

METODE I REZULTATI OCJENE USPJEŠNOSTI DJELOVANJA SUSTAVA OBRANE OD TUČE

Methods and Assessment of Hail Suppression System Effectiveness

DAMIR POČAKAL

Državni hidrometeorološki zavod
Grič 3, 10000 Zagreb, Hrvatska
dhmz-rc@vz.htnet.hr

Primljeno 26. kolovoza 2003, u konačnom obliku 14. travnja 2004.

Sažetak: Umjetno djelovanje na vremenske procese radi sprečavanja i smanjivanja pojave tuče na tlu, povezano je s problemom ocjene rezultata djelovanja (složenost oluja, prostorna i vremenska varijabilnost tuče, klimatske promjene, onečišćenje zraka). U pojedinim zemljama provode se ili su se provodili znanstveno-istraživački eksperimenti radi procjene učinkovitosti sustava obrane od tuče. Prema objavljenim rezultatima svjetskih eksperimenata i analiza parametara vezanih za pojavu tuče i djelovanje sustava obrane u većini zemalja, pokazuje se da postoji signifikantni pozitivan učinak djelovanja tog sustava. Razlike u tim rezultatima odnose se na stupanj uspješnosti, koji se kreće od 19.7% pa čak do 80%, ovisno o tehnologiji, metodi i analiziranim parametrima. Postavljanjem poligona tučomjera na zapadnom dijelu branjenog područja Hrvatske u 2002. započelo je provođenje znanstveno-istraživačkog eksperimenta koji bi u sljedećim godinama mogao dati odgovor na stupanj uspješnosti sustava obrane od tuče kod nas.

Ključne riječi: poligon tučomjera, kinetička energija, učinkovitost, razina signifikantnosti

Abstract: The modification of weather phenomena to prevent or reduce the occurrence of hail on the ground is connected with the problem of assessing such modification results (complexity of thunderstorms, spatial and time variability of hail, climatic changes and air pollution). Many countries have conducted scientific experiments leading to the effectiveness of hail suppression systems. On the basis of published results from the scientific experiments and parameter analyses associated with the occurrence and activity of hail suppression systems in most countries it can be concluded that there is a positive significant effect resulting from hail suppression system operations. The differences in these results are connected only with the degree of positive influence, ranging from 19.7% up to 80%, depending on the technology, methods and analysed parameters. Placing a hailpad polygon in the protected area of Croatia in 2002 was the start of a scientific experiment, which could give an answer on the degree of hail suppression effectiveness in the next years.

Key words: hailpad polygon, kinetic energy, effectiveness and level of significance

1. UVOD

Kvantitativni i kvalitativni opis meteoroloških pojava od osnovnog je značenja za meteorološka istraživanja. Iako se sustavna meteorološka motrenja za pojedine meteorološke elemente, kao što su temperatura zraka, smjer i brzina vjetra, tlak zraka, itd., kod nas obavljaju već od sredine 19. stoljeća, način mjerenja i bilježenja karakteristika zrna tuče počelo je tek prije nekoliko godina.

Mjerenje pojave zrna tuče na tlu, zbog vremenskih i prostornih varijacija, te kratkog trajanja, vrlo je složeno. Za objektivnu registraciju, odnosno za dobivanje preciznih podataka o karakteristikama zrna tuče na tlu, razvijeno je nekoliko vrsta mjernih instrumenata. Jedan od jednostavnih mjernih instrumenata jest tučomjer, koji je u praksi dao vrlo dobre rezultate. Osnovni parametar koji se može odrediti pomoću tučomjera jest kinetička energija udara

zrna tuče na tlu. Ta karakteristika zrna tuče vrlo je važan parametar koji je izravno povezan sa štetom na biljnim kulturama.

Umjetno djelovanje na vremenske procese radi sprečavanja i smanjivanja pojave tuče na tlu povezano je s problemom ocjene rezultata djelovanja (složenost oluja, prostorna i vremenska varijabilnost tuče, klimatske promjene, onečišćenje zraka). U pojedinim zemljama provode se ili su se provodili znanstveni eksperimenti vezani za ocjenu učinkovitosti sustava obrane od tuče, tj. umjetnog djelovanja na smanjenju šteta od tuče, koji će ukratko biti prikazani u ovom radu.

2. METODE OCJENE UČINKOVITOSTI OBRANE OD TUČE

Operativni programi obrane od tuče provode se u većini zemalja širom svijeta koje se nalaze u klimatskim područjima gdje je tuča učestala pojava (pojas oko paralele 45°: Argentina, Austrija, Bugarska, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Kanada, Kina, Francuska, Njemačka, Mađarska, Grčka, Rusija, Španjolska, SAD, Makedonija, Moldavija, Uzbekistan, Tadžikistan, Tajvan, Ukrajina, Srbija, Slovenija i Švicarska), i gdje ona nanosi velike štete poljoprivredi, pokretnoj i nepokretnoj imovini. Da tuča ne nanosi samo velike štete poljoprivredi, nego može prouzročiti i u urbanim sredinama katastrofalne štete, može se vidjeti na primjerima: – u Münchenu je 1984. šteta od tuče bila milijardu i pol maraka, a 1999. u Sydneyu milijardu i pol australskih dolara.

Obrana od tuče provodi se pomoću raketa, zrakoplova, prizemnih generatora i topova koji u tučepasne oblake unose meteorološki reagens na osnovi srebrnog jodida, zbog stvaranja konkurentnih nukleanata prirodnim jezgrama tuče. U nekim je zemljama uz operativno provođenje organizirano i istraživanje djelotvornosti sustava obrane od tuče motrenjem i analizom pojava tuče i štete i na kontrolnim područjima.

Za dobivanje podataka na osnovi kojih se može dobiti znanstvena ocjena, potrebno je provesti dobro planiran i kontroliran eksperiment (Flueck i Mielke, 1977 i WMO, 1995). Plan za takav projekt treba sadržati sljedeće komponente: radni model, definiranje varijabli, djelovanje projekta, obrada podataka, analiza podataka i interpretacija rezultata.

2.1. Radni model

Radni model treba biti razvijen prije eksperimentalnog razdoblja. Prethodne klimatološke i ostale studije trebaju osigurati očekivano djelovanje tako da ono bude ostvareno u praksi za vrijeme eksperimenta. Da bi primjena radnih modela bila bolja, trebaju se transformirati u *statističke modele* za procjenu. Modeli mogu biti jednostavni kao procjena odstupanja u položaju i veličini poligona na branjenom području (*target*) i kontrolnom području (*control*), te za karakteristične parametre: kinetička energija tuče, šteta na biljnim kulturama, količina oborine, srednji broj dana s tučom i nevremenom (grmljavinom).

2.2. Varijable

Varijable su vrijednosti mjenjenih i opaženih parametara projekta, a mogu se svrstati u dvije grupe:

– varijable *odgovora* jesu vrijednosti parametara u projektu koji se očekuje kao odgovor na djelovanje. U prijašnjim eksperimentima umjetnog djelovanja na vrijeme radi sprečavanja i/ili smanjenja tuče varijable *odgovora* bile su: šteta na biljnim kulturama, prisutnost–odsutnost tuče, kinetička energija zrna tuče, volumen i masa zrna tuče, omjer tuča/kiša, radarska reflektivnost itd. Za određivanje tih varijabli postoji nekoliko različitih mjernih tehnika kooperativnih promatrača: osiguravajuća društva, radarski odraz, obilazak i pregled terena, tučomjeri, prostorna fotografija, infracrvena radiometrija, mjerilo za procjenu promjera zrna. U jednom definiranom projektu ne mogu se sve varijable uzeti podjednako precizno, stoga se 1 do 2 varijable razmatraju primarno, a ostale sekundarno.

– *pomoćne* ili *predvidljive* varijable jesu izmjenjene vrijednosti parametara koji utječu na stvaranje i procjenu učinka djelovanja. Neke od tih varijabli koriste se prije djelovanja na odabranom eksperimentalnom poligonu (vertikalna brzina vjetrova, relativna vlažnost zraka, temperatura zraka, tlak zraka, koncentracija leda u oblaku, oborina prije djelovanja i sl.).

2.3. Djelovanje projekta

Ova komponenta govori: *na što treba djelovati, gdje, kada, kako, koliko i koliko često*. Dan se često uzima kao eksperimentalna jedinica: dan s nevremenom, dan s tučom. Tako definirane

jedinice u praksi imaju dosta prednosti. Drugo pitanje vezano je za jedinicu (poligon) djelovanja kada treba koristiti odabir. Odabir znači da će samo određeno definiran dan biti određen za *operacijski dan*, npr. tučonosni oblak kumulonimbus Cb nad poligonom ili u blizini poligona. Određivanje fizičkih karakteristika, dimenzija i broja poligona ovisi o vrsti eksperimenta. U dosadašnjim eksperimentima korišteni su jedan ili dva poligona, te randomizirani (nasumični odabir dana kad će se provoditi zasijavanje ili kada se ono neće provoditi) ili nerandomizirani način djelovanja. Prema mišljenju Svjetske meteorološke organizacije (WMO, 1999) najjeftinija metoda ocjene uspješnosti djelovanja jest provođenje eksperimenta na oglednom (branjenom) i kontrolnom području.

2.4. Eksploratorni i konfirmatorni eksperimenti

Najveći dio eksperimenata provedenih u istraživanju atmosfere bio je *eksploratorne* prirode (exploratory), a *konfirmatorni* eksperimenti (confirmatory) provode se rijetko. Iznimka je područje umjetnog utjecaja na vrijeme, gdje su provedeni neki konfirmatorni eksperimenti (Grossversuch IV i GNHSP).

