

OCENA VPLIVA SREBROVEGA JODIDA NA NEVIHTNE OBLAKE
ESTIMATION OF SILVER JODIDE INFLUENCE ON THUNDERSTORM
CLOUDS

551.509.616

BRANKO WEISSBACHER

Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY:

In the year 1970 a modern hail protection system was initiated in the northeastern part of Slovenia. Hail protection headquarter, situated in the middle of the protected area, has at its disposal two radars which were used for measurements of thunderstorm clouds parameters.

Radar echoes of thunderstorm clouds were drawn on the map of the area. We clustered together radar echoes obtained from one cloud during the observation period. In this way thunderstorm cloud chains were formed, the links being measurements of the same cloud at different times. Thunderstorm cloud chains were determined by the computer as well.

For the study we chose 58 thunderstorm cloud chains determined by both methods: graphical and by computer. Figs. 1 - 8 are giving the following parameters of thunderstorm cloud chains viz. top of the cloud (Hv) top of accumulation zone (Hvz), volume of the cloud (V) at different times having the temperature below 0° C. Number of rockets fired into the thunderstorm cloud chain and observations of hail - if any - are added as well.

We tried to estimate the influence of the silver jodide particles on thunderstorm clouds in the following way: we studied the changes of the first three mentioned parameters with time. Development of a cloud is much influenced by lability of the atmosphere and soil surface configuration. Therefore it is hard to determine how strong is the influence of silver jodide particles on cumulonimbus cloud. But in spite of that, we obtain some general statements. From diagrams (figs. 1 - 8) it can be seen that the values of parameters were diminished after rockets were fired into the clouds, but later on they increased again in some cases. Such a course was repeated until the thunderstorm cloud was desintegrated or it left the protected area. Development of thunderstorm cloud

was more intense and variations of parameter values were larger at those clouds which were fired by rockets than at nonfired ones.

In this study also some basic causes of strong hail, which was observed at one day in spite of intense protection action, are estimated.

UVOD

Leta 1970 se je začela na področju sedmih občin v severovzhodni Sloveniji sodobna obramba pred točo, ki obsega 256 000 ha ozemlja. Na tem ozemlju je razporejenih okoli 90 strelcev /1/. Vodstvo obrambe je nameščeno sredi obrambnega območja in razpolaga z dvema radarjema, s katerima ob nevihtnih dneh merijo različne parametre nevihtnih oblakov, ki so osnova za določanje kriterijev za streljanje raket v nevihtne oblake /2/.

Način obrambe pred točo smo privzeli po obrambi v Sovjetski zvezi in ga prilagodili našim razmeram in možnostim. Ta sistem obrambe so uvedli tudi v Srbiji, na Hrvaškem in v Makedoniji /3/. Ker deluje obramba pred točo šele nekaj let, je na razpolago le malo obdelav. V tem prispevku smo skušali oceniti vpliv kondenzacijskih jeder srebrovega jodida na razvoj nevihtnih oblakov.

Pri nevihtnem oblaku ločimo štiri osnovne faze: fazo nastanka, fazo razvoja, fazo dozorelosti in izločanja padavin in fazo razpada /3/. Nevihtni oblaki se gibljejo v smeri višinskih vetrov, nastajajo pa v smeri prodora hladnega zraka oz. labilizacije zračne mase. Tako lahko nastajajo nevihtni oblaki na različnih področjih, se gibljejo, ter se med seboj spajajo in razpadajo /4,5/. Ker nanje močno vpliva tudi razgibanost tal, je precej težko oceniti kakšen je vpliv srebrovega jodida na razvoj, obstoj in razpad nevihtnih oblakov.

PODATKI IN METODA

Radarske odraze nevihtnih oblakov v letu 1972 smo izrisali na zemljevide obrambnega območja. Povezali smo tiste radarske odraze, ki predstavljajo posamezne meritve istega oblaka. Tako smo dobili grafično časovne verige, katere členi predstavljajo posamezne meritve različnih parametrov istega oblaka ob nekem času. Nevihtne verige smo določili na dva načina: grafično in z obdelavo na elektronskem računalniku /6/. Izbrali smo 58 verig, ki se skladajo na oba načina obdelav. V diagrame smo vnesli naslednje parametre iz radarskih meritev za posamezne verige: vrh oblaka Hv, vrh zone akumulacije H_{vz} in volumen V posameznih oblakov v verigi nad ničelno izotermo. V diagrame smo vnesli tudi

število izstreljenih raket in pojav toče ob določenem času. Vpliv srebrovega jodida na nevihtne oblake smo skušali oceniti tako, da smo proučili spremembe vseh treh navedenih parametrov s časom.

