

REPUBLIKA HRVATSKA  
DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD  
ODJEL OBRANE OD TUČE

**OBRANA OD TUČE – TEMELJI,  
RASPROSTRANJENOST, REZULTATI I  
ISKUSTVA, S POSEBNIM OSVRTOM NA  
HRVATSKI MODEL**

ZAGREB 2000.

# OBRANA OD TUČE

## 1. Uvod

Pojava tuče nije jednako česta na svim dijelovima zemaljske kugle. Postoje područja gdje je čestina pojave tuče veća nego drugdje. Države koje se nalaze na tim geografskim lokacijama najčešće organiziraju operativno provođenje obrane od tuče radi zaštite poljoprivrednih površina. Hrvatska se nalazi u jednom takvom području (slika 1). Ljetne oluje s pojavom tuče u tim područjima oduvijek su jedna od najvećih briga poljoprivrednika; jaka tuča mogla im je uništiti sav urod, te zato ne čudi što je ubrzo nakon otkrića da se srebrnim jodidom mogu modificirati oblaci, te pojave prvih teorija o mogućnosti sprečavanja pojave tuče dodavanjem umjetnih jezgri zaleđivanja, došlo do organiziranja prvih sustava za obranu od tuče. U isto vrijeme nastavila su se istraživanja, kojima su prikupljena mnoga nova saznanja o procesu nastanka i razvoja tuče. Sustavi obrane od tuče su shodno novim otkrićima prilagođavali svoje djelovanje. Neki sustavi rade neprekidno više decenija i mogu dokazati efikasnost u smanjenju šteta od tuče. Tako na primjer, u Sjevernoj Dakoti, obrana od tuče se provodi od pedesetih godina i neprekidno poboljšava. Operativni rad na obrani od tuče tamo je popraćen stalnim znanstvenim istraživanjima, a prema rigoroznoj statističkoj obradi podataka o šteti od tuče u Sjevernoj Dakoti, prikupljenih od osiguravajućih društava, u periodu od 1976. do 1988. godine, štete od tuče u poljoprivredi samanjene su za 49%.

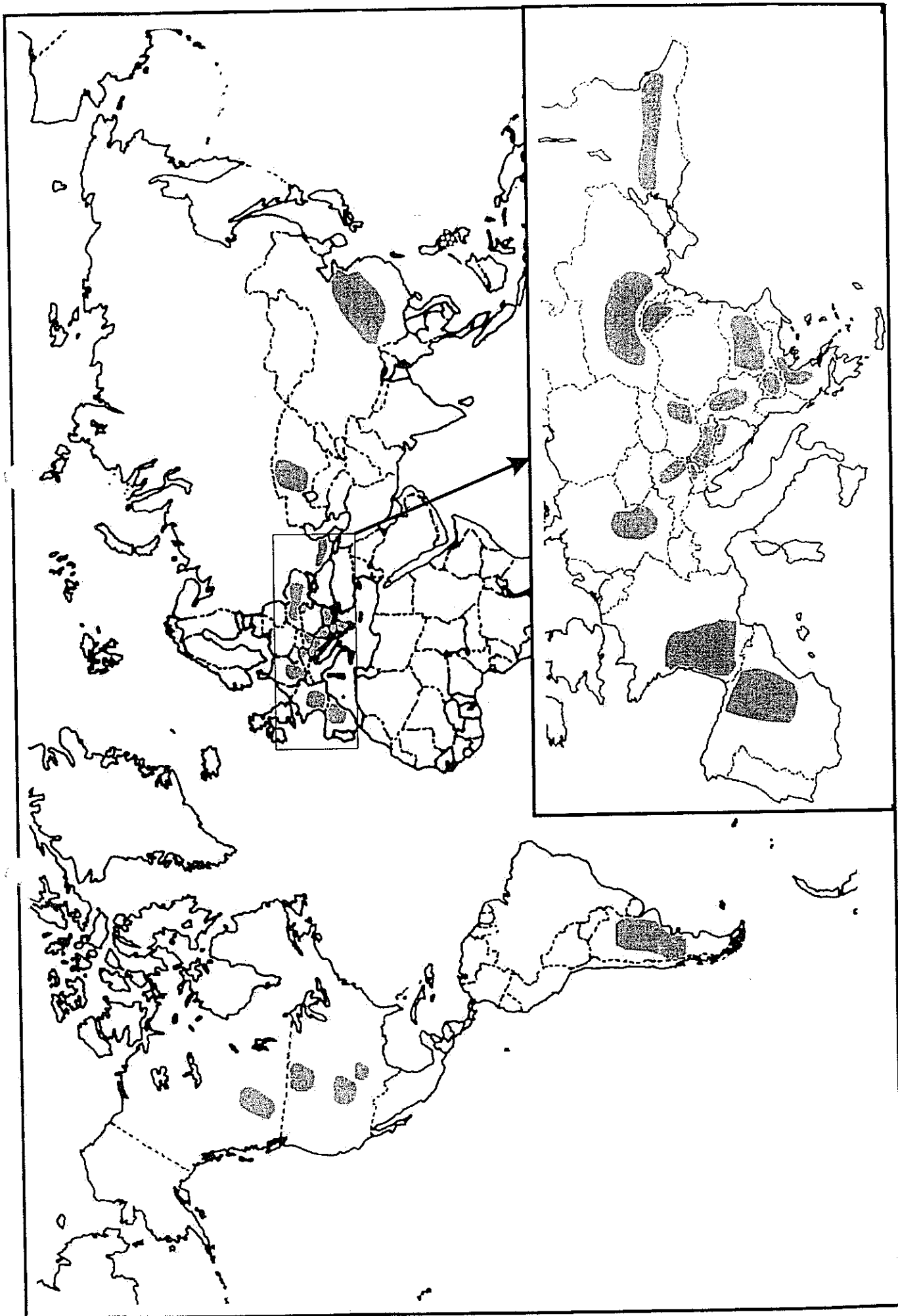
Da li je obrana od tuče efikasna i koliko, da li smanjuje štete od tuče i da li se isplati? To su neka pitanja koja korisnici obrane od tuče najviše postavljaju, a na kojima rade i stručnjaci koji se bave obranom od tuče. Međutim, odgovor na ta pitanja nije jednostavan. Djelotvornost obrane od tuče može se otkriti samo analizom višegodišnjeg niza podataka o padanju tuče, i to na dva područja, jedno od njih je branjeno područje, a drugo neko susjedno područje, za koje je utvrđeno da je klimatski slično branjenom području. Klimatska sličnost potrebna je zato jer klimatske promjene mogu djelovati na rezultat analize. U Hrvatskoj, na žalost, za sada ne postoje uvjeti za analizu efikasnosti, jer ne postoji kontrolno područje niti kontinuirani nizovi istovrsnih podataka o pojavi tuče.

Aktivnosti u obrani od tuče u Hrvatskoj počele su tijekom šezdesetih, kad su prvi puta korištene rakete za obranu od tuče, a u sedamdesetim je počela uporaba radara za upravljanje zasijavanjem. Posljednjih godina nastoji se, korištenjem digitalnih radarskih podataka, što točnije lokalizirati područje u kojem se razvijaju oblaci hranioci, u kojima nastaju zameci zrna tuče. Zasijavanje oblaka hranioca u ranoj fazi razvoja smatra se najboljom metodom obrane od tuče, jer se tako može djelovati na veći broj procesa u oblaku. Tijekom ratnih godina počela je uporaba prizemnih generatora, pa sada imamo kombiniranu obranu od tuče, raketama i generatorima.

Svrha ovog prikaza je rasvijetliti problematiku obrane od tuče iz različitih perspektiva. Dane su sažete teorijske postavke koje se uzimaju u obzir pri svakom ozbiljnijem razmatranju mogućnosti obrane od tuče suvremenim, znanstvenim načinom.

Prikazano je nekoliko teorijskih radova s implikacijama mogućih djelovanja na tučoopasne procese u atmosferi. Tehnološki napredak omogućio je razvoj i uporabu novih vrsta meteoroloških radara, vrlo finih mjerenja raznih parametara u samom oblaku i simulaciju oblaka uz pomoć numeričkih modela. Razvojem fizikalnih spoznaja, uz pomoć suvremenih moćnih računala, numerički modeli postaju pouzdano sredstvo ponavljanja prirodnih uvjeta, te mogu simulirati ne samo životni ciklus tučoopasnih oblaka, nego i efekte koji su izazivani djelovanjem u njima.

U sljedećim poglavljima opisani su neki važniji operativni programi obrane od tuče u svijetu, kao i stanje obrane od tuče u Hrvatskoj. Također su opisani pokazatelji



Slika 1. Rasprostranjenost sustava obrane od tuče u svijetu

uspješnosti, ekonomske opravdanosti, a dan je i prilog o ekološkom aspektu umjetnog djelovanja na vrijeme.

Na kraju su priloženi separati radova s kojima su stručnjaci DHMZ-a sudjelovali na svjetskim znanstvenim konferencijama o umjetnom djelovanju na vrijeme.

## 2. Znanstveno istraživački temelji obrane od tuče

Teorija nastanka oborine, pa tako i tuče temelji se na dva znanstvena područja, to su mikrofizika oblaka i dinamika oblaka, odnosno u slučaju tuče radi se o dinamici cumulonimbusa, jer tuča nastaje samo u cumulonimbusima. Mikrofizika oblaka bavi se fizikalnim procesima u kojima sudjeluju hidrometeori (oblačne kapljice, kapljice kiše, kristali leda, snijeg, razne vrste zrna leda i tuča). Dinamika cumulonimbusa bavi se proučavanjem uzroka gibanja u cumulonimbusu, koji dovode do specifične organizacije strujanja, kakva postoji u cumulonimbusima. Nastanak i rast zrna tuče posljedica je mikrofizičkih i dinamičkih procesa u cumulonimbusu.

Ideja obrane od tuče je da se unošenjem umjetnih jezgri zaleđivnja djeluje na mikrofizičke procese u cumulonimbusu, na takav način da se spriječi nastanak velikih zrna tuče. Promjene u mikrofizičkom sastavu oblaka dovode do oslobađanja latentne topline zaleđivanja, čime se izazivaju dinamički efekti u oblaku, koji opet mogu djelovati na mikrofizičke procese. Za uspješnost obrane od tuče važno je da kao posljedica svih međudjelovanja između mikrofizičkih i dinamičkih procesa dođe do smanjenja zrna tuče u toj mjeri da se zrno tuče djelomično ili potpuno otopi pri padanju kroz topli dio troposfere u donjem dijelu oblaka i ispod oblaka.

Procesi u cumulonimbusima se ne mogu simulirati u laboratoriju, zbog toga ih proučavamo u prirodi mjerenjima u cumulonimbusima i daljinskim mjerenjima pomoću radara. Dio problema u razvoju metoda obrane od tuče leži upravo u činjenici da se bitna saznanja o procesu nastanka tuče mogu dobiti samo mjerenjima u cumulonimbusima. Naime, cumulonimbus se ne može ponoviti, pa da jedanput promatramo njegov razvoj bez zasijavanja, a drugi puta ga zasijemo i promatramo nastale promjene. Ovakav idealan pokus nije moguć, pa se zato koristi statistički pristup, odnosno uspoređuju se kroz duže vremensko razdoblje dvije skupine cumulonimbusa, zasijani i nezasiyani. Mogućnost ponavljanja pokusa s istim cumulonimbusom pružaju numerički modeli. Oni omogućuju da se na računalu naprave više ili manje vjerne simulacije cumulonimbusa. Smatra se da su numerički modeli dosegli takav stupanj razvoja da mogu vrlo realno simulirati nastanak tuče u cumulonimbusima, pa ih se može koristiti i za simuliranje efekata zasijavanja radi obrane od tuče. Trodimenzionalne simulacije cumulonimbusa numeričkim modelima, koji su dovoljno realistični da mogu simulirati efekte zasijavanja, upotrebljavaju se u novije vrijeme jer je računalna tehnika tek nedavno dosegla stupanj razvoja koji to omogućuje. Očekuje se da će računalne simulacije cumulonimbusa u kombinaciji s dobro isplaniranim mjerenjima *in situ*, dovesti do novih saznanja potrebnih za unapređenje metoda obrane od tuče.

### 2.1. Teorijski temelji obrane od tuče

Teorijski temelji obrane od tuče su hipoteze obrane od tuče. Hipoteze su nastale na temelju saznanja iz mikrofizike oblaka. Do danas je poznato šest hipoteza, a to su:

1. Blagotvorna konkurencija
2. Ubrzani razvoj kiše
3. Potpuno zaleđivanje podhlađenih kapljica
4. Spuštanje trajektorija duž kojih raste zrno tuče
5. Poticanje rasta kapljica vode spajanjem (koalescencija)
6. Zasijavanje radi izazivanja dinamičkih efekata

Nastanak zrna tuče u oblaku je proces u dva koraka. U prvom koraku raste zametak tuče a u drugom raste zrno tuče. Zametak zrna tuče nastaje i raste u području oblaka gdje prevladavaju slabe uzlazne struje, a zrno tuče raste u jakoj uzlaznoj struji ili tzv. glavnoj uzlaznoj struji, koja ga može držati u zraku dovoljno dugo da može rasti. Kad mu se masa toliko poveća da ga uzlazna struja ne može više držati u zraku, zrno počinje padati. Što je jača uzlazna struja to je veće zrno tuče koje u njoj može narasti. Cijeli proces nastanka i rasta zrna tuče odvija se u gornjem dijelu oblaka gdje su temperaure negativne. Tijekom pada zrno tuče ulazi u niže slojeve oblaka, gdje je temperatura pozitivna i tu se otapa i gubi masu. Ovisno o veličini zrna tuče u trenutku kad je počelo padati, zrno se može potpuno otopiti, pa na tlo pada kiša, ili se otopi djelomično, pa na tlo pada sugradica ili tuča.

Masa zrna tuče u oblaku može se povećavati, i to se zove rast zrna tuče, može se dogoditi na nekoliko načina, no činjenica je da pretežni dio mase zrna tuče dobiva sudaranjem i spajanjem s podhlađenim kapljicama vode. Na toj činjenici baziraju se sve teorije obrane od tuče. Cilj obrane od tuče je smanjiti masu zrna tuče. Najjednostavnija metoda bila bi potpuno zaleđivanje podhlađenih kapljica, ali za to je potrebna tako velika količina reagensa da je to tehnički neizvedivo, a i vrlo skupo, pa se smatra da ova metoda nije prihvatljiva.

Druga po jednostavnosti, je metoda blagotvorne konkurencije. Prema njoj, u oblaku treba zasijavanjem umjetnim jezgrama zaleđivanja, jer prirodnih ima malo, stvoriti daleko veći broj zametaka zrna tuče. U tako promijenjenom oblaku nastaje daleko veći broj zrna tuče nego u prirodnim uvjetima. Svako zrno povećava svoju masu spajanjem s podhlađenim kapljicama vode, čiji broj nije promijenjen. To znači da su zasijavanjem stvoreni uvjeti u kojima daleko veći broj zrna tuče u rastu konkurira za istu količinu vode. Ako je njihov broj dovoljno velik, neće biti dovoljno vode da narastu do veličine zrna tuče koja bi nastala bez zasijavanja.

Metoda spuštanja trajektorija pretpostavlja da se smanjenje zrna tuče može postići promjenom mjesta rasta tuče u oblaku. Prema njoj, zasijavanjem treba potaknuti razvoj zametka zrna tuče u ranijoj fazi razvoja, i time povećati vrijeme boravka zametka u slaboj uzlaznoj struji. Zametak će zbog toga biti veći od prirodnih zametaka, pa će zbog toga padati u slaboj uzlaznoj struji, i u trenutku ulaska u glavnu uzlaznu struju biti na manjoj visini nego prirodni zameci. Na manjim visinama je manja brzina glavne uzlazne struje, i samim time zrna tuče koja rastu na toj visini bit će manja od onih koja rastu na većim visinama, gdje je brzina struje veća. Osim što su zrna tuče koja rastu na manjim visinama manja (što je dokazano mjerenjima u oblaku, Paluch, 1978.), povećanjem njihovog broja troši se više vode i ostaje je manje za rast zrna na većim visinama, a krajnji rezultat su manja zrna tuče u oblaku, koja se padanjem mogu otopiti.

Prema hipotezi poticanja rasta kapljica vode spajanjem, pokretanjem ovog procesa oduzima se voda koja bi mogla poslužiti za rast zrna tuče, a mogu nastati i dodatni zameci koji djeluju prema hipotezi blagotvorne konkurencije.

Ubrzanim razvojem kiše smanjuje se količina vode potrebna za rast zrna tuče i oslabljuje uzlazna struja, kao posljedica hlađenja prizemnog sloja atmosfere zbog isparavanja oborine.

Hipoteza zasijavanja radi izazivanja dinamičkih efekata predviđa da se zasijavanjem manjih oblaka u blizini glavne uzlazne struje može oslabiti glavna uzlazna struja.

Svim hipotezama zajedničko je sljedeće:

1. zasijavanje područja novog razvoja u kojima prevladavaju slabe uzlazne struje,
2. ubrzanje prirodnih procesa razvoja oborine.

Nabrojane hipoteze poznate su već dvadesetak godina (Young 1996, WMO 1995). Značajan napredak do kojeg je došlo kroz to vrijeme odnosi se na poboljšanje instrumenata koji se koriste za mjerenja u cumulonimbusima, povećanje mogućnosti numeričkih modela i pojava novih reagensa. Sve zajedno pruža mogućnost za daleko pouzdaniju provjeru hipoteza mjerenjima u cumulonimbusima. Ovo je važno stoga što se još uvijek smatra da hipoteze zasijavanja oblaka radi smanjenja štete od tuče nisu potpuno dokazane. Ovu tvrdnju možemo pojasniti na primjeru hipoteza blagotvorne konkurencije i spuštanja trajektorija. Young (1996) je teorijski obradio metodu blagotvorne konkurencije. Predviđanja iz ovog teoretskog prikaza trebalo bi provjeriti mjerenjima u cumulonimbusima, što do sada nije napravljeno, i time bi teorija bila dokazana. Prema Youngovoj teoriji spuštanjem trajektorija postigli bi se puno bolji i pouzdaniji rezultati u obrani od tuče. Mjerenja u nezasićenim cumulonimbusima koja je obradila Paluch (1978), govore u prilog teorije spuštanja trajektorija. Iako sve ukazuje na to da bi snižavanjem trajektorija zametaka tuče trebalo doći do smanjenja zrna tuče, sve dok se predviđanja te teorije ne dokažu na cumulonimbusima, ne može se reći da je ta hipoteza dokazana. Zbog međusobne povezanosti i složenosti procesa u oblacima, najvjerojatnije se ne mogu postići čisti efekti, onako kako ih pojedina hipoteza predviđa, već se ti efekti međusobno isprepliću (WMO, 1995).

Spomenuto je da se proteklih dvadeset godina nije pojavila niti jedna nova hipoteza obrane od tuče, međutim teorijski rad nije stao. Gore nabrojene hipoteze, osim dinamičkog zasijavanja, pretpostavljaju da se djelovanjem na jedan proces u oblaku može djelovati na razvoj tuče, no poticanje jednog procesa u oblaku dovodi do gušenja ili jačanja nekog drugog procesa, pa se krajnji rezultat ne može predvidjeti čistom spekulacijom. Zato se teorijski radovi koji proučavaju utjecaj zasijavanja oblaka na rast zrna tuče baziraju na simulaciji zasijavanja oblaka pomoću numeričkih modela, kojima se na računaru mogu simulirati procesi u oblaku. Zbog ograničenja koja postavlja računalna tehnika, preciznost s kojom se simulira mikrofizika i dinamika oblaka razlikuje se od modela do modela. Modeli koji preciznije simuliraju mikrofizičke procese manje su precizni u simuliranju dinamičkih procesa i obratno. Na primjer, Youngova teorija zasijavanja radi izazivanja blagotvorne konkurencije i teorija spuštanja trajektorija zametaka tuče, izvedene su korištenjem jednodimenzionalnog modela, koji je precizno simulirao mikrofizičke procese, a dinamičke uopće nije uključivao. Zahvaljujući brzom razvoju računalne tehnike, danas je moguć rad s modelima koji vrlo precizno uključuju mikrofizičke i dinamičke procese.

Numerički model je vrlo jako sredstvo u proučavanju utjecaja zasijavanja oblaka na procese u njemu. Model pruža ono što u prirodi nije moguće, a to je ponavljanje pokusa pod istim uvjetima i različitim načinima zasijavanja. Nedostatak numeričkih modela je što su napravljeni pod određenim pretpostavkama, pa zato rezultate dobivene numeričkim simulacijama treba verificirati mjerenjima u cumulonimbusima u prirodi. Prema nekim mišljenjima, uporaba numeričkih modela za postavljanje novih hipoteza o djelovanju zasijavanja oblaka na rast zrna tuče kombinirana s eksperimentom u prirodi trebala bi dovesti do novih metoda rada u obrani od tuče (Young, 1996).

Primjena numeričkih modela u teoriji umjetnog djelovanja na vrijeme, pa unutar toga i u teoriji obrane od tuče je višestruka (Orville, 1996). Primjene modela su sljedeće:

1. Razvoj hipoteza
2. Određivanje uvjeta za zasijavanje
3. Priprema eksperimenata u prirodi
4. Donošenje operativnih odluka (modeli se koriste za prognozu razvoja oblaka)
5. Procjene posljedica zasijavanja oblaka
6. Tumačenje i pojašnjavanje posljedica zasijavanja.

Farlley (1987.) je dvodimenzionalnim modelom simulirao zasijavanje oblaka hranioca, prema metodi zasijavanja koja se koristi u Kanadi, u državi Alberti. Simuliran je stvarni oblak koji je bio zasijavan. Rezultati modela su pokazali da je zasijavanje izazvalo ranije padanje kiše, međutim u pojedinim trenucima primjećeni su efekti i drugih hipoteza. U gornjem dijelu oblaka hranioca primjećena je pojačana konkurencija zbog smanjenja koncentracije kapljica vode, a povećanih koncentracija ledenih zrna (krupe) i snijega. U ovoj simulaciji došlo je do pojačanja glavne uzlazne struje zbog dinamičkih efekata izazvanih zasijavanjem. U ostalim simulacijama s dvodimenzionalnim modelima primjećeno je pojačanje i slabljenje uzlazne struje zbog dinamičkih efekata. Za te efekte se ne zna nisu li samo proizvod numeričkog modela. U svakom slučaju rezultati ove simulacije potvrdili su postojanje efekta zasijavanja.

Na kraju treba istaknuti, glavni zadatak teorije je otkriti gdje, kada i koliko reagensa treba unijeti u oblak da bi se postigao najbolji učinak obrane od tuče, a teoriju onda treba provjeriti eksperimentom u kojem se cumulonimbusi zasijavaju prema pretpostavkama teorije.

## 2.2. Eksperimentalna provjera metoda obrane od tuče

Eksperimenti u kojima se provjerava neka metoda obrane od tuče su višegodišnji pothvati tijekom kojih se angažira veliki broj znanstvenika i stručnjaka, koristi najrazličitija oprema, od aviona opremljenih mjernim instrumentima, raznih vrsta radara pa do tučomjera. Mogu se provoditi samo radi mjerenja i promatranja određenih procesa u tučonosnim oblacima, koji su važni za obranu od tuče. Takvi eksperimenti se zovu fizikalni eksperimenti, a rade se radi proširivanja znanja o raznim procesima u oblacima koji utječu na stvaranje i rast zrna tuče. Oni ujedno mogu potvrditi ili opovrgnuti neke pretpostavke metode zasijavanja oblaka radi obrane od tuče ili dovesti do formuliranja nove metode zasijavanja oblaka. Druga vrsta eksperimenata su takozvani statistički eksperimenti, a provode se radi potvrde neke metode zasijavanja. Takvi eksperimenti moraju trajati veći broj godina, a provode se tako da se između dana za koje postoje uvjeti za padanje tuče, slučajnim odabirom određuju dani kad se oblaci zasijavaju, a kad se ne zasijavaju. Eksperimenti mogu biti i fizikalni i statistički istovremeno, pa se govori o istraživačkoj i potvrdnoj fazi eksperimenta.

Tijekom prošlih trideset godina napravljeno je nekoliko većih eksperimenata u području istraživanja mogućnosti obrane od tuče. Prvi eksperimenti bili su potaknuti izvještajima sovjetskih znanstvenika prema kojima se njihovom metodom, koja se zasnivala na teoriji akumulacione zone, može smanjiti šteta od tuče za 80%. Dva velika eksperimenta tijekom 70-tih i ranih 80-tih, imala su cilj provjeru sovjetske metode zasijavanja. To su bili NHRE (National Hail Research Experiment) u Koloradu u SAD-u, i Grossversuch IV u Švicarskoj. Oba eksperimenta rađena su kao fizikalni i statistički eksperiment. Tijekom 80-tih i početkom 90-tih napravljena su još dva velika eksperimenta. U Sjevernoj Dakoti u SAD, napravljen je fizikalni eksperiment pod nazivom NDTP (The North Dakota Thunderstorm Project), čiji je cilj bio daljinskim mjerenjima i mjerenjima u oblaku prikupiti veliki broj podataka o fizikalnim procesima u oblaku. Eksperiment je bio usredotočen na procese važne za obranu od tuče i procese važne za povećanje količine oborine. Drugi eksperiment, napravljen 80-tih, proveden je u Grčkoj, a po naravi je bio statistički.

NHRE i Grossversuch IV imali su veliki utjecaj, i još uvijek imaju, na odnos znanstvenih krugova prema mogućnosti operativne obrane od tuče, a uvelike su utjecali na stavove Svjetske Meteorološke Organizacije (SMO, engl. WMO). Ono što su sa sigurnošću dokazali je da sovjetska metoda, u područjima gdje su eksperimenti rađeni, ne daje rezultate u obrani od tuče. Veliki je doprinos ova dva eksperimenta, a to se posebno odnosi na NHRE, to što je prikupljeno mnogo novih saznanja u vezi

nastanka tuče u oblaku, no postavljena su i mnoga nova pitanja. NDTP je dao odgovor na neka važna pitanja u vezi procesa u oblacima koji su značajni za obranu od tuče. Ponudio je i nove metode istraživanja, a od kojih neke mogu biti upotrijebljene i u operativnom provođenju obrane od tuče. Grčki eksperiment je značajan po tome što je njime testirana potpuno različita metoda zasijavanja od sovjetske metode i što su dobiveni pozitivni rezultati u smanjenju štete od tuče.

### 2.2.1. NHRE

Eksperiment je trajao pet godina, od 1972. do 1976. godine (Foote, G.B. i C.A. Knight, 1979), a pokrenut je nakon višegodišnjeg pripremnog perioda. Ciljevi eksperimenta bili su:

- 1) postizanje većeg razumjevanja, opažanjem i analizom, svih aspekata dinamike i mikrofizike intenzivnih nevremena koja daju pojavu jake tuče na tlu
- 2) na temelju prikupljenih saznanja definirati metodu za obranu od tuče.

