

OBRAMBA PRED TOČO V SLOVENIJI DANES
HAIL PROTECTION IN SLOVENIA TODAY

Andrej KRANJC
Hidrometeorološki zavod SR Slovenije, Ljubljana

551.578.7

SUMMARY

Radar guided rocket hail suppression began in N.E. Slovenia towards the end of the 1971 season. It was established by following the Soviet model, as had already been done in Serbia, Croatia and Macedonia.

Initially, the approach to all Cb-clouds was the same; namely, shooting rockets containing silver iodide into the accumulation zone - the region in the cloud that gives the strongest radar echo. On the basis of new findings about airflow inside Cb-clouds and in their environment (e.g. Browning, 1977) we progressed to seeding moving storm clouds on the front right part of the cloud and slightly in front of it.

Antihail rockets are launched from launching sites disposed on the defended area. The launchers obtain instructions for launching from the Radar Centre, which lies somewhere in the middle of the defended area.

In September 1981, a new meteorological radar was installed in the Radar Centre, which replaced the old military radars. The main advantages of the new radar are longer range, better resolution and the possibility of contoured display, provided by the DVIP - Digital Video Integrator Processor.

The consumption of rockets in recent years varied very much - from 360 in 1976 to 1417 in 1979; this means that storm activity varies greatly from year to year. The consumption of rockets is generally greater on the N.W. edge of the defended area; the reason for this is probably the fact that the majority of the storms come from the N.W. (Fig. 3).

Occurrence of hailfall is rather variable from place to place. On the average, hail falls on the defended area (255,643 ha) about 20 times per year (Table 3).

POVZETEK

V članku je prikazan sistem obrambe pred točo v Sloveniji, in sicer način izvajanja obrambe, tehnična sredstva, ki jih pri tem uporabljamo ter nekatere spremembe v metodologiji in opremljenosti v zadnjih letih. Od tehničnih sredstev je nekoliko podrobneje opisan novi meteorološki radar. Pri raziskavah, ki so bile doslej še dokaj skromne, je prikazana prostorska in časovna porazdelitev porabe protitočnih raket v obdobju od 1972 do 1980 ter prostorska porazdelitev padanja toče v istem obdobju, oboje na branjenem območju SV Slovenije.

UVOD

Radarsko-raketna obramba pred točo je bila v Jugoslaviji organizirana po vzorcu obrambe v Sovjetski zvezi. Najprej so začeli z njo v Srbiji, nato pa v Hrvatski, Makedoniji in Sloveniji.

V Sloveniji poteka obramba pred točo (OPT) ob pomoči radarja in raket že nad 10 let, in sicer v severovzhodnem delu, kjer zavzemajo znaten delež kmetijskih obdelovalnih površin vinogradi in sadovnjaki. Od začetka tovrstne obrambe leta 1972 do junija 1981 je bila velikost branjene površine nespremenjena, 255.643 ha; s priključitvijo občin Murska Sobota, Lendava in Slovenske Konjice pa se je povečala na 372.653 ha.

Vodenje obrambe poteka vsa leta z radarskega centra na Žikarcah pri Zg. Koreni, ki leži približno v sredini branjenega območja, na nadmorski višini ok. 400 m. Obramba poteka na tem območju in tudi drugod v Jugoslaviji že od samega začetka operativno, to se pravi, ne kot eksperiment, ampak le kot aplikacija neke metode. V zadnjih letih pa se pojavljajo zahteve po raziskavah, ki naj bi predvsem dale odgovor na vprašanje, ali je oz. koliko je obramba pred točo uspešna. To vprašanje se je začelo pojavljati zlasti po nekaj velikih katastrofah, ki jih je tu in tam v Jugoslaviji povzročila toča kljub obrambi (npr. v Sloveniji 4. in 12. avgusta 1980). Prva reakcija na zahteve po izboljšanju obrambe pred točo je bila nadomeščanje dotedanjih tehničnih sredstev z novimi, ustrežnejšimi, in verjetno je, da bo to povečalo učinkovitost obrambe. V prvih letih po uvedbi OPT je bilo pri nas napisanih več člankov v zvezi s to problematiko. Avtorji so se ukvarjali s prikazom ter oceno OPT v Sloveniji /7/, s prognozo in gibanjem neviht /8/, /6/, /9/ ter tudi z ugotavljanjem vpliva srebrovega jodida na nevihtne oblake /10/.