Iz 58 verig smo jih izbrali osem, ki po naši oceni najbolje prikazujejo ugotovitve naše obdelave. Vnesli smo jih v slike od 1 do 8.

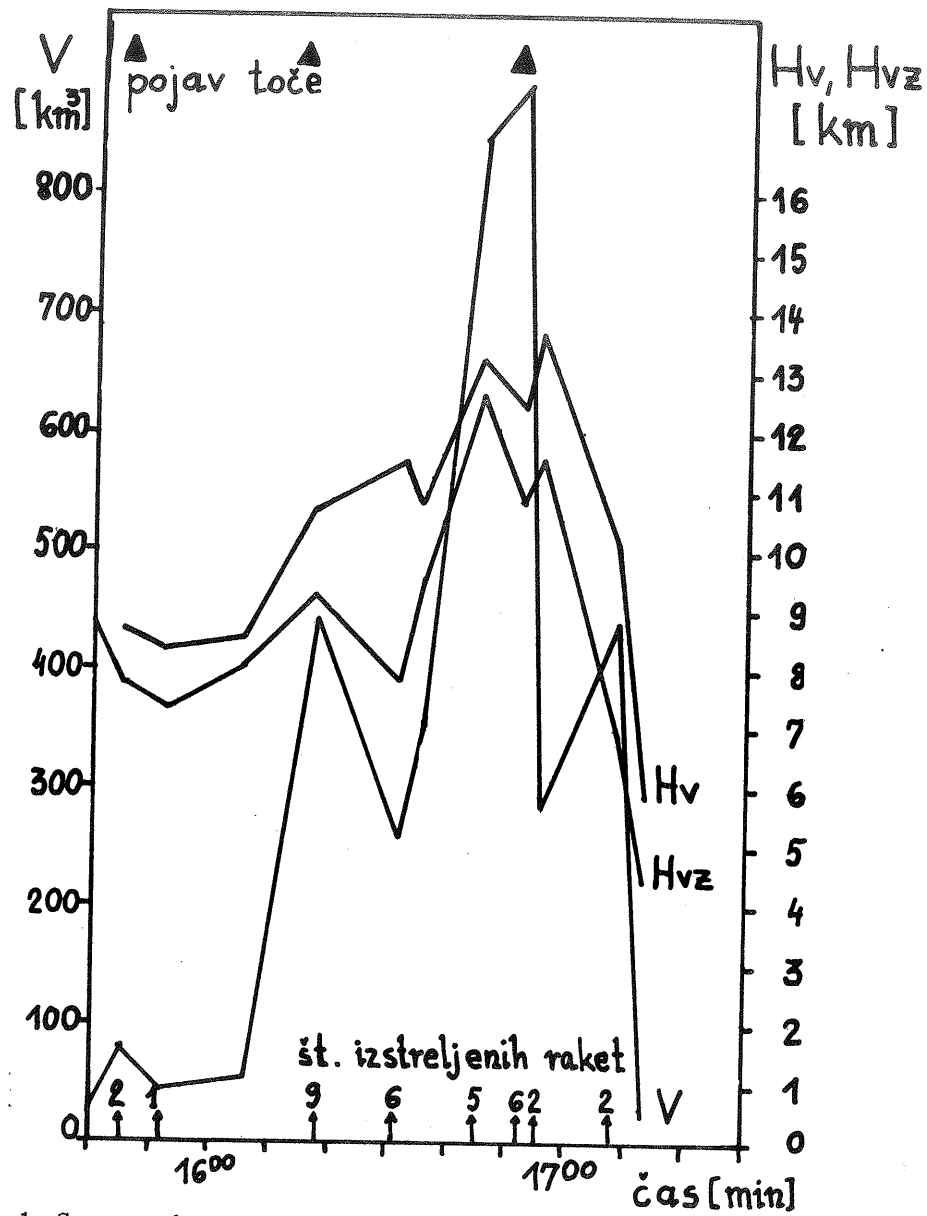
PREGLED IZBRANIH PRIMEROV

Na sliki 1 so vrisani parametri H_{vz}, Hv in V v nevihtni verigi z dne 17.7.1972 med 15⁴⁰ in 17³⁰. Okoli 15⁵⁰ ure so bile izstreljene v nevihtni oblak tri rakete in vrednost vseh treh parametrov se je znižala. Po 16⁰⁵ uri so se parametri močno zvišali in v oblak je bilo izstreljenih še 15 raket. Parametri so se le nekoliko zmanjšali, nato pa so se ponovno močno povečali. Po izstrelitvi še 15 raket je oblak po 17. uri dokončno razpadel. Okoli 16. ure se je pri tej nevihtni verigi pojavila tudi toča, kar se ujema s povečanjem parametrov ob istem času. Med 16⁴⁵ in 16⁵⁵ uro se je pojavila kratkotrajno močna toča, kar se ujema s fazo največjega razvoja vseh treh parametrov. V tem času so bile najvišje vrednosti vrha zone akumulacije okoli 10 km, vrha oblaka pa okoli 13 km, volumen oblačne celice pri negativnih temperaturah pa je bil okoli 850 km³. Ker dosežejo rakete višino največ 4 km, kondenzacijska jedra srebrovega jodida niso neposredno dosegla zono akumulacije, zato niso v zadostni meri vplivala na nastanek in razvoj toče.