Tijekom tri godine, (1972-1974), rađen je eksperiment zasijavanja slučajnim odabirom, prema sovjetskoj metodi. Način zasijavanja nije bio potpuno isti, jer su oblaci zasijavani avionima, a u Sovjetskom Savezu su korištene rakete. Planirano vrijeme eksperimenta zasijavanja bilo je pet godina, međutim prekinut je zato jer su nova otkrića pokazala da način zasijavanja nije adekvatan za nevremena u Koloradu i zbog saznanja da zasijavanje u jaku uzlaznu struju nije metoda koja može dati zadovoljavajuće rezultate. Kontrolna varijabla za statističku analizu bila je masa tuče. Statistička analiza zasijavanja, (Crow E.L., A.B. Long, J.E. Dye, A.J. Heymsfield i P.W. Mielke, Jr., 1979), pokazala je da na nivou signifikantnosti od 10% nema utjecaja zasijavanja na kontrolnu varijablu. Isti rezultat je dobiven (Foote, G.B., R.E. Reinhart i E.L. Crow, 1979) analizom radarskih podataka. Jedino je analiza vrste zametka (Knight, C.A., N.C. Knight, 1979) pokazala da je na dane kad su oblaci zasijavani bilo više zametaka nastalih zamrzavanjem kapljica, no razlika u odnosu na dane bez zasijavanja je tako mala da može biti i slučajna.

Pregled rezultata eksperimenta dali su Knight, C.A., G. B. Foote i P.W. Summers (1979). Osim eksperimentalne provjere sovjetske metode prikupljena su mnoga saznanja o procesu nastanka tuče u cumulonimbusima u Koloradu. Nova metoda obrane od tuče (cilj broj 2) nije bila definirana. Postavljena su neka načela koja se odnose na zasijavanje u uvjetima kakvi su primijećeni u Koloradu. Prema tim načelima zasijavanje oblaka treba započeti u ranijem trenutku razvoja zametka zrna tuče, na mjestu u oblaku koje nije vidljivo na radaru. Browning and Foote (1976) definirali su novu metodu zasijavanja koja se temelji na saznanjima o strukturi nevremena. Usporedbom vrste zametaka u raznim djelovima svijeta, pronađeno je da vrsta embrija ovisi o klimatskom području, što znači da metoda obrane od tuče primjenjena u jednom području ne može bez prilagodbe biti primjenjena u drugom području. Konačni zaključak je bio da su mnoge pojedinosti u procesu rasta zrna tuče još nedovoljno poznate, pa se zato ne može definirati metoda za obranu od tuče. Izraženo je mišljenje da novi eksperiment obrane od tuče ima smisla tek kada se odgovori na bitna pitanja, ili se pojavi metoda koja daje značajno smanjenja tuče.

Napravljena je analiza ekonomske opravdanosti obrane od tuče za Kolorado, prema kojoj smanjenje štete od tuče za 10% opravdava troškove obrane od tuče.

Na kraju, jedan citat iz sumarnog prikaza eksperimenta:

" Da bi se dokazalo postojanje umjetnog djelovanja na vrijeme na način da se primjenjena metoda može smatrati prihvatljivom tehnologijom, mora se napraviti statistički pokus kojim se odgovarajućom razinom pouzdanosti dokazuje da metoda daje rezultate. To je bilo uvjerenje ljudi koji su pripremili NHRE, a i dalje je prihvaćeno kao aksiom u znanstvenoj zajednici. Nadalje, iako je statistički pokus



nužan, smatra se da nije dovoljan. Potreban je i određeni stupanj poznavanja fizikalnih procesa; metoda mora imati smisla, u skladu s posljednjim saznanjima o procesima u oblaku, jer bez toga metoda niti je uvjerljiva, niti se može upotrijebiti na nekom drugom mjestu."

### 2.2.2 Grossversuch IV

Rezultate eksperimenta opisali su Federer, B., A. Waldfogel, W. Schmid, H.H. Schiesser, F. Hampel, M. Schweingruber, W. Stahel, J. Batter, J.F. Meziex, N. Doras, G. D'Aubigny, G. DerMegreditchian i D. Vento (1986). Eksperiment je je trajao pet godina (1977 - 1981), jer je cilj bio da se dobije dovoljno veliki niz podataka za signifikantnu potvrdu učinkovitosti obrane od tuče od 60% i više. Primarna kontrolna varijabla je bila kinetička energija zrna tuče izračunata na temelju intenziteta radarskog odraza. Statističkom analizom nije otkriven signifikantan utjecaj zasijavanja na kontrolnu varijablu. Avionska mjerenja su pokazala da u švicarskim cumulonimbusima nema akumulacione zone, čije postojanje je temeljna pretpostavka sovjetske metode. Kasnije analize (Bader, J., W.A. Stahel i W. Schmid, 1992.), pokazale su da je zasijavanje imalo utjecaja na intenzitet radarskih odraza. Meziex, (1990), je analizirao efekte zasijavanja po tipovima oblačnih ćelija. Prema ovoj analizi, zasijavanjem je smanjen intenzitet tuče ćelija koje su klasificirane kao usamljene i kompleksne, dok je povećan intenzitet tuče za ponavljajuće ćelije. Prema Dessensu, (1988), efekti zasijavanja su postojali, ali su ovisili o intenzitetu nevremena. Zaključak je izveo analizom kumulativne kinetičke energije po danima poslaganim po padajućim vrijednostima kinetičke energije. Projekt su kritizirali neki sovjetski autori, prema kojima područje na kojem su oblaci zasijavani nije bilo dobro postavljeno jer je stajalo okomito na smjer gibanja oblaka.

### 2.2.3. Grčka

Eksperiment (Rudolf R. and C. Ganniaris, 1991, Rudolf R., C. Sackiw i G. Riley, 1994) je imao samo ograničeni broj mikrofizičkih mjerenja kojima je pronađeno da su zameci zrna tuče nastali na kristalima leda. U skladu s time izabrana je metoda blagotvorne konkurencije, kao najbolje rješenje za obranu od tuče. Zasijavanje: uzlazna struja u razvoju za jednoćelijske cumulonimbuse, i oblaci hranioci kod višećelijskih cumulonimbuse. Time se nastojalo ograničiti količinu podhlađene vode u djelovima oblaka gdje nastaje i raste tuča.

Područje na kojem je rađen eksperiment nalazilo se sjeverozapadno od Soluna, veličine 2300 km<sup>2</sup>. Cijelo područje prekriveno je mrežom tučomjera, a za potrebe eksperimenta podijeljeno je na dva jednaka dijela. Sjeverni dio je bilo kontrolno područje a južni ciljno područje. Na ciljnom području zasijavani su oblaci slučajnim odabirom, po danima. Zasijavanje je rađeno uz pomoć zrakoplova, na nivou -10° C i pri bazi oblaka. Eksperiment je trajao pet godina, od 1984. do 1988. godine, a zasijavanje je rađeno od 1. 5. do 30. 9. Mjerene su sljedeće fizičke veličine: broj pogođenih tučomjera, ukupan broj zrna tuče, medijan promjera zrna tuče, najveći promjer zrna tuče, površina na kojoj je pala tuča, ukupni volumen zrna tuče, kinetička energija tuče, i radarska reflektivnost. Usporedbom podataka s branjenog i kontrolnog područja pronađeno je da je prema svim mjerenim fizičkim veličinama šteta od tuče u petogodišnjem razdoblju manja na branjenom području. Srednje smanjenje broja zrna tuče na branjenom području u odnosu na kontrolno iznosilo je 55%, s tim da je veće smanjenje broja zrna bilo za kategorije zrna tuče s većim promjerima. Analiza razdiobe relativnih frekvencija zrna tuče po promjerima pokazala je veće vrijednosti relativnih frekvencija promjera manjih od 8 mm na branjenom području, dok veći promjeri imaju veću frekvenciju na kontrolnom području uz povećanje razlike s povećanjem promjera. Ovakva razlika u razdiobi relativnih

frekvencija promjera zrna tuče konzistentna je s pretpostavkom blagotvorne konkurencije. Prema podacima osiguravajućih društava na branjenom području isplate su bile od 18% do 59% manje na branjenom području. Broj dana s pojavom tuče i ukupna površina na kojoj je padala tuča nisu promijenjeni zasijavanjem.

Grčki eksperiment je pokazao da je zasijavanjem postignuto signifikantno smanjenje štete od tuče i signifikantne razlike u svim mjerenim fizičkim veličinama između branjenog i kontrolnog područja, pri čemu sve razlike imaju takav karakter da ukazuju na smanjenje štete od tuče. Nedostatak eksperimenta je premali broj mikrofizičkih mjerenja u oblacima, zbog čega fizikalni razlozi dobivenih rezultata nisu do kraja razjašnjeni. Usporedbom grčkih cumulonimbusa sa cumulonimbusima sličnih karakteristika u drugim dijelovima svijeta, i na temelju ograničenog broja mjerenja u grčkim oblacima, može se zaključiti da je blagotvorna konkurencija proces koji je djelovao u grčkim oblacima.

#### 2.2.4. Sjeverna Dakota

Tijekom godina 1984, 1987, 1989 i 1993. provedeno je niz mjerenja u konvektivnim oblacima, uz uporabu najsuvremenije tehnologije. Mnoge mjerne tehnologije i postupci unaprijeđeni su tijekom ovog eksperimenta. Jedan od glavnih zadataka ovog eksperimenta bilo je ispitati lanac fizikalnih procesa prema pretpostavkama metode zasijavanja u Sjevernoj Dakoti. Projekt se sastojao od 19 podprograma (Boe i ostali, 1992), od kojih su, za obranu od tuče, najzanimljiviji oni koji su se bavili proučavanjem prijenosa i disperzije reagensa u oblacima hraniocima, i nastajanjem oborine u zasijanim i nezasijanim oblacima. U eksperimentu nije bilo djelovanja na procese slučajnim odabirom. Karakteristično je za ovaj eksperiment intenzivno korištenje numeričkih modela u raznim fazama eksperimenta.

Od do sada objavljenih znanstvenih radova proisteklih iz ovog eksperimenta, za obranu od tuče značajni su radovi koji obrađuju prienos plina za označavanje u cumulusima (Stith, 1992), i praćenje radarskog označivača cirkularno polariziranim radarom (Reinking i Martner, 1996) u oblaku hraniocu. Uz praćenje širenja plina za označavanje rađena su mjerenja koncentracije ledenih čestica, koja su pokazala da je zasijavanje izazvalo nastanak ledenih čestica.

#### 2.3. Zaključak

Temelj teorije obrane od tuče su hipoteze, koje na temelju do sada poznatih činjenica iz mikrofizike oblaka i dinamike cumulonimbusa izriču pretpostavljeni slijed događaja koji izaziva zasijavanje oblaka. Hipoteze su provjeravane numeričkim modelima i eksperimentima u prirodi.

Numerički modeli su dokazali ispravnost pretpostavki nekih hipoteza, međutim, zbog ograničenja koja postavlja računalna tehnika, u modelima su zanemarivani neki fizikalni procesi, ili su njihovi efekti samo grubo uzeti u obzir, pa se rezultati koje daju modeli ne mogu uzeti kao sigurni dokaz vrijednosti neke hipoteze. Numerički modeli koji precizno, u skladu s današnjim znanjem, opisuju fizičke procese u cumulonimbusima pojavili su se tek nedavno.

U obrani od tuče eksperimenti su vrlo rijetki, jer traju više godina i traže angažman velikog broja stručnjaka i tehničkih sretstava. Dva eksperimenta, NHRE i Grossversuch IV, bavili su se sovjetskom metodom zasijavanja cumulonimbusa, koja se zasnivala na teoriji akumulacijske zone. Jedan i drugi eksperiment zasijavanjem cumulonimbusa slučajnim odabirom dokazali su da sovjetska metoda ne utječe na masu, odnosno kinetičku energiju tuče. Dobiveni rezultat ne začuđuje, jer je mjerenjima u cumulonimbusima pronađeno da cumulonimbusi na geografskim lokacijama gdje su rađeni eksperimenti nemaju akumulacijsku zonu. Utjecaj

zasijavanja na cumulonimbuse otkriven je za vrijeme Grossversucha, ali nije bio takve prirode da može smanjiti kinetičku energije tuče na tlu. Eksperiment koji je napravljen u Grčkoj, u suradnji s Kanadom, rađen je pod pretpostavkom izazivanja blagotvorne konkurencije. Prije početka zasijavanja oblaka slučajnim odabirom načinjena su mjerenja u oblacima po kojima se moglo naslutiti da metoda blagotvorne konkurencije može biti uspješna. Rezultati zasijavanja cumulonimbusa tijekom pet sezona obrane od tuče dobro se poklapaju s pretpostavkama hipoteze blagotvorne konkurencije. Dokazana je i ekonomska opravdanost obrane od tuče, štete su bile manje od 18% do 59%. U SAD, u državi Sjeverna Dakota, rađen je eksperiment radi provjere pretpostavki prema kojima se tamo radi obrana od tuče. Tijekom eksperimenta oblaci nisu zasijavani slučajnim odabirom, već su rađena mjerenja u oblacima. Smatra se da su takvi eksperimenti izuzetno važni za uspješan rad obrane od tuče, jer otkrivaju koji su fizički procesi važni za nastanak i rast tuče. Svjetska Meteorološka Organizacija preporučuje ovu vrstu eksperimenta svakoj zemlji koja ima obranu od tuče, radi toga da se ne koriste krive hipoteze obrane od tuče.

### 3. Operativno provođenje obrane od tuče u svijetu

#### 3.1. Općenito

Znatan broj operativnih programa obrane od tuče provodi se u preko dvadeset zemalja svijeta. U mnogim zemljama provedeni su ili se provode znanstveno-razvojni eksperimenti u okviru priprema za uvođenje obrane od tuče ili utvrđivanja njene djelotvornosti.

Unos meteorološkog reagensa u tučoopasne oblake provodi se pomoću raketa, zrakoplova, prizemnih generatora i topova. Meteorološki reagens je aktivna tvar, (najčešće na bazi srebrnog jodida), pomoću koje se zaleđuje pothlađena voda u oblaku. Bez obzira na hipotezu djelovanja, pothlađena voda je osnovni uvjet rasta velikih zrna tuče. U nekim zemljama je uz operativno provođenje organizirano i ispitivanje djelotvornosti motrenjem pojava tuče i štete na kontrolnim područjima kako bi se verificirala uspješnost djelovanja.

#### 3.2. Opis operativnih sustava obrane od tuče u svijetu

##### 3.2.1. Argentina

Obrana se provodi od 1985. godine u pokrajini Mendoza koja je jedna od najtučonosnijih područja u svijetu, na površini od 39 000 km<sup>2</sup>. Koriste se zrakoplovi s piropatronama na bazi srebra jodida. Financirana je u potpunosti od strane Ministarstva financija Vlade pokrajine Mendoze.

##### 3.2.2. Austrija

Austrija provodi obranu od tuče na 3 područja (Krems, Weiz i Radkersburg), ukupne površine 3 000 km<sup>2</sup>, a planira se i proširenje obrane na još jedno područje u blizini Graza. U početku su obranu provodili prizemnim generatorima, a prije 10 godina počeli su oblake zasijavati uz pomoć zrakoplova.

Na branjenom području postavljeni su tučomjeri, na temelju kojih su napravljene ocjene efikasnosti. Uspoređen je period djelovanja s prizemnim generatorima s onim kad se djelovalo s avionima. Financiran je od strane lokalne uprave, sponzora i znanstvene ustanove.

### 3.2.3. Bugarska

Obrana se provodi od 1969. na površini od 15 000 km<sup>2</sup>. Zasijanje provode raketama koje nose meteorološki reagens na bazi srebra jodida. Postavljena je mreža tučomjera, a financiranje je iz državnog proračuna i poljoprivrednih organizacija.

### 3.2.4. BiH

Obrana se vrši na području Bosanske Posavine od 1976. g. na površini od 2 400 km<sup>2</sup>. Koriste se rakete s pirotehničkom smjesom srebra jodida. Oblik organizacije je javno poduzeće, s prihodom izravno iz poreza.

### 3.2.5. Hrvatska

Obrana od tuče u međurječju Save i Drave provodi se na površini od 22 000 km<sup>2</sup> od 1967., s prekidom 1992., do kada se koriste rakete s pirotehničkom smjesom srebra jodida, da bi se 1994. uveli u obranu i prizemni generatori na bazi otopine srebra jodida u acetonu i time operativno krenulo u kombiniranu obranu od tuče. Program je financiran iz Proračuna, sredstvima lokalne uprave i osiguravajućih društava.

### 3.2.6. Kanada

Ovo je zasad jedini program koji se provodi isključivo zbog zaštite *imovine* u provinciji Alberta, od 1996. godine na površini od 26 400 km<sup>2</sup>. Koriste se zrakoplovi s reagensom na bazi srebrnog jodida. Program u potpunosti financiraju privatna osiguravajuća društva.

### 3.2.7. Kina

Branjeno područje je veličine 75 000 km<sup>2</sup>, a obrana se provodi od 1960. g. Koriste se rakete i protuzračni topovi za ispaljivanje granata koje sadrže pirotehničku smjesu srebra jodida. Program u potpunosti financira država preko meteoroloških i poljoprivrednih organizacija.

### 3.2.8. Francuska

Obrana od tuče provodi se u jugozapadnim područjima Francuske od 1952. g., na površini od 60 000 km<sup>2</sup>. Za zasijanje oblaka koriste se prizemnim generatorima u kojima se spaljuje otopina srebrnog jodida u acetonu. Program financiraju individualni poljoprivrednici i njihova udruženja.

### 3.2.9. Njemačka

Obrana od tuče provodi se od 1975. godine na površini od 6 500 km<sup>2</sup>. Koriste se zrakoplovi, a reagens je na bazi srebrnog jodida. Program financiraju poljoprivrednici, lokalna uprava i sponzori.

### 3.2.10 Mađarska

Program obrane od tuče se provodio od sedamdesetih godina do 1991. g. raketama s reagensom na bazi srebrnog jodida. Od 1991. g. program se provodi uz pomoć prizemnih generatora na površini od 8 350 km<sup>2</sup>, na području mađarskog dijela Baranje, Somođa i Tolne. Program je mješovito financiran od strane države, udruženja poljoprivrednika i osiguravajućih društava.

### 3.2.11. Grčka

Program obrane od tuče se provodi od 1984. g. na površini 2 400 km<sup>2</sup>. Koriste se zrakoplovi s reagensom na bazi srebrnog jodida. Program financira država preko poljoprivrednih organizacija.

### 3.2.12. Rusija

Obrana od tuče se provodi od 1968. g. na površini od 20 000 km<sup>2</sup>. Koriste se rakete, a na jednom području i zrakoplovi s reagensom na bazi srebrnog jodida. Program u potpunosti financira država.

### 3.2.13. Španjolska

Obrana od tuče se provodi od 1970. godine na površini od 15 370 km<sup>2</sup>. Koriste se prizemni generatori s reagensom na bazi srebrnog jodida. Program financira država preko poljoprivrednih organizacija.

### 3.2.14. SAD

U SAD-u se 1998. g. provodilo ukupno 45 operativnih programa umjetnog djelovanja na vrijeme, na ukupnoj površini od 450 380 km<sup>2</sup>. Budući da svi programi nisu namijenjeni obrani od tuče, ovdje su prikazani samo oni operativni programi obrane od tuče koji su prijavljeni Svjetskoj meteorološkoj organizaciji.

#### Sjeverna Dakota

Djelovanje na tučonosne oblake provodi se od 1961. godine na površini od oko 30 000 km<sup>2</sup>. Koriste se zrakoplovi s reagensom na bazi srebrnog jodida i suhi led. Rad obrane od tuče financira se 80% ubiranjem poreza u okruzima u kojima se obrana provodi, a 20% financijskih sredstava daje država Sjeverna Dakota.

#### Zapadni Kansas

Program obrane od tuče se provodi od 1975. godine. Površina na kojoj se djeluje iznosi oko 50 000 km<sup>2</sup>. Koriste se zrakoplovi s reagensom na bazi srebrnog jodida. Program financiraju lokalna uprava i državne istraživačke ustanove.

#### Oklahoma

Obrana od tuče se provodi na površini od 178 506 km<sup>2</sup>. Koriste se zrakoplovi s reagensom na bazi srebrnog jodida. Program financiraju državne istraživačke ustanove i lokalna uprava.

### 3.2.15. Makedonija

Obrana od tuče provodi se od 1971. godine na površini od 25 000 km<sup>2</sup>. Koriste se rakete s reagensom na bazi srebrnog jodida. Izvor financiranja programa je državni proračun.

### 3.2.16. Moldavija

Program obrane od tuče se provodi na 60 % državne površine (21 250 km<sup>2</sup>) od 1964. godine. Sredstvo za transport reagensa na bazi srebrnog jodida su rakete. Financiranje je isključivo putem privatnih poljoprivrednika i organizacija.

### 3.2.17. Uzbekistan

Obrana od tuče se provodi od 1969. godine na površini od 7 380 km<sup>2</sup>. U upotrebi su rakete s pirotehničkom smjesom srebrnog jodida. Financiranje je iz državnog proračuna.

### 3.2.18. Ukrajina

Ukrajina provodi obranu od tuče na površini od 9 000 km<sup>2</sup>, neprekidno od 1968. godine. Koriste se rakete s reagensom na bazi srebrnog jodida. Izvor financiranja su poljoprivredne organizacije.

### 3.2.19 Jugoslavija

Obrana od tuče se neprekidno provodi od 1968. godine na površini od 66 000 km<sup>2</sup>. Sredstvo transporta reagensa na bazi srebrnog jodida su rakete. Izvor financiranja čitavog sistema je državni proračun.

### 3.2.20 Slovenija

Nakon prekida od nekoliko godina, uspostavljena je obrana od tuče na području Maribora. Koriste se zrakoplovi s reagensom na bazi srebrnog jodida.

## 4. Obrana od tuče u Hrvatskoj

### 4.1. Razvoj obrane od tuče u Hrvatskoj

Hrvatska se nalazi u području geografskih širina gdje je pojava tuče vrlo česta, posebno tijekom ljetnih mjeseci. Također, njen intenzitet je toliki da često uzrokuje velike štete kako poljoprivrednicima tako i cijelom gospodarstvu. Stoga su se i kod nas oduvijek pratila svjetska iskustva i dostignuća na polju sprečavanja ili smanjenja posljedica padanja tuče. Prvi takvi pokušaji zbili su se krajem prošlog stoljeća, i to zvonjavom i pucanjem iz mužara pri nailasku nevremena.

Nakon otkrića Vonneguta i Schaefera, da CO<sub>2</sub> i neki spojevi Agl imaju povoljna svojstva za stvaranje ledenih kristala, koji mogu konkurirati prirodno nastalima u sakupljanju vodenih kapi, pedesetih je godina i u Hrvatskoj pokrenuta inicijativa za uspostavljanje obrane od tuče zasnovane na tim principima.

1956. godine, u organizaciji poljoprivredne službe Križevci, prvi puta se krenulo u poslove organiziranja obrane od tuče raketama malog dometa, kao sredstvom za unos jezgri kristalizacije u oblake. Rakete su bile vertikalnog dometa 1000 m (malog dometa) i lansirale su se sa štapa. Radilo se po uzoru na sustave razvijene u Francuskoj. Djelovanje se provodilo ispod baze oblaka, a odluku o djelovanju donosio je raketar na osnovu efekata koji prethode ili prate olujno nevrijeme (jak vjetar, grmljavina i sl). Područje djelovanja vrlo brzo se širilo unutar međuriječja Save i Drave. Sredinom šezdesetih godina se i Hidrometeorološki zavod RH uključuje u obranu od tuče prikupljanjem novih stručnih saznanja, pisanjem naputaka i pokušajem unapređenja obrane od tuče uvođenjem radarskog praćenja tučoopasnih oblaka. Zavod se 1967. godine na području Virovitice uključio izravno u

operativni rad na obrani od tuče, tako da je preko lokalnih radio stanica davao specijaliziranu prognozu za raketare. Uz lansiranje raketa raketari su započeli s bilježenjem pojava od značaja za obranu od tuče. Istovremeno je počeo rad na objedinjavanju rascjepkanih područja sa obranom od tuče u jedinstveni sustav. Te godine je na području većem od 60% ukupnog područja međurječja Save i Drave radilo 663 postaje s raketama malog dosega. Iste godine Zavod je završio projekt jedinstvenog radarski dirigitiranog sustava obrane od tuče. 1970. godine na Psunju je proradio prvi radarski centar. Iz godine u godinu u rad sustava za obranu od tuče su se uključivali novi radarski centri. Radilo se sa starim prerađenim vojnim radarima 3MK7, dobivenim pedesetih godina kao ratna odšteta. Tijekom 1976. godine u upotrebu je ušla nova raketa SAKO 6-3 srednjeg dometa. 1980. godine u rad se uključuje i radarski centar Osijek, tako da je sustav obuhvaćao cijelo područje Međurječja Save i Drave. Radilo je 711 postaja i 9 radarskih centara, na oko 22.000 km<sup>2</sup>. Iste godine u operativni rad se uvode nove rakete dometa do 10 km.

Narednih godina uslijedilo je širenje mreže postaja s raketama velikog dometa, te postavljanje novih meteoroloških radara, WSR 74S, dosega motrenja do 240 km, na centre Sljeme i Osijek. Sredinom osamdesetih godina uvedene su metodološke promjene u radu glede osavremenjivanja kriterija. Također, pojavljuju se novi tipovi kvalitetnijih raketa velikog i srednjeg dometa (PP8, MTT8).

Društveni interes za obranu od tuče rastao je iz godine u godinu, što je kulminiralo 1988. godine kada je obrana od tuče proglašena djelatnošću od opće društvenog interesa, i donesen je zakon kojim se reguliralo funkcioniranje i financiranje djelatnosti. Tijekom 1990. godine Hidrometeorološki zavod RH preuzima kompletnu nadležnost nad organizacijom i provođenjem obrane od tuče, kako stručni, tako i operativni rad na terenu, a koji je do tada bio u nadležnosti lokalnih SIZ-ova. Razrađeni su planovi modernizacije radarskih centara i sustava obrane od tuče i krenulo se u njihovu realizaciju.

Po izbivanju rata u Hrvatskoj 1991. godine, prekinut je rad na obrani od tuče, a djelatnici, raketari i raspoloživi resursi prelaze u rad službe motrenja i obavještanja za potrebe obrane domovine. Najveći dio zalihe raketa uništen je u ratu, kao i veliki dio opreme, a dio djelatnika je otišao iz djelatnosti.