V nekaterih državah, ki se ukvarjajo z obrambo pred točo, je bilo narejenih že več ocen uspešnosti. Podatki iz SZ govorijo o zmanjšanju škode zaradi toče prav zaradi obrambe večinoma za okoli 90 % in več /1/. Številke iz ZDA in J. Afrike so skromnejše - škodo naj bi z obrambo (posipanje s srebrovim jodidom (AgJ) v ZDA oz. s suhim ledom v J. Afriki - oboje z letali) zmanjšali za ok. 20 - 50 %, en eksperiment (Colorado NHRE) pa je dal negativen rezultat. In sicer za povprečno 23 % povečanje mase toče zaradi izvajanja obrambe /3/. Več ocen uspešnosti OPT so naredili tudi v Srbiji, kjer so ugotovili 3-4 krat več toče na nebranjenem kot na branjenem območju /5/.

NAČIN OBRAMBE PRED TOČO PRI NAS

Osnova tovrstne obrambe je dovajanje ledotvornih kondenzacijskih jeder (kristali AgJ) v oblake z namenom, da bi povzročili nastanek velikega števila drobnih zrn toče, ki se pri padanju skozi toplejše plasti ozračja stalijo, namesto manjšega števila debelejših zrn toče, ki lahko povzročijo škodo (to je hipoteza konkurence med embriji toče zaradi omejene količine vode v oblaku). Reagent (AgJ) dovajamo z raketami v oblake, ki jim določimo stopnjo nevarnosti z radarjem in na osnovi podatkov o temperaturni stratifikaciji ozračja (podatki iz radiosondnih meritev).

V načelu se način obrambe v teh 10 letih ni spremenil; na osnovi izsledkov o nevihtnih oblakih pa se je spremenila metodologija streljanja na gibajoče se oblake. Po prvotni (sovjetski) shemi vsebuje nevihtni oblak zono akumulacije (povečane vodnosti), kjer nastaja toča in kamor je treba dovajati reagent (slika 1); to pomeni, da je v vsakem primeru treba streljati v sam oblak. Meritve in raziskave (npr. /2/) pa so pokazale, da po vsej verjetnosti ni tako; streljanje v sam oblak pride v poštev le pri termičnih, stacionarnih nevihtnih oblakih, medtem ko je pri gibajočih se oblakih stvar drugačna (navadno ob prehodih front).

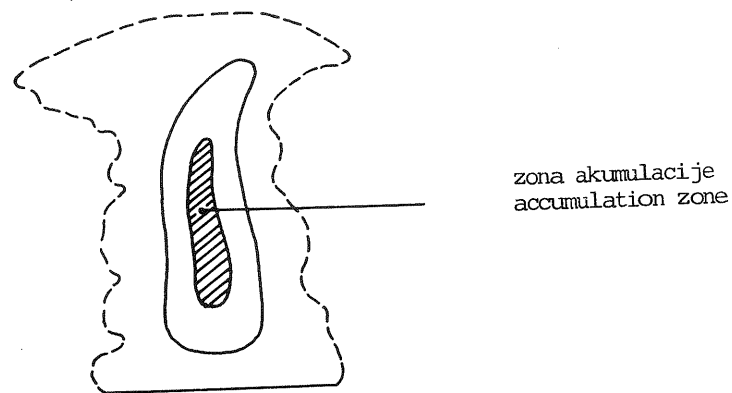
V sezoni 1980 so v SZ spremenili metodologijo posipanja nevihtnih oblakov in sicer tako, da so jo prilagodili shemi, prikazani na sliki 2 /1/. Prav tako smo opisani shemi prilagodili streljanje v našem sistemu OPT.