Slika 2 prikazuje novo verigo dne 17.7.1972 med 17. in 18. uro. Po izstrelitvi 10 raket so se v začetku parametri močno znižali, nato sta pričela parametra Hv in H_{vz} ponovno rasti. Po izstrelitvi še štirih raket je oblak dokončno razpadel. Pri tej verigi se je pojavila slaba toča manjšega premera. Vrh zone akumulacije je dosegel višino med 5 in 6 km, tako da je srebrov jodid že dosegel zono akumulacije. Volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah je od začetne vrednosti 200 km³ naglo padel na vrednost 40 km³.

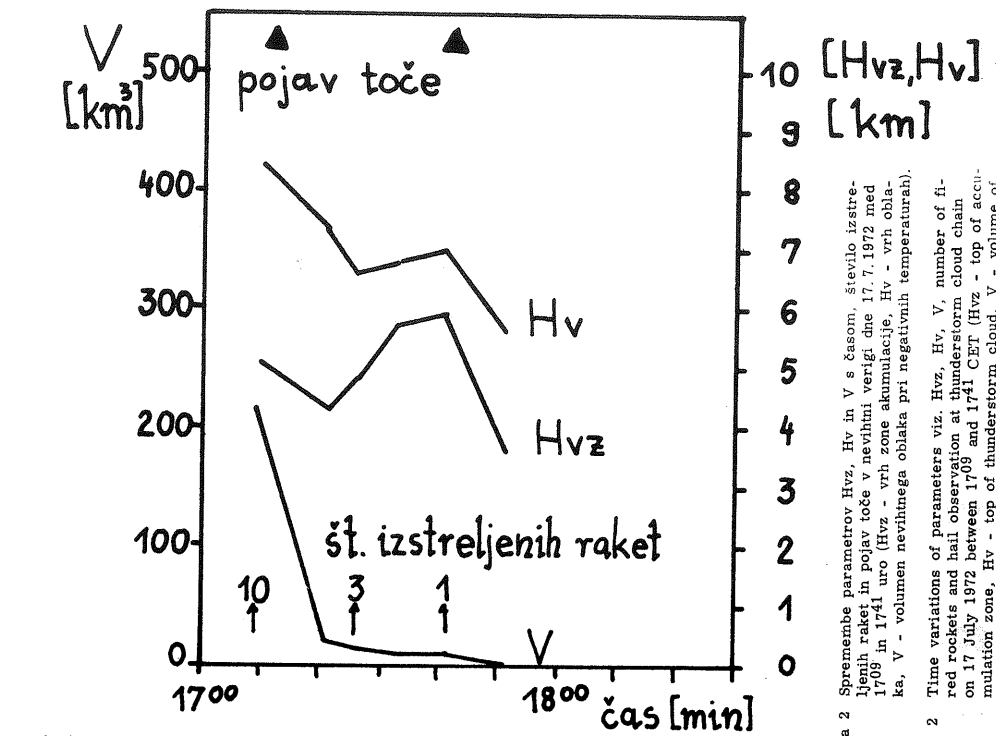
Slika 3 prikazuje postopno znižanje vseh treh parametrov ob izstrelitvi 11 raket v eni uri v nevihtno verigo dne 29.7.1972. Toča s srednjo jakostjo se je pojavila le v začetku, ko so bili parametri H_{vz}, Hv in V največji.

Slika 4 prikazuje nevihtno verigo med 16. in 18. uro 30.7.1972. Štiri rakete so bile izstreljene ob 17³⁵, nato so se začeli vsi trije parametri naglo manjšati. Pri tej verigi lahko opazimo, da je bil razvoj precej enakomeren, le v začetku so bila izrazitejša nihanja vrednosti parametrov.