Konfirmatorni eksperimenti jesu eksperimenti koji ponavljaju prijašnje (eksploratorne) eksperimente, koji polaze od određenih očitovanja o radnoj hipotezi, testu, mjerenjima i načinu analize, te očekivanom rezultatu. Takvi su eksperimenti posebno važni onda kada dobiveni rezultati eksploratornog eksperimenta daju samo graničnu statističku podršku za hipotezu dobivenu analizom podataka. Konfirmatorni eksperiment obično testira jednu hipotezu (npr. da zasijavanje oblaka smanjuje kinetičku energiju zrna tuče) nasuprot nulhipoteze (npr. da nema smanjivanja kinetičke energije zasijavanjem oblaka) u uvjetima provedbe svih specificiranih parametara eksperimenta.

3. REZULTATI OCJENE DJELOVANJA OBRANE OD TUČE

Tijekom proteklih trideset godina napravljeno je nekoliko većih eksperimenata u području istraživanja mogućnosti i učinkovitosti djelovanja obrane od tuče. Takvi su eksperimenti višegodišnji i zahtijevaju velik broj znanstvenika i stručnjaka te mnogo najrazličitije opreme.

Oni mogu biti fizikalni (mjerenje i promatranje određenih procesa), statistički (provjera metode zasijavanja), te fizički i statistički istovremeno. U ovom će se radu ukratko prikazati pregled najvažnijih projekata ocjene djelovanja obrane od tuče u svijetu i ocjena uspješnosti djelovanja pomoću raznih statističkih metoda.

3.1. Projekt NHRE u Sjedinjenim Američkim Državama

Eksperiment *National Hail Research Experiment* (NHRE) trajao je pet godina u razdoblju 1972–1976. (Foote i Knight, 1979). Tijekom prve tri godine eksperiment se sastojao od zasijavanja Cb pomoću zrakoplova slučajnim odabirom prema sovjetskoj metodi. Eksperiment je prekinut nakon tri godine zbog novih saznanja da metoda zasijavanja nije odgovarajuća za nevremena u Koloradu, kao i zbog saznanja da zasijavanje u jaku ulaznu struju ne može dati odgovarajuće rezultate. Kontrolna varijabla za statističku analizu bila je masa tuče. Statistička analiza zasijavanja pokazala je da na razini signifikantnosti 0.1 nema utjecaja zasijavanja na kontrolnu varijablu (Crow i dr., 1979).

3.2. Projekt Grossversuch IV u Švicarskoj

Međunarodni randomizirani eksperiment Grossversuch IV provodio se u razdoblju 1976–1983. u središnjoj Švicarskoj. Testirala se je sovjetska hipoteza da zasijavanje potencijalnih tučonosnih oblaka srebrnim jodidom utječe na smanjenje kinetičke energije. Cilj je bio da se dobije dovoljno velik niz podataka za signifikantnu potvrdu učinkovitosti obrane od tuče od 60% i više. Prije samog eksperimenta izrađen je eksploratorni dio pa se sam eksperiment može smatrati konfirmatornim. Na poligonu površine oko 1300 km² postavljeno je 335 tučomjera. Svako jutro u 9 sati, za vrijeme trajanja sezone obrane od tuče, radila se prognoza pojave tuče za područje poligona. Ako je prognoza za taj dan davala za pojavu nevremena vjerojatnost veću od 30%, dan je proglašen za *operativni dan* i nasumičnim odabirom određena je mogućnost zasijavanja. Zasijavanje je provedeno lansiranjem jedne rakete (ruske rakete) svakih 5 minuta, tako dugo dok su bili zadovoljeni kriteriji tučoopasnosti. Ukupna kinetička energija uzeta je kao primarna varijabla, te je mjerena radarom i tučomjerima.

Uz kinetičku energiju mjereni su i ostali parametri zrna tuče, radarska refleksivnost, te štete na biljnim kulturama i tučena površina. Statističkom analizom nije ustanovljen značajan utjecaj zasijavanja na kontrolnu varijablu.

3.3. Projekt GNHSP u Grčkoj

Od 1981. grčka vlada financira preko Državnog osiguravajućeg instituta (*National Insurance Institute*) projekt *Greek National Hail Suppression Program* (GNHSP) zasijavanja pomoću zrakoplova na tri područja. U razdoblju 1984–1988. proveden je randomizirani eksperiment *cros-over*. Planiran je kao operativni i istraživački eksperiment zasijavanja oblaka s ciljem smanjivanja šteta od tuče. Prve tri godine proveden je eksploratorni, a zadnje dvije godine konfirmatorni dio eksperimenta. Na poligonu veličine 2350 km² postavljeno je 130 tučomjera sa prosječnim razmakom od 4.5 km (po jedan tučomjer na približno 16 km²). Poligon je podijeljen na dva dijela (sjeverni i južni) i unutar svakog postavljen je manji gušći poligon (po jedan tučomjer s razmakom od 1.5 km). Između ta dva dijela nije bilo nikakvog razmaka. Pojavom tučoopasnih oblaka iznad poligona ili u dometu od 20 minuta do poligona s refleksivnošću većom od 35 dBz, nasumičnim odabirom odredilo se je na kojoj polovici poligona će se provoditi zasijavanje. U tom razdoblju sakupljeno je 196 ploča tučomjera u 37 dana. Primjenjen je Wilcoxonov dvoparametarski test na 10 karakterističnih parametara s branjenog i kontrolnog područja (Sackiw, 1991; Rudolf i dr., 1989). Svi parametri pokazuju smanjenje dobiveno zasijavanjem u rasponu od 19–85%. Primarni parametar ukupna kinetička energija djelovanjem zasijavanja pokazuje smanjenje od 74% uz pridruženu razinu značajnosti od 0.003. Svi parametri osiguranja od tuče (iznos isplate, oštećena površina i broj sela s zahtjevom za odštetu) pokazuju pozitivni učinak zasijavanja. Rezultati djelovanja pokazuju 18% sela manje zahtjeva odštete i 47% manje isplaćene odštete. Na osnovi tih pozitivnih rezultata dobivenih eksperimentom, u Grčkoj se prešlo s eksperimentalne na praktičnu provedbu obrane od tuče na tim područjima.

3.4. Ocjena uspješnosti djelovanja obrane od tuče pomoću raznih statističkih metoda

Prema preporukama Svjetske meteorološke organizacije (WMO, 1986) i radu Radinovića (1988) ocjena uspješnosti djelovanja obrane od tuče trebala bi se obaviti po ovoj metodologiji:

- među oblacima, koji su postigli kriterij tučoopasnosti, slučajnim odabirom se određuju oni na koje će se djelovati,
- mjeriti parametre vezane za pojavu tuče na tlu; prije svega kinetičku energiju udara zrna tuče, koja se u stručnim krugovima smatra najreprezentivniji parametar za ocjenu učinkovitosti djelovanja na tučonosne oblake ili intenzitet radarskog odraza tučonosne ćelije,
- statistički usporediti te parametre, s dovoljnim brojem slučajeva kada se djelovalo s onima kada se nije djelovalo.

Dosad su se u praksi za ocjenu učinkovitosti obrane od tuče najčešće primjenjivali ovi podaci vezani za pojavu tuče na tlu:

- veličina tučene površine, postotak oštećenja poljoprivrednih kultura i ukupni iznosi šteta
- spektar veličina, broj i kinetička energija zrna tuče
- broj dana s grmljavinom i tučom s meteoroloških i lansirnih postaja.

Usporedbe tih parametara odnose se na branjeno i nebranjeno područje. Ako to nije moguće, uspoređuju se podaci s jednog područja u dva različita razdoblja prije uvođenja obrane od tuče s onim za vrijeme provođenja. U daljnjem tekstu prikazani su rezultati koji su dobiveni u pojedinim zemljama zajedno s kratkim opisom operativnog provođenja sustava obrane od tuče.

Sjedinjene Američke Države

Prema izvještaju Udruženja za modifikaciju vremena (*Weather Modification Association*, 1994) na području zapadnoga Kanzasusa uspoređeni su podaci sa zaštićenog područja (šest pokrajina) i nezaštićenog područja (osam pokrajina). Rezultati pokazuju 27% smanjenja šteta od tuče, što ako se odbije cijena projekta daje uštedu oko četiri milijuna dolara. Isti izvještaj navodi da je u Sjevernoj Dakoti na osnovi povijesnih podataka dobiveno smanjenje šteta od 45% do 50% za dva branjena područja površine 6 209 km² i 23 278 km². Chagnon (1977) piše za isto područje da na temelju podataka o štetama učinkovitost obrane iznosi 60% sa statističkom pouzdanošću od 92%.

Austrija

Austrija provodi obranu od tuče na tri područja (Krems, Weiz i Radkesburg) ukupne površine 3 000 km² na kojima su postavljeni tučomjeri (jedan tučomjer na svakih 4 km²). U početku se obrana provodila prizemnim generatorima, ali se zadnjih 10 godina prešlo na zasijavanje zrakoplovima. Usporedba podataka dobivenih tučomjerom na području Weiza koje je proveo Svabik (2003) za razdoblje 1982–1991. (generatorska obrana) s razdobljem 1992–2001. (zasijavanje sa zrakoplovima) pokazuje smanjenje tučene površine za 58% i smanjenje broja dana s tučom od 20% u drugom razdoblju. Isti autor (2001) pokazao je da je za područje Kremsa smanjenje tučene površine za 46% i smanjenje kinetičke energije zrna tuče za 38%, kada se provodilo zasijavanje zrakoplovima (1991–2000) u odnosu na generatorsku obranu (1981–1990).