Iz slike 2 je razvidno, da moramo pri gibajočem se oblaku posipati nekoliko pred samim oblakom, in sicer pretežno pred desno polovico (gledano v smeri gibanja), ker se nevihtni oblaki na severni polobli večinoma obnavljajo na sprednji desni strani.

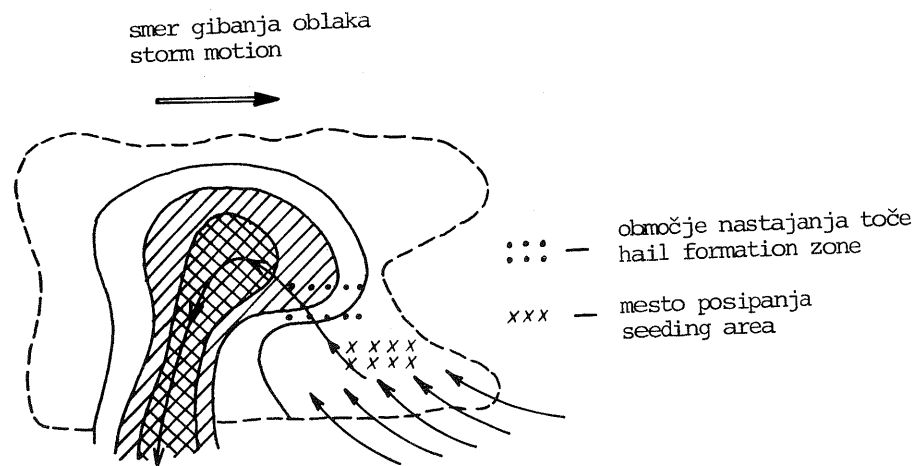
V stacionarne Cb istreljujemo rakete proti sredini, ko so še v razvojni fazi, torej ko je v srednjem delu še prisoten vzponski tok.

Kot je bilo že omenjeno, vodimo akcije OPT iz radarskega centra, rakete pa izstreljujejo usposobljeni strelci s strelnih mest, ki so bolj ali manj enakovredno porazdeljena na branjeni površini. Na prvotnem območju tvorijo strelna mesta mrežo kvadratov s stranico 5 km, kar je bilo prilagojeno domnevni dosegu raket SAKO 6-3; sprva je bil namreč deklariran vertikalni doseg teh raket 6 km, kasneje pa so meritve pokazale, da je v resnici le ok. 3 km in je mreža 5 km x 5 km zanje preredka. V Pomurju in občini Sl. Konjice so bila zaradi uvedbe novih raket (TG-10) z vertikalnim dosegom ok. 8,5 km postavljena strelna mesta v mreži 7,5 km x 7,5 km, kar zagotavlja večkratno prekrivanje vsake točke branjenega območja. Z dokončno modernizacijo sistema OPT v SV Sloveniji ter z vzpostavitvijo obrambe v osrednji Sloveniji pa je v načrtu nova, nekoliko redkejša razporeditev strelnih mest, in sicer v mreži 12 km x 8 km. Taka mreža namreč ob uporabi raket z balističnimi karakteristikami, kot jih imajo rakete TG-10, zagotavlja dva- ali večkratno prekrivanje na veliki večini branjenega območja in le izjemoma, na majhnih površinah, se lahko zgodi, da je prekrivanje samo enkratno (pri najbolj neugodnih odstopanjih dejanske od idealne mreže).

Akcije OPT potekajo na naslednji način: Ko strelci zaslišijo gmenje ali opazijo nevihtne oblake, to javijo radarskemu centru, kjer z radarjem spre-



Slika 1 Shematičen presek nevihtnega oblaka po hipotezi o zoni akumulacije.
Fig. 1 Schematic cross-section of a storm cloud, following the accumulation zone hypothesis.



