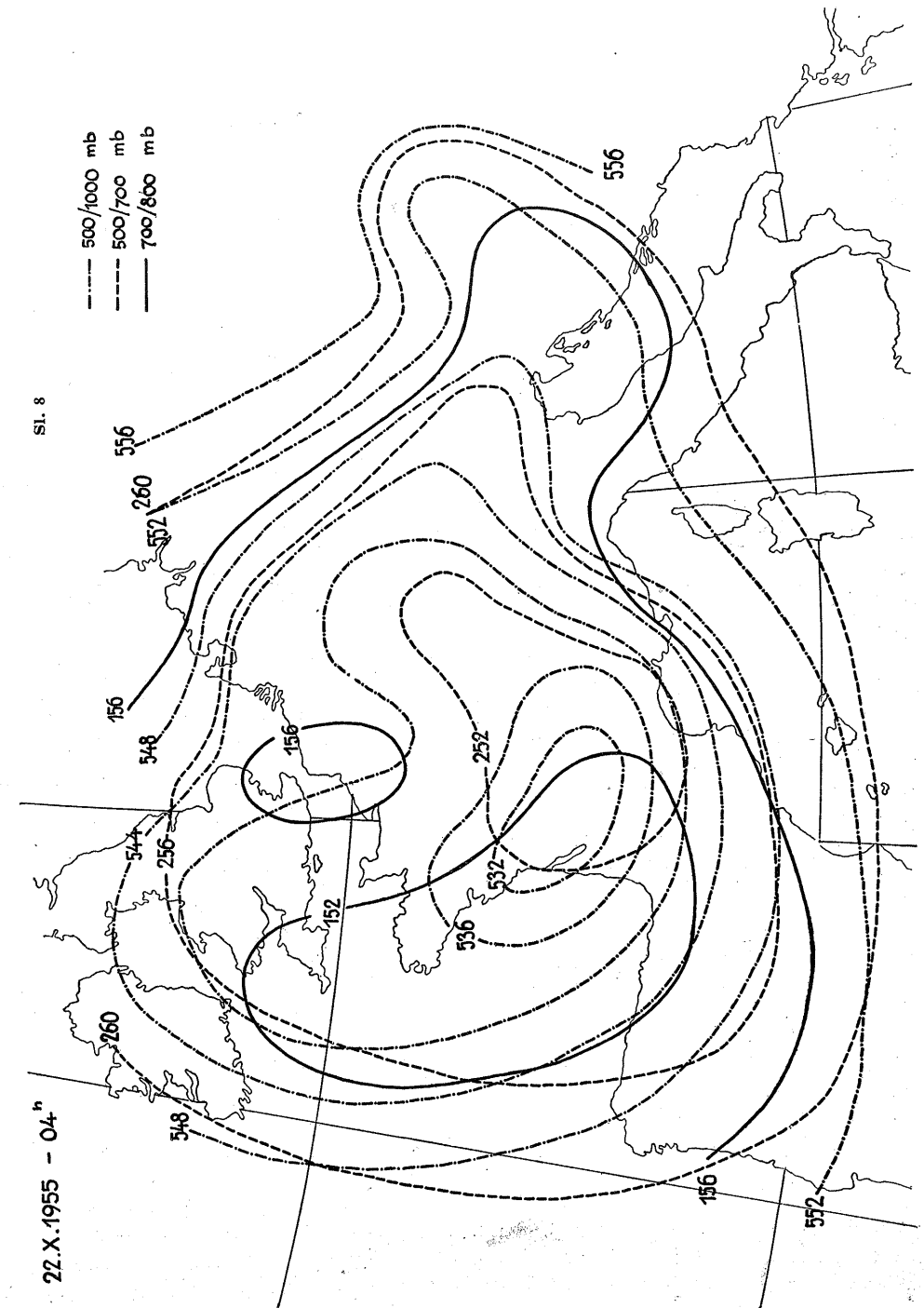
zadržuje zahodno od Alp. Na 500 mb karti (sl. 7) prevladuje preko severnega Atlantika zonalno strujanje. Kaplja je že popolnoma razcepljena v severni in južni del, tudi v nižjih plasteh. Severni del kaplje se pomika proti severu in sovpada z ostankom srednjeevropske depresije nad Baltiškim morjem, južni del kaplje zajema južno Francijo, vzhodno Španijo in zahodno Sredozemlje (sl. 7). V Sredozemlju se je v nižinah pod kapljo ustvarila depresija, ki potuje preko srednje Italije nad Jadran in nato nad Balkan. Njene frontalne motnje povzročajo v srednji Italiji in na Balkanu znatne padavine.