Francuska

Obrana od tuče provodi se na pet područja u jugozapadnom dijelu Francuske od 1952. na površini od 60 000 km². Za zasijavanje tučonosnih oblaka upotrebljavaju se prizemni generatori, rakete i zrakoplovi. Za ocjenu uspješnosti obrane od tuče (Dessens, 1993) uspoređeni su podaci o premijama osiguravajućih društva za godine kada se nije zasijavalo s onima kada su djelovali generatori. Primjenom statističkog bivarijantnog testa (štete/premije) dobiva se smanjenje od 42% na razini signifikantnosti 0.01 za vrijeme djelovanja prizemnih generatora.

Rusija

Program obrane od tuče u Rusiji u cijelosti financira država, a provodi se od 1962. na površini od 20 000 km² pomoću raketa, a na jednom području zrakoplova, s reagensom na bazi srebrnog jodida. Abshaev (1994) piše da se učinkovitost zaštite od tuče povećala s napretkom tehnologije i opreme od 40% u 1967. do 85–90% u razdoblju 1984–1991.

Kina

Od 1960. u Kini se provodi obrana od tuče raketama i topovima koji koriste pirotehničku smjesu srebrnog jodida. Prema zadnjim podacima (WMO, 1999) obrana se provodi u deset pokrajina na ukupnoj površini od 947 300 km². Program u potpunosti financira država preko

meteoroloških i poljoprivrednih organizacija. Fengsheng (1994) na osnovi povijesnih podataka i primijenjujući statističke metode za 11-godišnje razdoblje prije uvođenja obrane od tuče i 4-godišnje razdoblje za vrijeme obrane pokazuje da se tučena površina smanjila za oko 100 700 ha kao i gubici u proizvodnji pamuka i žita za oko 20.14 milijuna dolara u razdoblju obrane od tuče. To ukazuje na gospodarsku isplativost 1:24. U radu Ziyi (1994) iznosi da se je prema statističkim rezultatima od 1987–1989. prosječna tučena površina na branjenom području smanjila za 59% u usporedbi sa susjednim nebranim područjem.

Bugarska

U Bugarskoj se obrana od tuče provodi od 1969. na površini od 15 000 km² s zasijavanjem raketa koje nose meteorološki reagens srebrni jodid. Postavljena je mreža tučomjera, a financiranje je iz državnog proračuna i poljoprivrednih organizacija. Simeonov je (1999) statističkim pristupom nakon primjene kvalitetnijeg reagensa, dobio rezultat od 71% za ukupno smanjenje tučene površine.

Argentina

Obrana od tuče u Argentini se provodi od 1985. u pokrajini Mendoza, koja je jedno od najtučonosnijih područja na svijetu. Površina od 39 000 km² prvo se branila od tuče raketama, a kasnije zrakoplovima s piropatronama na bazi srebrnog jodida. Obranu u potpunosti financira ministarstvo financija pokrajinske vlade. U svom radu Abshaev (1999) pokazuje prosječno smanjenje šteta od tuče 76% za vrijeme branjenog razdoblja u odnosu na nebranjeno. Ističe da je u zadnje tri sezone smanjenje iznosilo i do 88%. Rezultati su statistički signifikantni na razini 0.05, a pokazuju gospodarsku isplativost od 1:11.

Mađarska

Obrana od tuče u Mađarskoj provodi se prizemnim generatorima na površini od 8 350 km². Učinkovitost obrane od tuče procijenjena je usporedbom šteta prije i poslije uvođenja obrane. Rezultati istraživanja pokazali su smanjenje štete u razdoblju obrane od 50 do 55% uz statističku pouzdanost od 90% (Marko, 1985).

Moldavija

U Moldaviji branjeno područje iznosi 21 250 km², a za obranu se koriste rakete. Analiza povijesnih podataka daje smanjenje šteta od tuče za približno 86% za razdoblje 1967–1998. (WMO, 1998).

Njemačka

U Njemačkoj se provodi obrana od tuče zrakoplovima na dva područja (Rosenheim i Stuttgart) ukupne površine oko 6 500 km². Za područje Stuttgarta, na osnovi povijesnih podataka i podataka s tučomjera odnos uloženi sredstava i dobiti iznosi od 1:3.8 do 1:33.3, ovisno o kulturi, a smanjenje šteta od tuče iznosi 41% (WMO, 1998).

Srbija

Od 1969. u Srbiji se provodi obrana od tuče pomoću raketa na površini oko 41 884 km². Ocjena učinkovitosti za razdoblje 1971–1987, na osnovi usporedbe veličine površine oštećene tučom na branjenom i nebranjenom području, pokazuje 58% smanjenje tučene površine na branjenom području. Statistička analiza čestina broja dana s tučom na meteorološkim postajama u razdoblju 1949–1985. pokazuje smanjenje broja dana s tučom nakon uvođenja obrane od tuče za 22% (Radinović, 1988).

Španjolska

Španjolska provodi obranu od tuče prizemnim generatorima u pokrajinama Alava, La Rioja i Navarra s ukupnom branjenom površinom od 10 000 km². Rezultati istraživanja učinkovitosti obrane od tuče na tom području pokazuju smanjenje šteta od 20% na osnovi povijesnih podataka (WMO, 1997). Na osnovi eksperimenta obrane od tuče u razdoblju 1978–1982, u kojem je zasijavanje provedeno zrakoplovom, ustanovljeno je smanjenje štete od preko 60% uz statističku pouzdanost od 99% (Davila, 1985).

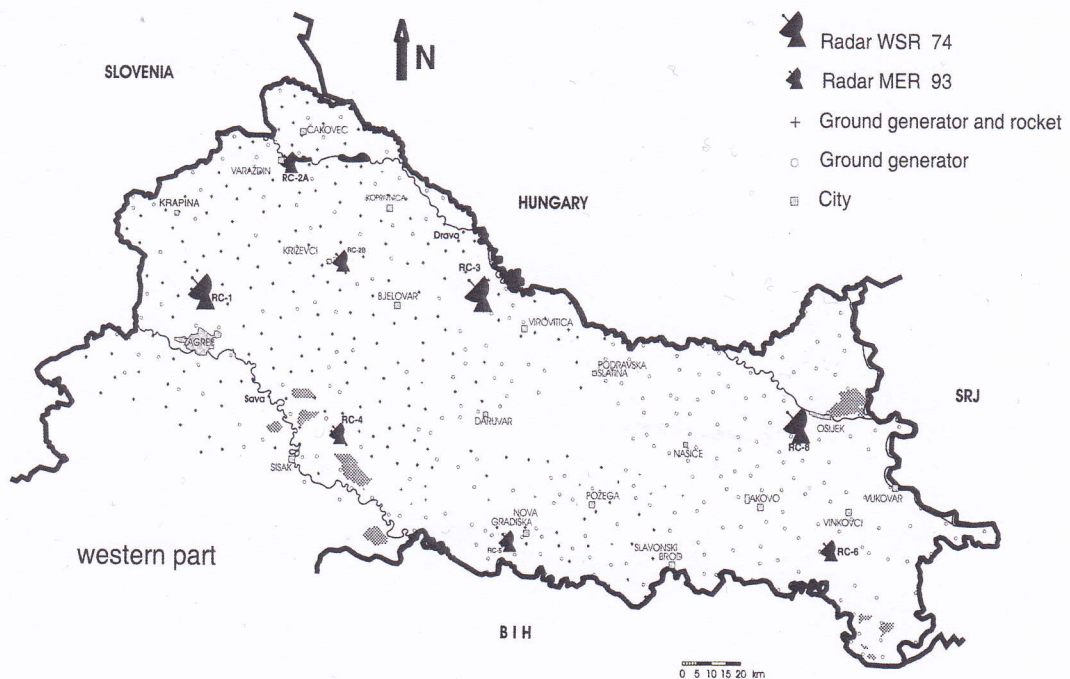
Uzbekistan

U istočnom području Uzbekistana od tuče se pomoću raketa brani ukupna površina 7 380 km², a statističke analize povijesnih i radarskih podataka pokazuju smanjenje štete od 94% (WMO, 1998).

4. REZULTATI UČINKOVITOSTI OBRANE OD TUČE U HRVATSKOJ

4.1. Kratki pregled razvoja obrane od tuče

Obrana od tuče u Hrvatskoj se sada provodi na području međuriječja Save, Drave, Mure i međurječja Save i Kupe, a nisu ponovno uključena područja hrvatskog Podunavlja i Baranje



Slika 1. Karta generatorskih i lansirnih postaja radarskih centara sustava obrane od tuče u Hrvatskoj

Figure 1. Map of the ground burners and launching stations of the hail suppression system radar centre in Croatia

kao što je bilo prije Domovinskog rata. Na branjenom području površine 24 100 km² rade 492 lansirne postaje (274 postaja s prizemnim generatorima i 218 postaja s generatorima i raketama) kojima se upravlja iz osam radarskih centara. Program kombinirane obrane od tuče, generatorima i raketama, provoden je u zapadnom dijelu Hrvatske, a samo prizemnim generatorima, u istočnom dijelu (sl. 1).