Slika 2 Shematičen presek gibajočega se nevihtnega oblaka.
Fig. 2 Schematic cross-section of the moving storm cloud.

ljajo dogajanje v okolici. Če kak oblak doseže ali preseže kritične vrednosti, dobijo strelci, ki so v ugodnem položaju za obstreljevanje tega oblaka, povelje za izstrelitev potrebnega števila raket. Poleg števila dobijo še podatke za azimut (smer), elevacijo in tempiranje (nastavitev časa začetka posipanja). Število raket se določi glede na volumen zone večje vodnosti v oblaku, kjer je temperatura pod 0°C . Preden se izda strelcem ukaz za izstrelitev raket, je potrebno dobiti dovoljenje od kontrole letalskega prometa.

TEHNIČNA SREDSTVA

Za izvajanje OPT v zgoraj opisani obliki potrebujemo naslednja tehnična sredstva:

1. meteorološki radar,
2. radijske zveze,
3. strelna mesta,
4. rakete.

S stališča meteorologije je seveda najzanimivejši meteorološki radar, zato bomo na kratko opisali nekaj njegovih značilnosti.

Jeseni 1981 je bil na radarskem centru Žikarce montiran nov meteorološki radar (WR 100/77) ameriške firme (EEC), ki je zamenjal dotedanje modificirane vojaške radarje (3 Mark 7), angleške proizvodnje. Ena bistvenih razlik med tema dvema radarjema je v tem, da ima novi mnogo manjši kot sevanja ($1,1^{\circ}$) in s tem večjo ločljivost kot stari (kot sevanja ok. 5°), kar omogoča mnogo natančnejše meritve. Tako znaša pri starem radarju na njegovem maksimalnem dosegu 35 km širina snopa že 3 km, medtem ko je pri novem le 670 m. Poleg tega je doseg novega radarja mnogo večji, pri čemer je možno izbirati med dosegmi 100, 230 in 450 km. Večji doseg nam omogoča razširitev branjenega območja oz. obvladovanje večje površine iz enega samega radarskega centra, poleg tega pa nam omogoča spremljati razvoj in približevanje nevihtnih (in drugih) oblakov, ko so še izven branjenega območja.

Ena izmed razlik, ki pa za OPT ni zelo pomembna, je ta, da dela novi radar na valovni dolžini 5 cm, stari pa na 10 cm. Zaradi krajše valovne dolžine je kot sevanja sorazmerno manjši ($\mu \approx \lambda / D$), poleg tega pa so s 5 cm radarjem možne zaradi večje občutljivosti nekatere meritve, ki z 10 cm niso možne. Zaradi drugačne valovne dolžine so seveda drugačni kriteriji za nevarnost toče kot pri merjenju z 10 cm radarjem (spremeni se sipalni presek, ki je sorazmeren z λ^{-4}).

Verjetno je najbolj bistvena pridobitev ob zamenjavi radarja naprava DVIP (Digital Video Integrator Processor), to je priprava, ki spreminja analogne radarske video signale v digitalne podatke ter jih integrira in obdela. Tako obdelane podatke, razdeljene po jakosti v 6 razredov, lahko opazujemo na PPI, RHI in A pokazateljih radarja, lahko pa jih tudi vodimo prek

digitalnega izhoda na računalnik. Če je DVIP izključen, je prikaz na vseh pokazateljih v analogni obliki.

DVIP omogoča tudi t.i. STC korekcijo (Sensitivity Time Control); to je eliminacija vpliva oddaljenosti cilja na jakost sprejetega odbitega valovanja (faktor $1/R^2$). STC korekcija deluje na razdaljah od 20 do 230 km.

RAZISKAVE

Na osnovi podatkov iz akcij OPT v severovzhodni Sloveniji v letih od 1972 do 1980 smo naredili nekaj preprostih obdelav /4/, ki jih predstavljamo tudi tukaj.

Tabela 1 prikazuje porabo raket po mesecih in celotno porabo v letih od 1972 do 1980. Vidimo, da je v povprečju skoraj 90 % raket izstreljenih v osrednjih 3 mesecih sezone - juniju, juliju in avgustu; v povprečju poraba raket po mesecih narašča do julija, nato pa spet pada. Kot vidimo v zadnji koloni tabele 1, se skupna letna poraba raket od leta do leta precej spreminja; to je pogojeno z različno nevihtno aktivnostjo v posameznih letih.