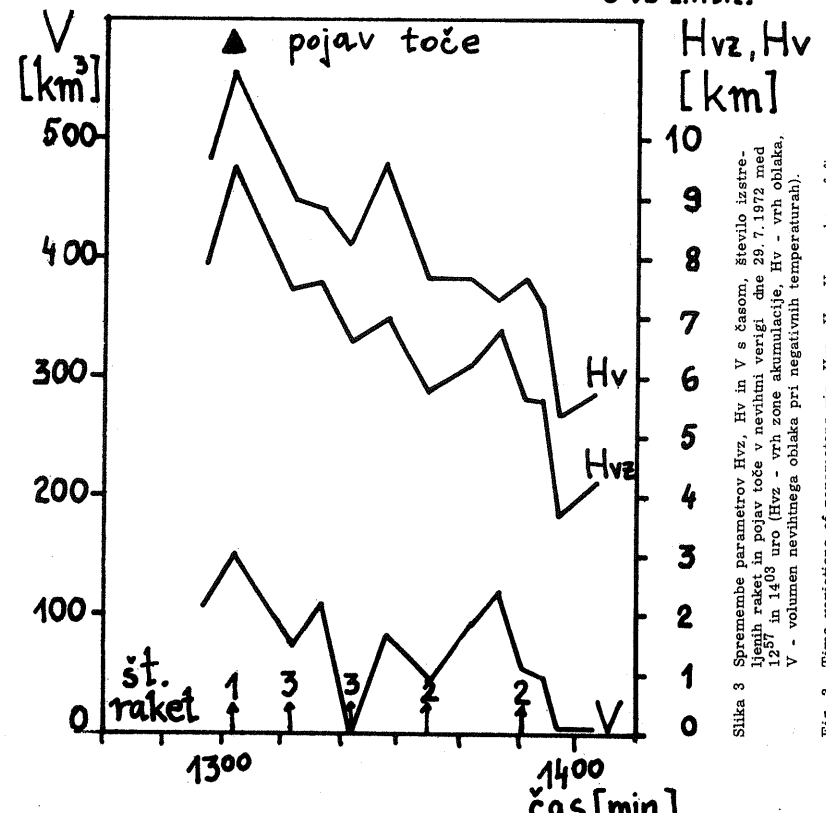
Slika 1 Spremembe parametrov Hvz, Hv in V s časom, število izstreljenih raket in pojav toče v nevihtni verigi dne 17.7.1972 med 15⁴⁰ in 17¹³ uro (Hvz - vrh zone akumulacije, Hv - vrh nevihtnega oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 1 Time variations of parameters viz. Hvz, Hv, V, number of fired rockets and hail observation at thunderstorm cloud chain on 17 July 1972 between 15⁴⁰ and 17¹³ CET (Hvz - top of accumulation zone, Hv - top of thunderstorm cloud, V - volume of thunderstorm cloud at temperatures below 0° C).



