

REPUBLIKA HRVATSKA  
REPUBLIČKI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD  
CENTAR ZA OBRANU OD TUČE

**OSNOVE KOMBINIRANOG DJELOVANJA NA  
TUČOOPASNE PROCESE**

*U Zagrebu, kolovoz 1992.*

---

SADRŽAJ:

PREDGOVOR

1. UVOD .....	1
2. PRIZEMNI GENERATORI .....	2
3. HIPOTEZE ZASIJAVANJA .....	2
4. OSNOVNE POSTAVKE KOMBINIRANOG DJELOVANJA .....	4
5. SVJETSKO ISKUSTVO .....	4
6. DIFUZIJA .....	5
7. MREŽA GENERATORA .....	11
8. DOZIRANJE .....	13
9. MOGUĆNOST VIŠESTRUKOG KORIŠTENJA .....	15
10. PITANJE FOTODEAKTIVACIJE, INVERZIJE I POLJA STRUJANJA.	17
11. ZAHTJEV NA GENERATOR.....	18
12. EKOLOGIJA.....	18
13. FINANCIJSKI EFEKTI I TROŠKOVI.....	20
14. ZAKLJUČAK .....	23
15. LITERATURA .....	25

## P R E D G O V O R

Temeljni motiv prijedloga uvođenja kombiniranog djelovanja raketama i prizemnim generatorima je povećanje efikasnosti i razrješenje novonastalih problema sustava obrane od tuče koja se provodi u Republici Hrvatskoj. Uz to, obrazložene su i mogućnosti višestrukog korištenja prizemnih generatora pri modifikaciji vremena. Primjena prizemnih generatora uvodi u obranu od tuče i novi način djelovanja - izazivanje prijevremene oborine. Primjena tog načina sadrži kako transformaciju procesa u jednom oblaku, tako i redistribuciju broja i intenziteta oblaka na području djelovanja. Rezultati drugih zemalja, a pogotovo francusko, ukazuju da se i samo primjenom prizemnih generatora mogu postići uspješni rezultati u obrani od tuče. Korištenjem eksperimentalnih i teorijskih rezultata iz područja difuzije i vertikalnog prijenosa pokazalo se da će isijani reagens najvjerojatnije doći na vrijeme u željeno područje oblaka. U radu je dan prijedlog mreže generatora za područje RC-Puntijarka. Doziranje ostaje, općenito, najizraženiji problem čije rješenje zahtijeva detaljno istraživanje mikrofizičkih procesa u oblaku. S tim u vezi se uvijek ispočetka nameće problem neselektivnosti djelovanja (primjenjiv i na obranu od tuče raketama), odnosno primjene istog načina rada bez obzira na veliku raznolikost procesa u atmosferi.

U poglavlju o višestrukome djelovanju su naznačene mogućnosti iz kojih je vidljiva gotovo univerzalna upotrebljivost u hladnim procesima (ispod  $-5^{\circ}\text{C}$ ). Ekološki gledano, upotreba prizemnih generatora je beznačajna u odnosu na dozvoljene granice zagađenja i neke druge ljudske aktivnosti. Sudeći prema svjetskim iskustvima troškovi mreže prizemnih generatora su manji od troškova upotrebe svih drugih sredstava zasijavanja. Iako u prošlosti često istraživana, mjerenja posljednjih godina pokazuju da fotodeaktivacija beznačajno smanjuje aktivnost reagensa u periodu od nekoliko sati. Zaključak je da upotreba prizemnih generatora u kombinaciji s raketama može povećati efikasnost obrane od tuče. Istovremeno, uvođenjem novog tehničkog sredstva za modifikaciju vremena s pripadajućom tehnologijom omogućuje se kvalitetna priprema za druge vidove umjetnog djelovanja na vrijeme.

U izradi ovog prijedloga učestvovali su Dušan Bižić, dipl.inž. i Zorislav Gerber, dipl.inž., a na pojedinim dijelovima Davor Nikolić, dipl.inž. i Mladen Matvijev, dipl.inž.