SI. 7

Razvoj kaplje

Oktobrska kaplja hladnega zraka je sicer nastala s prodorom hladnega zraka za hladno fronto, vendar je srednjeevropska depresija ostala ves čas v istem območju in se je okludirala z izpolnitvijo s hladnim zrakom. Torej je kaplja nastala šele z okludiranjem prizemne depresije. Depresija se je pod kapljo izpolnila. Po izgledu je proces nasproten od že omenjene ciklogeneze na morju pod kapljo hladnega zraka. V primeru ciklogeneze na morju pod kapljo



SI. 8

22.X.1955 - 04^h

je bila impulzna izmenjava povzročena v glavnem s konvekcijo. V oktobrskem primeru se je prizemna depresija polnila zaradi trenja oziroma turbulence.

V oktobrskem primeru se je vzdrževala kaplja nad evropsko celino, njen relief je omogočil nastop sile zunanjega trenja, zaradi katere se je gradientni veter odklonil proti centru depresije in povzročal njeno polnjenje. 24 ur za tem, ko se je višinsko jedro hladnega zraka osamosvojilo, se je depresija pod kapljo izpolnila. Na nižinski karti 23. X. ob 01. uri zasledimo pod kapljo le slabo gradientno polje.

Gibanje kaplje

Hladni zrak se je v višinski dolini odcepil 21. X., ko zasledimo samostojno hladno jedro nad Anglijo in Severnim morjem. Vendar se še zadržuje v hladni dolini, ki je obdana z močnim strujanjem od NW in z druge strani od SE. Z aktivnostjo toplih grebenov ob obrobju kaplje se ta odcepi od prvotnega izvora. 22. X. zajema južno Anglijo, Francijo in Nemčijo, sega do Alp ter se širi le proti jugu. Hladni zrak preide preko Alp šele, ko se je prizemna depresija izpolnila. V času do tedaj je bilo hladno jedro zajeto v močno strujanje od severa preko Anglije in Biskaja ter v južno strujanje v drugi polovici depresije preko zahodnega Sredozemlja, Alp in Nemčije. Ker se kaplja ne giblje pravokotno na močno strujanje, predstavljajo Alpe za kapljo indirektno pregrado, kajti dokler se je za Alpami vzdrževalo ciklonalno strujanje, hladni zrak tudi v višinah (500 mb ploskev) ni prodril preko Alp. Šele, ko je z oslavitvijo prizemnega ciklona nastala prava kaplja s tem, ko se je pod njo vzpostavilo skoro brezgradientno pritiskovo polje, je preko Alp prodril hladni zrak najprej v višinah, nekoliko kasneje tudi v nižjih plasteh. Relativna topografija od 22. X. ob 4. uri (sl. 8) nam poda različne plasti v zračnem stebru, ki zajema kapljo. Najhladnejši zrak se zadržuje na višinah med 500 in 700 mb zahodno od Alp, v zračnem stebru med 850 in 700 mb ploskvijo se zadržuje hladni zrak nekoliko zadaj, to je nad Biskajskim zalivom. Relativna topografija 500/1000 mb poda najhladnejšo zračno maso v območju Biskajskega zaliva, južne Francije in zahodno od Alp.