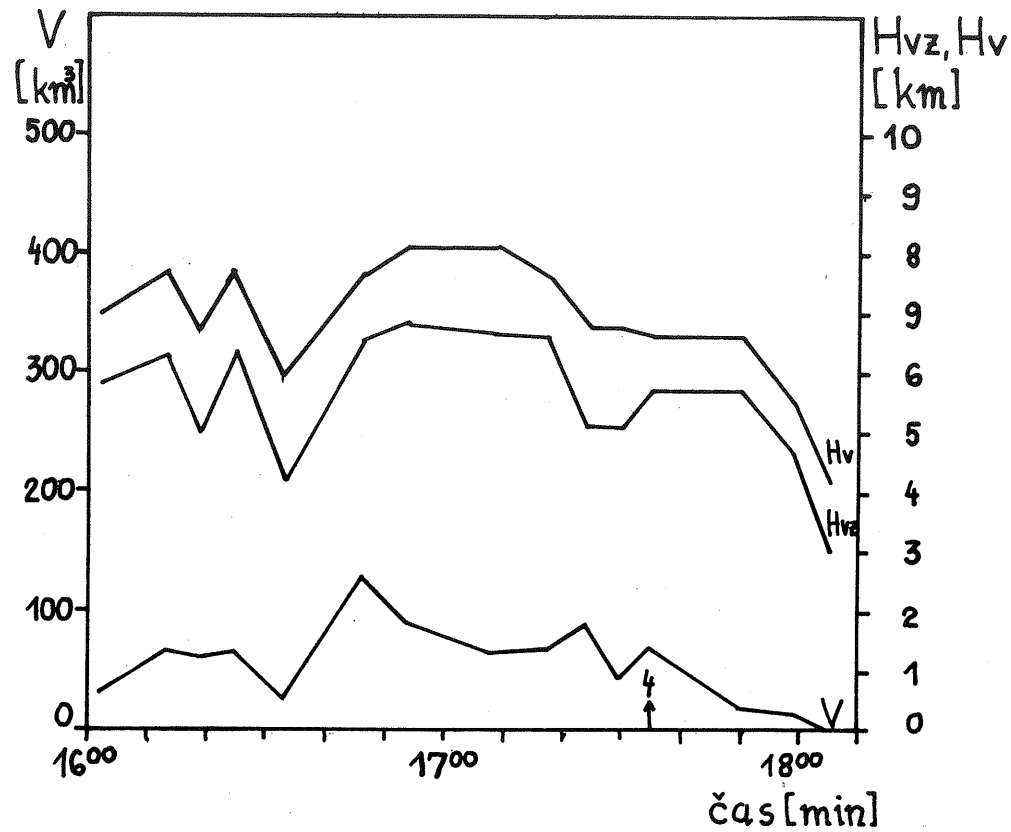
Slika 2 Spremembe parametrov Hvz, Hv in V s časom, število izstreljenih raket in pojav toče v nevihtni verigi dne 17.7.1972 med 17⁰⁰ in 17⁵⁹ uro (Hvz - vrh zone akumulacije, Hv - vrh oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 2



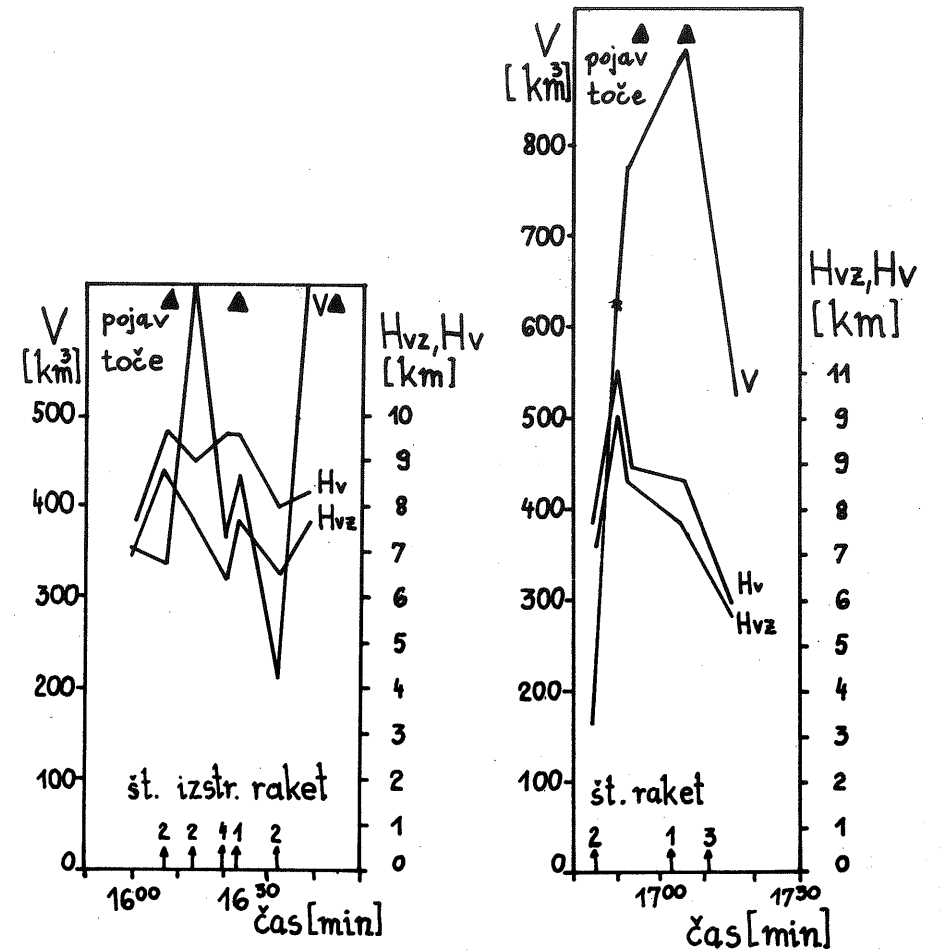
Slika 3 Spremembe parametrov Hvz, Hv in V s časom, število izstreljenih raket in pojav toče v nevihtni verigi dne 29.7.1972 med 12⁵⁷ in 14⁰³ uro (Hvz - vrh zone akumulacije, Hv - vrh oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 3 Time variations of parameters viz. Hvz, Hv, V, number of fired rockets and hail observation at thunderstorm cloud chain on 29 July 1972 between 12⁵⁷ and 14⁰³ CET (Hvz - top of accumulation zone, Hv - top of thunderstorm cloud, V - volume of thunderstorm cloud at temperatures below 0° C).