## 1. U V O D

Sadašnji sistem djelovanja raketama u obrani od tuče u Hrvatskoj organizirano se provodi oko 25 godina. Osnovna metodologija i organizacija djelovanja je bila napravljena po sovjetskom uzoru. U međuvremenu se došlo do novih saznanja iz fizike oblaka i srodnih područja koja su se počela primjenjivati i u našoj praksi. Tako je danas od mnogih početnih pretpostavki ostala praktički samo osnovna o blagotvornoj konkurenciji dok je broj prevladanih daleko veći. Osnovne posljedice proistekle iz tih saznanja za naše operativno djelovanje su: promjena kriterija tučoopasnosti, povećano doziranje i prostorno ranije djelovanje (u skladu s postavkama o razvoju i životu višestaničnih i superstaničnih Cb-a). Kao i u svakoj djelatnosti, i u ovako koncipiranoj obrani od tuče postoje kritične situacije u kojima nepovoljan lanac događanja može značajno smanjiti efikasnost sustava. Upravo analizom takvih situacija ustanovila se potreba povećanja efikasnosti i traženja mogućeg rješenja. Ovaj prijedlog prvenstveno teži smanjenju postojećih problema, ali i otvara moguće novo poglavlje u modifikaciji vremena u Hrvatskoj.

U radu s raketama postoji nekoliko problema koje treba spomenuti. Način prostorno ranijeg djelovanja zahtijeva dodatne količine raketa budući da ostaje obaveza održavanja koncentracije reagensa u uzlaznoj struji oblaka, a položaj i intenzitet uzlazne struje su nepoznati. Vremenski ranije (u životu oblaka) djelovanje ne bi riješilo problem potrošnje budući da korektno djelovanje pretpostavlja intenzifikaciju oblaka. Radarski orijentiran kriterij tučoopasnosti prisiljava voditelja akcije na kontinuirano zasijavanje jer se ne zna trenutak u kojem se oblak počinje raspadati (tj. prestaje potreba za daljim zasijavanjem). Iz navedenog se vidi potreba za kontinuiranim zasijavanjem i novih i zrelih stanica kod višestaničnog Cb-a (koji su vjerojatno najčešći izvor značajnijih tuča kod nas).

Sljedeći problem su oluje većih brzina (više od 50 km/h). Zbog organizacije rada na terenu i tehnologije rada na RC-u, postoji opasnost prostornog kašnjenja u zasijavanju, pogotovo ako je istovremeno na branjenom području nekoliko oblaka. Oba navedena problema se mogu nezavisno pojaviti i zbog zabrana UKL-a (kašnjenje početka zasijavanja i prekid kontinuiteta) čije moguće štetne posljedice ne treba posebno obrazlagati.

Budući da je razvoj zračnog saobraćaja išao stupnjem povećanja od 7% godišnje, logično je očekivati sve brojnije probleme u djelovanju u budućnosti. Posve specifičan problem u današnjoj situaciji uz uobičajen financijski je i političko vojni kompleks. S obzirom na situaciju, djelovanje raketama postaje neprimjereno za veliki dio dosadašnjeg branjenog područja. Uz to postoji i problem djelovanja uz granice susjednih država.

## **2. PRIZEMNI GENERATORI**

Prizemni generatori u istraživanjima i operativnom radu modifikacije vremena upotrebljavaju se od samog početka, tj. od kraja 40-tih godina. Bez obzira što su se u vremenu pojavila nova i atraktivnija sredstva za modifikaciju vremena, prizemni generatori ostali su i dalje u upotrebi širom svijeta. U posljednje vrijeme se čak i povećao broj istraživanja koja se s njima provode (naročito pri pokušaju povećanja količine snijega). Temeljni razlozi za to su jednostavnost uređaja i njegove primjene, mogućnost djelovanja u različite svrhe i relativno manja potrebna financijska sredstva.

Prizemni generatori se koriste za povećanje količine kiše ili snijega, za obranu od tuče i disipaciju hladnih magli. Za razliku od raketa, isti uređaji se mogu koristiti za sve navedene svrhe. Financijski, početna investicija iznosi najveći dio ukupno potrebnog kapitala, dok su za operativni rad potrebna relativno mala sredstva. Uređaji su jednostavni za rukovanje i energetski autonomni. Kombiniranje rada s raketama i prizemnim generatorima se predlaže zbog mogućeg povećanja efikasnosti sistema obrane od tuče.