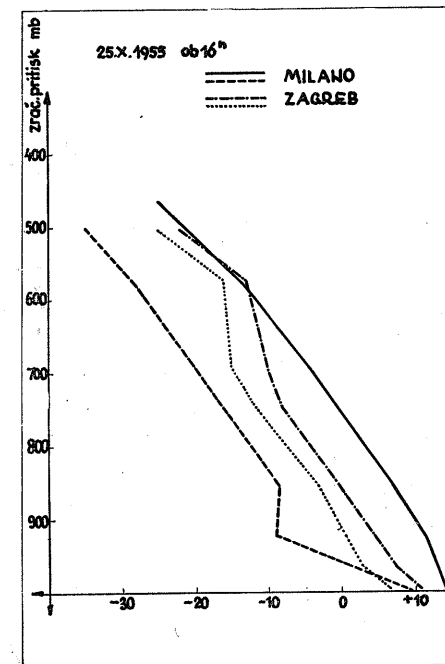
Kaplja se je ves čas širila proti jugu, njen centralni del se je v višinah zahodno od Alp pomikal v zahodno Sredozemlje. Preko Jadrana se je v Alpe razširil topli greben in prvi nakazal možnost cepitve kaplje, ki se je izvršila še istega dne (23. X.). Pri cepitvi južni del kaplje ni oslabil, temveč se je uveljavljal kot samostojna kaplja in se pomikal dalje v Sredozemlje, kjer je povzročil ciklogenezo odgovarjajoč vertikalni impulzni izmenjavi.³

Pri obdelavi kapelj sem zasledila sledeče: Kaplja, ki vpliva na naše predele, je aktivna dokler prevladuje preko Atlantika zonalno strujanje. Kakor hitro se to zonalno strujanje poruši, preide kaplja v štadij slabljenja in kakor se je zgodilo v oktobrskem primeru, se ne aktivira niti z regeneracijo.

V oktobrskem primeru zasledimo kar dvakrat nastanek depresije. Prvič, nad severnim Sredozemljem je 21. X. na hladni fronti, ki je potekala preko severnega Sredozemlja, nastal val v Genovskem zalivu, drugič je nastala depresija ob prodoru kaplje v Sredozemlje z impulzno izmenjavo. Nastanka obeh depresij sta popolnoma različna. Prvi povzročata padavine zlasti v jugozahodni Sloveniji, drugi pa predvsem v vzhodnih predelih Slovenije.

Padavine

Dokler se frontalne motnje zadržujejo v ciklonu povzročajo znatne padavine. V področju hladnega jedra za hladno fronto zasledimo labilno ozračje in plohe. 21. X. se to labilno območje zadržuje nad Anglijo in Biskajskim zalivom, pozneje se z nižinskim strujanjem premika proti SE do Alp, vendar Alp ne preseže. Presek kaplje in 500 mb ploskev, od 22. X. popoldne nam prikažeta zadnji del kaplje nad Francijo in Nemčijo izpolnjene z vlažnim zrakom. V tem delu kaplje se zrak dviga in ker je vlažen, nastopi kondenzacija. Istočasno zasledimo nad Nemčijo in Francijo kompaktno St-Sc oblačnost in obsežna področja padavin. V sprednjem delu kaplje, to je nad Španijo in zahodnim Sredozemljem se zrak spušča, ter zasledimo le delno oblačnost. Področje pa-



Sl. 9

davin in področje razjasnitev v kaplji loči precej širok pas (približno 200 km), ki poteka od Biskajskega zaliva nad južno Francijo, zahodno od Alp do Nemčije ter je najbolj labilen od vsega področja kaplje. 22. X. ob 19. uri je preplavljen s plohami, nad njim se v višini med 500 in 700 mb ploskvijo zadržuje najhladnejši zrak, medtem ko 850 mb ploskev še ni zajel. Ta hladni zrak je v višjih plasteh labiliziral ozračje in ker spada v to področje vlažni del kaplje je hitro nastopila kondenzacija.

