

PREPROSTA OBRAVNAVA RAZKROJA RADIACIJSKE MEGLE

A SIMPLE TREATMENT OF RADIATION FOG CLEARANCE

551.509.325

ZDRAVKO PETKOVŠEK

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

SUMMARY:

Assuming that a lake with cold foggy air in a valley under inversion forms a closed thermodynamic system into which there is a known energy income in the morning, an equation for temperature changes in each column of foggy air regarding its height is developed. Generally the equation can not be solved analytically, but one possibility for its numerical solution is given elsewhere /4/. For illustration however are given here two examples, calculated on time-average values of quantities. The results are approximate and in rough agreement with the observations.

In the second part of the article some interesting observations of fog clearance in Ljubljana and Bohinj valley obtained by filming with time reductions are presented and discussed. It was confirmed that right after the sunrise the fog often became thicker. Its clearance starts at the borders of the slopes of the valley and advances toward the places of its greater thickness. This place does not depend only on the topography, but also on the pressure field above the inversion layer. Some waves and swinging of the upper border of fog were found and discussed. It was found also that in valleys with steep slopes the dynamic effects of slope circulations are very effective for the fog dissipation. In large valleys however the direct income of sun's radiation is dominant.

UVOD

V naših nižinah in kotlinah je radiacijska megla zelo pogostna /1/. Radiacijska megla v kotlinah se navadno razkroja predvsem zaradi vpliva sončnega obsevanja. Opazovanja kažejo, da se razkroji tem pozneje, čim večja je njena debelina in gostota; važen pa je tudi letni čas, ki z višino sonca odloča o jakosti ogrevanja oziroma o dovodu toplote. Zrak v kotlini pod inverzijo tvori skupaj s kondenzirano vodo na tleh precej zaključen sistem. Temu je treba dovesti ustrezno količino toplote, da se dovolj ogreje ter lahko izhlapijo vse kapljice megle kakor tudi v noči na tleh kondenzirana voda. Ko se ob tem kotlinski zrak ogreje do ustrezne temperature T_p , megla izgine.

Pot do določitve razkroja megle gre torej preko določitve potrebne količine toplote. To količino je Kennington /2/ določal po tabelah obsevanja ter dodatno postavil korekcijski faktor. Na njegov sistem sta se naslonila pri svojem delu tudi Wright in Weinman /3/ z natančnejšo določitvijo nekaterih količin - predvsem optičnih lastnosti megle.

Za prognozo razkroja megle pa ni važna le količina dovedene toplote, temveč tudi drugi faktorji, ki odločajo o neposrednem dvigu temperature v zračnem stebru meglene zračne. Tak faktor je tudi višina zračnega stebra, ki je v kotlinah lahko zelo različna. V tem delu je zato izpeljana preprosta enačba, ki omogoča določiti potek temperaturnih sprememb v zaključenem sistemu kotlinskega zraka. Enačba daje osnovo za numerično reševanje tega problema, ki pa je podano drugje /4/; v tem delu pa bomo prikazali poleg njene izpeljave le preprosti primer analitične rešitve za dva primera; podali pa bomo tudi nekaj ugotovitev posebnih površinskih opazovanj in filmskih snemanj razkroja megle v naših kotlinah.

IZPELJAVA ENAČBE

Če zanemarimo sorazmerno majhna člena, ki predstavljata vpliv sprememb zračnega pritiska in ogrevanja majhne količine vode v zraku, lahko zapišemo v skladu s prvim stavkom termodinamike dovedeno toploto

$$dQ_m = m c_p dT - L dm_a \quad 1$$

kjer je m celotna masa vlažnega zraka, c_p specifična toplota tega zraka, T temperatura, L latentna toplota izhlapevanja^p in m_a masa vodnih kapljic in s tal izhlapele vode. Masa kondenzirane vode je zato a po izhlapanju enaka povečani masi vodne pare

$$- dm_a = dm_v \quad 2$$

Intenziteto sprememb teh količin dobimo z odvodom po času ter je jakost dovoda toplote podana z