U organizaciji poljoprivredne službe Križevci 1956. prvi se put uspostavila obrana od tuče s raketama malog dometa, kao sredstvom za unos jezgri kristalizacije u oblak. Godine 1965. Republički hidrometeorološki zavod uključuje se u obranu od tuče, prikupljanjem novih stručnih saznanja, te prijedlogom unapređenja obrane od tuče uvođenjem radara, tj radarski dirigitirane obrane od tuče. Između 1970. i 1975. uvođenjem radara tipa 3MK7 osnivaju se radarski centri na branjenom području. Početkom 80-ih godina dolazi do sljedeće faze unapređenja sustava obrane od tuče, jer se za voditelje radarskih centara postavljaju stručnjaci meteorolozi. Iako je meteorolozima u Odjelu obrane od tuče primarni zadatak bio organiziranje i provođenje praktične obrane od tuče, oni se usporedno bave i stručnim ocjenama i analizama parametara vezanima za djelovanje sustava obrane na sprečavanju i smanjenju tuče i štete. Sa stručnim radovima kao rezultatom takva rada meteorolozi sudjeluju na raznim međunarodnim konferencijama i simpozijima, a u razdoblju 1985–2003. objavili su četrdesetak radova u zbornicima radova sa sljedećih znanstvenih skupova:

- 1985. – Prvo jugoslavensko savjetovanje o protugradnoj zaštiti i drugim vidovima umjetnog utjecaja na vrijeme, Tara,
- 1987. – 2nd International symposium on hail suppression, on behalf of the working community Alps-Adriatic, Ljubljana,
- 1988. – 13. jugoslavenski simpozij o mjerenjima i mjerenoj opremi, Split,
- 1991. – Druga jugoslavenska konferencija o umjetnom utjecaju na vrijeme, Mavrovo,
- 1993. – Hail and consequences, International Symposium, Krems, Austrija,
- 1994. – 6th WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italija,
- 1998. – 2nd European Conference on Applied Climatology, Beč, Austrija,
- 1999. – 7th WMO Scientific Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Tajland,

- 2000. – 8th International symposium on natural and technological hazards, Tokushima, Japan,
- 2000. – 3th European Conference on Applied Climatology, Pisa, Italija,
- 2002. – European Conference on Severe Storms, Prag, Češka,
- 2003. – 8th WMO Scientific Conference on Weather Modification, Cassablanca, Maroko.

Ovdje će se istaknuti neki prijašnji radovi koji analiziraju djelovanje sustava obrane od tuče u Hrvatskoj. Gelo i dr. (1994) prikazali su smanjenje broja dana s tučom od 35.4%, kao posljedicu djelovanja sustava obrane od tuče, a Gajić (1993) pokazuje trend blagog opadanja tučonosne aktivnosti na četiri meteorološke postaje u sjevernoj Hrvatskoj. U radu Matvijska i dr. (1994) analizira se odnos reagensa ubačenog u oblak i pojave tuče na tlu. Pokazano je da padom koncentracije reagensa ili prekidom zasijavanja dužim od 5 minuta dolazi nakon 10–16 minuta do pojave ili pojačanja tuče na tlu. Analiza promjera zrna tuče koja je pala kao posljedica zabrane kontrole leta (OKL) s onima bez zabrane, pokazuje se da je postotak zrna veličine 15–50 mm daleko veći u slučaju kad sustav obrane od tuče nije mogao djelovati (Počakal, 1991).

4.2. Projekt o ocjeni učinkovitosti i isplativosti obrane od tuče na osnovi povijesnih podataka

Početkom 2001. hrvatska vlada je zadužila Državni hidrometeorološki zavod da izradi u suradnji s Ministarstvom znanosti i tehnologije izvještaj o ocjeni učinkovitosti i isplativosti obrane od tuče u Hrvatskoj i započne s petogodišnjim znanstveno-istraživačkim eksperimentom utvrđivanja učinkovitosti obrane od tuče. U okviru tog projekta izrađeno je *Izvješće o istraživanju efikasnosti obrane od tuče u Hrvatskoj do 2000. godine*, koje je podijeljeno na više potprojekata, ovisno o izvoru podataka koji su se primjenjivali u analizi.

Voditelj projekta Kovačić piše: ... *Rezultati dobiveni tijekom istraživanja u sklopu tog projekta ukazuju na mogućnost postojanja željenog utjecaja obrane od tuče, tj. smanjenje broja pojava tuče na tlu. Zbog toga se temeljem dosada dobivenih rezultata ne može govoriti o neučinkovitosti obrane od tuče ili njenim negativnim efektima...*

Primjena višedimenzionalne regresije na broj dana s tučom za meteorološke postaje na za-

padnom branjenom dijelu Hrvatske pokazala je signifikantno smanjenje broja dana s tučom od 19.7% (Kovačić, 2003).

Analizirani su i podaci o padanju tuče na lansirnim postajama s istog područja za dva razdoblja različitog intenziteta provođenja obrane od tuče (Počakal, 2003). U prvom razdoblju, 1981–1990, sustav obrane od tuče nesmetano je djelovao uz punu primjenu tehnologije, a u drugom razdoblju, 1991–2000, nije mogao djelovati ili je djelovao u smanjenom obliku. Analiza podataka broja lansirnih postaja i broja slučajeva zabrane lansiranja raketa Hrvatske kontrole zračne plovidbe, te broja slučajeva s tučom, štetom i velikom štetom, kao i njihov broj dana u sezoni obrane od tuče, primjenom linearne diskriminacijske analize pokazuje da više lansirnih postaja znači manji broj dana s tučom i manje štete, odnosno veći broj zabrana lansiranja raketa povlači veće štete i veći broj dana s tučom.

4.3. Znanstveno-istraživački eksperiment djelovanja obrane od tuče

Postoje nekoliko vrsta metoda koje se mogu primijeniti u eksperimentu djelovanja obrane od tuče ovisno o uvjetima pod kojima se provodi, a operativno se kod nas mogu primijeniti tri vrste eksperimenta.

Eksperiment s jednim poligonom u dva razdoblja

U prvom razdoblju u trajanju od 2–4 godine provodi se kontinuirano zasijavanje (sustav obrane od tuče djeluje na cijelom području), a nakon toga u istom trajanju ne provodi se zasijavanje.

Eksperiment s dva poligona

Uz već postojeći poligon na branjenom području, treba postaviti još jedan kontrolni poligon na nebranjenom području istih ili sličnih klimatskih karakteristika. Prednost takva tipa eksperimenta jest da se na branjenom području može nesmetano provoditi obrana od tuče. Kod realizacije takva projekta postoji određena mogućnost suradnje sa Slovenijom, koja nema obranu od tuče (osim na području Maribora), a na čijem bi se području postavio kontrolni poligon južno od Celja i Rogaške Slatine. Iako je slovenska strana 2001. donijela načelnu odluku o postavljanju poligona, do danas nije došlo do ostvarenja toga plana.

Eksperiment s jednim poligonom

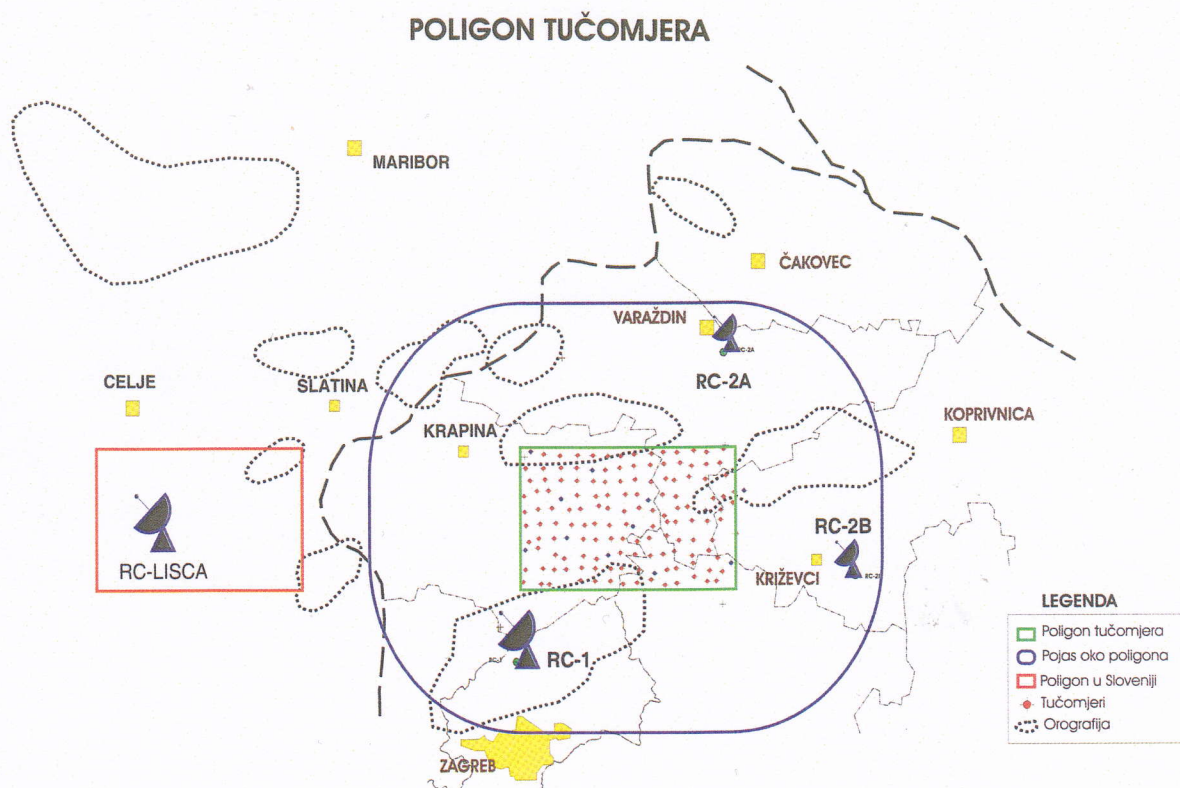
Na poligonu se vrši nasumični odabir dana kad će se provoditi zasijavanje ili kada se to neće provoditi — randomizacija. Tako proveden eksperiment na poligonu u Hrvatskom zagorju, praktički znači da se u 50% slučajeva tučoopasnosti na poligonu i području oko poligona ne bi mogla provoditi obrana od tuče.