Primerjava tempov od 22. X. mi je pokazala sledeče: Milano ima vlažno labilno atmosfero, toda zaradi majhne relativne vlage (zlasti v višinah) ni nastopila izrazita konvekcija. München ima le delno labilno ozračje, vendar

veliko relativno vlago in zato tudi padavine. Nad Švico zasledimo padavine v hladnem vlažnem zraku, a je atmosfera od 700 mb ploskve navzgor stabilna, v Nimezu je zrak suh in stabilen.

Med 22. in 23. je hladni zrak v višjih plasteh prodril do Panonske nižine, 24. X. že preko Alp. Vzporedno zasledimo 23. v področju južno od Alp razjasnitve zaradi fenizacije in predhodnega vpliva tropskega zraka. Padavine, ki so 24. in 25. nastopile v Jugoslaviji so v zvezi s toplo fronto jadranske depresije in z obrobni procesi kaplje.

25. X. je kaplja v štadiju slabljenja. Temp (sl. 9) iz Milana prikaže nenotno zgradbo atmosfere s suhim zrakom v vseh plasteh v zahodni polovici kaplje, ter z vlažnim zrakom nad Zagrebom, ki se nahaja v vlažnem vzhodnem delu kaplje.

Vreme v Sloveniji

21. X. so nastale padavine ob prvem prodoru hladnega zraka za hladno fronto, ki je prišla v Slovenijo od zahoda. Vzhodna Slovenija beleži ta čas le manjše količine padavin, v nekaterih krajih ta čas padavin sploh ni bilo. Med 22. in 23. X. se je As-sloj razbil, 23. zasledimo cirusne oblake, kajti na zahodno Slovenijo je vplival topli greben, ki se je preko severne Italije prehodno razširil v Centralne Alpe. Kredarica beleži prve ohladitve že 22. X., 23. X. prehodno otoplitev s slabimi jugovzhodnimi vetrovi, 24. X. pa ponovne postopne ohladitve z močnimi severozahodnimi vetrovi, ki trajajo vse do 26. X. Minimalne temperature beleži Kredarica 25. X. ob 21. uri (-8°C). V ostali Sloveniji so nastopile prve razjasnitve, 23. zvečer in ponoči zasledimo ohladitve, ki so v glavnem nastopile zaradi radiacije, naslednje dni se je temperatura v splošnem le malo dvignila, dvignila se ni v Kopru, temveč je padala še naprej do 26. X.

Severovzhodni rob kaplje, ki se je zadrževala nad Sredozemljem, nas je zajel 24. Istočasno je prešla Slovenija v mejno področje med toplim grebenom iz SE in Sredozemsko kapljo. Nastopila je kompaktna Ns-Sc oblačnost s padavinami. Ob navadnem nastanku genovske oziroma severno-jadranske depresije dobi največ padavin zahodna Slovenija, oziroma zahodni predeli gorskih pregrad (Snežnik, Goljak, Julijske in Kamniške Alpe). V primeru nastanka sredozemske depresije v zvezi s kapljo, zasledimo depresijo precej južneje, tako da prevladuje v Sloveniji vzhodna in jugovzhodna cirkulacija. S tem v zvezi je v zgornjem primeru dobila največ padavin Suha krajina in Kočevski rog (do 80 mm) in severovzhodno obrobje Pohorja (45 mm). V severozahodni Sloveniji zasledimo najmanj padavin, ker je zrak dotekal preko gorskega masiva in je bil poleg tega v tem predelu kaplje precej suh. Na Karavankah zasledimo do 50 mm padavin, katere si prav tako razlagam z jugovzhodnimi vetrovi, ki so se morali dvigati ob gorskem masivu Karavank.