## **3. HIPOTEZE ZASIJAVANJA**

Primjena prizemnih generatora povlači za sobom niz drugih vrlo važnih pitanja na koja će se pokušati barem djelomično odgovoriti. Suvremena obrana od tuče ne pokušava kontrolirati samu oluju, nego samo modificirati proces rasta zrna tuče unutar oluje. Postoje dva osnovna načina djelovanja na tučoopasne procese:

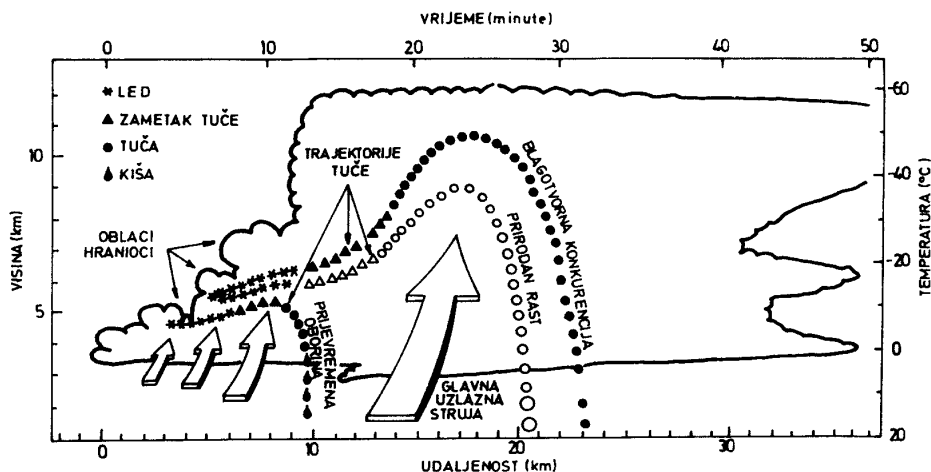
### **A) Hipoteza blagotvorne konkurencije**

Ovaj način pretpostavlja da je količina pothladene vode u tučonosnom oblaku ograničavajući faktor za količinu stvorenih zrna tuče. Uvođenjem dovoljne količine umjetnih jezgara zaleđivanja može se smanjiti veličina zrna tuče koja dopiru do tla prisiljavajući prirodna zrna tuče da dijele raspoloživu količinu tekuće vode s umjetnim.

### **B) Izazivanje prijevremene oborine**

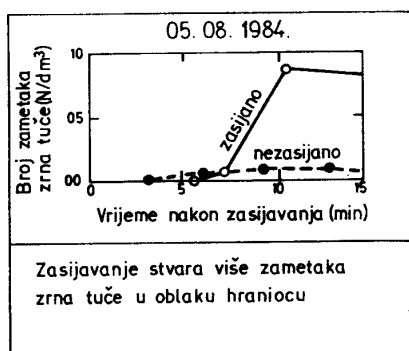
Ovaj način ima podlogu u činjenici da tvari koje proizvode jezgre zaleđivanja (AgI) mogu inicirati ledene kristale na višim temperaturama (bliže 0°C), pa prema tome i ranije u životu oblaka. To bi trebalo pokrenuti oborinski proces u oblacima "hraniocima" ranije i rezultirati ispadanjem potencijalnih jezgara tuče iz tih oblaka prije nego što se spoje s glavnom olujom.

Rad raketama se osniva na prvom načinu, dok bi se rad generatorima zasnivao na drugom. Na slici 1. prikazan je presjek tipične oluje s pojavom tuče. Prikazane su očekivane putanje zrna tuče s i bez zasijavanja.

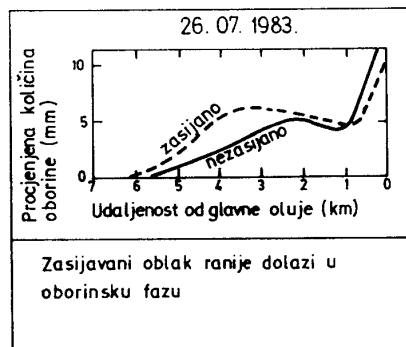


Slika 1. Hipoteze zasijavanja (prirodan rast, blagotvorna konkurencija i prijevremena oborina), (English, 1987.)