Obrana od tuče je ponovno uspostavljena 1992. godine tijekom lipnja, i radila je po prostorno i vremenski smanjenom programu, samo u zapadnom dijelu branjenog područja. Po istom programu se radilo i 1993. godine. Tih godina razvijao se projekt uvođenja obrane prizemnim generatorima, jer još uvijek nije bilo mogućnosti nabavke rakete niti obnove raketnog sustava na nekim područjima. Unatoč ratnih zbivanja, tijekom 1993. i 1994. godine na RC Bilogora instaliran je novi meteorološki dopler radar, DWSR 88S, jedan od 5 prije rata planiranih i naručenih. Obrana od tuče prizemnim generatorima počela se provoditi tijekom 1994. godine, bez raketa, na svim oslobođenim dijelovima RH, na području prije rata od tuče branjenog područja. Godinu dana kasnije, "Đuro Đaković" je u suradnji sa firmom Makpetrol iz Makedonije proizveo prvu domaću raketu za obranu od tuče ALT 9, dometa do 8 km. Te godine u zapadnim dijelovima branjenog područja počelo se raditi kombinirano sa raketama i prizemnim generatorima. Ovakav način rada ostao je sve do danas, s tim da se branjeno područje postupno popunjavalo generatorima, te se širio raketni sustav na istočne centre. Radilo se na cijelom, prije rata branjenom području, osim Baranje i Hrvatskog Podunavlja. Godine 1996. nanovo je izgrađen radarski centar u selu Gorice u blizini u ratu razorenog centra.

Od 1994. godine počeli su poslovi na digitalizaciji starih radara 3MK 7, i potom tehnička prerada dijelova i montaža na radarske centre, tako da su do 1998. godine na svim radarskim centrima koji su imali stare radare (Varaždin, Trema, Stručec, Gorice i Gradište) postavljeni novi radari MER 93S, domaće proizvodnje. Ovo je omogućilo širenje raketene obrane dalje na istok.

#### 4.2. Stanje i problematika obrane od tuče

Obrana od tuče trenutno se provodi na području međurječja Save i Drave, Međimurja i dijela međurječja Save i Kupe (slika 2). Još uvijek u branjeno područje nisu uključena područja Hrvatskog Podunavlja i Baranje, a koja su prije domovinskog rata bila dio sustava. Provodi se program kombinirane obrane od tuče, generatorima i raketama u zapadnom dijelu, te samo prizemnim generatorima u istočnom dijelu branjenog područja.

Na branjenom području rade 492 generatorske postaje, a na zapadnom dijelu i 238 lansirnih postaja. Na tim postajama honorarno radi 984 raketara ili poslužioaca generatora i njihovih zamjenika. U odjelu obrane od tuče ukupno je zaposleno 111 djelatnika, od kojih 99 radi u odsjeku za operativno tehničke poslove, 9 u odsjeku meteorološki radari i 3 djelatnika u odsjeku za istraživačko razvojne poslove.

Akcije obrane od tuče vode se sa osam radarskih centara, od kojih su tri opremljena sa meteorološkim radarima velikog dometa, a na preostalim pet radi se sa digitaliziranim radarima MER 93S.

Rad u 2000. godini osniva se uglavnom na korištenju starih zaliha sredstava djelovanja, koji su uz minimum nove nabave, jedva pokrile potrebe ionako skraćene sezone obrane od tuče, a zbog nedostatka financijskih sredstava ostaje upitno kako će se krenuti u sljedeću godinu rada bez bar minimalnih količina sredstava djelovanja i nužnih zaliha rezervnih dijelova za opremu.

Trenutno stanje obrane od tuče ne zadovoljava kako samu djelatnost, tako niti društvo u cjelini, jer ne omogućuje optimalno djelovanje, tj. zadovoljavanje svih prije navedenih znanstveno utvrđenih teorijskih i eksperimentalnih pretpostavki, kako u vremenu tako i u prostoru. Razlog tome je: nehomogenost mreže postaja, postojanje područja sa zabranom djelovanja, zastarjelost dijela opreme i nedostatak sredstava djelovanja.

Ovakovo stanje je posljedica načina financiranja u posljednjih nekoliko godina. Osnovni program rada prošlih godina bio je financiran iz Proračuna RH, osiguravajućih društava i županija. Okvirom takvog načina financiranja, predviđena financijska sredstva se nikada nisu mogla realizirati u punom iznosu i u pravo vrijeme, pa se i program rada nije mogao realizirati u potpunosti.

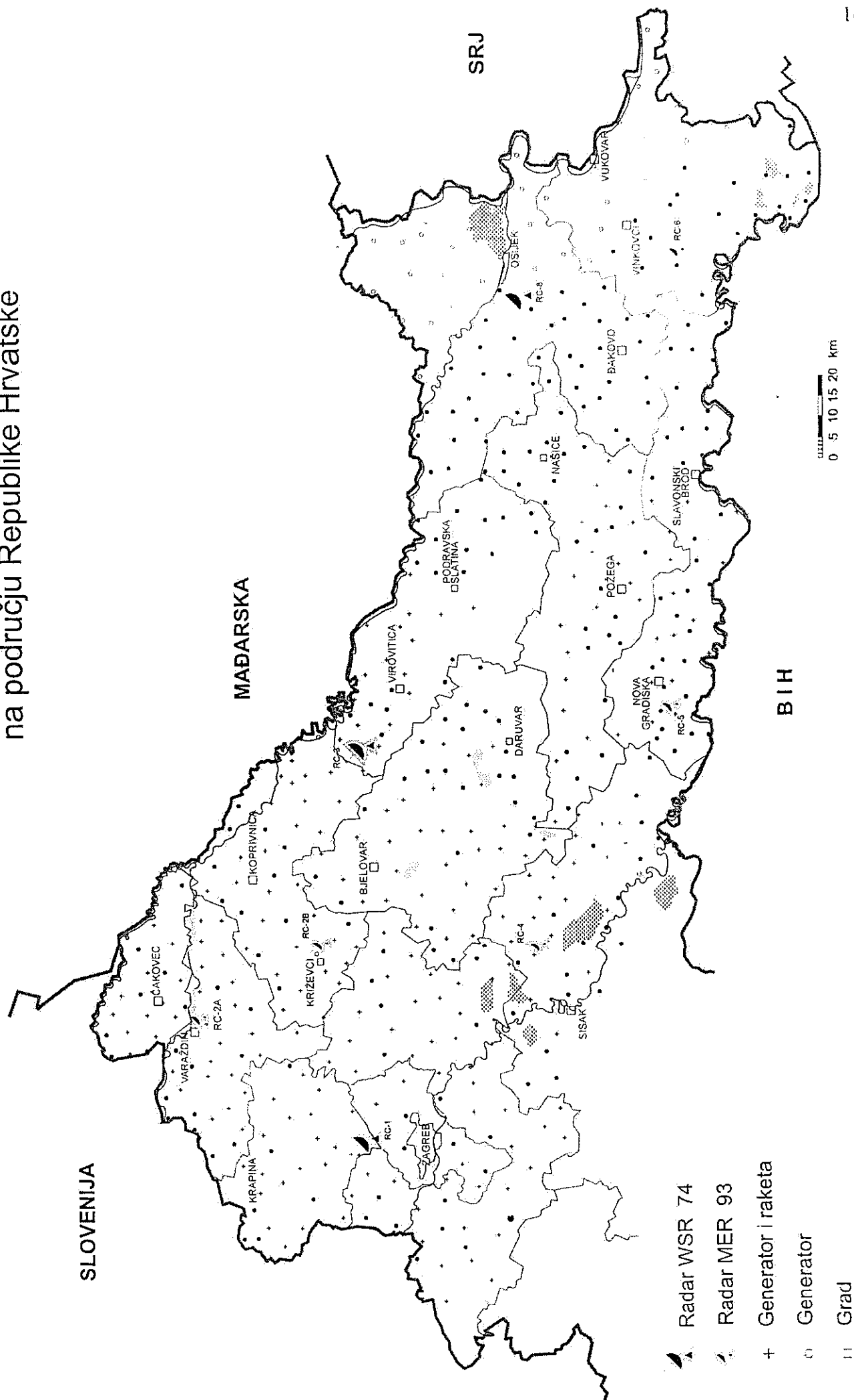
Za optimalno funkcioniranje sustava, te njegovo dovođenje u predratno stanje, neophodno je proširenje sustava na područje Baranje i Hrvatskog Podunavlja, kao i ona manja područja unutar branjenog dijela koja se zbog ratnih i drugih razloga nisu do sada obnovila, što bi dovelo sustav obrane od tuče na istu operativnu razinu na cijelom branjenom području. Realizacija toga, zahtjeva obnovu mreža LP i GP na području Hrvatskog Podunavlja i Baranje, kao i na nekim drugim manjim područjima sjeverne i istočne Hrvatske. Također, uključuje ponovno uvođenje raketne obrane u sustav obrane od tuče na području Požeško-Slavonske, Vukovarsko-Srijemske i Osječko-Baranjske županije. To su ključni uvjeti upotpunjavanja sustava i omogućavanja njegove jedinstvenosti.

Uz ovo, u svrhu stabilnosti i modernizacije djelatnosti, potrebno je nastaviti rad na:

- projektima verifikacije djelovanja sustava obrane od tuče, a kao dio projekta potrebno je što prije nabaviti i postaviti tučomjere na postaje obrane od tuče i meteorološke postaje na cijelom branjenom području.
- razvoju programske podrške, povezivanju radara i razmjeni radarskih slika u slučajevima kvara na nekom RC-u, ili iz drugih razloga, izradi kompozitne slike, najavi olujnih i opasnih nevremena na osnovi radarskih i drugih podataka (nowcasting).
- poslovima na analizi i razvoju numeričkih mezo i Cb modela,



Slika 2. Područje djelovanja sustava obrane od tuče  
na području Republike Hrvatske



- izradi jedinstvene baze podataka OT, uključivo s povijesnim podacima,
- automatiziranju procesa rada u obrani od tuče,
- ispitivanju mogućnosti uvođenja zrakoplovne obrane u sustav obrane od tuče,
- razmjeni iskustava sa susjednim zemljama, Europom i svijetom, kao i rad na projektima zaštite od mraza, magle itd.,
- poslovima vezanim uz modernizaciju postojećih radara i ostale opreme (osobito računalne opreme i veza),
- rješavanju problema dogovora suradnje sa susjednim državama (Slovenija, BIH i Mađarska), vezano uz mogućnost našeg djelovanja preko državne granice ili zajedničkog u pograničnom području.

Obnova mreže postaja i proširenje rada kombiniranog sustava na nebranjena područja, te realizacija razvojno-znanstvenih programa dio su potreba da se napravi pomak prema cjelovitom funkcioniranju obrane od tuče na branjenom području i eventualno novim područjima u kojima ono ima ekonomsku opravdanost.

## 5. Pokazatelji uspješnosti obrane od tuče

### 5.1 Uvod

Operativni programi obrane od tuče provode se u većini zemalja širom svijeta koje se nalaze u klimatskim područjima u kojima je tuča vrlo učestala pojava i nanosi velike štete poljoprivredi, te pokretnoj i nepokretnoj imovini.

U mnogim zemljama provode se ili su se provodili znanstveni eksperimenti vezani za ocjenu efikasnosti i djelovanja sustava OT (USA, Švicarska, Argentina i Grčka), a u ostalim zemljama paralelno uz operativnu obranu provode se istraživanja efikasnosti OT pomoću raznih metoda.

Za ocjenu efikasnosti OT statističkim metodama koriste se sljedeći podaci :

- veličina tučene površine
- postotak oštećenja poljoprivrednih kultura
- iznosi šteta
- spektar veličine i kinetička energija zrna tuče

Svi ovi parametri odnose se na branjeno i nebranjeno područje.

### 5.2 Rezultati istraživanja uspješnosti obrane od tuče

#### GRČKA

C. Sackiw, 1991: Od 1984. do 1988., avionsko zasijavanje, 3 područja, veličine 2350, 1300 i 1200 km<sup>2</sup>. Cijeli program financira Grčka vlada od 1981. godine preko "National Agricultural insurance institute" (OGA)

Postavljeni su tučomjeri, projekt je randomiziran, zasijavanje se provodi avionima.

Rezultati:

- ukupna energija udara pokazuje izračunato smanjenje od 74 %
- broj zrna, postotak udarenih ploča i ukupni volumen pokazuju izračunati veliki efekt smanjenja, veći od 50 %.
- Wilkoksov rank test jako podupire smanjenje na ciljnom području, (two-tailed P-values < 0.002).

R. Rudolf and all., 1991: Od 1984 do 1988 – područje isto kao navedeno u prethodnom radu.

Rezultati:

- Svi parametri osiguranja od tuče (iznos isplate, veličina oštećene površine i broj sela sa zahtjevom za odštetu) pokazuju pozitivni efekt zasijavanja. Rezultati djelovanja se kreću od 18% sela manje sa zahtjevom odštete pa do 47 % manje isplaćene svote.

R. Rudolf and all. 1994:

Randomizirani pokus, tučomjeri na 2000 km<sup>2</sup>, korišten Wilcoxon Signed Rank test.

Rezultati pokazuju:

- 52 % smanjenje broja zrna tuče
- 19 % smanjenje udarenih ploča tučomjera
- 34 % smanjenje maksimalnog promjera zrna
- 74 % smanjenje energije udara zrna (K.E.)
- od 18 do 59 % smanjenje premija osiguranja

Rezultati su statistički signifikantni

U.S.A.

Newsletter, 1994.

Podaci: Uzet je period od 1941. do 1970. godine bez zasijavanja i period sa zasijavanjem, 1979 - 1993.

Područje: Zapadni Kansas, (6 provincija zaštićeno područje) i 8 provincija kontrolno područje u NW Kansas.

Rezultati pokazuju 27 % smanjenja šteta od tuče, što ako se odbije cijena projekta daje uštedu samo na poljoprivrednim površinama od oko 4 milijuna dolara godišnje.

WMO 1997 i 1998.

Sjeverna Dakota, Regija I: područje 6209 km<sup>2</sup>, na osnovi povijesnih podataka smanjenje šteta od 45 do 50 %.

Sjeverna Dakota, Regija II: područje 23 278 km<sup>2</sup>, na osnovi povijesnih podataka smanjenje šteta od 45 do 50 %.

AUSTRIJA

O. Svabik., 1992: Usporedba 1982 – 1985. generatorska obrana, prema 1986 - 1990. avionska obrana, pokazuje, na poligonu tučomjera od 196 kom.:

- smanjenje tučene površine za 40 %
- srednji godišnji broj pogođenih ploča smanjen od 0.97 na 0.52
- porast postotka zrna tuče promjera 5 mm od 63 % na 72 %
- smanjenje postotka zrna tuče promjera 10 mm sa 30 % na 23 %
- smanjenje postotka zrna tuče promjera 15 mm sa 6 % na 4 %
- smanjenje postotka zrna tuče promjera ostalih klasa od 1.2 % na 0.6 %

## FRANCUSKA

- J. Dessens. 1993 :  
 Generatorska obrana u Francuskoj, površina 60 000 km<sup>2</sup>
- Korišteni su podaci osiguravajućeg društva – premije, usporedba godina kada se nije zasijavalo s onima kad su djelovali generatori:
  - Bivarijantni test (štete/premije) pokazuje smanjenje šteta od tuče 42 %, granica signifikantnosti veća od 0.01.

## HRVATSKA

- B. Gelo et al. 1994:  
 broj dana s tučom nakon uvođenja OT (1971- 1990) smanjen za 29 %
- M. Gajić et al, 1993:  
 Pokazuje na 4 meteo stanice u sjevernoj Hrvatskoj trend blagog opadanja tučonosne aktivnosti
- D. Počakal, 1994 :  
 Rezultati pokazuju povećani postotak pojave zrna tuče promjera 15-50 mm, kao i duže padanje tuče, za vrijeme kada sustav nije u mogućnosti djelovati (zabrana OKL), u odnosu na slučajeve kada je sustav djelovao poštujući tehnologiju OT.
- M. Matvijev et al, 1994 :  
 Rad ukazuje na povećanje zrna tuče i šteta u slučajevima kada je zbog objektivnih razloga došlo do nedovoljnog djelovanja OT ili je djelovanje izostalo (pad ili izostanak koncentracije AgJ po jedinici volumena oblaka)
- D. Počakal, 2000:  
 Na temelju 20 godišnjih podataka sa LP-a, analizirane su karakteristike tuče i štete na tlu za dva vremenska perioda.  
 Prvi period, 1981-1990. odnosi se na vrijeme kad se mogla provoditi optimalna obrana od tuče (gusta mreža LP, dovoljno raketa, 2 lansera na LP i mogućnost lansiranje preko granice zbog ranijeg zasijavanja).  
 Drugi period, 1991-1999. karakterizira djelomični prestanak rada OT (rat, nedostatak raketa), kasnije bitno smanjeno djelovanje OT, te zabrana lansiranja raketa preko granice.  
 Rezultati:  
 Prosječni promjer zrna se u drugom periodu malo povećao, posebno u intervalu od 15-35 mm.  
 Prosječno trajanje padanja tuče povećalo se od 3.8 na 4.8 min, (povećanje od 21 %).  
 U drugom periodu povećao se i broj površina s većim udjelom velikih šteta (8 %), kao i sam omjer velikih šteta (50-100%) za pojedine površine.  
 Podaci s 9 meteo stanica tog područja pokazuju gotovo dvostruko smanjenje srednjeg broja dana s krutom oborinom u odnosu na 20 godišnji period prije uvođenja obrane od tuče i ponovni rast prosječnog broja dana u periodu 1991-1999. kada obrana od tuče nije mogla djelovati.
- |             |    |          |
|-------------|----|----------|
| 1951 - 1972 | -- | 1.4 dana |
| 1973 - 1990 | -- | 0.8 dana |
| 1991 - 1999 | -- | 1.0 dana |

## RUSKA FEDERACIJA

M.T. Abshaev, 1994.:

Zaštićena površina 107 000 km<sup>2</sup>

Tuča nije pala iz 5628 zasijavanih meta (82 %) slučajeva, na branjenom teritoriju. Prije uvođenja OT 3160 km<sup>2</sup> imalo je 100 % štetu na poljoprivrenim kulturama. Kad je 1967. godine branjena površina iznosila 16 000 km<sup>2</sup>, oštećena površina iznosila je 409 km<sup>2</sup>. Kad je branjena površina narasla na 107 000 km<sup>2</sup>, prosječna oštećena površina iznosila je 409 km<sup>2</sup>.

Svi podaci govore da se je efikasnost zaštite povećala s napretkom tehnologije i opreme od 40 % u 1961. godini, pa do 85 - 90 % u razdoblju 1984 - 1991.

## SJEVERNI KAVKAZ

WMO 1997 i 1998.

površina 20 000 km<sup>2</sup>, smanjenje šteta od tuče od 64 do 85 %.

## KINA

L. Fendgsheng et all, 1994:

Ukupno branjeno područje je 12700 km<sup>2</sup>, a obrađeno je 7270 km<sup>2</sup>.

Koriste se statističke metode. Uzeto je 11 godina prije uvođenja obrane od tuče i 4 godine obrane od tuče na istom području (1988 - 1991).

Nakon statističkog testiranja  $a=0.1$ , ustanovljeno je da su efekti obrane od tuče signifikantni.

Prije i poslije obrane od tuče omjer kompenzacije osiguravajućeg društva za pamučna polja se od početnih 1.86 spustio na 0.88, smanjivši se za 0.98. Inicirajući na taj način da se isplata premija promjenila od gubitka u profit.

Premije za te 4 godine na branjenom području iznosile su 736 263 \$, a isplata premija za nadoknadu štete iznosila je 154 364 \$ (20 %).

Bazirano na statističkim rezultatima povijesnih podataka o tuči zaključeno je da se je u 4 godine tučena površina smanjila za oko 1007 km<sup>2</sup>, a gubici u proizvodnji pamuka i žita smanjili su se za oko 20.14 miliona \$. Omjer C/B je 1: 24.5

G. Ziyi. 1994 :

Obrađena površina iznosi 1206.6 km<sup>2</sup>, a prema statističkim rezultatima u razdoblju od 1987 do 1989. prosječna tučena površina iznosila je 180.45 km<sup>2</sup>.

Rezultati pokazuju da se je tučena površina na branjenom području smanjila za 59 % u usporedbi sa susjednim nebranjenim područjem

## BUGARSKA

P. Simeonov. 1999.:

Ukupna branjena površina 15 000 km<sup>2</sup>, 10 000 km<sup>2</sup> obradive površine

Promjena na kvalitetniji reagens.

Statistički pristup pokazuje ukupno 71% smanjenje poljoprivrednih površina oštećenih tučom (reducirano na 100 % gubitka oštećene površine).

P. Pavlov, 1999:

Prikazuje rezultate OT u razdoblju od 1987. do 1997. fikasnost varira od 40 % do 95 % ovisno o godini i opremljenosti obrane. Ekonomska isplativost je otprilike 1:25 (cijene prema svjetskom tržištu). Rezultate su verificirali Simeonov (Bg) i Dinevič (Izr)

## ARGENTINA

T Abshaev et all.1999:

Pokrajina Mendosa, najopasnije tučonosno područje svijeta, a prosječni godišnji gubici u poljoprivredi iznose oko 14 %.

Godišnji gubici iznose 50 milijuna \$, dodatne velike štete nastaju na krovovima, staklenim površinama i automobilima.

Od 1985. koriste se ruske rakete, na površini 1950 km<sup>2</sup>, od čega je 50% poljoprivredna površina.

Trajanje OT 1985 – 1996., prekid 3 godine.

Prosječno smanjenje šteta od tuče iznosilo je oko 76%, a zadnje 3 sezone smanjenje je iznosilo 88%.

Rezultati su statistički signifikantni na nivou od  $\alpha=0.05$

Nivo pouzdanosti je  $y = 0.95$ , a napravljen je i t-test.

Ekonomski odnos C/B = 1 : 11

## MOLDAVIJA

WMO, 1997 i 1998

Branjeno područje 21 250 km<sup>2</sup>,

Na osnovi povijesnih podataka smanjenje šteta od tuče iznosi oko 86% (za period 1967-1998).

## NJEMAČKA

WMO, 1997 i 1998:

Stuttgart – branjeno područje iznosi 2500 km<sup>2</sup>, smanjenje šteta od tuče iznosi 41%.

## ŠPANJOLSKA

WMO, 1997 i 1998:

Provincije : Alava, La Rioja i Navara, površina 10 000 km<sup>2</sup>, smanjenje šteta na osnovi povijesnih podataka iznosi 20 %.

## UZBEKISTAN

WMO, 1997 i 1998:

Istočne regije – površina 7380 km<sup>2</sup>, na osnovu povijesnih i radarskih podataka iznosi 94% (redukcija radarske reflektivnosti).

## UKRAJINA

WMO, 1997 i 1998:

Područja Krim i Odesa iznose 9000 km<sup>2</sup>, smanjenje na osnovu povijesnih podataka iznosi 93% (1980 - 1996).

### 5.3 Mreža tučomjera – preduvjet za objektivnu ocjenu efikasnosti

Mreže tučomjera za mjerenje tuče na tlu imaju važnu ulogu u ocjeni efikasnosti operativne obrane od tuče u svijetu. Dokumentacije svih projekata ukazuju na značaj podataka prikupljenih s poligona pri istraživačkim i operativnim programima obrane od tuče.

Za dobivanje potrebnih podataka propisani su parametri za projekte:

- poligon tučomjera dimenzija oko 30 x 25 km (maksimalni razmak između tučomjera 2 km)
- randomizirani pokus a) jedan poligon, statistički odabir djelovanja  
b) dva poligona, branjeni i nebranjeni
- minimum 5 godina mjerenja
- unaprijed definirane statističke metode za obradu podataka

Izvori koji iznose gore navedenu ocjenu:

- WMO-Guidelines to Weather Modification Activities, World Meteorological Organization
- 2<sup>nd</sup> International Symposium on Hail Suppression in Ljubljana, 1987.
- The Design of the Greek National Hail Suppression Program
- Research in Italy, Related to the Italo-Slovenian Hail Prevention project, G. Morgan, 1990.
- International Symposium "Hail and Consequences", Krems, Austria 1993.
- Preliminary Conclusions of the International Workshop on Hail and Hail Prevention, Varaždin, 1995.
- EU COST 75 Action "Advanced Weather Radars" Final Meeting of the Management Comitee, (Recommandations of Working Group 1), Praha, 1997.

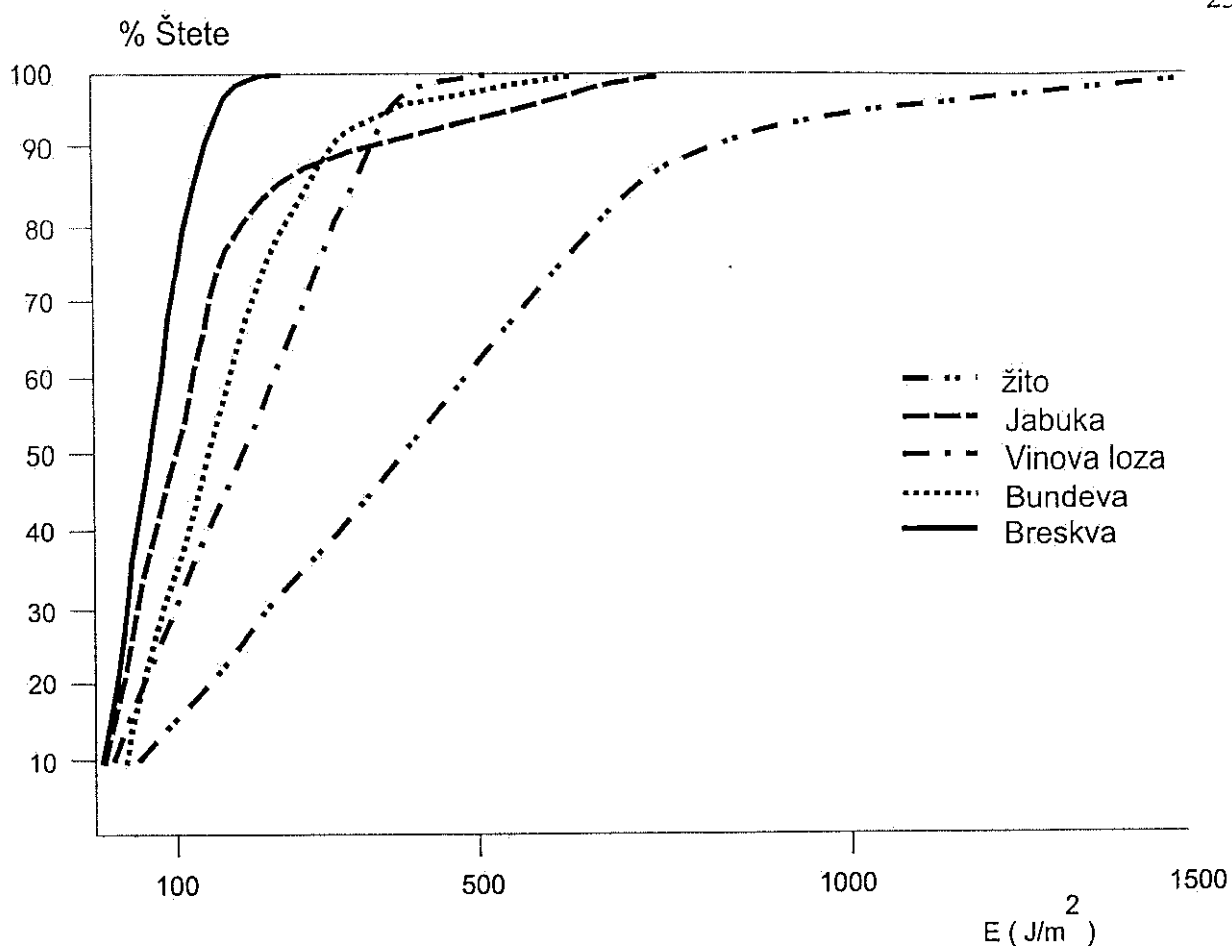
U sklopu rada i djelovanja Odjela obrane od tuče DHMZ-a prije 10 godina izrađen je projekt operativnog postavljanja poligona tučomjera, te obrade i analize podataka. Prije dvije godine održan je sastanak eksperata iz Austrije, Slovenije i Hrvatske na kojem je podržan takav projekt na ovom području. Izjava sa sastanka stručnjaka iz Varaždina održanog 1998.g. dana je u prilogu.