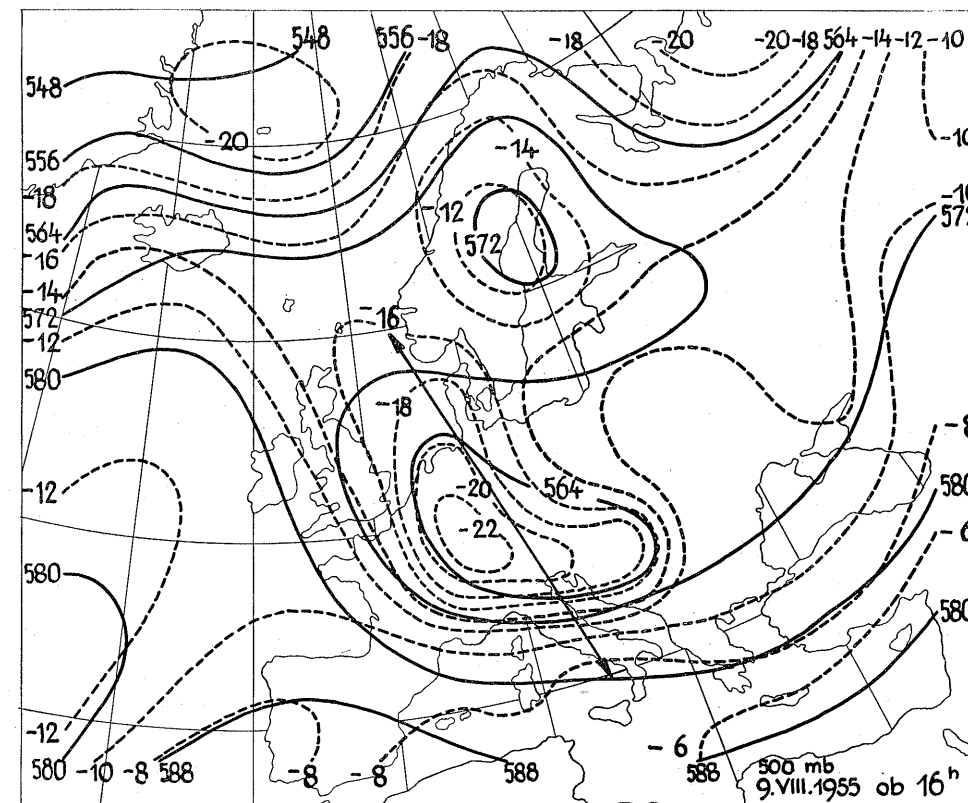
25. zjutraj je še nekaj padavin v vzhodni Sloveniji. Ombrogrami iz Slovenjgradca in severovzhodne Slovenije pokažejo nastop kratkih in intenzivnih padavin šele v noči med 25. in 26. Padavine so nastopile v vzhodni Sloveniji pod vplivom tople fronte, ki je vezana na balkansko depresijo in predstavlja za kapljo obrobni proces vzhodnega dela. Zahodno Slovenijo je ta čas zajel zahodni oziroma zadnji del kaplje, ki je izpolnjen s suhim zrakom in so tu nastopile razjasnitve. 26. X. ima zahodna Slovenija cirusno oblačnost za kapljo, vzhodna še srednjo in nizko oblačnost. Konvekcija v tem obdobju ni izrazita.

PRIMER LETNE KAPLJE HLADNEGA ZRAKA

v obdobju med 7. in 10. VIII. 1955

Sinoptična situacija

Od 7. VIII. se v višinah preko severnega Atlantika vzpostavlja zonalna cirkulacija. Polarna fronta je na 500 mb karti izražena s hladno dolino, ki sega od Skandinavije preko Baltiškega morja v srednjo Evropo. Hladni zrak se v tej dolini odceplja v samostojno jedro. V nižinah zajema depresija področje od južne Skandinavije pa vse do Alp in se z okludiranjem le počasi polni. V Ja-