Nakon začetka zametaka tuče u oblacima hraniocima, čestice brzo rastu u glavnoj uzlaznoj struji i završavaju svoj put kao zrna tuče na tlu. Zasijavanje oblaka hranioca uvođenjem velikog broja ledotvornih jezgara (istovremeno kad se stvaraju i prirodne) proizvodi veliku količinu umjetnih zametaka tuče koji se natječu za raspoloživu vodu u oblaku. Ovo konkurentno djelovanje ograničava veličinu svih zametaka rezultirajući manjim zrnima tuče i višom putanjom kroz oluju. Na toj putanji zrna tuče rastu sporije i padaju iz oblaka kao zrna manjih dimenzija. Uvođenjem umjetnih ledotvornih jezgara ranije u životu oblaka, dolazi do izazivanja prijevremene oborine. Tako dolazi do pojave oborine iz oblaka hranioca prije nego što dođe u područje glavne uzlazne struje. Zasijavanje u načinu blagotvorne konkurencije treba provoditi na nivou  $-10^{\circ}\text{C}$ , budući da se tu formiraju ledeni kristali s najvećom brzinom propadanja, tj. najvećim koeficijentom sudaranja (Fukuta, 1981.). U slučaju izazivanja prijevremene oborine zasijavanje se (ukoliko je iz zrakoplova) provodi na nivou  $-5^{\circ}\text{C}$ , budući da je tu prag aktivnosti za većinu reagensa na bazi AgI. Na slici 2 (a) je prikazano djelovanje u načinu blagotvorne konkurencije koje se očituje u značajnom povećanju količine ledotvornih jezgara u oblaku hraniocu. Na slici 2 (b) je prikazano djelovanje u načinu izazivanja prijevremene oborine pomoću računski (modelom) procijenjene količine oborine.



Slika 2a. Način blagotvorne konkurencije (English, 1987.)



Slika 2b. Način izazivanja prijevremene oborine (English, 1987.)

#### **4. OSNOVNE POSTAVKE KOMBINIRANOG DJELOVANJA**

Kontinuirano i vremenski i prostorno rano djelovanje se pokazuje bitnim za uspješno provođenje obrane od tuče. Prijedlog uvođenja kombinirane obrane ide za tim da se dodatno osigura kontinuirano djelovanje na sve potencijalno tučoopasne oblake i na taj način poveća efikasnost sistema obrane uz moguću, ali ne i nužnu, uštedu u broju ispaljenih raketa. Osnova mogućeg djelovanja na tučoopasne procese pomoću prizemnih generatora leži u činjenici da konvektivni procesi imaju začetak u nižim slojevima. Prizemni generatori bi se prvenstveno trebali koristiti u situacijama s dobro organiziranim konvektivnim kompleksima poput fronti ili linija nestabilnosti. Generatori se puštaju u rad nekoliko sati prije predviđenog početka grmljavinskih oluja (prolaska fronti).

Uz standardno rađenu prognostičku podlogu treba koristiti radarski i satelitski now-casting radi preciznijeg određivanja početka djelovanja. U sigurno definiranim situacijama ne bi trebala raditi cijela mreža, nego samo dijelovi od interesa. Jedinica djelovanja mreže prizemnih generatora nije radarski definiran oblak, nego prostor. Drugim riječima, generatori djeluju na sve oblake koji nailaze ili se stvaraju na branjenom području. Na taj način se pruža mogućnost redistribucije intenziteta oblaka u danom prostoru oduzimanjem energije glavnoj oluji u korist oblaka hranioaca. Vremenski dovoljno rano djelovanje je osigurano početkom rada nekoliko sati prije pojave grmljavinske oluje. Prostorno dovoljno rano djelovanje ovisi u najvećoj mjeri o strujanjima u nižim slojevima. Najveći problem u primjeni prizemnih generatora ostaje podatak o postotku reagensa koji dolazi u oblak. Taj problem se ne može riješiti na zadovoljavajući način osim in situ mjerenjima.

Sličan problem, istina, postoji i za djelovanje raketama. Dakle, način rada pretpostavlja da su svi oblaci na branjenom području zasijani u svrhu izazivanja prijevremene oborine. U koliko se taj način ne ostvaruje iz bilo kojeg razloga, na radarski ustanovljene tučoopasne oblake se djeluje raketama, na već ustaljeni način. Temeljni problem u početnoj fazi takvog djelovanja je kako procijeniti nivo zasijanosti oblaka. Taj problem se, zasad, može riješiti grubom procjenom transporta reagensa u oblak, uzimajući u obzir polje strujanja, vrijeme rada generatora, gustoću mreže i difuziju reagensa u atmosferi. Za očekivati je da će rezultati u praksi dovesti do modifikacije odnosno poboljšanja radarskog kriterija tučoopasnosti (pretpostavka: manji broj tučoopasnih oblaka, prema sadašnjem kriteriju, bi trebao dati pojavu tuče). Procjena nivoa zasijanosti se može poboljšati upotrebom sofisticiranih mezomodela.