Projektom je predviđena uspostava dva poligona s mrežom tučomjera; jedan na branjenom području (NW područje Hrvatske – RC Varaždin), a drugi u Sloveniji na nebranjenom području u blizini prvog, ali dovoljno udaljen da bi se dobila nezavisnost podataka. Oba poligona bi bila smještena tako da se nadopunjuju s trećim poligonom u Austriji (područje Radkersburga). Na taj način osigurali bi se svi parametri preporučeni od WMO-a, te osigurala stručna i objektivna analiza podataka. 1998. godine započele su pripreme nabavkom programa za obradu i analizu podataka, ali je financijska potpora projektu izostala. Slovenija je, prema riječima zamjenika ministra poljoprivrede, na temelju izjave iz Varaždina, osigurala sredstva da sljedeće godine postavi na svom području poligon tučomjera.

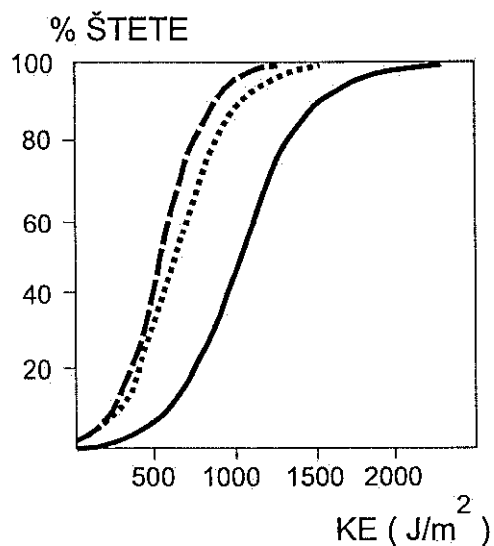
Iz podataka tučomjera izračunava se kinetička energija zrna tuče (KE), koja se u svijetu smatra osnovnim parametrom za određivanje štete na poljoprivrednim kulturama.

U svijetu postoje tablice kojima se povezuju iznos kinetičke energije i štete na raznim vrstama poljoprivrednih kultura i fenofaze u kojoj se nalaze (slike 3, 4, 5 i 6). Kao primjer može se navesti jabuka kod koje KE od 100 J/m<sup>2</sup> daje štetu od oko 50%, 200 J/m<sup>2</sup> daje štetu od oko 70%, a 300 J/m<sup>2</sup> daje štetu od oko 90%. Jednaki iznosi KE na istoj poljoprivrednoj kulturi u raznim fenofazama ne daju iste iznose šteta. Na vinovoj lozi u travnju i svibnju KE od 100 J/m<sup>2</sup> može napraviti oko 80% štete, dok ta ista energija u srpnju može napraviti oko 10 % štete.

Metode za obradu podataka o šteti, odnosno za utvrđivanje učinkovitosti obrane od tuče stalno se usavršavaju, i neke procjene su napravljene s velikom pažnjom da se isključe svi izvori nepouzdanosti procjene. U tu kategoriju spadaju procjene efikasnosti obrane od tuče u Francuskoj, Sjevernoj Dakoti, Grčkoj i Bugarskoj.

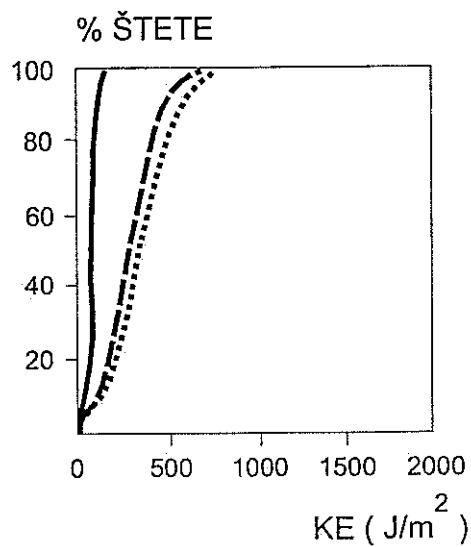


Slika 3. Prosječne vrijednosti šteta na pojedinim biljnim kulturama u odnosu na KE



- Rani stadij  
 - - - Mliječni stadij  
 ····· Brašnasti stadij  
 - · - Zrelost

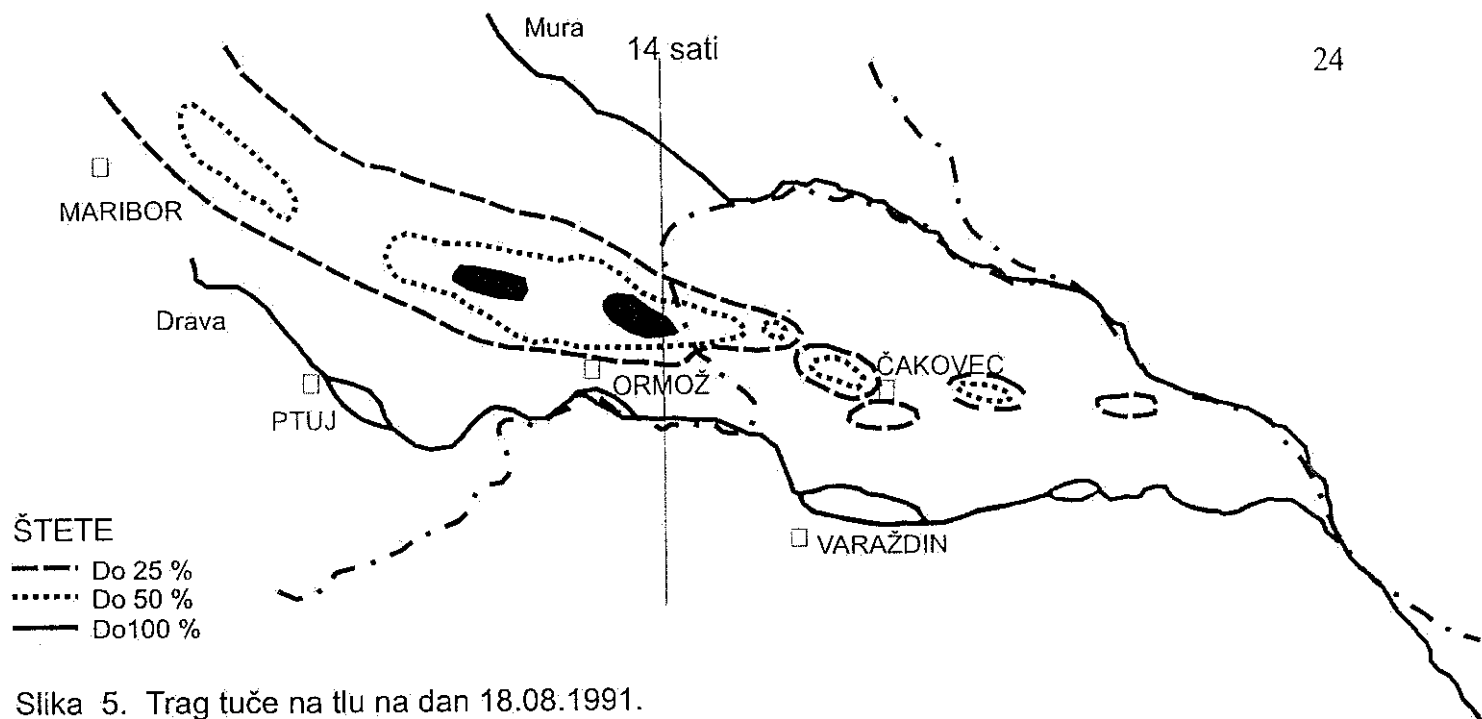
Slika 4a. Odnos KE i štete na žitu u raznim fazama sazrijevanja



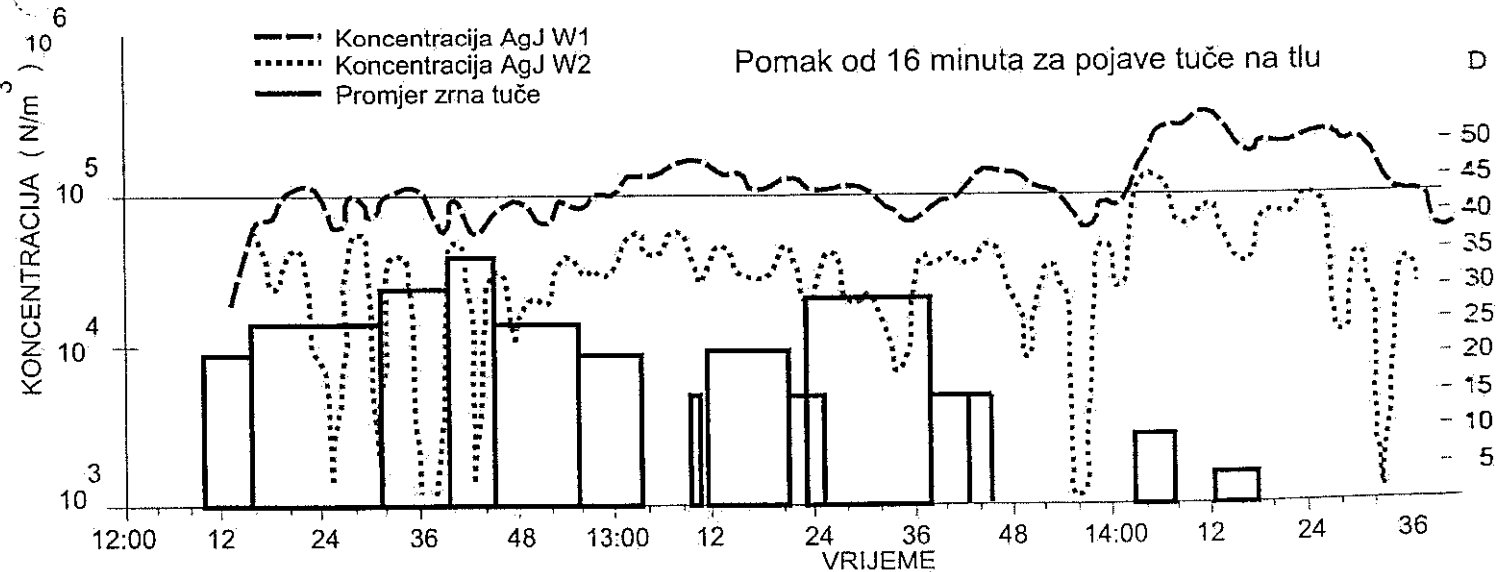
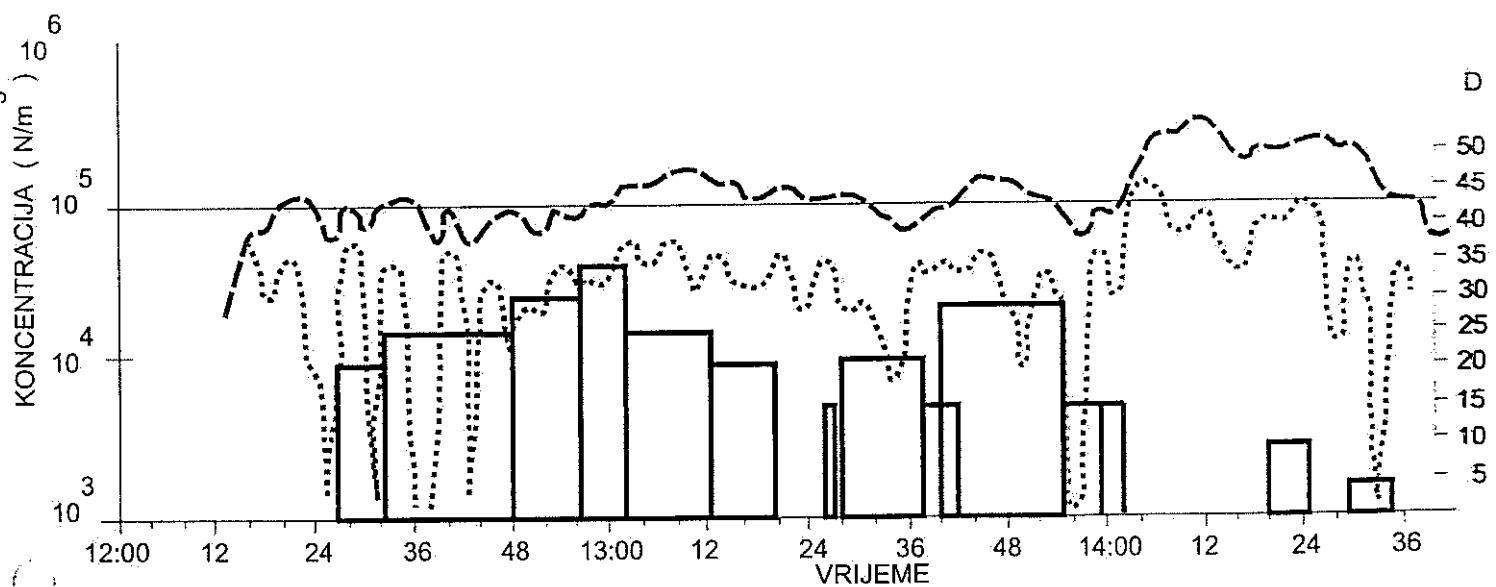
- Vegetacija u travnju i svibnju  
 - - - Vegetacija u lipnju  
 ····· Vegetacija u srpnju

Slika 4b. Odnos KE i štete na vinovoj lozi u raznim fazama sazrijevanja





Slika 5. Trag tuče na tlu na dan 18.08.1991.



Slika 6. Vremenski prikaz za 18. 08. 1991., koncentracija AgJ i pojava tuče na tlu

## 6. Utjecaj na okoliš

Obrana od tuče se temelji na upotrebi srebro – jodida u svrhu stvaranja konkurentnih nuklearnata prirodnim jezgrama tuče. To kao posljedicu ima smanjivanje veličine stvaranih zrna leda u oblaku koja na zemlju padaju ili u obliku pljuska ili u obliku sugradice čime se štete od leda smanjuju. U raketama koje se danas koriste (analiza je napravljena za 1986. godinu, kao jednu od najaktivnijih godina), nalazi se 400 grama pirotehničke smjese (reagensa) na bazi srebro – jodida. Količina AgI u reagensu varira – ovisno o tipu, no prosječno se može uzeti da je količina AgI u reagensu oko 15%.

U sezoni obrane od tuče 1986. g. u Hrvatskoj je utrošeno 14675 raketa. To znači da je u 184 dana - koliko sezona traje – u atmosferu nad područjem sjeverne Hrvatske isijano oko 880 kg AgI. Ovim podatkom će se dalje baratati u cilju ocjene moguće toksičnosti i zagađenje atmosfere i vode srebrom i srebro jodidom.

Toksičnost se može promatrati na dva načina. Prvi način je da se razmatra toksičnost samog srebro jodida, a drugi da se razmotri toksičnost iona srebra ( $\text{Ag}^+$ ). Također, toksičnost i jednog i drugog je različita ovisno o tome u kojem se mediju promatra. Prvo ćemo razmotriti toksičnost srebro jodida u zraku. Smatra se da je granica toksičnosti AgI u zraku  $1\text{mg}/\text{m}^3$ . Pri povećanim koncentracijama, može doći u slučaju inhaliranja takvog zraka ili gutanjem, do kožnog osipa, glavobolje, oštećenja sluzokože. U slučaju da dođe do znatnog povišenja koncentracije, dolazi do depresije, anemije, smanjenja tjelesne težine. Uzevši u obzir da se tijekom sezone OT 1986. u sjevernoj Hrvatskoj našlo u zraku 880 kg AgI, prosječna koncentracija nad tim područjem iznosi  $3.52 \cdot 10^{-6} \text{ mg}/\text{m}^3$ . Račun je uzeo u obzir atmosferu do visine od 10 km, s obzirom da se u nedostatku mjerenja mora pretpostaviti da je dio AgI uzlaznim strujanjem otpuhan i do te visine, a dio da je pao na zemlju. Nadalje, račun je izveden kao da su sve rakete lansirane u jednom danu jednoliko po cijeloj promatranoj teritoriji. S obzirom da je ovo zadnje (jednolikost lansiranja) u priličnoj mjeri istina, sve ostale kombinacije daju još manju koncentraciju AgI od ove uprosječene. Transport jodida nije uzet u obzir, zato što se u nedostatku objektivnih podataka (mjerenja) može s priličnom vjerojatnošću smatrati da ako i postoje nezanemarive koncentracije jodida koje bi bile eventualno dopremljene sa zapada, toliki bi bio i transport prema istoku, tako da se bilans ne bi puno mijenjao. Iz navedenog je očito da su ostvarene koncentracije AgI, nastale kao posljedica djelovanja sistema za OT oko milijun puta manje od dopuštene granice. Pored svih navedenih uvjeta, treba također imati na umu da je račun izveden kao da je cijela količina AgI ostala nepromijenjena, tj. da nije došlo do razlaganja na srebro i jod. U prirodnim uvjetima međutim dolazi do razlaganja, pa dobijenu koncentraciju treba smanjiti za određeni postotak. Zbog vrlo male topivosti srebro jodida u vodi, on je neotrovan u količini koja se može otopiti. U nastavku će se razmotriti toksičnost iona srebra –  $\text{Ag}^+$ , u zraku.

U 880 kg AgI nalazi se cca 400 kg srebra. Ako pretpostavimo da se sav srebro jodid razložio na srebro i jod, tada se dobije koncentracija  $\text{Ag}^+$  nad promatranim područjem  $1.6 \cdot 10^{-9} \text{ g}/\text{m}^3$ . Dopuštena vrijednost  $\text{Ag}^+$  u zraku iznosi  $10^{-4} \text{ g}/\text{m}^3$ , što znači da je i ova fiktivna koncentracija  $\text{Ag}^+$   $10^5$  puta manje od granične (fiktivna zato što je račun izveden na osnovu istih pretpostavki kao i za srebro jodid). Djelovanje prizemnim generatorima je smanjilo potrošnju raketa tako da se ukupna koncentracija nije bitno promijenila.

U prirodi se međutim događa nešto između ova dva razmatrana ekstrema, pa stoga spomenute koncentracije treba još smanjiti. Što se tiče graničnih koncentracija i toksičnosti iona srebra u vodi, razni autori daju različite vrijednosti.

Tablica 1. Toksičnost  $\text{Ag}^+$  u vodi

AUTOR	KONCENTRACIJA
Dapknia, Mieroregma	$3 \cdot 10^{-8}$ g/ml
Scenedesmus	$5 \cdot 10^{-8}$ g/ml
Palyalis	$15 \cdot 10^{-8}$ g/ml
Mc Kec, Wolff	$3 \cdot 10^{-9}$ g/ml
Dondaroff, Katz	$4 \cdot 10^{-9}$ g/ml
Salmon	$4,4 \cdot 10^{-8}$ g/ml
Clark	$9,8 \cdot 10^{-6}$ g/ml

Pri trovanju ionom srebra poznate su promjene na koži (tamna pigmentacija) koje se ne popravljaju vremenom ni liječenjem, zatim stanje membrane sluznice poznato kao argirija (u prijevodu – otrovanje srebrom). U težim slučajevima trovanja može doći do reduciranja rasta, pa čak i smrti.

$\text{Ag}^+$  se inače može koristiti i kao agens za sterilizaciju vode za piće, no nije toliko značajan za te svrhe kao što su kloridi.

U našoj zemlji nisu do danas vršena mjerenja prirodne koncentracije  $\text{Ag}^+$  u vodi, kao ni koncentracije u kišnici pri raznim projektima umjetne modifikacije vremena (npr. obrana od tuče). Raspoloživo se međutim podacima o prirodnoj koncentraciji  $\text{Ag}^+$  u Australiji i Alberti (SAD).

Australija  $5 \cdot 10^{-12}$  g/ml ,  $3 \cdot 10^{-12}$  -  $4,8 \cdot 10^{-11}$  g/ml  
 Alberta  $0,5 - 4,9 \cdot 10^{-11}$  g/ml

Smatra se da je prirodni eho koncentracije  $\text{Ag}^+$  u vodi  $5 \cdot 10^{-12}$  g/ml . Mjerenje koncentracije  $\text{Ag}^+$  u kišnici "zasijanih" oblaka rađeno je također u Alberti i to pri ovim uvjetima:

- zasijavanje se provodilo avionom u zonu embrija zrna tuče, a trošeno je 2-4 kg Agl po oluji u jednom satu
- analizirana je oborina i 24 sata nakon zasijavanja, a najveće koncentracije su izmjerene 60-80 minuta nakon zasijavanja i to u iznosu  $1-2 \cdot 10^{-10}$  g/ml. Iz ovih podataka je vidljivo da su mjerene vrijednosti koncentracije  $\text{Ag}^+$  u slučajevima "zasijane" kišnice 10 puta niže od dopuštene i to u najlošijoj varijanti po tablici 1.

Za područje sjeverne Hrvatske može se računom dobiti koncentracija  $\text{Ag}^+$  samo po  $\text{m}^2$  uz spomenute pretpostavke (razložena ukupna količina Agl – 400 kg Ag, sva ta količina je dospjela do tla). U tim uvjetima dobije se podatak od  $1,618 \cdot 10^{-5}$  g/ $\text{m}^2$  što ne znači puno, s obzirom da to nije koncentracija  $\text{Ag}^+$  u vodi, a podatak je napisan samo radi orijentacije.

Na kraju ovog razmatranja može se zaključiti da ni u ekstremnim situacijama ne može doći do povećanja koncentracije Agl i  $\text{Ag}^+$  koje bi uzrokovale patološke promjene na živim organizmima. Pažnju međutim treba usmjeriti na kumulativni efekt u određenom nizu godina. Da bi se utjecaj na okoliš Agl i  $\text{Ag}^+$  stavio pod kontrolu, trebalo bi imati organizirano prikupljanje uzoraka kišnice i njihovo analiziranje po pitanjima interesantnih elemenata.

## 7. Zaključak

Umjetno djelovanje na vrijeme je ljudska djelatnost u kojoj, kao i u mnogim drugim djelatnostima, još nije dan definitivni odgovor na mnoga pitanja, pogotovo zato što je među najmlađim područjima primijenjene meteorologije. U ovom pregledu je dan vrlo sažet opis glavnih teorijskih postavki djelovanja, operativnih programa koji se provode u svijetu i Hrvatskoj i pokazatelja uspješnosti. Bez obzira na probleme potpune teorijske razrade, osnovna činjenica koju koriste svi programi obrane od tuče je postojanje značajnih količina pothlađene vode u oblaku, koje su glavni uzrok rastu velikih zrna tuče. Djelovanje u smislu dodavanja umjetnih jezgara zaleđivanja bilo je i ostalo glavno oružje za smanjivanje kinetičke energije zrna tuče, te tako i šteta od tuče. Iako su podaci o uspješnosti obrane uglavnom vezani uz programe koji se provode u SAD-u, Francuskoj i Grčkoj, zbog postojeće nemogućnosti takvog izračuna kod nas, opravdana je pretpostavka da se slični rezultati postižu i u Hrvatskoj, budući da je djelovanje povjereno stručnoj organizaciji kao što je DHMZ, i u skladu sa suvremenim svjetskim spoznajama na području umjetnog djelovanja na vrijeme. Konačnu ocjenu uspješnosti može dati samo nezavisno višegodišnje ciljano istraživanje za kakvo do sada nije bilo financijskih i/ili organizacijskih pretpostavki.