Tabela 1 Poraba raket v letih od 1972 do 1980.
Table 1 Consumption of rockets in the years 1972 - 1980.

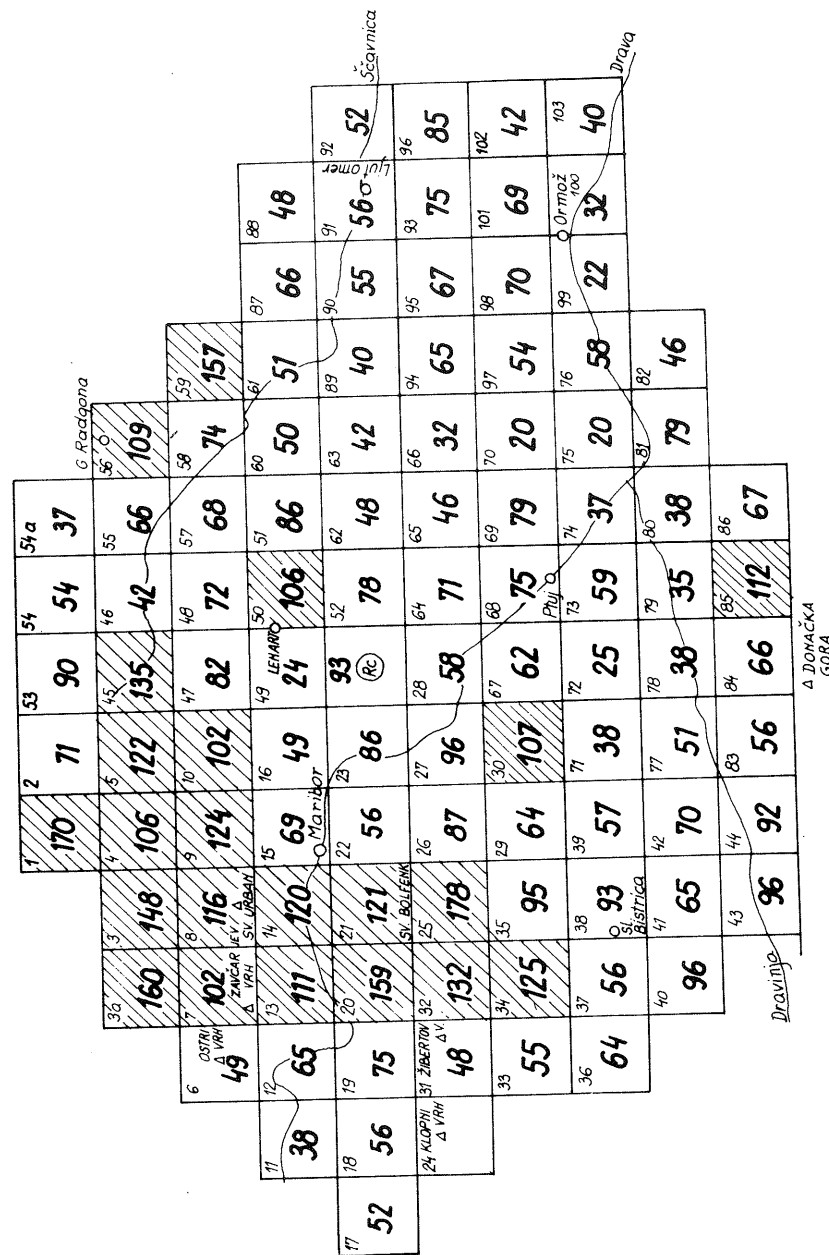
	MAJ	JUNIJ	JULIJ	AVGUST	SEPTEMBER	VSOTA
1972	107	213	212	245	-	777
1973	4	180	244	29	90	547
1974	281	111	123	97	-	612
1975	70	149	385	269	35	908
1976	38	62	118	106	36	360
1977	83	201	371	218	12	885
1978	82	291	312	248	14	947
1979	22	548	716	120	11	1417
1980	20	214	434	662	-	1330
VSOTA	707	1969	2915	1994	198	7783
povpr.	79	219	324	222	22	866