#### **5. SVJETSKO ISKUSTVO**

Postoje dva osnovna načina rješavanja koje pred nas postavlja uvođenje novog načina rada u obrani od tuče. Jedan način podrazumijeva osnovna teorijska i praktična istraživanja radi dobijanja što potpunije slike o procesima od interesa na temelju kojih se može realizirati operativan rad. Drugi način, koji smo zbog nemogućnosti provođenja prvog, koristili i

prilikom uvođenja obrane od tuče pomoću raketa je korištenje svjetskih iskustava. Ovdje će biti dani samo neki rezultati u obrani od tuče postignuti primjenom prizemnih generatora.

#### FRANCUSKA

Prema branjenoj površini i trajanju, najznačajnije je iskustvo u operativnoj obrani od tuče pomoću prizemnih generatora na svijetu. Obrana od tuče se provodi od 1952. godine u vremenu šireći branjeno područje i poboljšavajući karakteristike generatora da bi 1965. godine dostigla svoj današnji oblik (Dessens, 1985.). Branjena površina je oko 55 000 km<sup>2</sup>, a na njoj je postavljena mreža od 455 generatora. Generatori sagorijevaju AgI otopinu u acetonu, a mjerena aktivnost je  $0.8 \times 10^{14}$  j/g na temperaturi -15°C. Sezona obrane traje od travnja do listopada. Generatori se pale tri sata prije prognoziranog početka grmljavine i gase njenim nailaskom ili prestankom. Statistička obrada je pokazala signifikantno smanjenje štete od tuče na nivou pouzdanosti 0.01 za 41%, a omjer koristi i troška je oko 24.

#### ARGENTINA

Ovdje se radilo o randomiziranom istraživanju od 1959. do 1964. godine. Na površini od 4 000 km<sup>2</sup> je radilo 100 generatora. Generator je proizvodio oko  $10^{14}$  j/h na -10°C. Ukupna šteta je smanjena za 79%, a tučena površina i prosječan postotak oštećenja za 50%. Međutim, ti rezultati su dobiveni za hladne fronte, dok za ostale situacije nema pozitivnih rezultata.

#### ITALIJA

Provedeno je trogodišnje nerandomizirano istraživanje. Branjena površina je iznosila 720 km<sup>2</sup>, a djelovalo se pomoću 15 mobilnih generatora. Aktivnost generatora je  $2 \times 10^{16}$  j/h na -10°C. Uočeno je smanjenje srednje ukupne gustoće kinetičke energije zrna tuče (Admirat i Caponigro, 1986.). Isto tako, smanjena je površina oštećena tučom za 57%, prema 35% u kontrolnom području.

### **6. DIFUZIJA**

Kao što se difuzija topline odvija u vertikalnom i horizontalnom smjeru, slično se može razmatrati i difuzija raznih primjesa u atmosferi (primjerice reagens). Difuzija je mješanje dviju tvari u plinovitom ili tekućem stanju uslijed nasumičnog kretanja njihovih molekula. Postojeći problem difuzije se mora razmatrati u slobodnoj atmosferi i unutar oblaka. Za to razmatranje je korišten teorijski i eksperimentalni pristup. Postoji više modela za prikazivanje difuzije u slobodnoj atmosferi, a ovdje se koristi Gaussova razdioba koja ima eksperimentalnu potvrdu i često je u upotrebi. Za difuziju unutar oblaka je korištena uobičajena iskustvena formula i rezultati mjerenja u oblaku. Uloga aerosola ima svoje značenje, ne samo u analizi razdiobe pojedinih zagađenja atmosfere, nego se može općenito primijeniti na analizama razdiobe AgI, koji se koristi u obrani od tuče.