Sl. 10

dranu se je ustvaril val na hladni fronti in z njim plitva depresija, ki se s svojim frontalnim sistemom pomika dalje po poti 5b. Greben azorskega anticiklona se je razširil preko zahodne Evrope v predele severno od Alp. 9. VIII. se je nad srednjo Evropo vzpostavilo slabo gradientno polje, pri čemer je nastala kaplja hladnega zraka. Njena horizontalna os rotira pozitivno v smer NW—SE, kaplja sama se bistveno ni premaknila, le razširila se je preko Slovenije v Panonsko

nižino. Višinski greben preko Poljske in Avstrije je aktiven proti zahodu in prvi nakaže možnost cepitve kaplje. Priložena 500 mb karta od 9. VIII. (sl. 10) nam poda blokado nad evropskim kontinentom in smer raztezanja kaplje. 10. VIII. je kaplja razcepljena v zahodni in vzhodni del. Zahodni del ima zaključeno le termično polje in se umika proti NW; vzhodni del pa se izraža kot samostojna kaplja. V nižinah se je med tem razširil anticiklon preko Skandinavije v severno Rusijo, njegov greben se preko srednje Evrope krepi proti Sredozemlju. Depresija nad Romunijo se je izpolnila tako, da prevladuje v južni in srednji Evropi le slabo gradientno pritiskovo polje.

Razvoj in gibanje kaplje

Zgornji primer kaplje je nastal z okludiranjem depresije, vendar z razliko od oktobrskega primera se je tukaj depresija pod kapljo le počasi polnila. Meyer³ uvršča v svoji razpravi nastanek kaplje nad toplim zemeljskim površjem v sklop nastanka depresije ob pomiku kaplje nad toplo morskovo površino, le da nastopajo pri segretem zemeljskem površju še drugi efekti: V oddajanju toplote nastopi razlika med dnevom in nočjo, medtem ko ima morje vedno enako množino toplote. Ponoči izmenjave ni zaradi radiacije, čez dan pa preprečuje segrevanje oziroma vertikalno izmenjavo oblačnost, ako nastopi. Zaradi tega nastanek depresije ni možen. Omenjeni efekti so lahko vzrok, da se depresija nad segretim zemeljskim površjem pod kapljo ne polni tako hitro kot pozimi, s čimer tolmačim tudi zgoraj opisani primer. Poleti ne nastanejo izrazite kaplje niti po intenziteti niti po trajanju. Relativna topografija od 9. VIII. pokaže simetrično zgradbo kaplje, kajti relativna topografija 500/1000 mb se ujema z absolutno 500 mb topografijo, le da se preko Panonske nižine širi hladni zrak v višinah, medtem ko se v nižjih plasteh razteza le do Alp. Relativna topografija 850/700 mb prikaže glavni hladni zrak za Alpami in severno od njih. Torej Alpe ne predstavljajo pregrado za hladni zrak, kajti v tem področju prevladuje v nižjih plasteh severovzhodno strujanje, v višjih pa NW strujanje. Z razliko oktobrskega primera, ko so predstavljale Alpe pregrado, vidno še na 500 mb ploskvi, je nad Alpami v vseh višinah prevladoval močan jugozahodnik, ki je preprečeval pretok hladnega zraka preko Alp.

V prvem obdobju se kaplja pomika z nižinsko cirkulacijo proti SE v južnem delu, v severnem pa ustrezajoč tamkajšnji nižinski cirkulaciji nekoliko proti zahodu. To je bil tudi vzrok pozitivnemu vrtenju horizontalne osi. 8. ob 16. uri zasledimo na 500 mb ploskvi močne severne vetrove v zahodnem delu kaplje, ki preprečujejo premik celotne kaplje na zahod, in močne zahodne vetrove v južnem obrobju kaplje, ki so pritegnili kapljo s seboj, tako da se širi v glavnem le proti vzhodu. Po cepitvi se vzhodni del kaplje pomika v Malo Azijo, torej nasprotno nižinski cirkulaciji. Takšen primer razlaga Buschner⁶ z nesimetrično vertikalno zgradbo atmosfere.