Na drugačen način je prikazana poraba raket na sliki 3, t.j. po posameznih strelnih mestih, prav tako skupaj za leta od 1972 do 1980. Zanimivost, ki jo s tem prikazom ugotovimo in smo jo tudi pričakovali, je velika poraba raket na strelnih mestih, ki so v severozahodnem in deloma zahodnem delu poligona. Vzrok za tako sliko je seveda razumljiv, saj pride večina neviht od severozahoda. Ob tem pa preseneča razmeroma malo porabljenih raket na skrajnem zahodnem delu poligona. Šrafirani kvadratki pomenijo strelna mesta, od koder je bilo v teh letih izstreljenih več kot 100 raket. Slika območij z največjo porabo raket je precej podobna tisti, ki prikazuje porabo v prvih treh letih obrambe /7/. Poudariti moram, da nekatera strelna mesta niso delovala ves čas trajanja obrambe in zato podatki niso popolnoma primerljivi med seboj (glej tabelo 2).

Tabela 2 Seznam strelnih mest, ki v posameznih letih niso delovala.
Table 2 List of launching sites not operating in particular years.

1972:	22, 24, 31, 49, 57, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 79, 80, 83, 84, 86, 90, 103
1973:	19, 22, 24, 49, 57, 62, 63, 65, 71, 72, 74, 103
1974:	24, 49, 103
1975:	16, 24, 39, 42, 49, 54a, 87, 103
1976:	24, 39, 42, 49, 55, 87, 103
1977:	10, 12, 16, 22, 24, 35, 39, 42, 43, 49, 55, 87, 103
1978:	24, 49, 74, 103
1979:	24
1980:	12, 24

Tabela 3 podaja število dni s točo po posameznih mesecih v letih od 1972 do 1980 ter ustrezne vsote in povprečja teh dni. Iz končne vsote lahko izračunamo, da pade toča nekje na branjenem območju v povprečju 20-krat na sezono oz. enkrat na teden. Nekoliko presenetljivo je veliko število primerov toče v maju, vendar gre to deloma na račun sodre ali babjega pšena, ker je v maju večkrat zrak še precej hladen in izoterma 0°C nizko nad tlemi.



Slika 3 Poraba raket po strelnih mestih (1972 - 1980).

Opomba: Strelna mesta, ki niso delovala v posameznih letih, so navedena v Tabeli 2.

Fig. 3 Consumption of rockets according to launching sites (1972 - 1980).