## 8. Literatura

- Abshaev, M.T., 1994: On Efficiency of Hail suppressions operations in USSR in 1981-90, WMO, Paestum, Italy.
- Abshaev, M. and A. Malkarova 1999: Results of hail suppression Project in Argentina, WMO, Chiang Mai, Thailand.
- Bader, J., W.A. Stahel, and W. Schmid, 1992: Further results of Grossversuch IV: The effect of the first rocket launched in a potential hail cell. *J. Appl. Meteor.*, 31, 700-707..
- Bižić, D. and Z. Gerber, 1993: The Proposal for Combined Rocket and Ground Generator Hail Suppression, Hagel und Konsequenzen, International Symposium, Krems, 5-7 April 1993, ZAMG, Wien
- Bižić, D., Z. Gerber and M. Matvičev, 1994: Radar Observations of Convective Clouds in Croatia, Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May-4 June 1994, Vol I. 105-108
- Bižić, D., 1998: Kraći pregled novije hrvatske i europske radarske meteorologije, Zbornik radova, znanstveni skup Andrija Mohorovičić 140. obljetnica rođenja, Zagreb, 10-12 ožujka 1998, DHMZ
- Bižić, D., 1999: The Current Radar Technology Development of the Croatian Hail Prevention Programme, Seventh Scientific Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Thailand, 17-22 February 1999, Vol II., 459-462
- Crow E.L., A.B. Long, J.E. Dye, A.J. Heymsfield and P.W. Mielke, Jr., 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in North Dakota. Part II: Surface data base and primary statistical analysis. *J. Appl. Meteor.*, 18., 1538 - 1558.
- Dessens J.. 1993: Der gegenwartige Stand der Hagelvorbeugung durch Bodengeneratoren, Hail and consequences, Internationales Symposium Krems, Austria

- Dragojlović, D., D. Bižić and Z. Gerber, 1999: Hailstorm in Croatia; Synoptic and Upper Air Conditions, Seventh Scientific Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Thailand, 17-22 February 1999, Vol II. 419-422
- Farley, R. D., 1987: Numerical modeling of hailstorms and hailstone growth: Part III. Simulation of an Alberta hailstorm – natural and seeded case. *J. Clim. and Appl. Meteor.*, 26, 789 – 812.
- Federer, B., A. Waldvogel, W. Schmid, H.H. Schiesser, F. Hampel, M. Schweingruber, W. Stahel, J. Batter, J.F. Meziex, N. Doras, G. D'Aubingny, G. DerMegreditchian, and D. Vento, 1986: Main results of Grossversuch IV. *J. Clim. and Appl. Meteor.*, 26, 917-957.
- Fendgsheng, L. i L. Enhui, 1994: The characteristics of hail Weather and an analysis of effect of artificial hail suppression at Denzhou region, Shandong province. WMO, Paestum, Italy
- Foote, G.B. and C.A. Knight, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in North Dakota. Part I: Design and conduct of the experiments. *J. Appl. Meteor.*, 18., 1526-1537.
- Foote, G.B., R.E. Reinhart and E.L. Crow, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in North Dakota. Part IV: Analysis of Radar Data for Seeding Effect and Correlation with Hailfall. *J. Appl. Meteor.*, 18., 1569-1582.
- 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. Peti i D. Nikolić. 1994: Hail and Thunderstorm Distribution Hail Suppression in Croatia, WMO, Paestum, Italy.
- Gelo, B., 1990: Plan i program istraživanja u obrani od tuče za razdoblje 1991 – 1995 u okviru razvoja do 2000. god., interna publikacija DHMZ
- Gelo, B., 1991: Mezomodeliranje u obrani od tuče, Second Yugoslav Conference on Weather Modification, 2-4 April 1991, Mavrovo, Vol I, 32-39
- Gelo, B. and M. Matvijev, 1994: An Overview of Hail Suppression in Croatia, Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May-4 June 1994, Vol I, 117-120
- Gelo, B., D. Peti and D. Nikolić, 1994: Hail and Thunderstorm Distribution and Hail Suppression in Croatia, Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May-4 June 1994, Vol II, 595-598
- Gerber, Z., 1991: Prostorna i vremenska razdioba grmljavine i tuče na području sjeveroistočne Slavonije u razdoblju 1981-1990, Second Yugoslav Conference on Weather Modification, 2-4 April 1991, Mavrovo, Vol II, 223-230
- Gerber, Z., D. Glasnović and D. Bižić, 1993: Case Study : July 14 1991, Hagel und Konsequenzen, International Symposium, Krems, 5-7 April 1993, ZAMG, Wien

Gerber, Z., D. Bižić and M. Matvijeve, 1994: Hailfall Characteristics in Northern Croatia in the Period 1982-1991, Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May-4 June 1994, Vol I. 121-124

Gerber, Z., D. Dragojlović and D. Bižić, 1999: First Results of the Combined Hail Prevention Programme with Ground Generators and Rockets in Croatia, Seventh Scientific Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Thailand, 17-22 February 1999, Vol II. 375-378

Horvat, V. i D. Ančovski, 1991: Utjecaj tehnoloških parametara na aktivnost meteoroloških reagensa, Second Yugoslav Conference on Weather Modification, 2-4 April 1991, Mavrovo, Vol II, 206-214

Horvat, V. i R. Gapit, 1991: Rezultati mjerenja aktivnosti meteoroloških reagensa, Second Yugoslav Conference on Weather Modification, 2-4 April 1991, Mavrovo, Vol II, 215-222

Izvješće WMO 1997 i 1998

Knight, C.A., N.C. Knight, 1979: Results of a randomized hail suppression experiment in North Dakota. Part V: Hailstone Embryo Types. *J. Appl. Meteor.*, 18., 1583-1588.

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. *J. Appl. Meteor.*, 18., 1629-1639.

Krauss, T.W., 2000: A new hail suppression project using aircraft seeding in Argentina. Internet

Matvijeve, M. i D. Nikolić, 1991: Prilog poznavanju karakteristika konvektivne naoblake na području republike Hrvatske – horizontalno premještanje Cb-a u sjevernoj Hrvatskoj, Second Yugoslav Conference on Weather Modification, 2-4 April 1991, Mavrovo, Vol II, 194-200

Matvijeve, M., D. Peti and D. Počakal, 1993: Case Study: Heavy Hailstorm on August 18 1991, Hagel und Konsequenzen, International Symposium, Krems, 5-7 April 1993, ZAMG, Wien

Matvijeve, M., D. Peti and D. Počakal, 1994: Comparative Analysis of Operational Hail Suppression Activities in Croatia, Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May-4 June 1994, Vol I. 63-66

Matvijeve M., D. Peti i D. Počakal, 1994: Comparative Analysis of Operational Hail Suppression Activities in Croatia, WMO, Paestum, Italy.

Newsletter from Weather Modification Association, vol.4, 1994.

Orville, H. D., 1996: A Review of Cloud Modeling in Weather Modification. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77, 1535-1555

Paluch, I. R., 1978: Size sorting of hail in a three-dimensional updraft and implications for hail suppression. *J. Appl. Meteor.*, 17, 763 - 777.

- Pavlov, P., 1999: Rezultati obrane od tuče u Bugarskoj. Naučna istraživanja i rezultati razrade tehničkih sredstava
- Peti, D., 1991: Analiza nevremena i djelovanja na tučoopasne oblake dana 04.07.1990. godine, Second Yugoslav Conference on Weather Modification, 2-4 April 1991, Mavrovo, Vol I, 284-294
- Peti, D. and R. Gapit, 1994: Determination of Number of Ice Forming Nucleus as Product of Burning of AgI Based Reagent in Ground Generator, Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May-4 June 1994, Vol I, 251-254
- Peti, D., 1999: Investigation of Activity of AgI Based Reagent Used in Croatia, Seventh Scientific Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Thailand, 17-22 February 1999, Vol II., 307-310
- Počakal, D., 1991: Utjecaj zabrane OKL-a na promjer zrna tuče, Second Yugoslav Conference on Weather Modification, 2-4 April 1991, Mavrovo, Vol II, 240-246
- Počakal, D., 1993: The Influence of Air Traffic Control Ban on the Hailstone Diameter, Hagel und Konsequenzen, International Symposium, Krems, 5-7 April 1993, ZAMG, Wien
- Počakal, D., 1994: The Relative Frequency Distribution of Diameter and Duration of Hailfalls in Croatia, Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification, Paestum, Italy, 30 May-4 June 1994, Vol I. 127-129
- Počakal, D., 1998: Geographical Distribution of Day with Hail Events in the Northern Part of Croatia, II European Conference on Applied Climatology, Vienna, Austria
- Počakal, D., 1999: Geographical Distribution of Days with Hail in Northern Croatia II, Seventh Scientific Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Thailand, 17-22 February 1999, Vol II, 437-440
- Počakal, D., 2000: Comparison of Hail Characteristics in Western Part of Protected Area in Two Separate Periods, 8<sup>th</sup> International Symposium on Natural and Tehnological Hazards, Tokushima, Shikoku, Japan
- Počakal, D., 2000: Comparison of Hail Characteristics in Hail Protected Part of Croatia in Two Separate Periods, III European Conference on Applied Climatology, Pisa, Italy
- Počakal D., 1994: The Relative Frequency Distribution of Diameter and Duration of Hailfalls in Croatia, WMO, Paestum, Italy.
- Počakal, D., 2000: Comparison of Hail Characteristics in Hail Protected part of Croatia in two separate Periods, ECAC 2000, Pisa, Italy
- Rudolf R. and C. Ganniaris, 1991: Effects of cloud seeding on hail insurance statistics in northern Greece, II Yu conference, Mavrovo 1984-1998
- Rudolf R., C. Sackiw and G. Riley. 1994: Statistical Evaluation of the 1984-88 Seeding Experiment in Northern Greece, Journal of Weather Modification

Sackiw C., 1991: Statistical evaluation of hailpad data from a five-year randomized cross-over cloud seeding experiment. II Yu Conference, Mavrovo

Simeonov, P. 1999: On hail operational results in Bulgaria, after some seeding technology change, WMO, Chiang Mai, Thailand.

Smith, P.L., L.R. Johnson, D.L. Pregnitz, and P.W. Mielke, 1994: Statistical evolution of the North Dakota Cloud Modification Project. Proceedings of the 6th WMO Scientific Conference on Weather Modification, WMO/TD---No. 596, Paestum, Italy, 275-279, 1994.

Svabik O. 1992: Hagelplattenprojekt "Steiermark – region Weiz" 1982-90.

World Meteorological Organization, 1995: MEETING OF EXPERTS TO REVIEW THE PRESENT STATUS OF HAIL SUPPRESSION. Golden Gate National Park, South Africa, 6-10 November 1995  
WMP – No. 26.

Ziyi, G. 1994: Weigan river hail suppression system, WMO, Paestum, Italy.

Young, K. C. , 1996: Weather Modification—A Theoretician's Viewpoint. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2701–2710.

## PRILOZI

Prilog 1: Najčešća pitanja koja se postavljaju u svezi obrane od tuče

Prilog 2: Izjava predstavnika Austrije, Slovenije i Hrvatske o postavljanju mreže tučomjera

Prilog 3a: Popis zemalja u kojima se, prema izvješću WMO od 1997. i 1998. godine (WMO report No. 34) provode operativni projekti obrane od tuče. Dio informacija dopunjen je novim saznanjima iz stručne literature i direktno prikupljen od izvršioca projekata.

Prilog 3b: Zemlje u kojima se provodi obrana od tuče ali nisu načinile prijavu u registar WMO. Podaci su prikupljeni iz stručne literature i direktno od izvršioca projekata.

Prilog 4: Damir Počakal: Comparison of hail characteristics in hail protected part of Croatia in two separate periods

Prilog 5: Branko Gelo, Davor Nikolić, Damir Peti: Hail and thunderstorm distribution and hail suppression in Croatia

Prilog 6: Mladen Matvijev, Damir Peti , Damir Počakal: Comparative analysis of operational hail suppression activities in Croatia

Prilog 7: Dušan Bižić, Dragoslav Dragojlović, Zorislav Gerber: First results of the combined hail prevention programme with ground generators and rockets in Croatia



Ovaj materijal pripremljen je za potrebe međuresorske grupe, koju je osnovala Vlada RH na sjednici Vlade 4. srpnja 2000. godine.

Zagreb, 25. rujan 2000.

Materijal pripremili:

Dušan Bižić dipl.inž

Branko Cividini dipl.inž

Zorislav Gerber dipl.inž

Tomislav Kovačić dipl. inž

Davor Nikolić dipl.inž

mr Oleg Perčinić

Damir Peti dipl.inž

Damir Počakal dipl.inž

## NAJČEŠĆA PITANJA KOJA SE POSTAVLJAJU U SVEZI OBRANE OD TUČE

### UVOD

Djelovanje na oblake zbog smanjenja šteta od tuče provodi se u najmanje dvadeset zemalja na četiri kontinenta. Glavni razlog uspostavljanja sustava obrane od tuče (OT) u većini zemalja je smanjenje šteta od tuče na poljoprivrednim površinama. Značaj OT u plodnom kontinentalnom dijelu Hrvatske može se usporediti sa značajem zaštite šuma od požara na Jadranu. Posljednjih godina pokazuje se novi interes za OT u svijetu radi smanjenja šteta na imovini, koje povećanjem općeg standarda vremenom postaju sve veće, pa je tako u Kanadi 1996.g. pokrenut projekt operativne OT isključivo radi zaštite imovine u gradovima.

Da li je znanstveno utemeljeno djelovanje na vrijeme moguće ?

Da, otkrićem svojstava srebrnog jodida i smrznutog ugljičnog dioksida 1946.g. otvorena je mogućnost umjetnog djelovanja na vrijeme. Voditelj prvog eksperimenta umjetnog djelovanja na vrijeme u SAD-u je bio dobitnik Nobelove nagrade za kemiju dr. Irving Langmuir, koji je jednom rekao: "Lako je moguće da će ljudi biti u stanju kontrolirati vrijeme i prije nego što će u potpunosti razumjeti sve procese koji se odvijaju u atmosferi."

Što sve spada u umjetno djelovanje na vrijeme ?

U sklopu umjetnog djelovanja na vrijeme provode se istraživanja i operativni programi disipacije magle (u zračnim lukama i prilazima autoputovima), povećanja količine oborine (zbog povećanja poljoprivredne proizvodnje, vodnih pričuva i zimskog turizma) i obrane od tuče (zbog smanjenja šteta u poljoprivredi i imovini uopće).

Što o obrani od tuče kaže Svjetska meteorološka organizacija ?

"Iako je u posljednjih nekoliko godina načinjen napredak i neki projekti obrane od tuče su iskazali uspješnost, potrebno je mnogo više istraživanja u svim fazama njenog provođenja." (stav SMO-a povodom šeste svjetske znanstvene konferencije o umjetnom djelovanju na vrijeme, Paestum, Italija, 1994.)

Ovakav stav je u skladu sa postojećim programom rada OT u Hrvatskoj, gdje je dan naglasak na istraživanje i razvoj u svim fazama njenog planiranja i provođenja.

Gdje se sve provodi obrana od tuče (OT) ?

Obrana od tuče provodi se u većini područja gdje je tuča značajna pojava za ekonomiju jedne zemlje ili neke njene regije. Trenutno se provodi oko 30

projekata u oko 20 zemalja svijeta. U Europi se provodi u Španjolskoj, Francuskoj, Njemačkoj, Austriji, Sloveniji, Mađarskoj, Jugoslaviji, Bugarskoj i zemljama bivšeg Sovjetskog Saveza. U Francuskoj OT prizemnim generatorima djeluje dulje od četiri desetljeća na površini tri puta većoj od one u Hrvatskoj.

Da li je tuča značajna ekonomska pojava u Hrvatskoj ?

Da, štete od oluja praćenih tučom su za razdoblje 1981.-1998.g. ukupno 972 172 000 USD , što čini srednju godišnju vrijednost od 54 milijuna USD, a to posljedice padanja tuče stavlja na drugo mjesto po štetama kada se uzmu u obzir sve elementarne nepogode. Na žalost, ovi podaci vrijede za čitavu Hrvatsku i nije ih moguće odvojeno promatrati za područja na kojima se provodi OT.

Da li je obrana od tuče efikasna, koliko i da li postoje dokazi ?

Kao i sve druge ljudske djelatnosti i obrana od tuče je efikasna ukoliko se provodi stručno i suvremeno. Nezavisna istraživanja u SAD-u, Francuskoj, Grčkoj i Bugarskoj pokazala su vrlo slične statistički signifikantne rezultate od 40 do 50% smanjenja šteta od tuče. Treba napomenuti da se u slučaju Francuske, SAD-a i Bugarske radi o operativnim programima sličnim hrvatskom, dok je u Grčkoj prije uvođenja operativnog programa napravljeno petogodišnje istraživanje. Prije svega radi se o smanjenju tučene površine i intenziteta padanja tuče. Kao neizravna posljedica obrane od tuče u SAD-u je zabilježeno i povećanje količine oborine od 15% u ljetnom razdoblju što također doprinosi povećanju prinosa.

O kakvim iznosima je ovdje riječ ?

Kao i obično, najprecizniji izračun relevantnih podataka imaju najrazvijenije zemlje. U SAD-u (Sjeverna Dakota) je tako izračun pokazao prosječnu godišnju korist od 267 milijuna dolara u povećanoj poslovnoj aktivnosti, s tim da nisu uzeti u obzir pozitivni efekti koje je djelovanje sustava obrane od tuče imalo na pokretnu i nepokretnu imovinu.

U Kanadi, gdje se provodi obrana od tuče isključivo zbog smanjenja šteta na imovini, upravni odbor direktora privatnih osiguravajućih društava (koje su jedini izvor financiranja projekta) je nakon četiri (od pet predviđenih probnih godina) već ustanovio da se uštede mjere desecima do stotinama milijuna dolara, te je donešena odluka o produljenju programa na neodređeno vrijeme. Osiguravajuća društva koja se bave osiguranjem poljoprivrednih površina zabilježila su zadnjih godina rekordne profite na branjenom području zbog smanjenja šteta za 35 do 48%, iako prioritetni cilj nije bio smanjenje šteta u poljoprivredi.

Postoje li i suprotni argumenti ?

Da, sedamdesetih godina u Švicarskoj je provedeno istraživanje koje je trebalo pokazati uspješnost tadašnje sovjetske tehnologije u OT, prije svega kao nastojanje da se ospore sovjetske tvrdnje o visokoj učinkovitosti njihovog

sustava. Iako je do danas utvrđen niz grešaka koje su počinjene u provođenju eksperimenta i analiza, kao i kasnijem boljem spoznavanju procesa u oblacima i tehnologiji djelovanja, ovaj negativan rezultat je sve do danas neopravdano ostao omiljeno oružje protivnika obrane od tuče.

Kojim načinom se obrana od tuče provodi u svijetu ?

Postoje tri načina dostavljanja meteorološkog reagensa u tučoopasne oblake. U razvijenim zemljama (SAD, Kanada, Njemačka, Austrija, Argentina, Grčka) najčešće se koriste zrakoplovi i generatori na tlu (Francuska, Španjolska, Mađarska), a u zemljama u tranziciji rakete (Bugarska, Jugoslavija, Ukrajina, Rusija, Kina).

Kako se obrana od tuče provodi u Hrvatskoj ?

Kod nas je niz godina provedena isključivo raketna OT. Koriste se domaće rakete proizvođača "Đuro Đaković" iz Slavenskog Broda. Od 1994.g. uvodi se i OT uz pomoć prizemnih generatora po uzoru na Francusku, a uređaji s pripadajućom opremom također su domaće proizvodnje. Od 1998.g. provodi se eksperimentalno djelovanje uz pomoć zrakoplova u Osječko-baranjskoj županiji skromnih razmjera, zbog nedostatka financijskih sredstava. Vrijedno je spomenuti da je domaći konstruktor naprave za djelovanje na oblake koji se postavlja na zrakoplov dobio srebrnu medalju na skupu inovatora u Genevi u travnju 2000.g.

Nastojanjem da Hrvatska slijedi svjetske trendove u umjetnom djelovanju na vrijeme može se očekivati postupni prijelaz na djelovanje uz pomoć zrakoplova. Posebno treba uzeti u obzir mogućnost uvođenja obrane od tuče u priobalne krajeve (Istra, Ravni Kotari, delta Neretve), budući da je tamo potpuno neadekvatna upotreba raketa (zbog mogućnosti nastanka požara padom neispravne rakete i turizma), a cijena provođenja obrane od tuče uz pomoć zrakoplova je višestruko manja od raketne. Osnovne prednosti djelovanja uz pomoć zrakoplova su mogućnost djelovanja uz samu državnu granicu i bez obzira na intenzitet zračnog prometa.

Tko financira obranu od tuče ?

Nema općeg pravila u financiranju ove djelatnosti. Udio države u financiranju mijenja se od 100%-tnog u Argentini, Grčkoj i istočnim zemljama, 50% u Mađarskoj, oko 30% u Austriji do 0% u Francuskoj i Njemačkoj. Ostaje činjenica da su regionalne vlasti i udruženja poljoprivrednika uključeni u praktički svim zemljama u kojima država ne financira u potpunosti program. Izuzetak od ovoga čini OT u Kanadi koja je financirana isključivo od privatnih osiguravajućih kompanija radi smanjenja šteta na imovini. U Hrvatskoj je do 1990.g. OT financirana od strane regionalnih fondova, odn. SiZ-ova, a od 1990.g. iz proračuna.

Tko provodi operativnu obranu od tuče ?

Odgovor na to pitanje je vrlo raznolik, u ovisnosti o zemlji o kojoj je riječ, a djelomice i povijesnim prilikama. U SAD-u su to uglavnom privatne kompanije

koje se iznajmljuju za račun lokalnih vlasti i farmera. Američke privatne kompanije rade i u nekim drugim zemljama, pa se može govoriti o američkom izvoznom proizvodu. U zemljama Europe uglavnom se radi o neprofitabilnim poduzećima, odnosno udrugama osnovanim od strane regionalnih i lokalnih vlasti, s financijskim udjelom udruženja poljoprivrednika. U zemljama istočne Europe najčešće obranu od tuče provode hidrometeorološki zavodi ili državna poduzeća za obranu od tuče.

Zašto znanstveni izračun efikasnosti nije napravljen u Hrvatskoj ?

Postoje dva glavna razloga za nedostatak sveobuhvatne analize uspješnosti OT koja se provodi u Hrvatskoj. Za razliku od Grčke koja je prije uvođenja operativnog programa napravila petogodišnje randomizirano istraživanje, kod nas je pritisak zainteresiranih poljoprivrednika bio takav da je faza istraživanja preskočena. Naime, takav eksperiment podrazumijeva slučajan odabir djelovanja, kako bi se naknadno moglo ustanoviti da li postoji razlika u pojavi tuče kod zasijanih i nezasijanih oblaka, a nitko nije bio voljan financirati djelatnost u kojoj se barem pet godina bacanjem novčića određuje da li će se tog dana djelovati ili ne.

Druga mogućnost evaluacije je uz pomoć podataka osiguravajućih društava i usporedbom isplaćenih premija osiguranja prije i za vrijeme provođenja OT. Budući da se takvi podaci smatraju poslovnom tajnom, DHMZ-ovom traženju podataka nikada nije udovoljeno od strane osiguravajućih društava.

Ovakav način izračuna je najprimjereniji Hrvatskoj budući da bi izvođenje randomiziranog eksperimenta zahtijevalo prekid obrane na nekom području.

Ideja da DHMZ, koji provodi program obrane od tuče za taj program daje i ocjenu uspješnosti nije najsretnije rješenje. Bilo bi poželjno da takvo istraživanje provede nezavisno tijelo ili grupa međunarodnih stručnjaka.

Što je napravljeno i što se planira ?

Napravljeno je nekoliko analiza i radova koji ukazuju na uspješnost našeg sustava OT, a 1990. godine načinjen je "Plan i program istraživanja u obrani od tuče". Radovi su koristili iskustva iz raznih zemalja koje provode OT, te najčešće u svijetu korištenu metodologiju istraživanja učinkovitosti. "Ne ulazeći u ovom trenutku detaljnije u analize dosadašnjeg rada smatra se da je obrana od tuče dala pozitivne rezultate u smanjenju šteta na poljoprivrednim kulturama te drugim objektima" (Gelo, 1990). U radu iz 1994. godine, (Gelo, Peti, Nikolić), dobiveni rezultati pokazuju smanjenje broja dana s tučom za jednu trećinu u razdoblju aktivne OT, u usporedbi s razdobljem kada OT nije postojala, dok se broj dana s grmljavinom, kao indikatorom nestabilnosti, nije značajno promijenio. Nadalje, dogovoren je koordinirani projekt postavljanja međunarodne mreže tučomjera na području Slovenije (nebranjeni dio) i Hrvatske (branjeno područje) koji bi za nekoliko godina trebao odgovoriti na pitanje da li je kinetička energija zrna tuče veća ili jednaka na branjenom i nebranjenom području.

Da li je obrana od tuče štetna za okoliš?

Nije, s obzirom da istraživanja provedena u svijetu nisu otkrila povećanje količine srebrnog jodida ili čistog srebra ni u tlu ni u kišnici, te nema potvrde štetnosti uočenih koncentracija na živi svijet.

Zašto OT toliko košta i mogu li se troškovi smanjiti ?

OT je po svojoj koncepciji operativna djelatnost koja značajno odudara od uobičajene predodžbe o državnoj upravi. Zadnjih godina suočeni smo s velikim porastom cijene raketa za OT (od 250 DEM 1990.g. do preko 600 DEM 2000.g.) i nastojanjima da se dio infrastrukture uništene ratom obnovi. Na branjenom području angažirano je oko tisuću raketara (najvećim dijelom poljoprivrednika) koji zajedno s ekipama osam radarskih centara provode kontinuirano dežurstvo u periodu aktivne sezone. Za obavljanje posla na raspolaganju im je osam meteoroloških radara (od čega pet domaće proizvodnje), svaki centar raspolaže specijalnim vozilom za prijevoz raketa i održavanje radio uređaja, lansera i druge opreme na oko 500 kontejnerskih ili zidanih objekata.

Smanjivanje cijene rakete ili postupno uvođenje zrakoplova može značajno smanjiti cijenu OT, a bez lošeg utjecaja na njenu mogućnost djelovanja.

Umjesto zaključka: Gdje je tu interes Hrvatske ?

Obrana od tuče provodi se u Hrvatskoj preko trideset godina. Njeno provođenje je u skladu sa svjetskim spoznajama i tehnološkim dosezima određenog razdoblja. Osigurana podrška meteorološke struke garancija je stručnog i kvalificiranog provođenja obrane od tuče, a višegodišnji angažman istih raketara i ekipa radarskih centara uvjet uspješnog operativnog djelovanja, imajući u vidu da je u infrastrukturu obrane od tuče uloženo nekoliko desetaka milijuna DEM. Osnovni interes Hrvatske za održanjem sustava OT može se sagledati u nastojanju očuvanja razine poljoprivredne proizvodnje, kao i zaštita strateškog državnog ulaganja u subvencioniranju poljoprivredne proizvodnje.

Smanjivanje šteta na imovini, koje povećavanjem općeg standarda vremenom postaju sve veće, će u budućnosti biti jednako važno kao i zaštita poljoprivredne proizvodnje.

Zašto tuča i dalje pada po Hrvatskoj, a postoji obrana ?

Kao što, protupožarna ili protupoplavna zaštita ne mogu uvijek s uspjehom spriječiti poplave ili požare, tako ni obrana od tuče ne može u potpunosti spriječiti padanje tuče. Sudeći prema svjetskim iskustvima sličnih sustava (smanjenje šteta od 40% do 50%), možemo pretpostaviti da su slični rezultati i u Hrvatskoj. Iz svega rečenoga proizlazi zaključak da će tuča i dalje padati u Hrvatskoj, ali na manjoj površini i slabijeg intenziteta nego što bi to bio slučaj kada ne bi postojao sustav obrane od tuče.

**Meeting in Varaždin, Croatia, 1998 September 22  
Statement to the Development of a Slovenian Design  
for Documentation of Hail on Ground**

**Minutes of the Meeting in Varaždin, 1998 09-22, 10h-15h:**

Present:

Marian Ziderič, Organizer of the Slovenian Hailpad design, Slovenian Met Service  
D.I. Damir Peti, Leader of the Department for hail suppression, Croatian Met Service  
D.I. Damir Počakal, Leader of the Radar center Varaždin  
Dr. Otto Svabik, Department for Climatology, Met Service Austria

The state of the art in Slovenia, Croatia and Austria was presented and discussed, further future cooperations and data exchanges. The statement of Otto Svabik, as an invited expert followed

**STATEMENT**

**General Remarks**

Networks for documentation of hail on ground have an important role in estimation of the efficiency of operational hail suppression activities. Documentations of projects show hailpad- data as an important parameter for all activities in the fields of hail research, and operational activities.