$$\frac{dQ_m}{dt} = m c_p \frac{dT}{dt} + L \frac{dm_v}{dt} \quad 3$$

Očitno velja enačba

$$m = \rho S h \quad 4$$

kjer je ρ gostota, S površina in h višina zračnega stebra ter zanje predpostavimo, da niso odvisne od časa. Za enoto površine tedaj lahko pišemo

$$\frac{dQ}{dt} = \rho h c_p \frac{dT}{dt} + h L \frac{d\rho_v}{dt} \quad 5$$

kjer je ρ_v gostota nasičene vodne pare, saj predpostavimo, da je zrak do končnega razkroja megle nasičen. Ker je po enačbi stanja

$$\rho_v = \frac{e_w}{R_v T} \quad 6$$

in velja za konstantno vrednost plinske konstante za vodno paro

$$\frac{d\rho_v}{\rho_v} = \frac{de_w}{e_w} - \frac{dT}{T} \quad 7$$

dobimo po uvedbi Clausius-Clapeironove enačbe oblike

$$\frac{de_w}{e_w} = A \frac{dT}{T} \quad 8$$

kjer je konstanta A razmerje celotne in zunanje latentne toplote z vrednostjo približno 20, zadnji člen enačbe 5 v obliki

$$\frac{d\rho_v}{dt} = h L \rho_v (A-1) \frac{dT}{dt} \quad 9$$

Iz kombinacije enačb 6, 9 in 5 dobimo končno enačbo

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dQ/dt}{h(\rho c_p + L e_w (A-1)/R_v T^2)}, \quad 10$$

ki je izhodiščna enačba za reševanje problema razkroja megle in je ob eksplisitem zapisu dovoda toplote podobna Beersovi enačbi /5/.

Privzamemo, da veljajo naslednje odvisnosti:

c_p, ρ, L, R_v, A so praktično konstante

$h = \text{konst. nad ravnino}$, (v kotlinah pa je $h = h(x, y)$)

$dQ/dt, e_w$ in T pa so funkcije časa.

Zaradi takih odvisnosti je možna v splošnem le numerična rešitev gornje enačbe.

PRIMER ANALITIČNE REŠITVE

Analitična rešitev enačbe 10 je možna za konstantne vrednosti gornjih odvisnih količin. Zanje vzamemo v posebnih primerih približne oziroma ocenjene poprečne vrednosti s časovnega intervala. Tedaj lahko t_p , ki nam predstavlja čas razkrajanja meglene plasti od sončnega vzhoda, ko se prične ogrevanje $t_o = 0$, do izhlapiše vseh kapljic t_p , zapišemo v obliki

$$t_p = h(\rho c_p + L e_w (A-1)/R_v T^2) \cdot (T_p - T_o) / \overline{dQ/dt} \quad 11$$

kjer je T_o srednja temperatura meglene zračne plasti ob času t_o in T_p prognozirana srednja temperatura te plasti ob končnem razkroju megle. To je T_p srednja temperatura zračnega stebra meglene jezera, do katere se mora vlažen oziroma nasičen zrak segreti, da bo megla v celoti izginita.

Pri radiacijski megli imamo v kotlinskem zraku pod inverzijo tudi glede vodne pare dokaj zaključen sistem. Po sončnem zahodu začneta navadno absolutna vlaga in parni pritisk hitro padati, ker se vlaga izloča, najprej v obliki rose in nato še v obliki megle, in te kapljice tudi sicer počasi, a vztrajno, padajo in izpadajo. Ko se naslednji dan tla in od njih zrak ogrevata, vsa ta voda izhlapeva in se konvektivno prenaša v višine, kjer pa se zaradi adiabatnega ohlajanja lahko ponovno kondenzira - megla se ob razkroju "dvigne" v stratusno oblačnost oziroma se pretvarja v kosme. Zato lahko privzamemo, da bo parni pritisk ob končnem razkroju megle oziroma stratusa približno tak kot je bil prejšnji dan popoldne in bo prognozirana srednja temperatura plasti tista, za katero je omenjeni parni pritisk nasičen - to pa je popoldanska temperatura rosišča T_{dn} , vendar povečana za vrednost zaradi ustvaritve adiabatnega gradienta. Pri T_{dn} konvektivnem mešanju meglene plasti se namreč ustvarja gradient, ki velja za pogojno la-