### A) Difuzija u oblaku

Ustanovljeno je da se nakon isijavanja reagensa istovremeno vrši turbulentna difuzija od glavne osi isijanog traga i translatorno kretanje u smjeru vektora polja vjetra oblasti u kojoj se reagens nalazi. Te dvije vrste kretanja obrazuju reprezentativne volumene područja isijanog traga reagensa. Procjena promjera razdiobe reagensa od osi isijanog traga može se izvršiti eksperimentalno i numeričkim simulacijama. Ako su u oblasti isijavanja reagensa dominantne vertikalne komponente brzine, onda se os isijanog traga pomiče translatorno prema gore obrazujući volumen koji je u prvoj aproksimaciji paralelopiped.

$$V = 2 \cdot R \cdot L \cdot H, \text{ pri čemu}$$

- V - volumen
- R - srednji polumjer razdiobe reagensa
- L - horizontalna projekcija isijanog traga u sloju H
- H - visina

Difuzija se ponaša kao nasumično gibanje tako da se perjanica reagensa raspršena po horizontali i vertikali ponaša po standardnoj Gauss-ovoj jednadžbi. Više autora ima teorijske veličine količine difuzije zasijavanih površina, neki koristeći mjerenja turbulencije pomoću zrakoplova, a neki koristeći jednadžbu difuzije. (Summers, 1972., Kyle 1974. i Sand 1976.) su dobili relaciju za difuziju reagensa u oblaku u vremenskom periodu t:

$$\bar{Y}^2 = C \cdot \epsilon \cdot t^3 \text{ gdje je}$$

- $\bar{Y}$  - promjer površine (cm)
- $\epsilon$  - količina turbulentne energije difuzije ( $\text{cm}^2/\text{s}^3$ )
- t - vrijeme (s)
- C - konstanta (=1)

U oblacima roda Cu con srednja vrijednost turbulencijske energije difuzije je oko  $200 - 250 \text{ cm}^2/\text{s}^3$ , a u uzlaznoj struji je oko  $500 \text{ cm}^2/\text{s}^3$  (Silverman, 1979.). Iz toga izraza se dobiva promjer perjanice u vremenu nakon zasijavanja za tipične vrijednosti količine turbulencijske energije difuzije.

U tablici 1. je izračunat promjer perjanice Y za  $\epsilon=225 \text{ cm}^2/\text{s}^3$  i tipičnu vrijednost uzlazne struje od  $3 \text{ m/s}$  za Cu con.

Tablica 1.

t (min)	1	5	10	15	20	25	30
$\bar{Y}$ ( m )	70	779	2205	4050	6235	8714	11455

Iz tablice se vidi da je teorijski potrebno 15 min da perjanica reagensa dostigne rubove oblaka promjera 4 km (tipična vrijednost za Cu con), dok stvarni podaci pokazuju da se to može desiti i značajno prije (za 5 min). (Kyle, 1975.) je vršio opširna mjerenja  $\epsilon$  u uzlaznim strujama Cb-a i ustanovio da je srednja vrijednost  $\epsilon=500 \text{ cm}^2/\text{s}^3$ . U tablici 2. je izračunato potrebno vrijeme za širenje reagensa do rubova oblaka raznih promjera. Budući da su horizontalne dimenzije oblaka proporcionalne tučoopasnosti (Bižić, Mozer 1985.) i ovdje je primjetna potreba za ranijim djelovanjem, što se uspješno može ostvariti djelovanjem generatora. Treba napomenuti da je upotrijebljena srednja vrijednost, dok je varijabilnost  $\epsilon$  vrlo velika od slučaja do slučaja. Na taj način se vjerojatno mogu objasniti i neke metodološki ispravne akcije obrane od tuče u kojima je ipak zabilježena pojava tuče. Naime, ukoliko je vrijednost količine turbulentne energije difuzije bila mala, zasijavanje raketama po ustaljenim kriterijima nije moglo biti uspješno zbog nedostatka vremena za difuziju reagensa u oblaku.

Tablica 2.

t (min)	11	15	18	21	24
$\bar{Y}$ ( m )	4 000	6 000	8 000	10 000	12 000

U HIPLEX eksperimentu su vršena zrakoplovna mjerenja turbulentne energije difuzije na temelju kojih je izračunata veličina perjanice reagensa (iskustvena formula). U eksperimentu su oblaci zasijavani zrakoplovom, a stvarna veličina perjanice reagensa je ustanovljena pomoću mjerenja koncentracije ledotvornih jezgara. U tablici 3. su dani rezultati mjerenja za pojedine vrste oblaka i različite reagense.