**References**

WMO- Guidelines to Weather Modification Activities,  
World Meteorological Organisation  
2<sup>nd</sup> International Symposium on Hail Suppression in Ljubljana,  
October 1987  
The Design of the Greek National Hail Suppression Program  
Research in Italy, Related to the Italo- Slovenian Hail Prevention Project,  
G. Morgan, 1990  
International Symposium "Hail&Consequences", Krems, Austria,  
April 1993  
Preliminary Conclusions of the International Workshop on Hail and Hail Prevention  
in Varaždin, September 1995  
EU COST75 Action "Severe Weather Radar Systems" Final Meeting of the  
Management Comitee, (Recommandations of Working Group 1),  
in Praha, CZ, September 1997

### The Slovenian Hailpad- Network- Design

The presented *Slovenian design* (region NE- Slovenia) is well developed, the network is able to have a connection with hailpad networks in Austria (district Radkersburg) and in Croatia (region NW- Croatia), and the hail data will be comperable. *The type of hail recording station* will be the same like in NW- Croatia, equipped with one horizontal pad 25x25x2 cm, fixed 1 m above ground. *The grid* of the network is two kilometers, an excellent distance between the hail recording stations

*A training* of the hailpad station serving people is recommended, to have a good documentation for each hail event by hail-reports.

Location of *weather radar* has to be in a maximum distance of ~ 80 kilometer from the hailpad network. For future common work should be the equipment of such a radar center similar like the radar center of Varazdin is.

An estimation of *crop damage* should be given by criteria of the insurance, if possible.

### Evaluation of Slovenian Hailpads and Common Work

a)the analysis and the scientific evaluation of hit pads will be done/ organized by D.I. Damir Počakal, Croatian Met Service

b)hail pad data of Slovenia, Croatia and Austria and results can be given together in one, yearly common documentation of hail events.

c)In future, there should be developed a common network of hailpads with Austrian, Slovenian, and Croatian participation with regulary meetings as an working group.

Marjan



Damir PETI



Damir POČAKAL



Oto SVABIK





Popis zemalja u kojima se, prema izvješću WMO od 1997. i 1998. godine (WMP report No. 34) provode operativni projekti obrane od tuče. Dio informacija dopunjen je novim saznanjima iz stručne literature i direktno prikupljen od izvršioca projekata.

WMO i Lokalna oznaka projekta	Područje na kojem se djeluje	Površina km <sup>2</sup>	Godina od koje se provodi i kontinuitet	Priroda organizacija koje financiraju projekte D – država i drž. ustanove P – privatno	Tehnička sredstva za djelovanje, Meteorološki reagens i godišnja potrošnja	Trajanje sezone i broj dana djelovanja	Rađena je studija djelotvornosti (C/B – je omjer uloženo/dobit, % – je faktor smanjenje štete)
<b>AUSTRIJA</b>							
AUS – 1 STYRIA	Graz	1.800	1985 svake godine nastavlja se	Poljoprivrednici i poljoprivredne organizacije (P) Lokalna uprava i znanstvene ustanove (D).	Avioni (3 komada). Generatori s acetom. otopinom AgI i pirotehničke baklje s AgI. Potrošnja AgI: 400 kg 1997, 162 kg 1998	Svibanj – Rujan 46 dana 1997 40 dana 1998	Da – na osnovu povjesnih podataka i podataka tučomjera. Rezultati u 2000.
AUS – 2 HTP-NOE	Krems	500	1981 svake godine nastavlja se	Poljoprivrednici, poljoprivredne organizacije (P) Lokal uprava i znanstvene ustanove (D).	Avioni (3 komada). Generatori s acetom. otopinom AgI i pirotehničke baklje s AgI. Potrošnja AgI: 50 kg 1997, 77 kg 1998	Svibanj – Rujan 17 dana 1997 23 dana 1998	Da – na osnovu povjesnih podataka i podataka tučomjera. Rezultati u 2000.
<b>BUGARSKA</b>							
BG – 1	NW Bugarska S Bugarska	15.000	1969 s prekidima nastavlja se	Ministarstvo poljoprivrede (D) Individualni poljoprivrednici i organizacije (P)	Rakete s pirotehničkom smjesom AgI. Potrošnja AgI: 51 kg 1997, 152 kg 1998	Svibanj – Rujan 19 dana 1997 40 dana 1998	Da – na osnovu povjesnih podataka i podataka o šteti. C/B = 1 : 25 45 do 71 % (53%)
<b>KANADA</b>							
CAN – 1	Provincija Alberta	26.400	1996 neprekidno nastavlja se	Osiguravajuća društva (P)	Avioni s generatorima s acetom. otopinom AgI i pirotehničke baklje s AgI. Potrošnja AgI : 110.9 kg 1997, 97.7 kg 1998	15. lipanj – 15. rujan 36 dana 1997 i 1998	Ne
<b>FRANCUSKA</b>							
FR – 1	dio S i NW Francuske	80.000	1952 neprekidno nastavlja se	Poljoprivrednici i poljoprivredne organizacije (P)	Prizemni generatori i acetonska otopina AgI. Potrošnja AgI: 862 kg 1997, 712 kg 1998	Travanj – Listopad 61 dana 1997 51 dana 1998	Da – na osnovu podataka tučomjera, osiguravajućih društva C/B = 1:25 42 %

<b>GRČKA</b>						
GR-1	NW Grčka	2.350	1984 s prekidima nastavlja se	Poljoprivredna (D)	Avioni s pirotehničkim bakijama i patronama s Agl. Potrošnja Agl: 31.24 kg 1997, 62.38 kg 1998	Travanj - Rujan 18 dana 1997 21 dan 1998 Da - na osnovu, povjesnih podataka i podataka tučomjera C/B - bit će u 2000. 18 - 74 %
GR-2		56	1982 neprekidno nastavlja se	Poljoprivredna	Topovi protiv tuče Udarni valovi topovskih zrna	Ne Travanj - Oktobar oko 25 dana godišnje
<b>MAĐARSKA</b>						
HG-1	Baranja, Somod, Tolna (S Mađarska)	8.350	1991 neprekidno nastavlja se	Poljoprivredna i meteo- rološka služba (D) Poljoprivredne organiz. i poljoprivrednici (P) Osiguravajuća društva	Prizemni generatori i acetonska otopina Agl. Potrošnja Agl oko 120 kg godišnje	Ne Svibanj - Rujan
<b>MAKEDONIJA</b>						
MAC-1	Makedonija	25.000	1971 neprekidno nastavlja se	Ministarstvo poljoprivrede i Meteorološka služba (D)	Rakete s pirotehničkom smjesom Agl. Potrošnja Agl oko 70 kg godišnje	Ne Travanj - Listopad
<b>MOLDAVIJA</b>						
MOL-1	Moldavija, 60 % površine	21.250	1964 neprekidno nastavlja se	Poljoprivredne organizacije i individualni poljoprivrednici (P)	Rakete s pirotehničkom smjesom Agl. Potrošnja Agl oko 450 kg godišnje.	Da - na osnovi povjesnih podataka 86 % (1967-1998)
<b>NJEMAČKA</b>						
GE-1	Rosenhaim	4.000	1975 neprekidno nastavlja se	Lokalna uprava (D)	Avioni (2 komada) s generatorima s acetom. otopinom Agl. potrošnja Agl: 62 kg 1997, 30 kg 1998	Ne Svibanj - Rujan 27 dana u 1997 21 dan u 1998
GE-2	Stuttgart	2.500	1980 neprekidno nastavlja se	Poljoprivredne organizacije i individualni poljoprivrednici (P)	Avioni (1 komada) s generatorima s acetom. otopinom Agl. Potrošnja Agl: 31 kg 1997, 20 kg 1998	Da - na osnovi povjesnih podataka i podataka tučomjera C/B - 1:3,8 do 1:33,3 ovisno o kulturi 41%
<b>RUSKA FEDERACIJA</b>						
RF-1	N Kavkaz	20.000	1968 svake godine nastavlja se	Poljoprivredna (D)	Rakete s pirotehničkom smjesom Agl. Potrošnja Agl: 62 kg 1997, 41 kg 1998	Da - na osnovu usporedbe povjesnih podataka C/B = 1 : 5,8 64-85% (ovisno o regiji)

ŠPANJOLSKA									
SP - 1	Provincije Alava, La Rioja i Navarra	10.000	1974 s prekidima nastavlja se	Poljoprivredna (D) ENESA	Prizemni generatori i otopina Agl. Potrošnja otopine: 30.000 l 1997.	15. svibanj - 30. rujna 42 dana 1997	Da - na osnovu šteta i povjesnih podataka C/B - nema 20 %		
SP - 2	Dio naselja u Zaragozi i Teruelu	2.870	1970 neprekidno nastavlja se	Poljoprivredna (D)	Prizemni generatori i otopina Agl. Potrošnja Agl: 1062 l 1997.	Svibanj - Oktobar 37 dana 1997	Nema izvješća		
SP - 3	Dio naselja u Zaragozi i Teruelu	2.500	1970 neprekidno nastavlja se	Poljoprivredna (D)	Prizemni generatori i otopina Agl. Potrošnja Agl: 362 l 1998.	Svibanj - Oktobar	Nema izvješća		
USA									
US - 22 NOAA 96-945	Zapadni Kansas	48.958		Lokalne institucije (P) Istraživačke ustanove (D)	Avioni s pirotehničkim bakljama Agl. Suhi led (CO <sub>2</sub> ). Potrošnja: Agl - 200,9 kg 1997 suhi led - 1585 kg 1997	Travanj - Rujan 68 dana 1997	Da - na osnovu povjesnih podataka C/B - nema 27 %		
US - 39 NOAA 98-999	Oklahoma	178.506		Lokalne institucije (P) Istraživačke ustanove (D)	Agl osnova. Potrošnja 127,2 kg - 1997.	Ožujak - Listopad 102 dana	Nema izvješća		
US - 56 1998 NOAA 98-965	Sjeverna Dakota Regija I	6.209		Lokalne institucije (P) Istraživačke ustanove (D)	Avioni s pirotehničkim bakljama Agl. Suhi led (CO <sub>2</sub> ). Potrošnja: Agl - 33,4 kg 1997 suhi led - 1073 kg 1997.		Da - na osnovu povjesnih podataka i šteta C/B -nema 45 - 50 %		
USA									
US - 57 1998 NOAA 98-966	Sjeverna Dakota Regija II	23.278		Lokalne institucije (P) Istraživačke ustanove (D)	Avioni s pirotehničkim bakljama Agl. Suhi led (CO <sub>2</sub> ). Potrošnja: Agl - 143 kg 1998 suhi led - 2034,1 kg 1998.		Da - na osnovu povjesnih podataka i šteta C/B -nema 45 - 50 %		
US - 58 1998 NOAA 98-967	Zapadni Kansas	23.278		Lokalne institucije (P) Istraživačke ustanove (D)	Avioni s pirotehničkim bakljama Agl. Suhi led (CO <sub>2</sub> ). Potrošnja: Agl - 167,7 kg 1998 suhi led - 1435,9 kg 1997.		Kao US - 22		
UZBEKISTAN									
UZ - 1	Istočne regije	7.380	1969 neprekidno nastavlja se	Poljoprivredna (D)	Rakete s pirotehničkom smjesom Agl . Potrošnja Agl : 40 kg 1997. 47 kg 1998.	Travanj - Kolovoz 31 dan 1997 37 dana 1998	Da - na osnovi povjesnih podataka i radarskih podataka. 94 % ( 1969-1998) redukcija radar. reflektiv		

Zemlje u kojima se provodi obrana od tuče, ali nisu načinile prijavu u registar WMO. Podaci su prikupljeni iz stručne literature i direktno od izvršioca projekata.

Država	Područje na kojem se djeluje	Površina na km <sup>2</sup>	Godina od koje se provodi i kontinuitet	Priroda organizacija koje financiraju projekte D - država i drž. ustanove P - privatno	Tehnička sredstva za djelovanje, Meteorološki reagens i godišnja potrošnja	Trajanje sezone i broj dana djelovanja	Radena je studija djelovitnosti (C/B - je omjer uloženo/dobit, % - je faktor smanjenje štete)
Argentina	Pokrajina Mendoza	39.000	1985 s prekidima nastavlja se	Poljoprivredna (D) Individual poljoprivrednici (P)	Avioni s piro. palicama i patronama na osnovi Agl.	istopad - ravanj	Da - za period 85 - 96. i rad s raketama, na osnovi povjesnih podataka C/B = 1:11, 76% Za period 59 - 64. i rad prizemnim generatorima, 50%-za hladne fronte
Federacija B i H Republika Srpska	Bosanska Posavina	2.400	- s prekidima nastavlja se	Lokalna uprava i poljoprivredna dobra i organizacije (D)	Rakete s pirotehničkom smjesom Agl.	Svibanj - Rujan	Ne
Kina	više regija	75.000	1960	Poljoprivredna (D) Meteorološka služba (D)	Artillerija i rakete s piro. smjesom Agl.	ravanj - Listopad	Da - na osnovi povjesnih podataka i kontrol. područja C/B = 1: 24,5 59% (1987 - 1989)
Republika Hrvatska	Međurj. Save i Drave	22.000	1967 prekid 1991/92 nastavlja se	Država (Proračun, Ministarstvo poljoprivrede, lokalna uprava) (D) i osiguravajuća društva	Rakete, kruti Agl, Prizemni generatori i otopina Agl. Potrošnja oko 700 kg godišnje.	15. Travanj - 15. Listopad	Ne
Slovenija	Maribor	-		Privat (P)	Avioni s piro palicama i generatorima		Ne
SR Jugoslavija		66.000	1968 neprekidno nastavlja se	Država - Proračun (D)	Rakete, kruti Agl	15. Travanj - 15. Listopad	Ne
Ukrajina	2 područja pokrajine Krim i Odesa	9.000	1968 neprekidno nastavlja se	Polj. organizacije	Rakete, kruti Agl	Svibanj - Rujan	Da - na osnovi povjesnih podataka 93 % (1980 - 1996)

## Comparison of hail characteristics in hail protected part of Croatia in two separate periods

Damir Počakal

Meteorological and Hydrological Service of Croatia  
10000 Zagreb, Grič 3, Croatia  
Tel/fax: 385 1 4851-978, 385 42 642-260  
E-mail: dhmz-rc@vz.tel.hr

### Introduction:

Croatia is settled in mid latitudes of Northern Hemisphere, and therefore is exposed, mainly in summer months with frequent occurrence of thunderstorms (average for 20 years is 76 days), specially in continental part, between Drava and Sava rivers. Connected with that, hail is frequent with high possibility for heavy damage. Mean number of days with hail is 34 and with damage from hail are 20.

In sixties, in aim to protect agricultural production and reduce damage from hail, hail suppression system is introduced on that area. The protected area is 25177 km<sup>2</sup> and is covered with about 492 hail suppression stations.

This paper investigates difference of hail and hail damage for two separate periods in hail protected part of Croatia. The first period ( 1981-1990 ) is characterised with full application of hail suppression technology. That means that the protected area was covered with sufficient number of hail suppression rockets and rocket launching was also permitted across Slovenian and Bosnia and Herzegovina border aiming early seeding. In that time Slovenia had operative hail suppression system. The second period ( 1991-1999 ) is characterised by significantly lower application of hail suppression technology compared with first one. In this period, during the independence war in Croatia, because lack of rockets and other objective circumstances, appropriate rocket hail suppression was missing. Later on, Slovenia cancelled operative hail suppression. Slovenia and Bosnia and Herzegovina became an independent state; rocket launching across its border became impossible. Lack of rockets forced introduction of ground generators on the protected area in 1994. Since 1995 hail suppression season ( 15.04-15.10 ), in the western part of protected area, rockets were in use again together with ground generators. In east part of protected area are in use only ground generators except one part ( Baranja and the most eastern part of Croatia ) where is not yet establish hail suppression system.

### METHODS

For periods 1981-1999, where 7000 sets of data on solid precipitation on the ground collected (date, hailstone diameter, duration, location and damage ). In this paper data for hail and small hail from meteorological stations in the protected area in period 1951-1999 are used, to establish possible difference in hail occurrence before and after organised hail suppression system.

In this paper are used also radar data (direction and velocity) of Cb-s with hail on the ground.

In aim of better comparison, protected area is divided into smaller parts ( quadrants 9x9 km ), in the way that in every quadrant is at least one hail suppression station. For each quadrants it is calculated ratio between total number of solid precipitation appearance, and these that produced damage. Separately are calculated ratios in case of small (fig.3) and heavy damages (fig.2) in agriculture.

## RESULTS

In the first period, incoming direction of Cb with hail on the ground shows dominant W direction, with velocities of 25-50 km/h. In the second period distribution of Cb direction has changed. NW, W and SW have become equally represented directions which changed geography of average days with hail on that area (fig.1). Data show that the major influence of orography is seen in greater number of days in the lee side of mountains.

In second period average diameter of hail stones slightly increased, especially in interval 15-30 mm. Average duration of hailfall increased from 3.8 min. to 4.8 min.

In the second period, there was considerably increased number of areas in which larger ratio of hail with heavy damage on the ground appeared, compared with first period (fig.2). Opposite from increased number of areas with heavy damage, there is decreased number of areas with small damage (fig.3).

The data from 9 meteorological stations (tab.1) in this area show decrease of mean number of days with solid precipitation in period when hail suppression was implemented ( 1973-1990 ), vs. period when there were no hail suppression ( 1951-1972 ), from 1.4 to 0.8 days. The mean number of days with solid precipitation again rose to 1.0 days in period when hail suppression could not properly act ( 1991-1999 ). For operational hail suppression system in (fig.4) is shown a distribution of "hail threatening" index , as are function of mean number of days with solid precipitation and damage ratio.

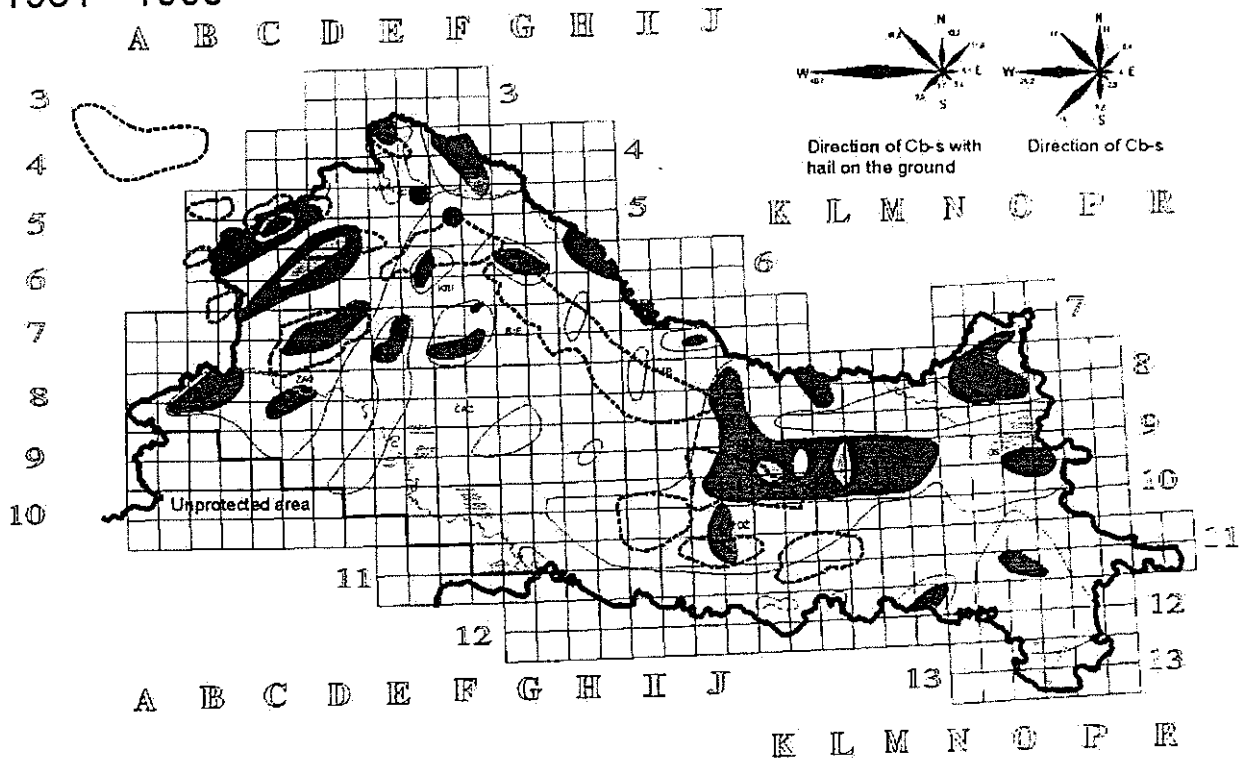
## CONCLUSIONS

Comparing two periods, it is estimated considerable difference in hail characteristics and damage on the ground, specially in increased duration of hailfall and larger number of areas - cases with heavy damage, in the period from 1991-1999, when hail suppression was unable to act, or the possibilities for acting were considerably lower.

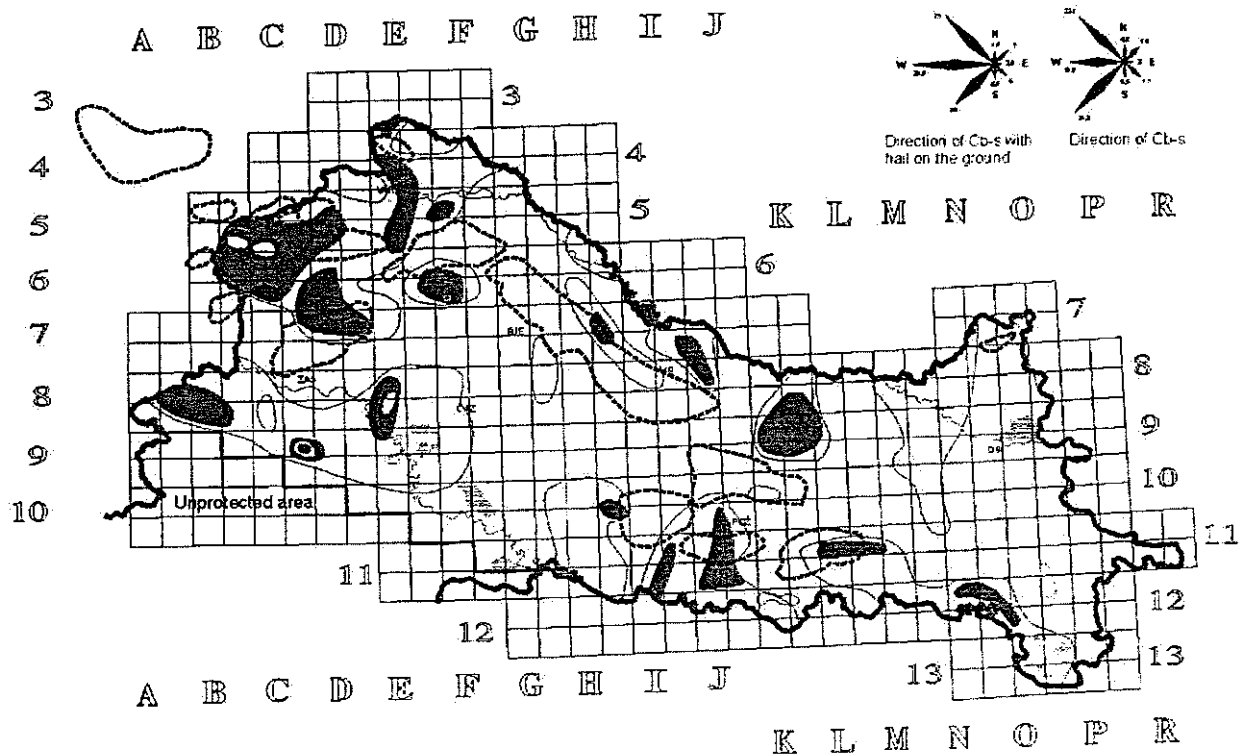
	1951 average	1972 max	1973 average	1990 max	1991 average	1999 max
BJELOVAR	1,9	8	0,8	4	0,8	2
KRIZEVCI	1,7	5	1,4	5	2,4	5
CAZMA	1,1	3	0,6	2	0,7	2
VARAZDIN	1,4	5	0,7	3	1,0	2
ZAGREB	1,4	6	1,0	3	0,8	1
POZEGA	0,9	2	0,4	1	1,0	2
D. MIHOLJAC	1,7	2	0,9	2	0,8	2
OSIJEK	1,0	3	0,9	2	1,4	2
VIROVITICA	1,4	3	0,4	2	0,2	1
average	1,4		0,8		1,0	