bilnost (med vlažno in suhoadiabatnim). Da pride do končnega razkroja stratusne oblačnosti oziroma dvignjenih kosmov, se mora temperatura ne le v sredini v povprečju, ampak tam zgoraj dvigniti do vrednosti T_p . Prognozirana poprečna temperatura plasti ob razkroju je zato višja in v skladu s sliko 1 približno podana z enačbo

$$T_p = T_{dn} + \gamma_p \frac{h}{2} \quad 12$$

Pri čemer je γ_p gradient pogojne labilnosti, a je verjetno bližje vlažnoadiabatnemu. Za nasičen parni pritisk poprečja v času, ki nastopa v enačbi 11, pa vzamemo srednjo vrednost med jutranjim ob sončnem vzhodu in tistim, ki ga dobimo iz T_{dn} .

Kot primer podajamo dva izračuna za razkoj megle v Ljubljanski kotlini, ko smo razkoj natančneje opazovali in snemali. Vrednosti, ki so za oba primera enake, so:

$\rho = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$, $c_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ st}^{-1}$, $L = 600 \text{ cal g}^{-1}$, $R_v = 0,11 \text{ cal g}^{-1} \text{ st}^{-1}$ in $A = 20$; posebne vrednosti pa so:

21. 9. 1969

23. 9. 1969

$h = 300 \text{ m}$
 $T_o = 7,8 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_p = 11,8 \text{ }^\circ\text{C}$

$h = 200 \text{ m}$
 $T_o = 8,7 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_p = 12,8 \text{ }^\circ\text{C}$

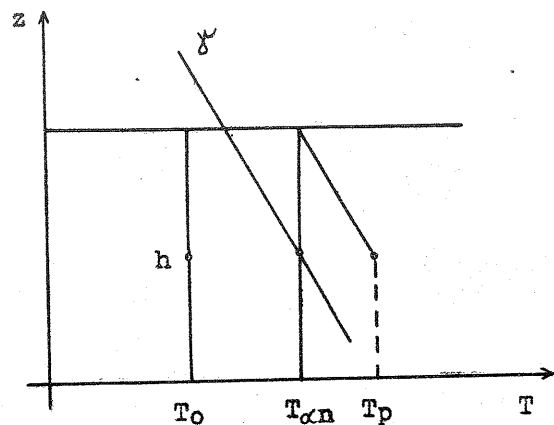
$dQ/dt \doteq 0,24 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
 $t_p \doteq 6 \text{ ur}$

$dQ/dt \doteq 0,24 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
 $t_p \doteq 4 \text{ ure}$

Najbolj problematično je določiti poprečni toplotni tok, ki ogreva zrak in omogoča izhlapevanje. Ta količina je odvisna od letnega in dnevnega časa (zaradi višine sonca), od lokalnih pogojev, od gostote megle, od vrste tal itd. in jo je treba določiti kot funkcijo prostora in časa, če hočemo gornjo enačbo dobro uporabiti v prognostične namene - eden izmed načinov razložen drugje /4/. Tu pa smo dejansko ravnali v obratni smeri in smo to količino računali, ker nam je bil čas razkroja iz opazovanj znan. Opazovana časa t_p se torej ujemata z izračunanimi po enačbi 11, če vzamemo za poprečni toplotni tok v obeh primerih približno enako vrednost dQ/dt kot je navedena zgoraj. Ta vrednost pa se v grobem ujema s tisto, ki jo dobimo z umih vrednosti sončnega obsevanja za Ljubljano /6/.

Enačba 11 nam torej daje možnost za približno računsko določitev časa

razkroja radiacijske megle v kotlini, če poznamo debelino megle in meteorološke parametre vključno približno poprečno vrednost jakosti dovoda toplote na enoto površine tal pod meglo.