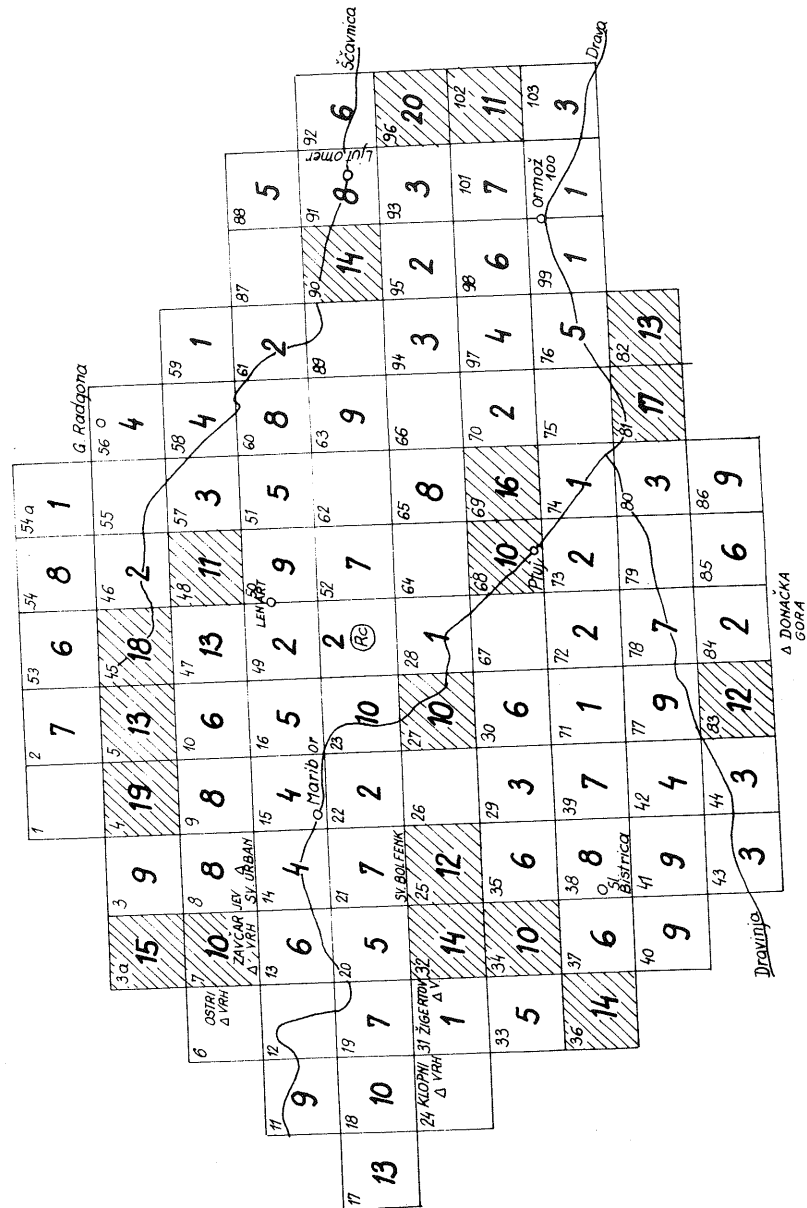
Note: Launching sites not operating in particular years are listed in Table 2.

Tabela 3 Porazdelitev dni s točo v letih od 1972 do 1980.
Table 3 Distribution of hail days in the years 1972 - 1980.

	MAJ	JUNIJ	JULIJ	AVGUST	SEPTEMBER	VSOTA
1972	11	11	7	4	1	34
1973	3	3	6	1	2	15
1974	3	7	2	5	1	18
1975	5	5	12	12	2	36
1976	3	3	2	3	1	12
1977	2	3	3	3	-	11
1978	6	8	6	3	1	24
1979	1	9	9	3	-	22
1980	1	3	7	3	-	14
VSOTA	35	52	54	37	8	186
povpr.	4	6	6	4	1	21

Enako kot skupna poraba raket na sliki 3 je na sliki 4 prikazano skupno število dni s točo po strelnih mestih (1972 - 1980). Ta porazdelitev se v splošnem ne ujema s porazdelitvijo porabe raket. Škafirani kvadrati pomenijo strelna mesta, kjer se je toča pojavila 10- ali večkrat. Kot vidimo, je bila največkrat zabeležena na strelnem mestu št. 96, t.j. na skrajnem vzhodnem robu branjenega območja. Zanimivo je, da na strelnem mestu št. 1, od koder je bilo izstreljenih skoraj največ raket (170, gl. sl. 4), ni bila v teh letih nobenkrat zabeležena toča. Ker pomenijo te številke le to, kolikokrat je kje padala toča, ne pa kako intenzivna je bila, si z njimi, žal, ne moremo nič pomagati pri ugotavljanju uspešnosti OPT.