Znanstveno-istraživački eksperiment djelovanja obrane od tuče u Hrvatskoj vremenski je planiran u ograničenom razdoblju od pet godina uz uvažavanje svih zahtjeva meteorološke struke, usporedno s operativnim radom obrane od tuče u zapadnom dijelu Hrvatske i postojećih objektivnih činjenica (odluka Vlade Republike Hrvatske početkom 2001.). Uvažavajući potrebne parametre određeno je područje, dimenzije i orijentacija poligona tučomjera. Poligon dimenzija 30x20 km (smjer duže osi jest zapad–istok) smješten je na području Hrvatskog zagorja, tj. između Ivančice, Medvednice, Kalnika i oko 25 km od slovenske granice. Potrebno je još naglasiti da prije početka tog projekta iz objektivnih razloga nije bilo moguće provesti eksploratorni dio eksperimenta. Stoga je prvo potrebno provesti taj dio eksperimenta u trajanju 2–3 godine, a nakon toga konfirmatorni dio.

Praktično provođenje eksperimenta počelo je još postavljanjem tučomjera 2001. na sve lansirne postaje, a sljedeće godine početkom sezone obrane od tuče uspostavljen je i spomenuti poligon od 150 tučomjera s međusobnim razmakom od 2 km odnosno jedan tučomjer na 4 km² (sl. 2). Ukupno je na branjenom području (lansirne i generatorske postaje i poligon) bilo postavljeno 630 tučomjera tijekom 2002.

Zasad nije postavljen kontrolni poligon, niti se provodi randomizacija na području poligona, te se podaci dobiveni s tučomjera analiziraju i pohranjuju u bazu podataka.

Tučomjer se sastoji od stalka i horizontalno postavljene ploče (25x25x2 cm) od mekog materijala na kojoj nakon padanja tuče i sugradice ostaju tragovi. Princip mjerenja osniva se na mjerenju dimenzija traga koju zrno tuče udarom ostavi na ploči. Na osnovi veličine otiska traga određuje se stvarna veličina zrna, te ukupni broj zrna koje je palo na ploču iz kojih se onda izračunava njihova ukupna masa i kinetička energija na jedinicu površine. Da bi se ti podaci mogli odrediti, potrebno je izvršiti baždarenje ploče tučomjera (Počakal, 1988).



Slika 2. Poligon tučomjera u zapadnom dijelu branjenog područja Hrvatske

Figure 2. The hailpad polygon in the western part of the hail-protected territory of Croatia

4.4. Preliminarni rezultati o karakteristikama tuče izmjerene pomoću tučomjera

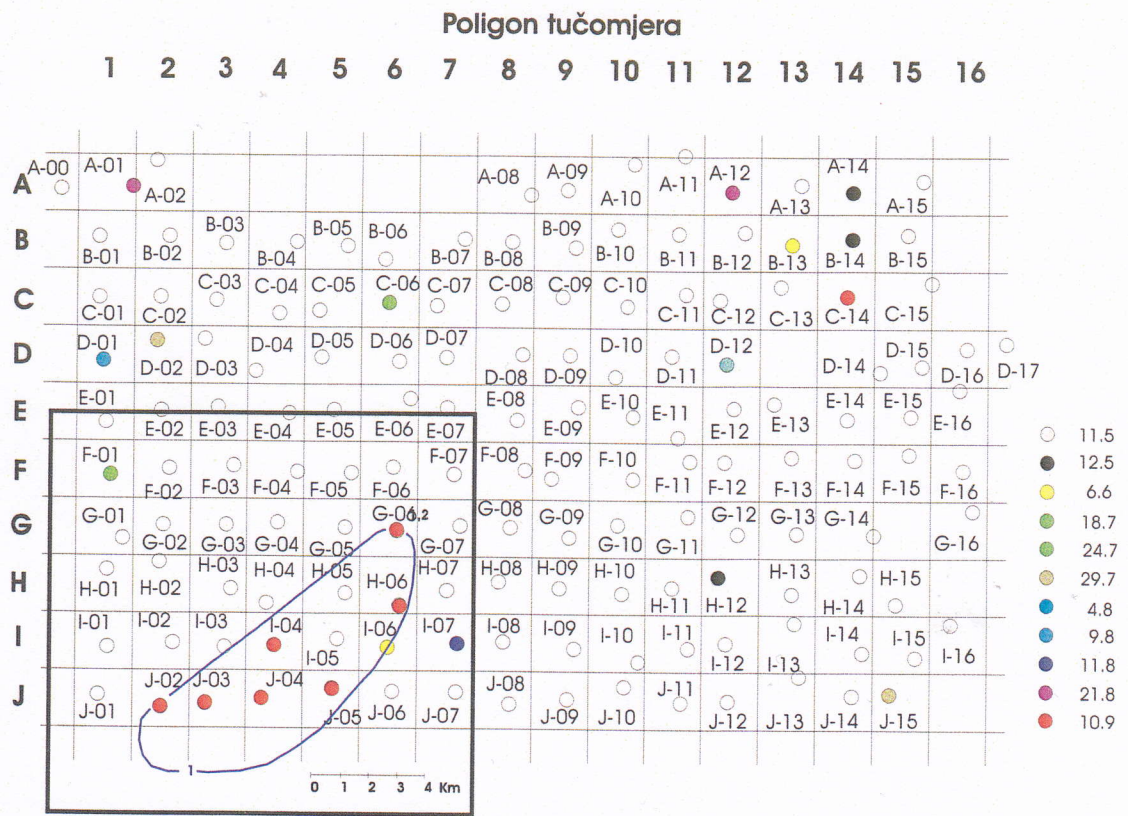
Preliminarni su rezultati pokazali da je na području poligona bilo 11 dana s pojavom tuče, koja je zabilježena na 23 ploče za vrijeme sezone OT (1. 5. – 30. 9. 2002). Izvan tog perioda tuča je zabilježena u dva dana (24. 4. i 19. 10. 2002), na 12 ploča tučomjera (sl. 3a i 3b.). Prosječni broj oštećenih ploča u jednom danu tijekom sezone OT bio je 2.3 ploče, a izvan sezone iznosi 6 ploča po danu. S obzirom da jedan tučomjer predstavlja površinu od 4 km², prosječna površina zahvaćena tučom u jednom danu za vrijeme sezone iznosi 9.2 km², a izvan sezone 24 km².

Broj zrna bio je između 80 i 10 624 po 1 m². Srednji promjer zrna iznosio je 7.5 mm, a 63.3 % zrna bilo je u klasi od 5.0 – 7.5 mm (u ovim mjerenjima ne uzimaju se u obzir zrna sugradice – zrna manja od 5 mm). Kinetička energija iznosila je između 0.5 i 183.0 Jm⁻².

Najveći broj oštećenih ploča zabilježen u jednom danu bio je 10. 9. 2002, kada je nevrjeme iznad poligona oštetilo 8 ploča tučomjera (područje označeno na slici 3a). Jedan ošteće-

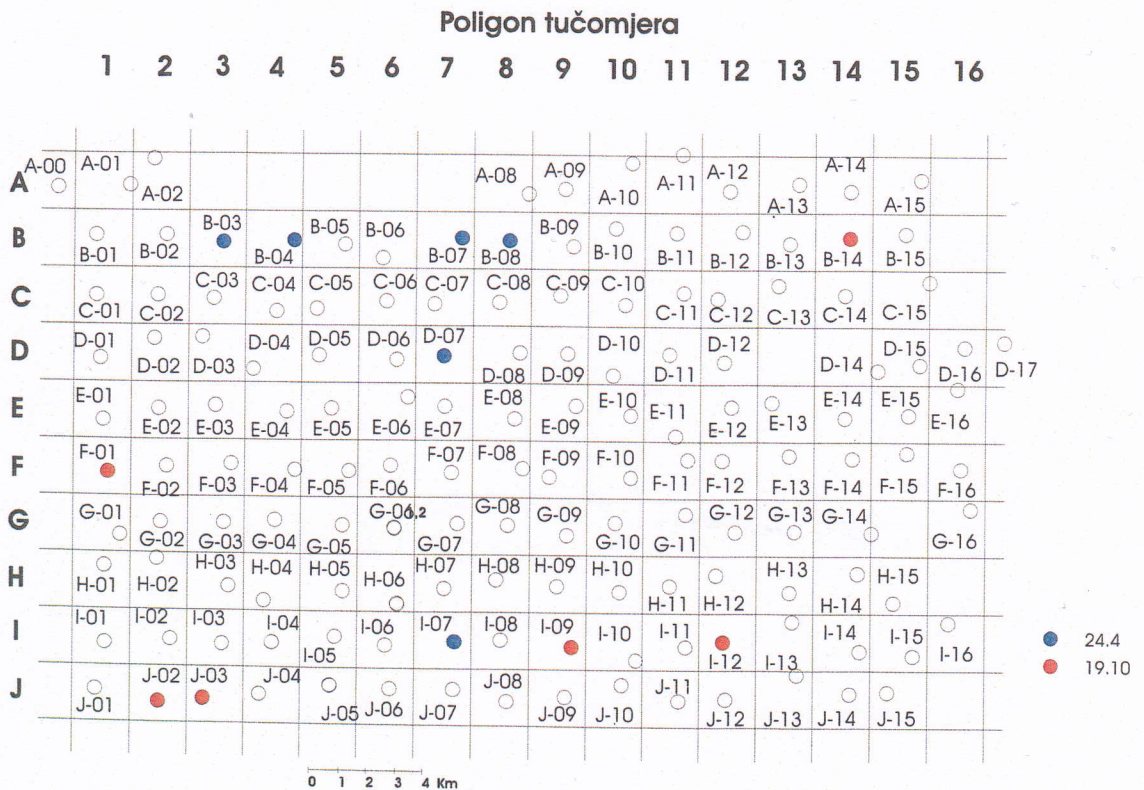
ni tučomjer nalazi se u sjeveroistočnom dijelu poligona (C-14), dok je trag tuče na jugozapadnom dijelu poligona oštetio 7 ploča. Na temelju podataka dobivenih s tih ploča izračunati su karakteristični parametri (kinetička energija udara zrna tuče – KE, i broj zrna na m²) tuče koja je pala na tom području te je na slici 4 prikazana prostorna raspodjela tih parametara. Na tučomjeru J-04 izmjereno je između 16.35 i 16.50 najveći promjer zrna od 26.3 mm, kao i najveća kinetička energija, u iznosu od 183 Jm⁻². Podaci pokazuju da se položaji najveće kinetičke energije i najvećeg broja zrna po m² ne podudaraju. Najveći broj zrna (4 816) izmjereno je na tučomjeru I-04, na kojem je kinetička energija iznosila samo 77.3 Jm⁻².