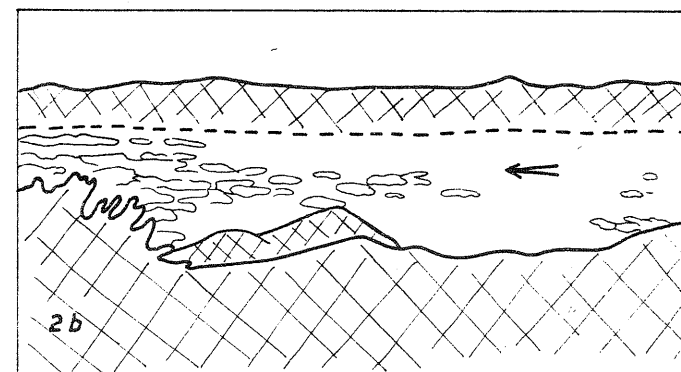
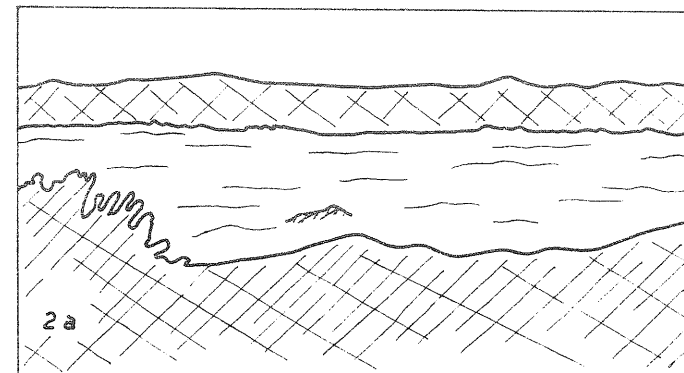
Slika 1 K razlagi določanja srednje temperature zračnega stebra ob razkroju megle - T_p

Fig. 1 To the explanation of the determination of the mean temperature of air column at the time of fog clearance - T_p

REZULTATI POSEBNIH OPAZOVANJ

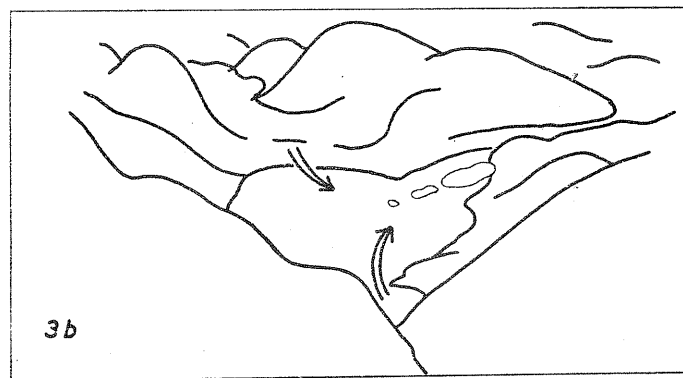
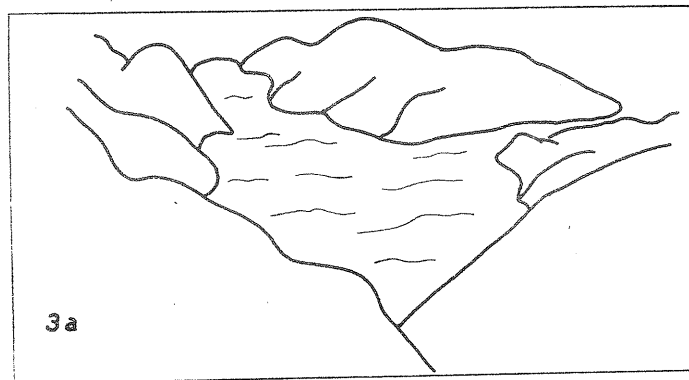
Razkrajanje megle v Ljubljanski in tudi Bohinjski kotlini smo nekajkrat opazovali in posneli s časovno redukcijo. Že samo opazovanje in slikanje pojava z neke okolišnje višje ležeče točke omogoča tako imenovano površinsko opazovanje, ki zajame hkrati večji prostor. Glede poteka pa lahko opazimo le razlike, ki se pojavijo v večjih časovnih presledkih.