Zelo pomembni pri ugotavljanju uspešnosti OPT so objektivni podatki o padanju toče. Idealno bi bilo, če bi lahko registrirali vsako zrno, ki pade do tal, kar seveda ni možno. Zato uporabljamo v ta namen mrežo točemerov, ki je temu idealu tem bližja, čim gostejša je. V zadnjem času prevladujejo mreže, kjer je oddaljenost med sosednjima točemeroma 2 km. Na Primorskem, ob meji z Italijo smo postavili 50 točemerov v mreži s stranico kvadrata 5 km, pred začetkom letošnje sezone OPT pa nameravamo razpostaviti 110 točemerov v osrednjem in vzhodnem delu Slovenije. Večina teh točemerov bo v SV Sloveniji, ki že ima obrambo, ter v osrednji Sloveniji, kjer obrambo pripravljamo, nekaj pa jih bo zunaj teh dveh območij, da bo možna primerjava med padanjem toče na branjenem in na nebranjenem področju. Na osnovi podatkov o toči, ki jih beležijo meteorološke postaje, namreč ni možno ugotavljati uspešnosti obrambe, ker so ti podatki preveč nepopolni (prikažejo le pojav toče, ne pa gostote in spektra zrn, kota, pod katerim zrna padajo, ipd.).



Slika 4 Porazdelitev skupnega števila dni s točo po strelnih mestih (1972 - 1980).
Opomba: Strelna mesta, ki niso delovala v posameznih letih, so navedena v Tabeli 2.

Fig. 4 Distribution of total number of hail days according to launching sites (1972 - 1980).
Note: Launching sites not operating in particular years are listed in Table 2.

ZAKLJUČEK

Namen pričujočega članka je seznaniti bralca s sedanjim stanjem OPT v Sloveniji. Kot smo videli, se opremljenost v tej dejavnosti izboljšuje, pri vodenju akcij upoštevamo nova dognanja in v načrtu je razširitev obrambe na nove kmetijske površine.

Žal nismo izrabili možnosti, da bi z dobro pripravljenim eksperimentom v 10 letih, ko je obramba še potekala na razmeroma majhni površini, ugotovili ali vsaj poskusili ugotoviti uspešnost naše obrambe. Ta naloga nas tako čaka v prihodnjih letih, ob tem, da je nismo že opravili, pa predvidevamo, da je zaradi boljše tehnične opremljenosti in upoštevanja novih dognanj zdaj večja verjetnost, da bo obramba bolj uspešna, kot je bila v prvih 10 letih.

LITERATURA

- 1/ ABŠAEV M.T., I.I. BURCEV, L.M. FEDČENKO: Sostojanje naučnyh i proizvodstvenyh rabot po probleme građa v SSSR, V.G.I., Nalčik, SSSR, 1982, 14 str.
- 2/ BROWNING K.A.: The Structure and Mechanisms of Hailstorms, Hail: A Review of Hail Science and Hail Suppression. American Meteorological Society, 16 (38), 1977, 1 - 39.
- 3/ CHANGNON, A.: On the Status of Hail Suppression. Bulletin American Meteorological Society, 58, (1), 1977, 20 - 28.
- 4/ DIVJAK M., A. KRANJC: Meteorološko poročilo o obrambi pred točo v severovzhodni Sloveniji za leto 1980. HMZ SRS, Ljubljana 1982, 39 str.
- 5/ OPRA A., in sod.: Statistična analiza i ocena ekonomskih efekata protivgradne zaštite na teritoriji Podrinjsko - Kolubarskog regiona. HMZ SR Srbije, Beograd 1980, 79 str.
- 6/ PRISTOV J.: Uporabnost labilnostnih faktorjev za prognozo neviht in toče v Sloveniji. Razprave - Papers XII, Ljubljana 1970, 39 - 53.
- 7/ PRISTOV J.: Poizkusna obramba pred točo v Sloveniji. Razprave - Papers XV, Ljubljana 1973, 27 - 38.
- 8/ TRONTELJ M.: Prognoza neviht nad Slovenijo s pomočjo empiričnih parametrov. Razprave - Papers XII, Ljubljana 1970, 29 - 38.
- 9/ WEISSBACHER B.: Gibanje nevihtnih področij in intenzivnost padavin, odvisnih od višinskih vetrov nad Slovenijo. Razprave - Papers XIII, Ljubljana 1971, 47 - 52.
- 10/ WEISSBACHER B.: Ocena vpliva srebrovega jodida na nevihtne oblake. Razprave - Papers XV, Ljubljana 1973, 15-26.