Kao dodatna informacija na slikama 5 a, b i c dani su radarski vertikalni presjeci dijela oblaka koji je tog dana dao tuču na poligonu. Slika 5a prikazuje oblak 3 minute prije nego što je zabilježena tuča na tučomjeru G-06. U sredini odraza vidi se crvena površina, odnosno područje radarske odražajnosti između 55 i 65 dBz-a koja prikazuje položaj ledenih zrna u oblaku. Slika 5b prikazuje oblak u 16.17 h dok iz njega pada tuča. Zadnja slika prikazuje



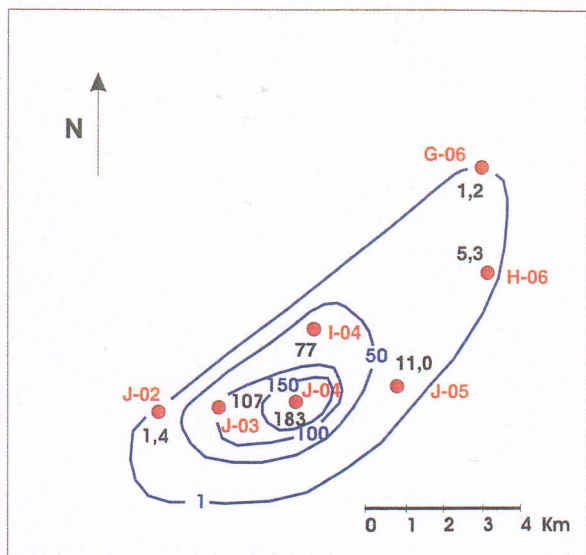
Slika 3a. Položaj oštećenih ploča tučomjera za vrijeme sezone obrane od tuče (1. 5. – 30. 9. 2002.)

Figure 3a. Location of damaged hailpads during the hail suppression season (1. 5 – 30. 9. 2002.)

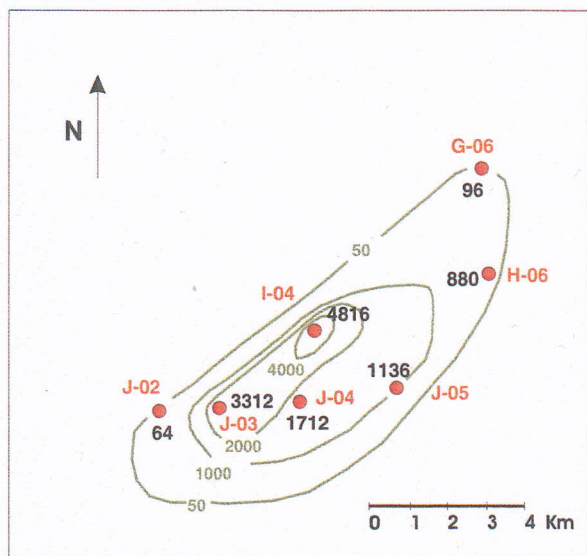


Slika 3b. Položaj oštećenih ploča tučomjera izvan sezone obrane od tuče (1. 10 – 30. 4. 2002.)

Figure 3b. Location of damaged hailpads outside the hail suppression season (1. 10 – 30. 4. 2002.)



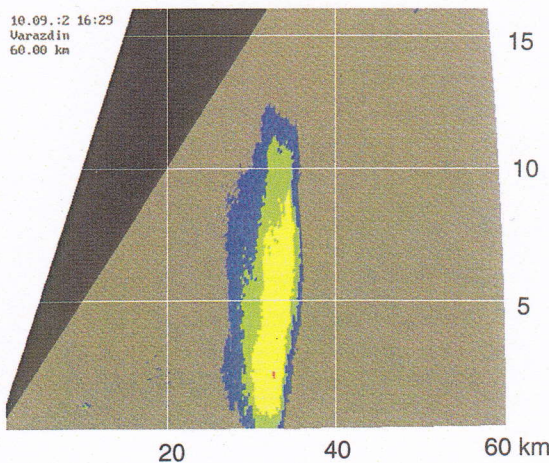
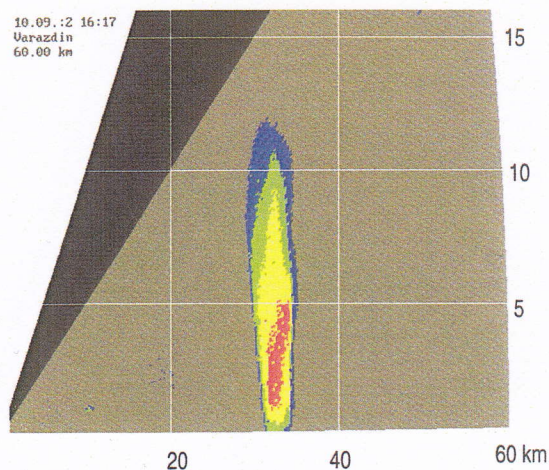
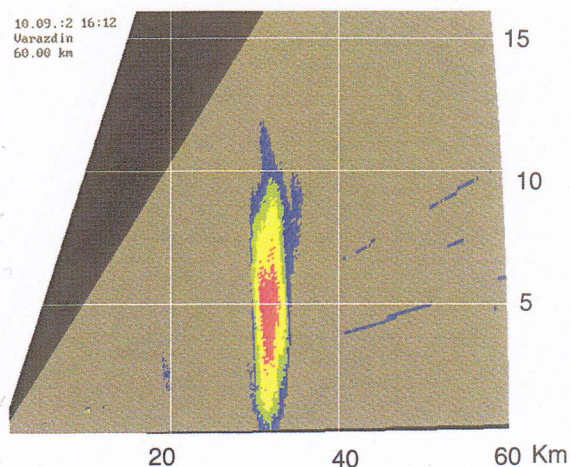
a) prostorna raspodjela kinetičke energije (J/m^2) unutar traga tuče - 10.9.2002.