Procesi razkroja megle so sorazmerno počasni, zato s samim opazovanjem ugotovimo, podobno kot pri analizi posameznih slik, le razlike v prostoru: kako visoko sega megla, koliko je gomja megle valovita oziroma razgibana, kako je na robovih - zlasti ob prisojnih pobočjih - dvignjena; v časovnem zaporedju pa, kje se pojavijo prve večje odprtine in kje se megla zadržuje najdlje. V ilustraciji sta na slikah 2 in 3 prikazana dva primera s po dvema slikama ob različnih časih z večjim vmesnim časovnim intervalom.



Slika 2 Megla nad Ljubljanskim barjem 23.9.1969: a) ob 9 uri; b) ob 10,30, ko je razkroj napredoval od desne proti levi

Fig. 2 Fog over the Ljubljana swamp on 23 9 1969: a) at 9:00 a.m.; b) at 10:30 a.m. when the clearance was advancing from the right to the left



Slika 3 Megla nad Bohinjskim jezerom 22.1.1968: a) ob 8 uri; b) ob 10,30, ko so nad iztočnim delom doline razpadali zadnji kosmi dvignjene megle

Fig. 3 Fog over the Bohinj lake on 22/1 1968: a) at 8:00 a.m.; b) at 10:30 a.m. when above the out flow part of the valley the last patches of fog were dissipating

Na sliki 2a, katere osnova je bila posneta 23.9.1969 ob 9 uri z vrha Krima proti NW, vidimo meglo nad Ljubljanskim barjem. Megla je debela malo manj kot 200 m, saj iz nje ravno gleda vrh Sv. Ane pod Krimom. Zgornja meja je le rahlo valovita, ob prisojnih pobočjih zadaj pa dvignjena in ponekod nacefrana zaradi dviganja ogretega zraka ob prisojnih pobočjih. V tem času je nad Ljubljano megla že v glavnem razkrojena, medtem ko je na Gorenjskem že povsem izginila. "Jasnina" se širi proti sredini barja, kar kaže slika 2b - ob 10,30 uri. Na svojem obrobju, ki je sedaj že močno odmaknjeno od okolišnjih pobočij, megla razpada v posamezne kosme. Najdlje se očitno zadržuje nad sredino barja, kjer izginejo zadnji kosmi šele ob 11 uri, kar je celo uro pozneje kot n. pr. v Ljubljani. Temu je verjetno vzrok v rahlem nagibu meglene jezera navzgor proti SW zaradi istosmernega pritiskovega gradienta /7/ in zaradi večje za- loge vode v tleh, kar vpliva poleg izdatnejšega izhlapevanja tudi na boljši pre- vod toplote v tla.

Snemanje megle s časovno redukcijo 1:30 do 1:50, ki je bilo opravljeno vzporedno z opazovanji, je dalo zanimive vpogleda v dinamiko meglene zra- ka in razkroja megle. Slikovno tega ni mogoče racionalno prikazati, zato poda- jamo le glavna opažanja. Gornja meja megle ni mima, kot je to videti pri opa- zovanju, ampak stalno valovi. Če se pri tem v celoti tudi horizontalno premika, ni mogoče ugotoviti. Tako so se n. pr. 21.9. do 9 ure izraziti valovi gibali od SE proti NW, po 10 uri pa ravno v nasprotni smeri; pritiskovo polje pa je bilo nad srednjo Evropo tudi v višinah šibko in je vladalo praktično brezvetrje. Da se niso delci premikali horizontalno, ampak so le valovali, je mogoče soditi tudi po "izboklinah" nad toplamo. Te izbokline so nastajale in izginjale na istem mestu in obenem kazale, da dviganje dimna inverzije ni prebijalo.

V drugih primerih pa imamo dokaze, da so gibanja zraka v meglinem jeze- ru samosvoja in neodvisna od višinskih tokov. Tako nam kažejo n. pr. filmi o raz- kroju megle v Selški dolini, snemani s Starega vrha 6.2.1969, ko je bil pretok megle s Poljanske v Selško dolino ravno nasproten močnim višinskim tokovom in gibanju oblakov.