Tab.1 Average number of days with solid precipitation on meteorological stations

1981 - 1990



1991 - 1999



Days/Season

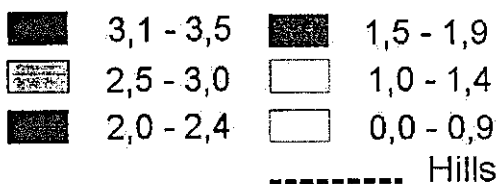
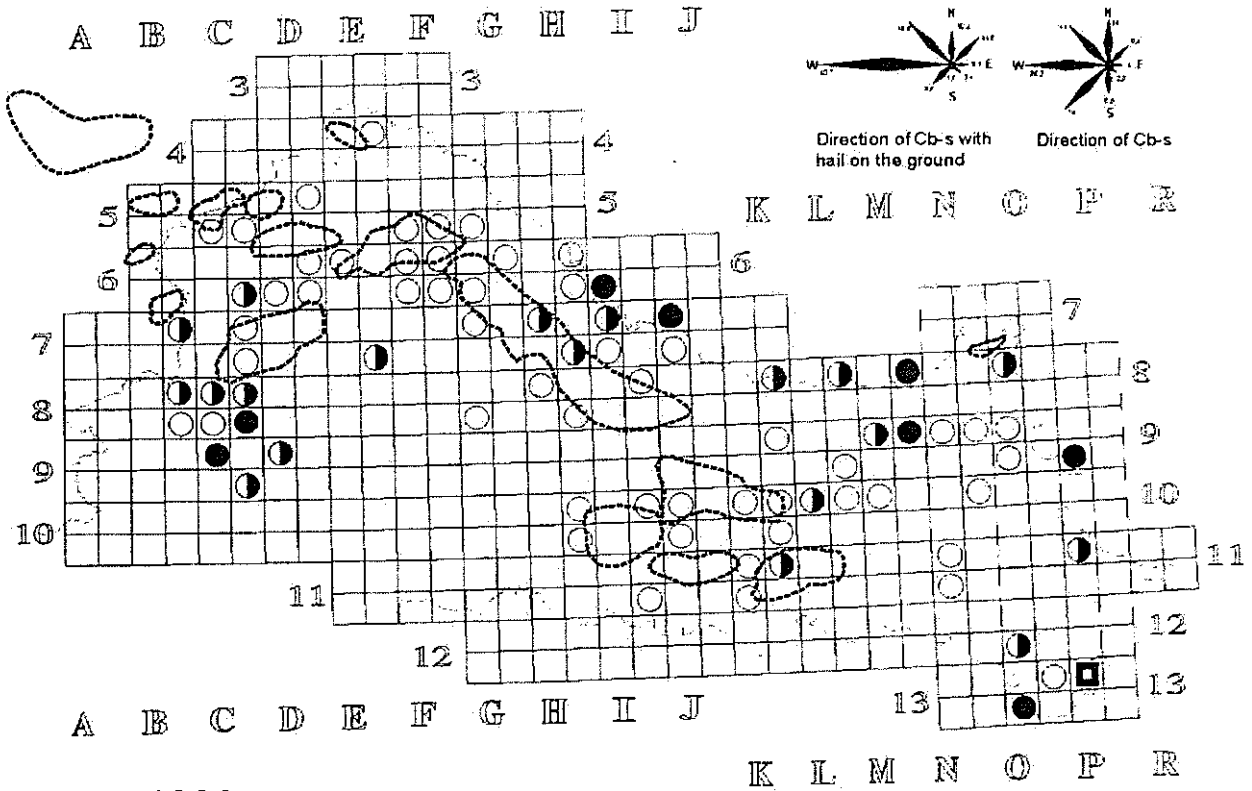
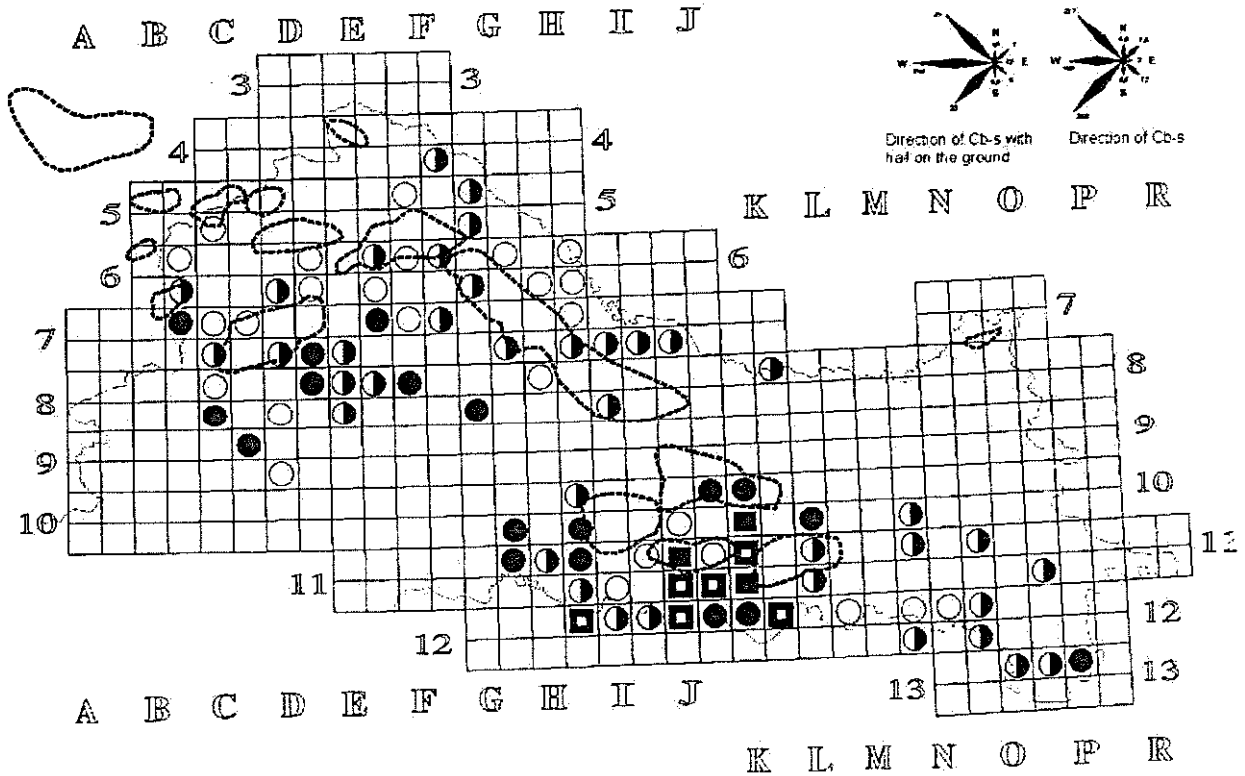


Fig. 1. Mean number of days with solid precipitation per season in hail protected continental part of Croatia

1981 - 1990



1991 - 1999



- 5 - 9 %
- ◐ 10 - 19 %
- ◑ 20 - 29 %
- ◒ 30 - 39 %
- ◓ 40 - 60 %
- Hills

Fig. 2. Spatial distribution of ratio between cases with heavy damage ( 50 - 100 % ) and total number of cases with precipitation appearance



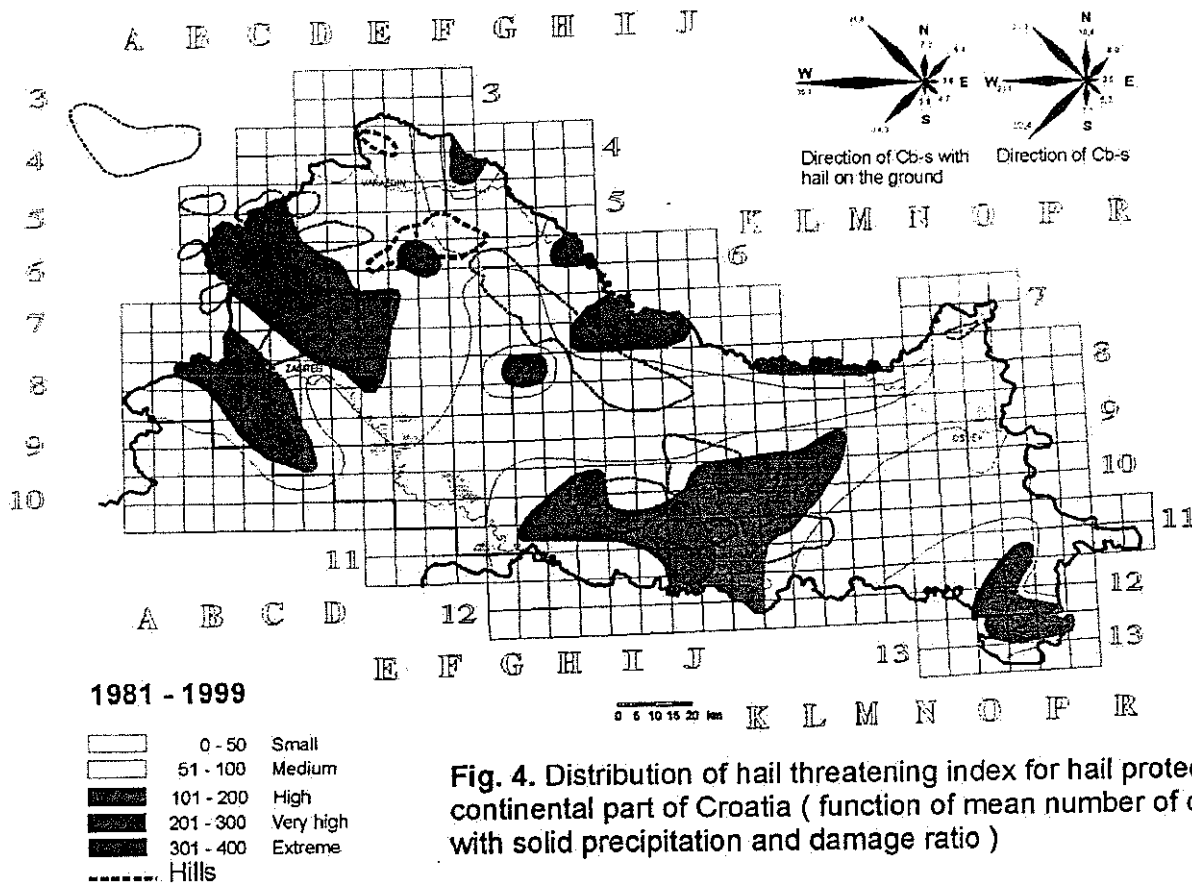
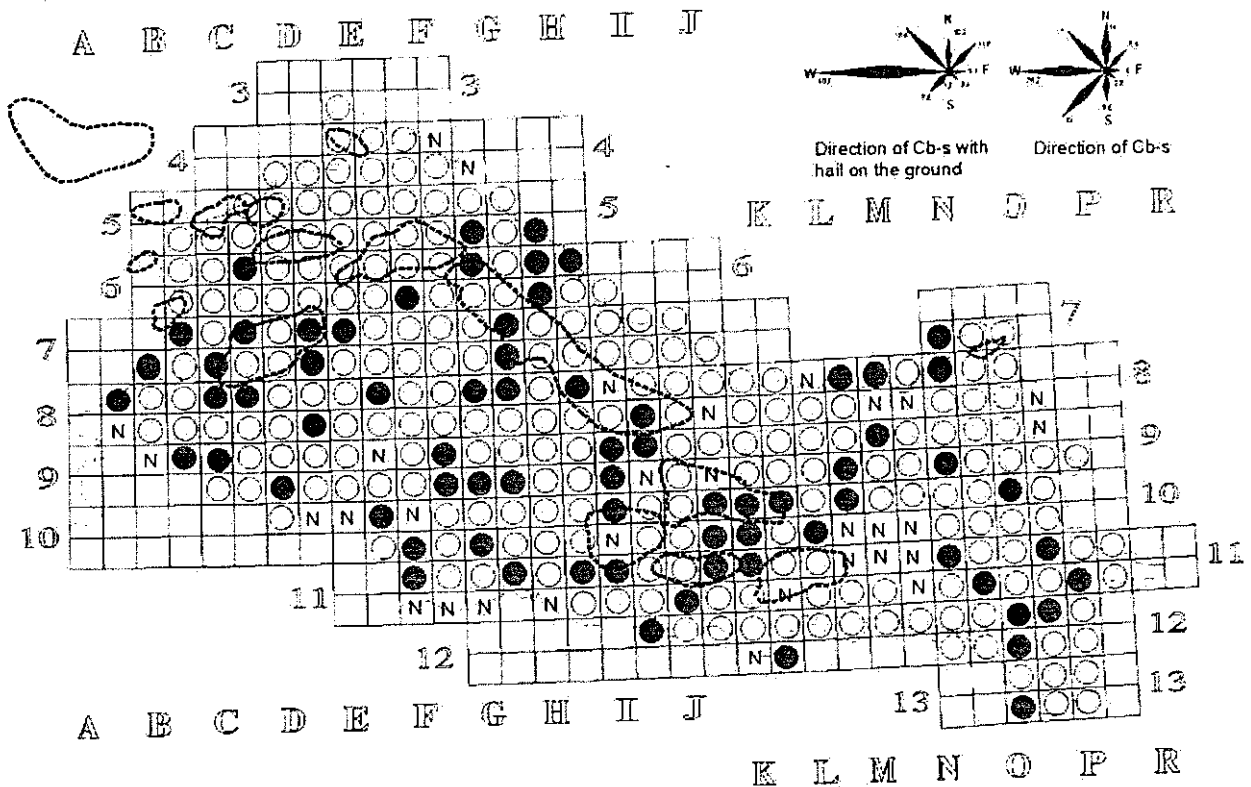


Fig. 4. Distribution of hail threatening index for hail protected, continental part of Croatia ( function of mean number of days with solid precipitation and damage ratio )

## REFERENCES

- Gajić-Čapka, M. and Zaninović, K., 1993: Time variations of hail and thunderstorm over the area of Bjelovar, Križevci and Čazma. *Hrvatski meteorološki casopis*, 28, 59-64
- Gelo, B. and Matvijev, M., 1994: An overview of hail suppression in Croatia. Sixth WMO Conference on Weather Modification, Paestum, Italy
- Počakal, D., 1985: Statistical analysis of convective cloud cell movements over the territory of Varaždin. 1. YU Conference for hail suppression protection. Tara, YU
- Počakal, D., 1999: Geographical distribution of days with hail in northern Croatia. Seventh WMO Conference on Weather Modification, Chiang Mai, Thailand
- Počakal, D., 2000: Comparison of hail characteristics in western part of protected area in two separate periods. 8<sup>th</sup> International Symposium on Natural and Technological Hazards, Tokushima, Japan

1981 - 1990



1991 - 1999

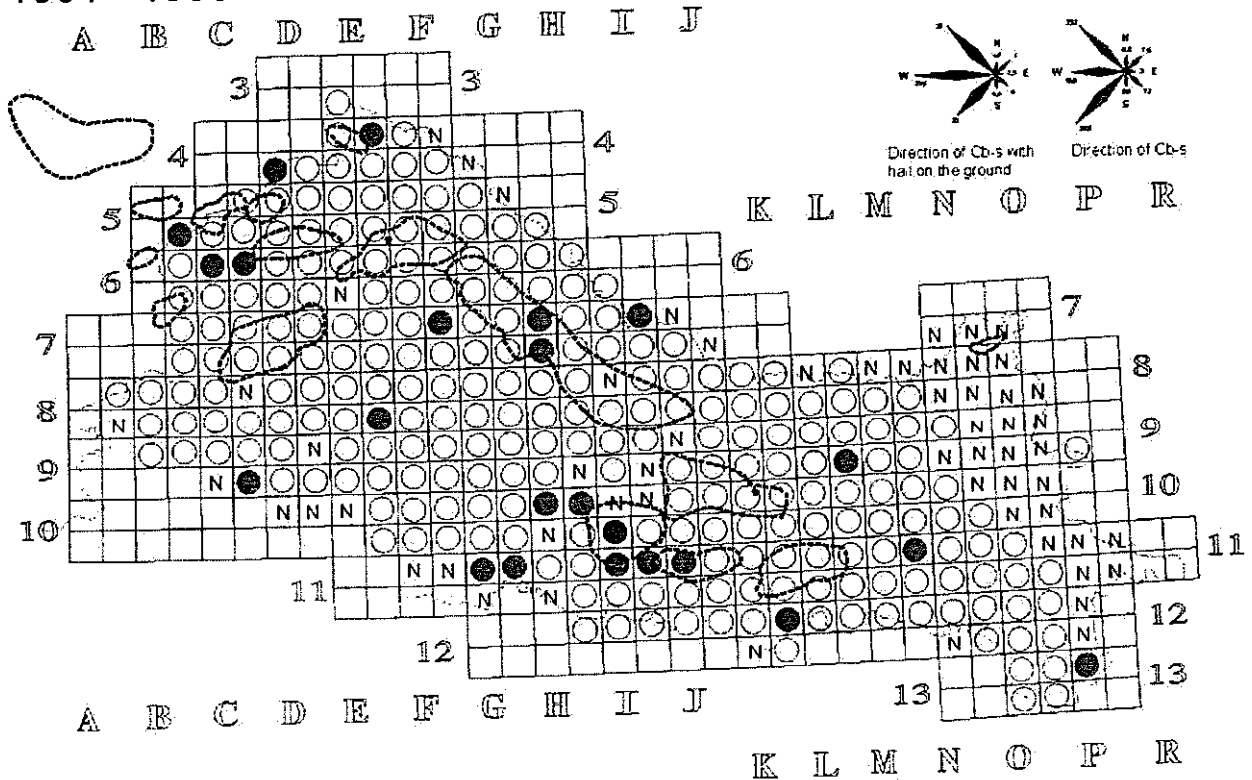


Fig. 3. Spatial distribution of ratio between cases with small damage ( 5 - 40 % ) and total number of cases with solid precipitation appearance

# HAIL AND THUNDERSTORM DISTRIBUTION AND HAIL SUPPRESSION IN CROATIA

Branko Gelo, Damir Peti and Davor Nikolić

Meteorological and Hydrological Service  
Zagreb, Croatia

## ABSTRACT

The paper deals with a retrospective analysis of hail and thunderstorm distribution in Croatia during the hail suppression implementation (1971-1990) compared to the respective data for the period without hail suppression, i.e. when hail suppression was sporadic or almost negligible (1951-1970). The results show a 30% decrease in the mean seasonal number of days with hail during the hail suppression activities as compared with the hail suppression free period, while the distribution of thunderstorm does not show significant differences.

## 1. INTRODUCTION

Existing sporadically since 1959, in the last two decades hail suppression has seen a considerable expansion, particularly in certain parts of Croatia. Almost the entire territory of North Croatia (between the Drava and the Sava rivers - 25200 km<sup>2</sup>) has been covered by the hail suppression operations (Gelo and Matvijev, 1993), Figure 1. Efficiency of hail suppression program is estimated from the field crop damage value during hail suppression as compared to the historical records, distribution of hail and thunderstorm and many other factors. Hail suppression activities have existed for two decades, which determines the duration of the analyzed period. A corresponding period has been extended to the former years, when there were no significant hail suppression activities (1951-1970). Hail, and to a lesser extent thunderstorms, belong to the rarely occurring phenomena on which there are no accurate instrumental recordings, and the existing data are very often problematic, making some of the analyses hardly feasible. Meteorological stations data on hail and thunderstorm are time and inten-

sity of their occurrence. The foregoing data should practically reduced to the number of days thereof, and less often to there present a quasi indicator of the weather changes during hail suppression activities.

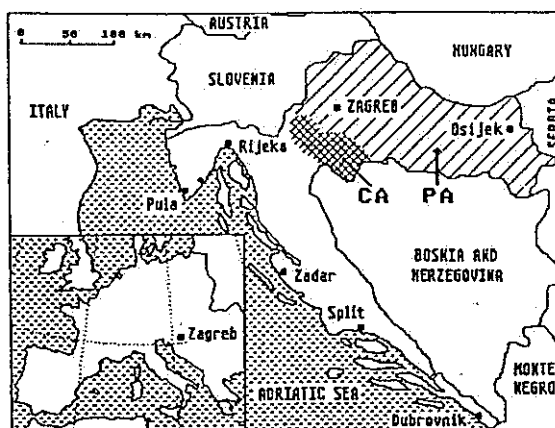


Figure 1. Hail protected (PA) and control area (CA) in Croatia

## 2. SOURCES AND SELECTION OF DATA

The data were obtained from the network of synoptic and climatological stations, while other stations of lower rank were not taken into consideration due to their inferior reliability, Table 1. As the quality of data is very often dubious, a few of the stations were excluded from all of the analyses. Each station with suspicious data was compared with surrounding stations' data for the same period. In the case of significant aberrations of data of the surrounding stations from the data of the investigated station, the latter was excluded from the analysis.

## 3. RESULTS

### 3.1 PROTECTED AREA

As the definition of solid precipitation (excluding various types of snow) was being changed throughout the years (1963, 1975),

includes thunder and/or thunderstorm in the vicinity.

The most suitable hail and thunderstorm observation period falls under the warm part of the year (Penzar and Penzar, 1991). In that period (May-September) the total occurrence rate of hail and thunderstorm is somewhat lower in relation to whole year (hail 27%, thunderstorm 14%), but so is the possibility of mistakes as the consequence of including small hail (ice pellets) into hail (Penzar and all, 1992; -, 1882-1990). This period narrowing has an additional important role in the fact that hail suppression is active in the warm period of year. Problems of hail days number have been analyzed by Radinović (1989) and Mesinger and Mesinger (1991), who have taken into consideration the year-round hail series, making a mistake of comparing the days with hail when there is no hail suppression activities with those when there is hail suppression (summer) or when there is no hail suppression (winter).

The distribution of hail and thunderstorm (as a quasi-indicator of hailfall) in North Croatia on the meteorological stations before the hail suppression activity (period 1951-1970) show 0.5 to 3.2 (mean 1.17) and 10.7 to 31.8 (mean 23.5) days with hail and thunderstorm in a season May-September respectively, Figure 2. Second period, 1971-1990, during the hail suppression activity, shows 0.2 to 1.5 (mean 0.76) and 17.8 to 31.5 (mean 22.0) days with hail and thunderstorm in a season May-September respectively, Figure 3. Comparison of the mean number of days with hail and thunderstorm distributed over the relevant months of the two investigated periods, indicates decrease in the hail and thunderstorm rate in the 1971-1990.

In the climatological-statistical meaning in the warm part of the year (period 1951-1990) it takes 23.5 thunderstorms to record one occurrence of hail. Though the correlation coefficients are very low, still the foregoing indicates that the number of hail days seen in the period 1951-1970 decreased in the period 1971-1990. The decrease rate is 36.1%.

Comparison of data before and during hail suppression, indicates a 35.0% decrease in the number of hail

days during hail suppression as compared to the period without one. In the same period there are 6.3% less days with thunderstorm. It takes 24.7 thunderstorm days for the occurrence of one hail day, and since the number of thunderstorm days decreased by 1.48 days, there is a 6% decrease in the number of hail days, i.e. the real decrease of hail days for the period 1971-1990 is 29.0%, if compared with the previous period. This value is hail suppression efficiency indicator.

Hail days decrease rates of 36.1%, 35.0% and 29.0% during hail suppression period can be subject to criticism.

Isolines of the number of hail days (Figures 2. and 3.) by the surface unit were also analyzed in order to exclude irregularities in the geographical distance of stations and to obtain physical and statistical interpretation of hail occurrence. The region of Northern Croatia is divided into small areas covering 10\*10 km<sup>2</sup>, so according to the hail isolines, each surface unit (220 units) was assigned a certain number of hail days. The area mean number of days with hail in the period 1951-1970 for the whole region is 1.03 (without the Puntijarka station) running close to the statistical mean of 1.01 days, if the Puntijarka station is not taken into account due to its height above sea level. For the 1971-1990 period the area mean number of hail days is 0.76, equal to mean number of days with hail.

In the attempt to note the possible climatological changes, we have also analyzed hail and thunderstorm data of the stations with long-standing observation period (1901-1990). Sliding means (11 years) for hail and thunderstorm are given in the Figure 4. In the first half of this century the number of days with hail was high, and thunderstorm rate increased. An obvious reason would be inclusion of small hail (ice pellets) into hail and thunder and/or distant thunderstorm into thunderstorm. Still, during the last few years Figure 4. shows the lowest number of days with hail and thunderstorm, which calls for a further investigation.

### 3.2 CONTROL AREA

In the close vicinity, towards

Table 1. Mean number of days with hail and thunderstorm in period May - September, 1951-1990.

meteorological station	alt. (m)	period years	hail		thunderstorm	
			51-70	71-90	51-70	71-90
Bjelovar *	141	51-90	1.40	0.60	18.4	17.8
Brestovac Belje	91	51-70	0.50	-	19.0	-
Čazma	144	52-70	0.47	-	27.6	-
Daruvar *	161	51-90	0.90	0.90	20.5	26.9
Donji Miholjac	97	55-90	1.19	0.60	24.8	23.7
Drenovci (2)	87	51-85	1.53	0.50	26.2	20.5
Bakovo	98	51-85	0.90	1.00	14.0	17.4
Burđevac (1)	121	55-90	0.56	0.25	19.9	23.2
Ilok	133	52-70	1.58	-	26.4	-
Karlovac *	112	51-90	0.95	1.00	18.2	17.3
Kostajnica	110	57-84	1.21	1.50	23.1	16.3
Kostel	270	51-87	0.65	0.29	28.8	29.4
Križevci *	155	51-90	1.20	1.35	23.8	20.7
Lipik	154	51-85	1.40	0.53	26.2	24.9
Ludbreg (1)	158	56-90	1.67	0.90	17.8	19.1
Našice (2)	144	56-89	0.57	0.50	16.4	14.5
Kova Gradiška	130	74-86	-	0.62	-	21.1
Kovska	152	59-83	1.00	0.62	26.3	18.0
Osijek*	89	01-90	0.95	0.70	20.7	15.1
Požega	152	01-82	0.95	0.33	27.3	25.8
Puntijarka*	988	51-90	4.25	1.20	30.6	25.6
Sisak*	98	51-87	1.05	0.71	25.0	22.5
Slavonski Brod*	88	51-90	1.10	0.95	16.5	20.9
Stubička Gora	620	53-90	0.72	0.45	18.6	18.3
Topusko (4)	129	52-70	0.80	-	23.7	-
Varaždin*	167	51-90	1.00	0.65	25.0	21.9
Zagreb-Aero.*	106	59-90	0.92	0.85	34.4	31.6
Zagreb-Grič *	158	01-90	1.70	1.30	30.2	25.4
Zagreb-Maks.*	128	51-90	0.80	1.05	27.3	30.7
Županja	83	71-90	1.85	-	18.2	-

\* synoptic meteorological stations, ( ) number of missing years

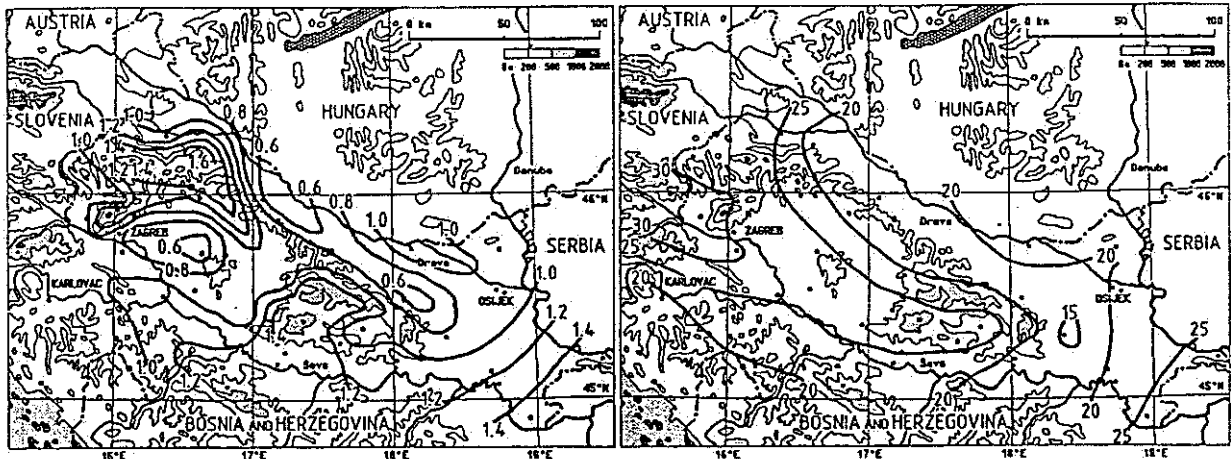


Figure 2. Distribution of the mean number of days with hail (left) and thunderstorm (right), (May - September, 1951-1970), before hail suppression

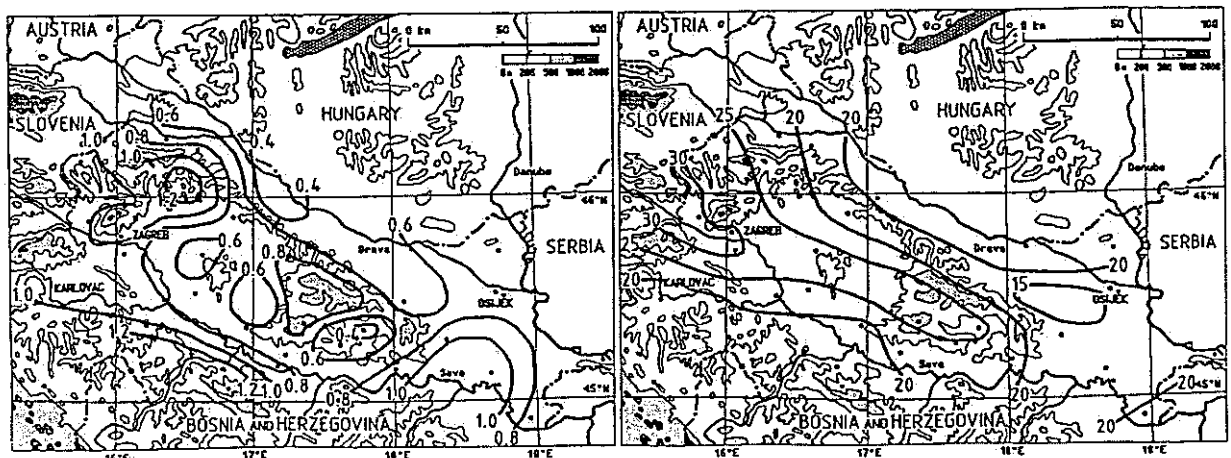


Figure 3. Distribution of the mean number of days with hail (left) and thunderstorm (right), (May - September, 1971-1990), during hail suppression

there was a time when the term of hail comprised the phenomena both of small hail (ice pellets) and hail, so that some of yearly series have a

seemingly higher number of days with hail. The same problem is encountered in thunderstorm, depending on whether the definition of thunderstorm

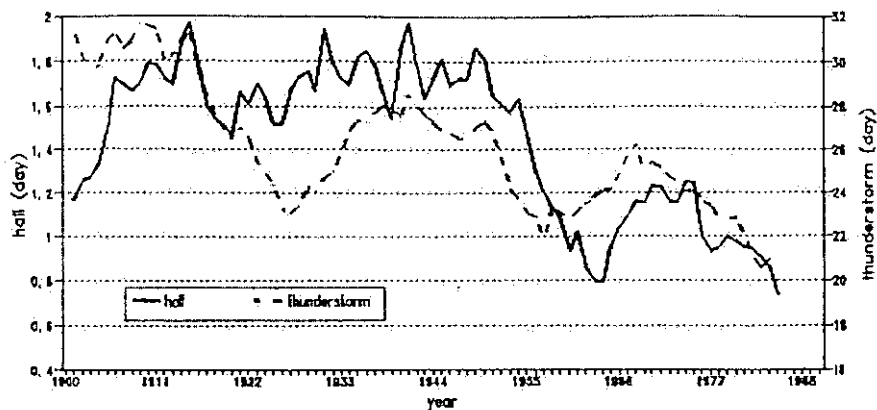


Figure 4. Sliding means number of days for hail and thunderstorm (11 years), (May-September, 1901-1990)

south-west of the analyzed area, there is a smaller area which is not hail protected and which is covered by only two stations (Karlovac and Kostajnica). The geographical characteristics of that area are very similar to the characteristic of the analyzed area. The data show that the two above mentioned stations recorded an average of 1.08 hail days in the period 1951-1970, and 1.25 in the 1971-1990 period, so the hail rate increased. At the same time the number of days with thunderstorm dropped from 20.6 to 16.8. A parallel can be drawn with the previous conclusions that the hail rate did not decrease, but there is rather a slight increase, in the areas without hail suppression, and that the number of thunderstorms days is not crucial in these analyses.