b) prostorna raspodjela broja zrna tuče (N/m^2) unutar traga tuče - 10.9.2002

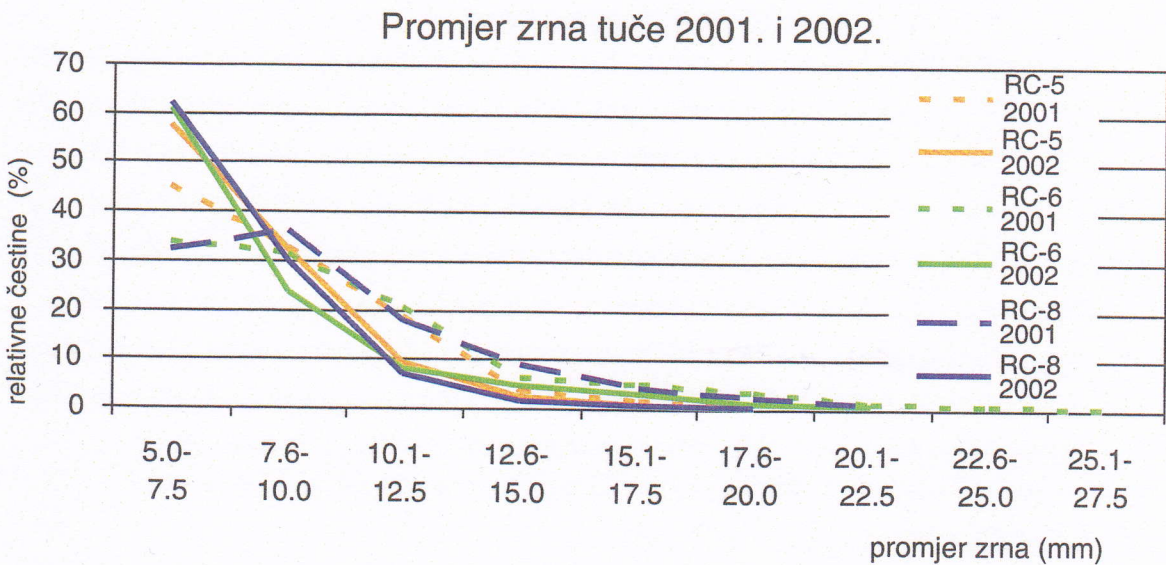
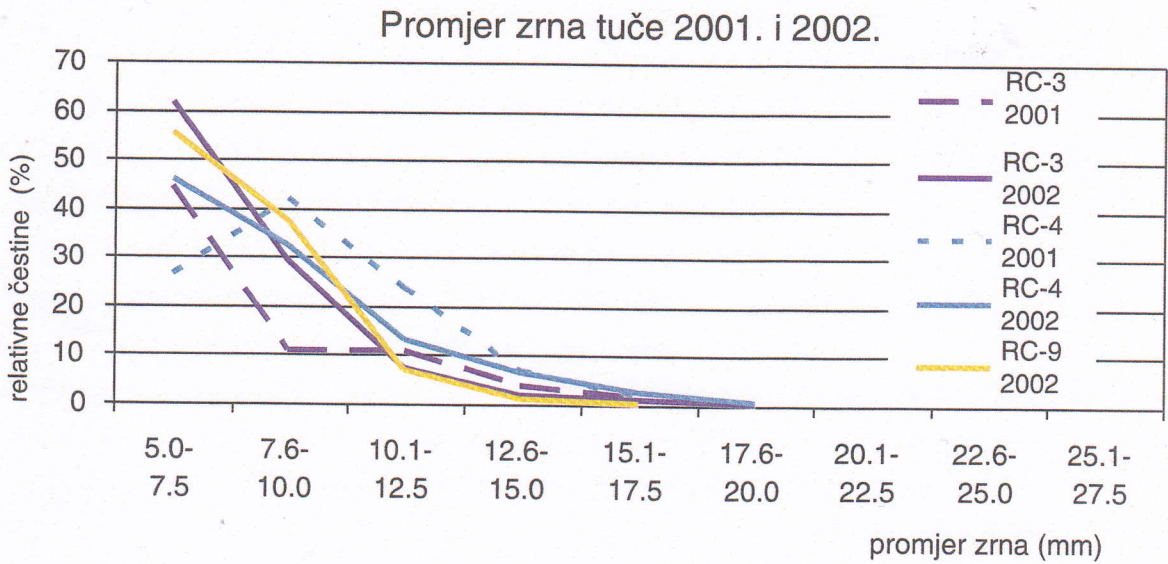
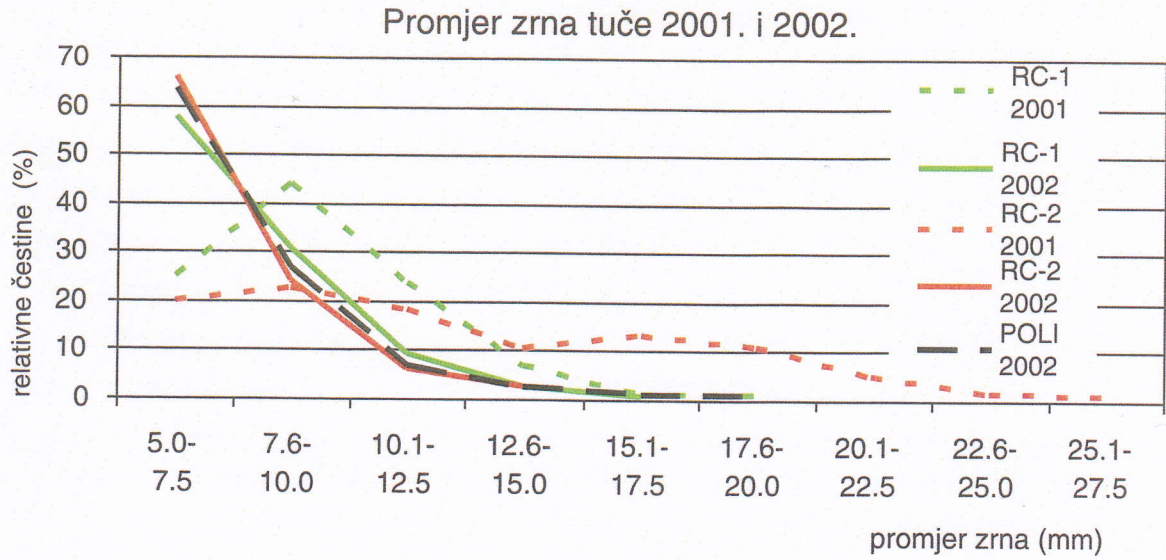
Slika 4. Prostorna raspodjela kinetičke energije i broja zrna tuče po m^2 za 10. 9. 2002.

Figure 4. Spatial distribution of kinetic energy and number of hail-stones per m^2 for 10. 9. 2002.



Slika 5a, b i c. Radarske slike vertikalnog presjeka tučonosnog oblaka

Figure 5a, b and c. Radar image of the vertical cross-section of a hailbearing cloud



Slika 6. Relativna čestina promjera zrna tuče (%) s radarskih centara i poligona na branjenom području Hrvatske za 2001 i 2002. Legenda je dana u tablici 1.

Figure 6. The relative frequency of the diameter of hail-stones (%) measured at the radar centre and polygon in the protected area of Croatia for 2001 and 2002. The legend is shown in Table 1.

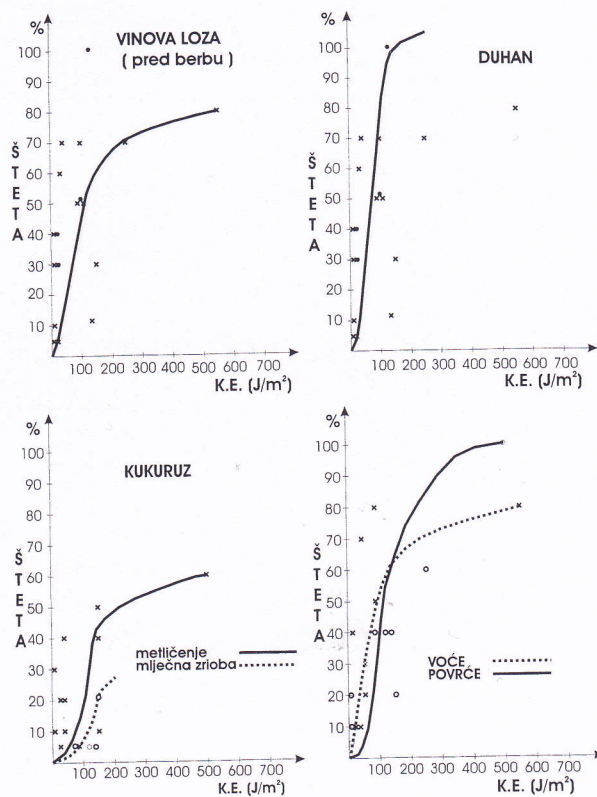
oblak u 16.29 kada iz njega više ne pada tuča, više nema crvenog područja (55–65 dBz), ostalo je područje radarske refleksivnosti od 45 i 55 dBz (žuta površina).

Analizirani su i podaci tučomjera s lansirnih i generatorskih postaja postavljenih u 2001. i 2002. Uspoređeni su podaci zapadnog dijela branjenog područja sa srednjim i istočnim dijelom. Iz prijašnjih analiza srednjeg broja dana s krutom oborinom u sezoni obrane od tuče (svibanj–rujan) poznato je da zapadni dio branjenog područja ima najveće čestine dana s tučom, a središnje područje najmanje (Počakal, 1999). Analiza relativnih čestina promjera zrna tuče na području radarskih centara Sljeme i Varaždin, te poligona tučomjera u zapadnom dijelu pokazuje da je u 2002. godini došlo do bitnog smanjenja srednjeg promjera zrna i nestanka zrna u klasi od 17.5 do 25.0 mm u odnosu na 2001.). Za radarske centre Bilogora, Trema i Stružec u središnjem dijelu branjenog područja primjećuje se neznatno smanjenje srednjeg promjera zrna u 2002. Rezultati dobiveni na istočnom dijelu radarskih centara Gradište i Osijek, gdje djeluju samo prizemni generatori, pokazuju smanjenje promjera zrna za 1.7–1.8 mm između promatranih godina. U tom dvogodišnjem razdoblju na Radarskom centru Gradište zabilježeni su i najveći promjeri zrna tuče od 27.0 mm (na generatorskoj postaji 101, Trnjanški Kut, dana 24. 9. 2001. između 19.31 h i 19.36 h) i 20.8 mm (na generatorskoj postaji 40 Merolino 4. 8. 2002. između 21.20 h i 21.30 h).

Iz svih podataka tučomjera određeni su srednji parametri zrna tuče na branjenom području. Srednji promjer zrna u 2002. iznosio je 7.7 mm i za 18% bio je manji u odnosu na 2001, a srednji broj zrna bio je tri puta veći (693 zrna/m² u 2001. i 2055 zrna m⁻² u 2002.). Uočava se bitna razlika u veličini zrna između tih dviju godina. U 2002. povećao se broj zrna malog promjera (5.0 mm–7.5mm), a nisu se pojavila zrna promjera 22.6 mm–27.5 mm kao u prethodnoj godini (sl. 6 i tab.1).

Proračunata srednja kinetička energija iznosi 31.9 Jm⁻² u 2002. i manja je za 6% nego prethodne godine.

Prema srednjim vrijednostima kinetičke energije i procjenjene štete na biljnim kulturama u



Slika 7. Odnos kinetičke energije i štete na raznim biljnim kulturama

Figure 7. The relation between kinetic energy and damage to different plants

polumjeru do 50 m od tučomjera određen je odnos kinetičke energije i štete na najrasprostranjenijim biljnim kulturama na branjenom području za svaku njihovu razvojnu fazu (fenofazu, sl. 7). Iz grafičkog prikaza prema raspoloživim podacima vidi se da je duhan najosjetljivija biljna kultura jer kinetička energija od 10 Jm⁻² uzrokuje štetu približno 40%. Najmanje osjetljiva biljna kultura jest kukuruz u fazi metličjenja i mliječne zriobe, kada kinetička energija od 100 Jm⁻² daje štete od 10–15 %.

Rezultati analize prvih mjerenih podataka o karakteristikama zrna tuče dobivenih pomoću tučomjera na branjenom području nizinskog dijela Hrvatske u 2001. i 2002. pokazuju da su srednji promjer zrna i kinetička energija manji za 1.7 mm (18%) i 2.1 Jm⁻² (6%) u 2002. u odnosu na prethodnu godinu, a jedino se povećao srednji broj zrna (manjeg promjera) za oko tri puta u 2002.

Tablica 1. Prosječne vrijednosti parametara tuče izmjerene na lansirnim postajama u 2001. i 2002.

Table 1. Mean values of hail parameters at the launching stations in 2001 and 2002.