Predvajanje filmov, posnetih s časovno redukcijo, nam tudi lepo pokaže končni razkroj posameznih meglениh kosmov in njihovo dinamiko. Ti kosmi pred- stavljajo vrhove konvektivnih celic, ki so očitno zelo živahne in dovajajo v plast, tik pod inverzijo, poleg toplote tudi nove količine s tal izhlapele vlage. Zato se kosmi dejansko sestojijo vedno iz novih delcev, se s tem obnavljajo in se zato le počasi razkrajajo. Vse te filme hrani Katedra za meteorologijo F.N.T. v Ljubljani.

Bohinjska kotlina je znatno manjša od Ljubljanske in ima strma pobočja, zato se tam dinamični efekti, čeprav so proženi termično, bolj uveljavljajo. Meglo v Bohinjski kotlini, ki leži zlasti pozimi navadno pod dvojno inverzijo /8/, smo tudi že večkrat opazovali in snemali. Slika 3a kaže pogled na kotli- no Bohinjskega jezera s Komne proti vzhodu 22.1.1968 ob 8 uri. Kotlina je ne-

okraj deset metrov na debelo zalita z meglenim jezerom, ki zgoraj valovi z valovi, ki potekajo pravokotno na veliko os doline. Druga slika 3b predstavlja stanje ob 10,30, ko so nad iztočnim delom kotline razpadali še zadnji kosmi dvignjene megle. Smer razkroja je podana s puščicama.

Snemanje s časovno redukcijo je pokazalo, da se megla po sončnem vzhodu navadno okrepi (odebeli in razširi) in da nastopa poleg valovanja vzdolž velike osi doline zelo izrazito nihanje zgornje meje megle pravokotno na veliko os in s časovno periodo nekaj minut. Zanimivo je, da se prične megla razkrajati v zgornjem kotu (pri Ukancu), ki je v tem času še v senci. Temu je gotovo vzrok spuščanje in fenizacija zraka s planot Vogla in Komne, saj se odtekanje meglene mase na nasprotni strani v Bistriško dolino ob predvajanju filma lepo vidi. Spuščanje zraka je verjetno tudi vzrok prečnim nihanjem meglene mase hladnega zraka, čeprav so možni tudi termični vplivi prisojnih pobočij. Očitno so tu dinamični efekti dominantni vsaj v tem letnem času, ko so tla pokrita s snegom. Vendar pa se ob koncu razkroja tudi tu ohranja osnovna shema, da se megla dvigne v stratus in izgine nazadnje tam, kjer je bila najdebelejša.

* * * * *

Delo je del raziskovalne teme "Razvoj in razkrajanje megle v kotlinah Slovenije" in je bilo izdelano ob pomoči sredstev Fakultete za naravoslovje in tehnologijo v Ljubljani.

LITERATURA

- /1/ Petkovšek Z.: Pogostnost megle v nižinah in kotlinah Slovenije, Razprave-Papers XI. DMS, Ljubljana 1969, 57 - 89.
- /2/ Kennington C.J.: An approach to the problem of the forecasting of fog clearance. Meteorol. Mag. 90 (1961), 70 - 73.
- /3/ Wright W.B. and Weinman J.A.: Measurement of the clearance of a radiation fog. Beitr. Phys. Atmosph. 40 (1967), 226 - 233.
- /4/ Petkovšek Z.: Auflösung der Radiationsnebel im alpinen Talbecken. XI. Int. Tagung für alpine Met. (v tisku).
- /5/ Beers N.R.: Meteorological Thermodynamics and Atmospheric Statics. Handbook of Meteorology, New York 1945.
- /6/ Arhiv Hidrometeorološkega zavoda SRS v Ljubljani.

- /7/ Čadež M.: Vreme u Jugoslaviji. Razprave - Papers 4, P.M.F. Beograd 1964, 1 - 83.
- /8/ Petkovšek Z.: Double Inversion over the Bohinj Valley. Weather XV. No. 4 (1960) 131 - 136.