Značilno za letni primer kaplje je še to, da prodor hladnega zraka nad morskovo površino ni povzročil nastanka depresije. Pojav si razlagam s tem, da je poleti morskova površina hladna glede na segretost zemeljskega površja in torej vertikalna impulzna izmenjava ni izrazita.

Padavine

Pri letni kaplji ločimo:

1. Zvezna področja padavin, ki nastanejo v jugovzhodnem — vlažnem delu kaplje.

2. Plohe v severnem in v osrednjem delu kaplje.

Zvezna področja padavin nastanejo tam, kjer je aktiven topli vlažni zrak v vseh plasteh in meji na hladnega. Primer za to nam pokaže potek tempov z Dunaja od 8.—10. VIII., kjer imamo pri tleh nekoliko hladnejši zrak, višje pa topel, zelo vlažen zrak. Atmosfera je stabilna, tako da konvekcija ne more nastopiti in so torej upravičene zvezne padavine.

Plohe zasledimo v severnem in osrednjem delu kaplje, kjer je, kot kaže relativna topografija, segal hladni, vlažni zrak do tal in je zaradi insolacije nastala konvekcija. Na meji obojih padavinskih področij je München, ki ima tedaj vlažno labilno atmosfero.

V jugozahodnem delu kaplje zasledimo suh zrak in zato le delno oblačnost.

Vreme v Sloveniji

7. VIII. so nastopile padavine najprej v severni, v srednji in južni Sloveniji. 8. zasledimo enakomerne padavine po celi Sloveniji, le Planica in Jezersko beležita prekinjene padavine. Padavinska kartica nam poda največ padavin (30 mm) v jugozahodni in jugovzhodni Sloveniji, kajti ob prodoru fronte so v noči med 7. in 8. nastopile v jugozahodni Sloveniji nevihte. Manj padavin je dobila vzhodna Slovenija (20 mm), kjer ni bilo neviht in so padavine nastale kot obrobni proces kaplje na meji med hladnim in toplim vlažnim zrakom. Najmanj padavin je imela severna Slovenija (10 mm), ker ni prišla pod vpliv obrobni procesov kaplje.

Najnižje temperature beleži Kredarica 8. ob 14. uri ($-2,0^{\circ}\text{C}$), ko je Alpe zajelo južno jedro kaplje. 8. zvečer so nastopile na Kredarici in v zahodni Sloveniji razjasnitve, v vzhodni Sloveniji pa šele v noči med 8. in 9. in še to le prehodno.

V severni in zahodni Sloveniji zasledimo 9. VIII. konvektivno oblačnost, v jugozahodnih predelih celo nevihte, ker so ti kraji že prišli v področje hladnega vlažnega zraka. Istočasno je imela vzhodna Slovenija še stabilno oblačnost, zvečer celo padavine, ker so vzhodno Slovenijo še vedno zajemale obrobne motnje kaplje. 10. zjutraj je vzhodna Slovenija še v mejnem področju med toplim in hladnim zrakom in ima še nekaj padavin, osrednja Slovenija pa le sledove dežja. Čez dan je nastopila menjajoča oblačnost, ker se je kaplja pomaknila nad Balkan in je Slovenija prešla v toplejšo zračno maso.

V vsem obdobju ne zasledimo izrazitih ohladitev, največje ohladitve beleži severozahodna Slovenija, ostala Slovenija je bila ves čas pod vplivom obrobni procesov kaplje.

SUMMARY

The examples we discussed are taken from the material that was dealt with from January of 1954 to January of 1956. In these examples, besides the development of the cold pool also the further processes which occur in connection with the cold pool and their influence on the weather in Slovenia are shown.

In the above mentioned material two ways of the formation of the cold pool are noticed:

- a) by the occlusion of the ground cyclon;
- b) by the advance of the cold air behind the cold front at the weak ground wind.