Slika 4 Spremembe parametrov Hvz, Hv in V s časom in število izstreljenih raket v nevihtni verigi dne 30.7.1972 med 16⁰² in 18⁰⁵ uro (Hvz - vrh zone akumulacije, Hv - vrh nevihtnega oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 4 Time variations of parameters viz. Hvz, Hv, V, number of fired rockets at thunderstorm cloud chain on 30 July 1972 between 16⁰² and 18⁰⁵ CET (Hvz - top of accumulation zone, Hv - top of thunderstorm cloud, V - volume of thunderstorm cloud at temperatures below 0° C).



Slika 5 Spremembe parametrov Hvz, Hv in V s časom, število izstreljenih raket in pojav toče v nevihtni verigi dne 1.8.1972 med 16³⁹ in 16³⁹ uro (Hvz - vrh zone akumulacije, Hv - vrh nevihtnega oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 5 Time variations of parameters viz. Hvz, Hv, V, number of fired rockets and hail observation at thunderstorm cloud chain on 1 August 1972 between 16³⁹ and 16³⁹ CET (Hvz - top of accumulation zone, Hv - top of thunderstorm cloud, V - volume of thunderstorm cloud at temperatures below 0° C).

Slika 6 Spremembe parametrov Hvz, Hv, V s časom, število izstreljenih raket in pojav toče v nevihtni verigi dne 1.8.1972 med 16⁴⁵ in 17¹⁵ uro (Hvz - vrh zone akumulacije, Hv - vrh nevihtnega oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 6 Time variations of parameters viz. Hvz, Hv, V, number of fired rockets and hail observation at thunderstorm cloud chain on 1 August 1972 between 16⁴⁵ and 17¹⁵ CET (Hvz - top of accumulation zone, Hv - top of thunderstorm cloud, V - volume of thunderstorm cloud at temperatures below 0° C).

1. avgusta 1972 so bile med 15. in 19. uro na severni polovici branjenega področja močne nevihte, ki jih je povzročil prodor hladnega zraka od severozahoda ob jugozahodnih višinskih vetrovih. Zaradi močne labilizacije zračne mase so naglo nastajali nevihtni oblaki in kmalu zajeli vso severno polovico branjenega področja. Ker je advekcija hladnega zraka zajela tudi višje zračne plasti, so nevihtni oblaki dosegli višine prek 10 km, višine zone akumulacije pa prek 8 km. Tako se je kljub 98 izstreljenim raketam pojavila toča po vsem področju. Sliki 5 in 6 prikazujeta potek parametrov dveh nevihtnih verig v tem dnevu. Posamezne oblačne celice so potovale proti severozahodu, parametri pa so dosegli visoke vrednosti, posebno V, ki je bil med 300 in 900 km³.