Legenda:

RC-1 Sljeme, RC-2 Varaždin, RC-3 Bilogora, RC-4 Stručec,

RC-5 Gorice, RC-6 Gradište, RC-8 Osijek, RC-9 Trema

Područje	Promjer zrna (mm)		Maksimalni promjer zrna (mm)		Broj zrna/m ²		Kinetička energija (J/m ²)	
	2001.	2002.	2001.	2002.	2001.	2002.	2001.	2002.
Godine								
RC-1	9.2	7.7	18.8	16.4	548	2365	15.7	33.6
RC-2	12.2	7.5	25.9	16.1	645	1147	95.3	17.3
RC-3	8.2	7.5	15.2	19.2	642	2811	11.6	36.1
RC-4	9.2	8.5	15.9	18.1	955	2186	26.6	35.1
RC-5	8.4	7.5	18.3	18.8	591	2496	12.8	32.3
RC-6	9.6	7.9	27.0	20.8	1175	1486	64.4	34.5
RC-8	9.3	7.5	21.9	18.8	294	1746	11.8	21.6
RC-9		7.6		16.0		2203		25.2
Srednjak	9.4	7.7	20.4	18.0	693	2055	34.0	31.9

5. ZAKLJUČAK

Iz objavljenih rezultata provedenih svjetskih eksperimenata i radova u kojima su analizirani parametri vezani za pojavu tuče i djelovanje sustava obrane od tuče u većini zemalja, kao i prvih rezultata dobivenih u Hrvatskoj, može se zaključiti da postoji određeni pozitivni učinak djelovanja sustava obrane od tuče. Najveći dio dobivenih rezultata ocjene učinkovitosti obrane od tuče kontinuirano ukazuje na signifikantno pozitivnu učinkovitost, koja se kreće od 19.7% pa čak i do 80%, ovisno o tehnologiji, metodi, vremenskom periodu i analiziranim parametrima. Daljnje provođenje cjelokupnog znanstveno-istraživačkog eksperimenta na poligonu tučomjera u zapadnom dijelu branjenog područja u sljedećim godinama moglo bi dati dodatne odgovore o stupnju uspješnosti sustava obrane od tuče u Hrvatskoj.

LITERATURA

- Abshaev, T., 1994: On Efficiency of Hail suppressions operations in USSR in 1981–1990. 6th WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May – 4 June 1994, 39–42.
- Abshaev, T. and A., Malkarova, 1999: Results of hail suppression Project in Argentina. 7th WMO Scientific Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Thailand, 17–22 February 1999, 391–394.
- Changnon, S., 1969: Hail Measurement Techniques for Evaluating Suppressions Projects. *Journal of Applied Meteorology*, **8**, 596–603.
- Changnon, S., 1977: On the Status of Hail Suppression. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **58**, 20–28.
- Davila, M. and A. Aparicio, 1985: Aerial defense against hailstorms in Spain – Results of a five years trial (1978–1982). WMO, WMP No. 2, 583–586.
- DHMZ, 2000: 30 godina radarski dirigitane obrane od tuče u Hrvatskoj. Zagreb, 32 str.
- DHMZ, 2000: Obrana od tuče – temelji, rasprostranjenost, rezultati i iskustva, s posebnim osvrtom na Hrvatski model. Zagreb, 32 str.
- Dessens, J., 1993: Der gegenwaertige Stand der Hagelvorbeugung durch Bodengeneratoren. International Symposium Hail and Consequences, Krems, Austria, 5–7 April 1993, – *Proceedings of abstract*, 26.
- Fengsheng, L., L. Enhui and F. Chuanlin, 1994: The characteristics of hail weather and an analysis of effect of artificial hail

- suppression at Denzhou region, Shandong province. *Proceedings of 6th WMO Scientific Conference on Weather Modification*, Paestum, Italy, 30 May – 4 June 1994, 59–62
- Ferrari, P., 1993: Hail activity in a little intensive fruit – growing District of the Non Valley. *Proceedings of International Symposium Hail and Consequences*, Krems, Austria, 5–7 April 1993, 41–42.
- Federrer, B., et al, 1986: Main results of Grossversuch IV. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **25**, 917–955.
- Flueck, J. and P. Mielke, 1977: Design and Evaluation of Hail Suppression Experiments, Hail: A Review of Hail Science and Suppression. *Meteorological Monograph*, **16**, 225–235.
- Gajić-Čapka, M. i K. Zaninović, 1993: Time variations of hail and thunderstorm over the area of Bjelovar, Križevci and Čazma. *Hrvatski meteorološki časopis*, **28**, 59–64.
- Gelo, B., D. Nikolić and D. Peti, 1994: Hail and thunderstorm distribution and hail suppression in Croatia. *Proceedings of 6th WMO Scientific Conference on Weather Modification*, Paestum, Italy, 30 May – 4 June, 595–598.
- Knight, C.A., G.B. Foote and P.W. Summers, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in North Dakota. Part IX: Overall discussion and summary in the context of physical research. *Journal of Applied Meteorology*, **18**, 1629–1639.
- Kovačić, T., 2004: An attempt to evaluate the hail suppression in Croatia. *Hrvatski meteorološki časopis*, (u tisku).
- Lozovski, E.P. and G.S. Strong, 1978: On the calibration of hailpads. *Journal of Applied Meteorology*, **17**, 521–528.
- Marko, T., F. Sover and E. Wirt, 1985: Economical efficiency of a hail prevention project in Hungary, WMO, *WMP Report*, No. 2, 593–596.
- Matvijev, M., D. Peti and D. Počakal, 1994: Comparative analysis of operational hail suppression activities in Croatia. *Proceedings of 6th WMO Scientific Conference on Weather Modification*, Paestum, Italy, 30 May – 4 June 1994, 63–66.
- Mezeix, E. P. and N. Doras, 1981: Various kinetic energy characteristics of hailpaterns in the Grossversuch IV eksperiment. *Journal of Applied Meteorology*, **20**, 377–385.
- Počakal, D., 1987: The hailstone kinetic energy determination and comparison with radar parameters. *Proceedings of 2nd International symposium on hail suppression – on behalf of the working community Alps-Adriatic*, Ljubljana, 1–2 October 1987, 51.
- Počakal, D., 1988: Određivanje veličine zrna tuče, 13 Jugoslavenski simpozij o mjerenjima i mjernoj opremi, Split, 26–29. listopada 1988, 1061–1067.
- Počakal, D., 1991: Utjecaj zabrane OKL-a na promjer zrna tuče. *Zbornik radova Druga jugoslavenska konferencija o umjetnom utjecaju na vreme*. Mavrovo, Makedonija, 2–4 travnja 1991, 240–245.
- Počakal, D., 1999: Geographical Distribution of Days with Hail in Northern Croatia. *Proceedings of 7th WMO Scientific Conference on Weather Modification*, Chiang Mai, Thailand, 17–22 February 1999, 437–440.
- Počakal, D., 2000: Comparison of Hail Characteristics in Hail protected Part of Croatia in two Separate Periods. *Proceedings of 3rd European Conference on Applied Climatology*, Pisa, Italy, 16–20 October, 299.
- Počakal, D., 2003: Statistical analysis of hail characteristics in the hail-protected western part of Croatia using data from hail suppression stations. *Journal of Atmospheric Research*, 67-68C, 533–540.
- Radinović, Đ., 1988: Odbrana od grada u SR Srbiji – Rezultati i program daljeg razvoja. RHZ SR Srbije, Fizički fakultet univerzitetu u Beogradu i Institut za meteorologiju, Beograd, 165 str.
- Rakovec, J., M. Borko, A. Kranjc, i dr., 1988: Obramba pred točo v SR Sloveniji. Univerza Edvard Kardelj, Ljubljana, 197 str.
- Rudolf, R.C., C.M. Sackiw, T.W. Krauss, and A.G. Davis, 1989: Greek National Hail Suppression Program. *1988 Annual Report*, Agricultural Insurance Institute (EL.G.A.), Athens, 280.
- Rudolf, R.C., C.M. Sackiw and G.T. Riley, 1994: Statistical Evaluation of the 1984–88

- Seeding Experiment in northern Greece. *Journal of Weather Modification*, **60**, 53–59.
- Sackiw, C., 1991: Statistical Evaluation of Hailpad Data from five Year Randomised Cross – Over Cloud Seeding Experiment. *Proceedings of 2nd Conference on Weather Modification*, Mavrovo, Macedonia, 2–4 April 1991, 263–273.
- Simeonov, P., 1999: On hail operational results in Bulgaria, after some seeding technology change. *Proceedings of 7th WMO Scientific Conference on Weather Modification*, Chiang Mai, Thailand, 17–22. Feb., 379–386.
- Svabik, O., 2001: Begleitende meteorologische Untersuchungen zur Bestimmung des Wirkungsgrades der getroffenen Massnahmen. *Hagel Workshop*, Langenlois, Austria, 25–27 Jan. 2001, 22.
- Svabik, O., 2003: Hageltestplattenstatistik 1982 – 2001, Steiermark, Gleisdorf, ZAMG, Wien.
- Vento, D., 1976: The hailpad calibration for Italian hail damage documentation. *Journal of Applied Meteorology*, **15**, 1018–1022.
- Ziyi, G., 1994: Weigan river hail suppression system. *Proceedings of 6th WMO Scientific Conference on Weather Modification*, Paestum, Italy, 30 May – 4 June 1994, 113–116.
- Weather Modification Association, 1994, *Newsletter*, **4**, 1, 1–2.
- WMO, 1995: Meeting of Experts to Review the Present Status of Hail Suppression. Golden Gate National Park, South Africa, 6–9 November, WMO/TD No. 764. Report No.26.
- WMO, 1998: Register of National Weather Modification Projects 1997 and 1998. *WMO Report No. 34*, (WMO-TD No. 1001)
- WMO, 1999: Register of National Weather Modification Projects. *WMP Report Series*, No. 37.