#### 4. CONCLUSIONS

Analyses of hail and thunderstorm distribution in Croatia in relation to hail suppression indicate a decrease in the mean seasonal number of hail days by one third during the hail suppression period as compared with period when hail suppression was not actively applied, while at the same time the distribution of thunderstorm has not seen any major changes.

The applied analyses are not unambiguous in confirming or denying climatological changes in the number of hail and thunderstorm days during the May-September season. One among the problems lies in the applied technology of recording hail (small hail) and thunderstorm (thunder) with regard to the changes in their definition during the observation period,

which has not been a subject of detailed analysis in this paper (the problem of original data).

The control area not included into hail suppression activities (similar characteristics as the hail protected area) is very small and covered by two stations only. Though some positive results can be discerned (no decrease in the hail rate), some additional analyses would be required for general conclusions.

#### REFERENCES

- Gelo, B. and Matvijev, M., 1993: An overview of hail suppression in Croatia. Hagel und Konsequenzen, Krems, 5-7 april 1993, ZMG, Wien.
- Mesinger, F. and Mesinger, N., 1991: Did "hail suppression" in Serbia lead to reducing hail frequency? Second Yugoslav conference on weather modification, RHMZ SRM, Mavrovo (Skopje), I/159-177 p.
- Penzar, I., Juras, J. and Marki, A., 1992: Long-term meteorological measurements at Zagreb: 1862-1990. Geofizika, Vol. 9, Suppl., 1-171 p.
- Penzar, I. and Penzar, B., 1991: Hail distribution in North Croatia. Climatological presentation. Second Yugoslav conference on weather modification, RHMZ SRM, Mavrovo (Skopje), I/178-186 p.
- Radinović, B., 1989: Effectiveness of hail control in Serbia. Wea. Modification, 21, 75-84 p.
- , 1862-1990: Climatic data of synoptic and climatology stations in Croatia (in Croat). Arhiva DHMZ RH, Zagreb.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF OPERATIONAL HAIL SUPPRESSION ACTIVITIES IN CROATIA

Mladen Matvijev, Damir Peti, Damir Počakal

Meteorological and Hydrological Service  
Zagreb, Croatia

## ABSTRACT

This paper is dealing with analysis of operational hail suppression activities in northern Croatia.

The basic idea was to estimate number of seeded artificial ice nuclei during hail suppression activities and to investigate possible connections with hailfalls. Ten cases of operational seeding of hail clouds were selected on the basis of sufficient data set collection.

For the purpose of estimation of achieved artificial ice nuclei (AIN) concentrations in seeded hail clouds, a special simple method was applied. Vertical mass flow velocity was simulated for several values and in this paper only two cases are presented: for  $W_1=6$  m/s and for  $W_2=20$  m/s.

Estimated achieved artificial ice nuclei concentrations in seeded clouds for  $W_1$  were within range  $2 \cdot 10^4$  and  $7 \cdot 10^5$  and for  $W_2$  within range  $8 \cdot 10^3$  and  $2 \cdot 10^5$  AIN/m<sup>3</sup>. In cases of small vertical velocity, artificial ice nuclei concentrations were continuously over  $2 \cdot 10^4$ , but in the cases of high vertical velocity AIN concentrations were falling down to natural level.

The comparison with ground observations data gives indications of the existence of connection but due to small number of cases it was impossible to have final conclusions.

The preliminary analysis indicates that usually, after the decrease of AIN concentration, in time interval of about 10 to 12 minutes, the hailfall or its intensification is observed on the ground.

## 1. INTRODUCTION

Summer hailstorms connected with stormy winds, severe rain and hail showers are one of the biggest problems for agricultural production in moderate climate areas all over the world.

The same problem exists in Croatia. Crops loss as the result of those weather situations is frequently extremely high, especially in cases of heavy hail occurrence. Sometimes, hail not only damages crops, but totally destroys it.

Croatian hail suppression system have been founded in late sixties of this century with the aim of minimizing damages as a consequence of hail occurrence. The fact that hail, in spite of hail suppression activities, causes damages, results in continuous doubts and uncertainties about its real effectiveness, as well as of the hail suppression concept but also of its operative realization.

Heterogenous organization of hail suppression system and financial problems till 1990 have not allowed systematic research in this area. Lately, an organized effort have been made to achieve better picture of real hail suppression effectiveness and results using available data collected during its existence.

One of very interesting areas is the connection between the amount of seeded artificial ice nuclei (AIN) in operational activities and results or influence, if any, on hailfalls and cloud characteristics. Main problem in resolving this connection is the lack of adequate measurements so it is necessary to make some assumptions and approximations. In this paper, ten cases of major or

intensive operational hail suppression seedings of hailcloud cells were selected on the basis of data completeness. Using all available data and simple methods, the quantities of seeded AIN were calculated, their vertical flow was simulated for several upstream velocities and the time fluctuations of artificial ice nuclei concentrations were compared with the radar measurements of cells and ground observations.

## 2. METHODOLOGY

The data set used for analyses are: weather radar measurements, ground observations, number of operationally launched rockets and measurements of meteorological reagent activity. Weather radar measurements are operational data sets - manually achieved radar measurements of Cb cloud parameters produced during hail suppression activities. Data sets were organized in "series" of measurements for each hailcell.

Meteorological reagent activity is continually investigated in cold chamber in Meteorological and Hydrological Service of Croatia (Horvat, 1989). Number of artificial ice nuclei seeded in clouds was estimated from the quantity of successfully launched rockets, the amount of meteorological reagent in each rocket and proposed activity of reagent at temperature level of  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Ground observations of hailfalls were collected from "Weather reports" made by launching stations personnel, hailpad measurements and local authority reports.

All data were connected using time scale and after thorough analyses to select out obvious mistakes.

The biggest problem for this first step of analyses have been the change of concentrations of seeded artificial ice nuclei due to the fact that vertical mass flow has as a consequence loosing of AIN at a rate directly proportional to upstream

velocity. The vertical velocity measurements were not available so it was necessary to propose several values of them and use them in estimations of artificial ice nuclei concentration change.

Volumes that were taken into consideration for the estimation of achieved AIN concentrations are cylinder approximation with height of 3600 m and horizontal area equal to horizontal cross section area of cloud at 25 dBZ reflectivity at level of about 5,000 m.

Vertical height was chosen on the basis of the fact that the average vertical distance between  $-4^{\circ}\text{C}$  and  $-30^{\circ}\text{C}$  is 3600 m, according Zagreb Maksimir atmosphere soundings during hail suppression seasons and in this temperature area the beneficial competition hypothesis should use possibilities of artificial ice nuclei.

Horizontal cross section at 25 dBZ reflectivity was chosen on the basis of assumption that main quantity of cloud water content important for hailstone production is inside of this section.

Described part of volume is an approximation of active part of volume from the point of view of ice nuclei production. Values of volumes achieved in that way were in hail risky period for cloud cell from  $1,01 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$  to maximum value of  $1,01 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ .

Vertical mass flow velocity was simulated for several values and in this paper only two cases are presented: for  $W_1=6 \text{ m/s}$  and for  $W_2=20 \text{ m/s}$  as an illustration. The range between these vertical velocities mainly covers usual values in cases of moderate hailstorms, especially in the areas outside of main upstream where the seeding is performed according operational instructions for hail suppression system in Croatia.

Concentration of artificial ice nuclei and its fluctuations were calculated in steps of one minute on computer. Each step included new reagent seeding if the rocket(s) was launched a minute before and artificial ice nuclei outflow from the referent volume of the hailcloud cell.



### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Achieved levels of concentration of artificial ice nuclei were maintained longer or shorter periods of time, as the direct consequence of the proposed vertical mass flow velocity in the clouds, which was expected.

Estimated achieved AIN concentrations in the cases of "continuous" seeding in seeded clouds for  $W_1$  were within range  $2 \cdot 10^4$  and  $4 \cdot 10^5$  and for  $W_2$  within range  $8 \cdot 10^3$  and  $2 \cdot 10^5$  AIN/m<sup>3</sup> as can be seen on Figure 1. In cases of small vertical velocities artificial ice nuclei concentrations were usually over  $10^4$  AIN/m<sup>3</sup>, sometimes with maximum values of  $7 \cdot 10^5$  AIN/m<sup>3</sup>, but in the cases of higher vertical velocity and longer periods without introducing new amounts of reagent, AIN concentrations were falling down to natural level.

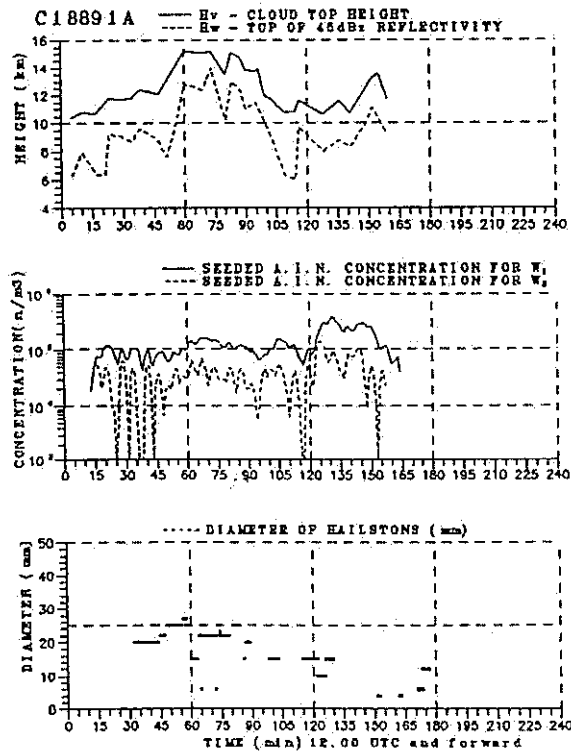


Figure 1. Diagrams of hailcloud cell characteristics, achieved concentrations of AIN for  $W_1$  and  $W_2$  and observed hail on the ground; cell No.18891A.

The comparison with ground observations data gives indications of the existence of connection but

due to small number of cases it was impossible to have final conclusions.

The preliminary analysis clearly indicates that for the cases with proposed vertical velocity of 20 m/s after the decrease of artificial ice nuclei concentration to level of  $10^4$  per m<sup>3</sup> or lower, in time interval of about 10 to 12 minutes later, the hailfall or its intensification is observed on the ground as it is illustrated in Figure 1 and Figure 2.

The vertical velocity of 6 m/s does not indicate clear connection of artificial ice nuclei concentration in hailcloud cells with ground observations of hail.

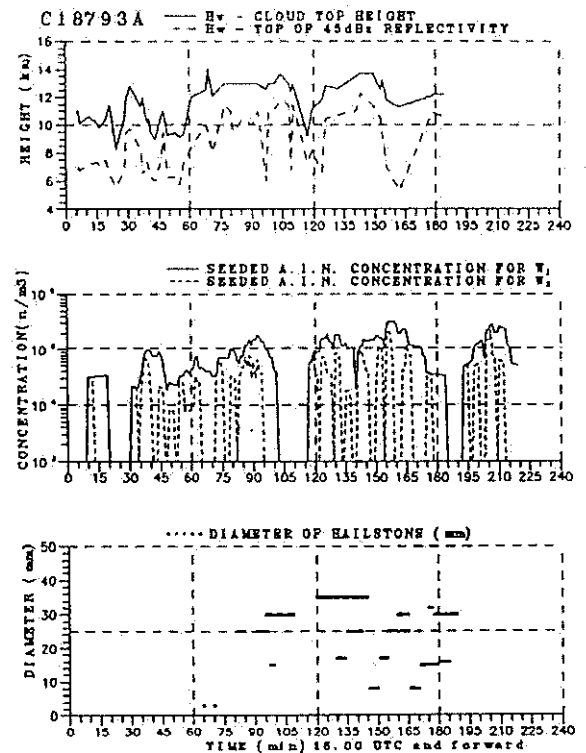


Figure 2. Diagrams of hailcloud cell characteristics, achieved concentrations of AIN for  $W_1$  and  $W_2$  and observed hail on the ground; cell No.18793A.

For all ten considered hailcloud cells 20 cases of interrupts in preferable concentrations have been observed for the vertical velocity of 20 m/s and all of them can be connected with hail on the ground within range 5 to 25 minutes.

The implications of the artificial ice nuclei concentrations variability during hailcloud cell seedings are very important for

operative technology of hail suppression activities.

First implication is that for operative realization of hail suppression seeding it is favourable to have real time vertical velocity measurements and to use them as a part of seeding dynamics criteria.

Second implication is the necessity of achieving strong continuity of seeding especially in the cases of strong upstream velocity in the area of seeding.

Third, the philosophy of seeding only in the areas of weak upward streams, which is the basic requirement in Croatian hail suppression system, should be questioned and perhaps redefined taking in account broaded area. For more precise conclusions, further investigations are necessary using similar but improved methods of analysis.

At last, from considered hailcloud seedings and estimated achieved artificial ice nuclei concentrations, it can be concluded that the amounts of seeded regent should be amplified.

In the proposed way of operative seeding realization, required AIN concentration will live in the cloud for a longer time, and achieved concentrations will stay uniformly distributed in time and

space, which should result in more efficient beneficial competition of artificial ice nuclei.

#### 4. REFERENCES

Atkinson B.W., 1981: Meso-scale atmospheric circulation, Academic press, London.

Horvat, V., 1989: Some Results in Studies of Meteorological Reagents. Theoretical and Applied Climatology, 40, 255-260.

Kessler E., 1985: Thunderstorm morphology and dynamic, University of Oklahoma press Norman.

Počakal, D., 1987: The hailstone K.E. determination and comparison with radar parameters, II International Symposium on Hail Suppression, Ljubljana.

Schiesser, H.H., 1988: Fernkundung von Hagelshaeden Mittels Wetterradar Remote Sensing Series Vol. 14, Zurich.

WMO 1981: The Dynamic of Hailstorms and related Uncertainties of Hail Suppression, Mail Report No.3, Geneve 22.

# FIRST RESULTS OF THE COMBINED HAIL PREVENTION PROGRAMME WITH GROUND GENERATORS AND ROCKETS IN CROATIA

Zorislav Gerber, Dušan Bižić and Dragoslav Dragojlović

Meteorological and Hydrological Service of Republic of Croatia  
Zagreb, Croatia

## Abstract

Operational hail prevention programme with rockets started in Croatia in early seventies and was conducted on an average area of 24 000 km<sup>2</sup>. In 1994 a combination of ground seeding together with rocket seeding was introduced.

The primary goal of the investigation was to extract the possible positive effects of a combined seeding technique, as well as newly introduced ground seeding. Although the number of years available for the investigation was relatively small, extraordinary thunderstorm activity in 1996 and 1997 made it possible to analyze more than 200 days with thunderstorm.

Due to the heavily damaged infrastructure during the war, in the eastern part of the target area only ground seeding was performed. Total area was divided into western part (combined system) and eastern part (ground seeding).

The "good" and "bad" ground seeding situations were defined according to the adopted methodology, and the results indicate positive effect of ground seeding. Also, they are well in accordance with the cell competition seeding concept.

The positive effect of rocket seeding is less apparent (revealed only through the maximum hailstone diameter values) and this may be explained by more severe situations in which rockets have been used.

## 1. Introduction

The hail prevention operational programme has been performed in Croatia for almost 30 years. The existing rocket system was changed to a combined mode of seeding in 1994 by introducing ground generators network. A total of 480 ground generators were installed on the target area.

The concepts behind different seeding techniques were beneficial competition for rockets and cell competition for ground generators. Rockets were primarily used in airmass thunderstorms and ground generators in situations with organized convective systems, and the combined system was used in severe hailstorms. The post war situation in which significant portion of the hail prevention infrastructure was heavily damaged prevented the full combined system to be realized, so the eastern part of the target area used only ground generators.

The operational work for the whole area is organized through 8 radar centers (the areas of responsibility of the radar centers are drawn in Fig.1.). In ground seeding operations a single meteorologist is in charge of turning the network on and off. The smallest unit which can be operated is the area of one radar center (on average 3000 km<sup>2</sup>). Rocket operation is performed independently and the operational team at each radar center is completely responsible for it. The hail criterion used from 1982 was the height of 45 dBZ iso-echo contour above the 0° C isotherm.

## 2. Data analysis

Since ground seeding started in August 1994, for this analysis 1995-1998 period was chosen for the period May-September. The sources of the hail data used in this paper are reports from the network of 480 observers located within the target area. The target area of 22 500 km<sup>2</sup> was divided into the western (W) and eastern (E) part, the W part using both seeding techniques and E part only ground seeding (Fig.1.). The following data were included in the analysis:

1. the onset time of the generator network per radar center
2. day with rocket action
3. number of reports on ice pellets, hail and damaging hail
4. maximum hail diameter
5. the time of the first hail on the ground
6. days with thunderstorm

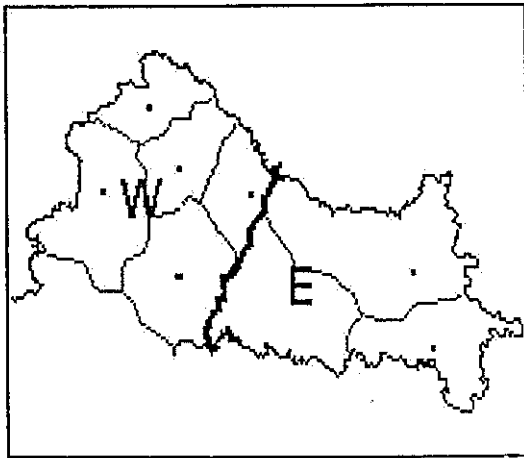


Figure 1. The target area

The total number of 222 and 218 days was included in the analysis for W and E part, respectively. Main thunderstorm and hail characteristics for the whole period are presented in the Tab.1.

Evidently, the intensity of thunderstorm processes was higher in the western part of the target area, producing more hail in more days.

Table 1.

	Dt	Dh	Dd	N	Nh	Nd
W	201	65	50	300	402	198
E	153	42	32	180	144	108

where

Dt - number of days with thunderstorm

Dh - number of haildays

Dd - number of days with damage

N - number of observational points

Nh - number of hail reports

Nd - number of reports of hail causing damage

Calculating the ratio W/E for N and Nd one obtains similar values of 1.7 and 1.8, respectively.

For the analysis two categories of ground seeding actions were defined. According to the methodology, ground seeding should start at least three hours before the occurrence of thunderstorm. In this paper "good" (G) seeding situations were the ones when ground seeding started at least three hours before the first hail on the ground. The other situations were defined as "bad" (B) or "none" (N) when there was no seeding at all.

The mean values of maximum hail diameter (in millimeters) confirm the data from the Tab.1., showing more intensive hailstorm activities in the W part (Fig.2.).

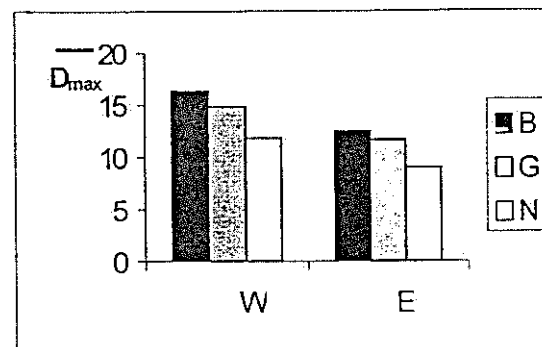


Figure 2. The mean maximum diameter (D<sub>max</sub>) in mm for G, B and N situations

In both areas mean values are higher for "bad" seeding cases. In the cases of no seeding at all, thunderstorms were not expected which explains smaller values of  $D_{max}$ . When taking into account only rocket actions, regardless of the use of ground seeding, the value of  $D_{max}$  is 12.6 mm which is lower than for ground seeding in W area.

Table 2.

	W		E	
	Ni	Nh	Ni	Nh
Good	7.9	3.3	5.9	1.3
Bad	5.8	4.4	4.8	1.8
G/B	1.36		1.23	
B/G		1.33		1.38

where

Ni - mean number of ice pellet reports  
Nh - mean number of hail reports

Very similar values (Tab.2.) of the calculated ratios showing the increase of ice pellet cases and decrease of hail cases in "good" seeding situations indicate the validity of seeding concept. The lowest value for ice pellet cases in E part could be explained by less intensive thunderstorm activity and solely ground seeding.

### 3. Forecasting problems

Good weather forecast is essential for timely ground seeding. Until now, the only meso-model used for hail prevention activities was "ALADIN" model. Four times a day, pseudotemps on 5 points in the target area were sent from Meteo France, for the forecasting period of 48 hours.

In the following years it is planned to implement experimentally the new Local Model from the German Weather Service with the horizontal resolution of 2.5 km and incorporated orography.

Although the verification of model output is beyond the scope of this paper, some earlier investigations done by joint forecaster-hail prevention experts revealed significant difference in the approach to this problem. The interpretation of the intensity of the convective processes analyzed on one side through the conventional synoptic analysis and on the other through radar data and hail reports differs substantially. Triggering mechanism required for the occurrence of thunderstorm remains to be further investigated.

Unfortunately, no cloud model has been used on the meso-model data, due to the limited computational facilities. Bearing in mind the operational responsibility and financial restrictions of the hail prevention programme, the use of radar images remains to be the most reliable decision making element.

The consequence of this operational approach can be also revealed in analyzing the false alarm ratio for W and E part, which was calculated as the ratio of the number of days with seeding and thunderstorm days. The calculated mean values are 1.1 and 1.4 for W and E part, respectively.

Figure 3. shows the total number of hail reports for W and E part and B, G and N cases. Similar to Fig.2., the values are higher for "bad" cases.

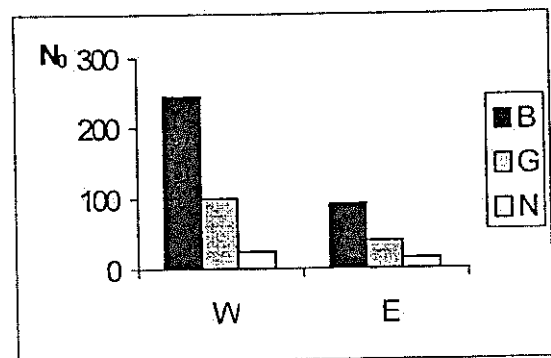


Figure 3. The total number of hail reports ( $N_b$ ) for B, G and N cases

#### 4. Summary

Possible positive effects of the combined seeding system can be revealed through the following results of the analysis:

1. ground seeding
  - a. mean values of maximum hailstone diameter are smaller for "good" than for "bad" cases
  - b. the number of ice pellet reports is greater for "good" seeding and vice versa, the number of hail reports is higher for "bad" seeding cases, the values being very similar.
2. rocket seeding  
the mean value of the maximum hailstone diameter is smaller in rocket and/or combined seeding than in ground seeding alone

The increase of the maximum hail diameter for shorter duration of ground seeding prior to the occurrence of

thunderstorm points out targeting and dispersion problems to which special attention should be devoted in future work.

Higher values of number of ice pellet reports in situations with longer seeding and simultaneously lower values of hail reports are well in accordance with seeding concept (cell competition) of reduced single cell intensity.

Less pronounced effect of rocket seeding, indicated only through the mean hailstone diameter could be explained by the fact that rocket seeding started mostly in severe situations. According to the preliminary methodology, the hail criterion for starting rocket seeding in cases of prior ground seeding was the height of 55 dBZ contour above the 0° C isotherm. Although further detailed analysis is required, the indications of the possible positive effects are quite encouraging.

#### Acknowledgements

The authors would like to thank Mr. E. Ivankovic for his contribution in technical realization of this paper.