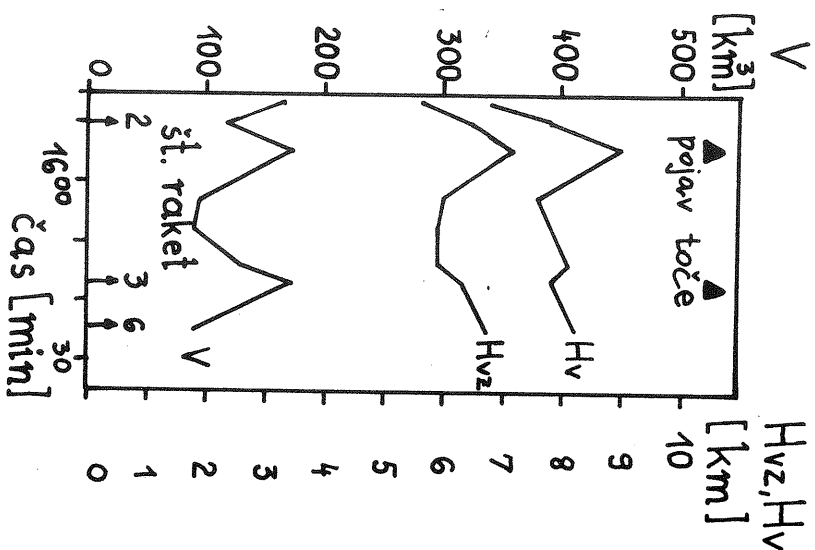
2. avgusta 1972 sta potovala dva nevihtna oblaka prek branjenega področja. Na slikah 7 in 8 se lepo vidi potek vseh treh parametrov H_{vz}, H_v in V v obeh verigah. Na obeh slikah lahko opazimo dva maksimuma vrednosti parametrov. Na diagramu 7 so parametri dosegli prvi maksimum ob 15⁵⁵, hkrati je bila zabeležena tudi slaba toča. Po zmanjšanju vseh parametrov, se je nevihtni oblak začel ponovno razvijati in parametri so začeli naraščati. Med 16¹⁵ in 16²⁵ uro je bilo izstreljenih v to nevihtno verigo 9 raket in zabeležena je bila slaba toča. Nadaljnih radarskih meritev ni bilo, ker je nevihtni oblak zapustil branjeno področje.

Na sliki 8 lahko vidimo, da so parametri dosegli prvi maksimum 12 minut po začetku merjenja. Med 17⁵² in 16¹⁰ je bilo izstreljenih 8 raket in parametri so se izrazito znižali. Slaba toča se je pojavila pri enem strelcu le v začetku nevihtne verige pri visokih vrednostih parametrov. Naslednji maksimum je bil izmerjen ob 16²⁷, v nevihtni oblak sta bili izstreljeni še 2 raketi, nato pa je razpadel.

SKLEP

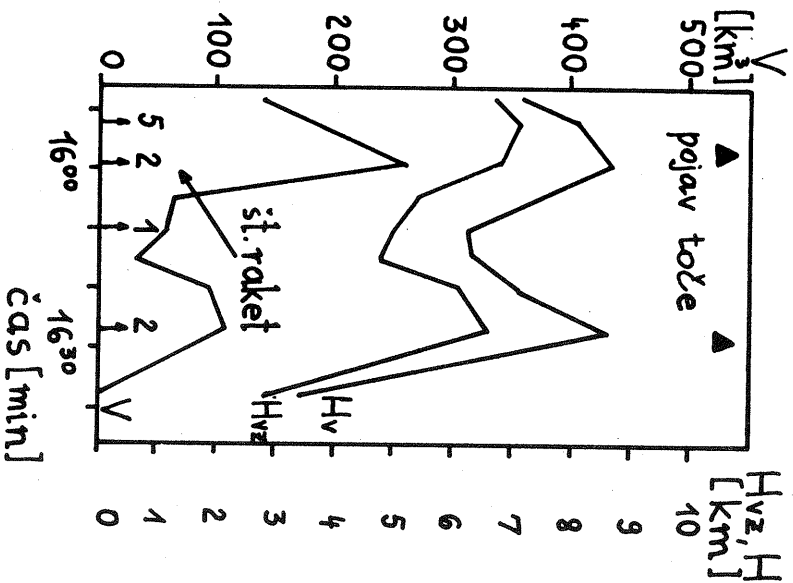
Pri pregledu izbranih primerov v diagramih lahko opazimo, da so se parametri H_{vz}, H_v in V po obstreljevanju oblakov z raketami na splošno zmanjšali in začeli po prenehanju streljanja ponovno rasti /7/. Tak potek verige se je ponavljal dokler ni nevihtni oblak zapustil branjenega področja ali pa dokončno razpadel. Na slikah lahko tudi opazimo, da je bil razvoj nevihtnih oblakov, v katere je bil izstreljen srebrov jodid, bolj razgiban, nihanja vrednosti vseh parametrov so bila večja, kakor pri oblakih, v katere niso streljali. Pri tej kratki obdelavi lahko ugotovimo nekaj osnovnih vzrokov pojavljanja toče iz nekaterih nevihtnih oblakov kljub obrambi:

1. Pri močni nestabilnosti ozračja se razvijejo nevihtni oblaki v višine tudi prek 10 km. Za take primere je domet raket 4 km prenizek, ker je zona akumulacije lahko precej višje in jo srebrov jodid ne more doseči



Slika 8 Spremembe parametrov H_{vz}, H_v in V s časom, število izstreljenih raket in pojav toče v nevihtni verigi dne 2. 8. 1972 med 15⁴⁸ in 16⁴⁰ uro (H_{vz} - vrh zone akumulacije, H_v - vrh nevihtnega oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 8 Time variations of parameters H_{vz}, H_v, V, number of fired rockets and hail observation at thunderstorm cloud chain on 2 August 1972 between 15⁴⁸ and 16⁴⁰ CET (H_{vz} - top of accumulation zone, H_v - top of thunderstorm cloud, V - volume of thunderstorm cloud at temperatures below 0° C).