It was further noticed that usually the lifetime of the cold pools coming from East or from Northeast is longer and the season they appear in is the winter. Those ones, however, that are not bound to the formation of the blockade, appear in summer for the greater part and are only exceptionally detected in winter. When the cold pool moves above the warm sea surface, according to Meyer's vertical impulsive change, a depression is formed under the cold pool over the Adriatic or Genoa bay. The analyses of the discussed examples of relative topography showed that the cold pool moves with the low circulation only when it reaches the ground, that is, when the air column is filled by homogeneous air mass. When, however, the cold pool does not reach the ground it moves with the circulation of that isobar level which is at the same time its lower limitary level.

Apart from these already obtained results also the strong winds which appear on both or only on one side of the cold pool have influence on its movement so that the cold pool does not move rectangularly to these strong winds but on the contrary it is drawn along by these strong currents. In case when the cold pool is surrounded by strong winds from all sides, it is for the greater part static. When forecasting its movement we must not neglect the orography. If the edge of the cold pool is taken in by a strong current also on the lower levels, for the cold pool the orography represents a barrier also above its own height. As soon as these strong currents in the lower levels get destroyed the orography is of influence only within its own height or it represents no hinderness for the cold pool at all. When the cold pool moving towards Slovenia and if staying to the west of the Alps and its eastern part being taken into south-western currents, such an orographic barrier is represented by the Alps and that over their own height. If there is no such a strong current the air flows over the Alps to Slovenia. Beneath the cold pool, especially when it is larger, there can exist currents of different directions. In such cases the different parts of a cold pool move in different directions and that is why the cold pool is getting wider, its form is getting changed which causes the rotation of the horizontal axis of the cold pool. It is usually impossible for the cold pool to retain such a large bulk it has reached and consequently the separation of the cold pool takes place. The function of the newly created pool is usually taken up only by that separated part which gets a closed baric and thermic field.

Besides the motion of the cold pool as a system there is to be distinguished also the vertical motion of the air in the cold pool itself. In the one half of the pool the air rises, it is damp and that is why the condensation takes place; in the second half of the cold pool the air falls and clearings up take place. The material we dealt with enabled us to draw the following conclusion: In case in which the cold pool comes from North or Northeast, that is in winter period, no considerable precipitations are to be noticed because this cold pool is filled by cold air. In that half of cold pool where the air is rising uninterrupted precipitations occur in the summer term, in the other half clearings up or thunderstorms are possible. Throughout the whole course of year besides the above mentioned precipitations also those ones occur that are in connection with the edge processes of the cold pool, that is on the border between the cold air of the cold pool and the warm active ridge along it. With precipitations there is to be noticed the unregular oscillation which I interpret just by the activity of the warm ridge at the cold pool. Thunderstorms occur in summer in the instabile parts of the cold pool when its cold center stays in the heights.

With the already mentioned advance of the cold pool over the warm sea level, in the Mediterranean, a depression is formed whose frontal system is of essential influence on Slovenia as an edge process of the cold pool. When it occupies the northern Mediterranean the southwestern parts of Slovenia get the most precipitations. When the depression stays over southern Adriatic and its frontal system moves towards Northeast, the eastern or northern Slovenia gets the majority of precipitations and they spread from East all over Slovenia.

When treating the cold pools I noticed the following facts: The cold pool which is of influence on our regions is active until predominantly zonal currents prevail over the Atlantic. As soon as these currents are destroyed it changes into a state of weakening.

Literatura:

1. Reuter: Methoden und Probleme der Wettervorhersage, Wien 1954
2. M. Čadež: Über einige Einflüsse orographischer Hindernisse auf die Luftbewegung.
Über die orografische Zyklogenese und Antizyklogenese 1955.
3. H. Meyer: Der Eienfluss des vertikalen Impulsaustausches auf synoptische Druck und Temperaturgebilde 1953.
4. R. Scherhag: Wetteranalyse und Wetterprognose 1948.
5. Compendium of Meteorologie 1951
6. W. Buschner: Untersuchungen über Verlagerung, Aufbau und Dynamik zweier winterlicher Kaltlufttropfen 1951.