Slika 7 Spremembe parametrov H_{vz}, H_v in V s časom, število izstreljenih raket in pojav toče v nevihtni verigi dne 2. 8. 1972 med 15⁴⁷ in 16³⁰ uro (H_{vz} - vrh zone akumulacije, H_v - vrh nevihtnega oblaka, V - volumen nevihtnega oblaka pri negativnih temperaturah).

Fig. 7 Time variations of parameters H_{vz}, H_v, V, number of fired rockets and hail observations at thunderstorm cloud chain on 2 August 1972 between 15⁴⁷ and 16³⁰ CET (H_{vz} - top of accumulation zone, H_v - top of thunderstorm cloud, V - volume of thunderstorm cloud at temperatures below 0° C).

ali pa jo dosežejo le manjše količine z vertikalnimi tokovi /8/ (primer 1. avgust 1972, sliki 5 in 6).

2. Mreža strelcev je za ta domet preredka. Čelice nastanka toče, ki nastanejo med strelskimi mesti, ali pa se tja pomaknejo, ni mogoče doseči z raketami s tako nizkim dometom.

3. Kondenzacijska jedra srebrovega jodida moramo vnesti v zono akumulacije pravočasno. Ker je osnovni princip obrambe pred točo ta, da s kondenzacijskimi jedri srebrovega jodida preprečimo rast točinih zrn do škodljive velikosti, je streljanje po nastanku velikih zrn toče brez pravega učinka. Po obdelanih diagramih vidimo, da nastaja toča v oblakih takrat, ko dosežejo parametri največje vrednosti. Z radarjem moramo zasledovati razvoj oblaka in streljati, ko parametra Hvz in Hv naraščata in se približujeta višinam izoterm -14 in -28°C , ki sta važna kriterija za določanje nevarnosti nastanka toče /2/.

4. Uspešnost obrambe pred točo je odvisna tudi od pravilne prognoze temperaturne stratifikacijske krivulje, po kateri določamo temperature na višinah Hvz in Hv /9/.

Ker smo imeli na razpolago le enoletno število meritev in so se tudi pri teh pojavljale začetniške napake, naša obdelava ni zajela vseh nevihtnih dni. Izbrali smo le tiste nevihtne verige, ki so nam dale najbolj značilno sliko razvoja nevihtnih oblakov in sprememb parametrov. Skušali smo oceniti vpliv srebrovega jodida na nevihtne oblake in dobili nekaj splošnih ugotovitev.

LITERATURA

- /1/ J. Pristov, L. Žitnik, B. Weissbacher: Meteorološko poročilo o obrambi pred točo v Sloveniji za leto 1972, Hidrometeorološki zavod SR Slovenije, Ljubljana 1973.
- /2/ L. Opra: Operativni metod identifikacije veštačkov delovanja na gradonosne oblake, Republički hidrometeorološki zavod SR Srbije, Beograd 1972.
- /3/ D. Radinović: Zaštita od grada, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd 1971.
- /4/ B. Weissbacher: Gibanje nevihtnih področij in intenzivnost nevihtnih padavin odvisnih od višinskih vetrov nad Slovenijo, Razprave-Papers XIII, DMS, Ljubljana 1971.

/5/ N. G. Towery, S. A. Changnon, Jr.: Characteristic of Hail-Producing Radar Echoes in Illinois, Monthly Weather Review, May 1970.

/6/ J. Roškar: Obdelava nevihtnih verig z elektronskim računalnikom, Arhiv Hidrometeorološkega zavoda SR Slovenije, Ljubljana 1973.

/7/ G. S. Voronov: Nekotorni rezultati radiolokacionih isledovanii evolucii konvektivnih oblakov, Meteorologija i gidrologija, junij 1973.

/8/ J. Pristov: Objektivni kriteriji za prognozo neviht in toče, Razprave-Papers XIV, DMS, Ljubljana 1972.

/9/ M. Borko: Prispevek k prognozi neviht v Sloveniji, Razprave-Papers XIV, Ljubljana 1972.