Tablica 3. (Silverman, 1979.)

datum	t (min)	D (km)	$\bar{Y}^2$ (km)	reagens	tip
08.07.76.	4.0	1.8	1.6	CO <sub>2</sub>	Ac
22.06.77.	4.0	1.0	0.7	AgI	Cu con
	12.0	2.5	2.5		
	17.0	3.6	3.9		
13.07.77.	2.6	0.15	0.2	CO <sub>2</sub>	f Cb
	6.5	1.5	1.2		
	10.5	2.3	2.3		
15.07.77.	4.5	0.75	0.5	CO <sub>2</sub>	f Cb
	9.5	1.9	1.8		
	13.5	1.8	2.4		

U tablici je

- t - vrijeme nakon zasijavanja,
- $\bar{D}$  - mjereni promjer perjanice,
- $\bar{Y}^2$  - izračunati promjer perjanice.

Kod tipova oblaka je f Cb oznaka za oblak hranilac Cb-a. Primjećuje se da su razlike između mjerenih i izračunatih vrijednosti male, osim za 15.07.77. i vrijeme 13.5 min.

### B) Difuzija u slobodnoj atmosferi

Za promatranje difuzije u slobodnoj atmosferi u horizontalnom ( $\sigma_y$ ) i vertikalnom ( $\sigma_z$ ) smjeru služe Pasquill-Gifford jednadžbe difuzije koje se također temelje na Gauss-ovoj razdiobi. Određivanje  $\sigma_y$  i  $\sigma_z$  je osnovano na kombinaciji eksperimentalnih rezultata i teorije, a funkcije su udaljenosti od izvora zasijavanja i tipa vremena. Meteorološki uvjeti koji definiraju Pasquill-ove tipove turbulencije su:

- A - ekstremno nestabilno
- B - umjereno nestabilno
- C - slabo nestabilno
- D - neutralno
- E - slabo stabilno
- F - umjereno stabilno

(Cramer, 1957.) uvodi kategorije stabilnosti atmosfere temeljene na opažanjima prizemnog vjetra, insolacije i naoblake. U tablici 4. su dane kategorije stabilnosti.

Tablica 4.

v (m/s)	insolacija			noćna naoblaka	
	j	u	s	> 4/8	< 3/8
< 2	A	A-B	B		
2	A-B	B	C	E	F
4	B	B-C	C	D	E
6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Pri čemu je: v - brzina prizemnog vjetra; j,u,s - jaka, umjerena i slaba insolacija.

Briggs, 1973. godine je kombinacijom navedenih tipova vremena i meteoroloških uvjeta došao do formula koje daju difuziju u horizontalnom i vertikalnom smjeru u ovisnosti o udaljenosti od točke zasijavanja i koje su često korištene. Za naše potrebe koristimo A, B i C tip vremena.

#### Briggs-ove formule

$$\begin{array}{ll}
 \text{A} & \sigma_y = 0.22 X (1+0.0001 X)^{-1/2} & \sigma_z = 0.2 X \\
 \text{B} & \sigma_y = 0.16 X (1+0.0001 X)^{-1/2} & \sigma_z = 0.12 X \\
 \text{C} & \sigma_y = 0.11 X (1+0.0001 X)^{-1/2} & \sigma_z = 0.08 X(1+0.0002 X)^{-1/2}
 \end{array}$$

Formule vrijede za nenaseljena područja i udaljenosti do 10000 m. Za naseljena područja vrijede nešto drugačije formule:

$$A-B \quad \sigma_y = 0.32 \times (1+0.0004 X)^{-1/2} \quad \sigma_z = 0.24 \times (1+0.001 X)^{1/2}$$

$$C \quad \sigma_y = 0.22 \times (1+0.0004 X)^{-1/2} \quad \sigma_z = 0.2 \times X$$

Iz formula za nenaseljena područja dobijamo vrijednosti  $\sigma_y$  i  $\sigma_z$  za različite udaljenosti od izvora (X). (Tablica 5.)

Tablica 5.

tip	udaljenost (m)					
	$\sigma_y$			$\sigma_z$		
	1000	5000	10000	1000	5000	10000
A	210	898	1556	200	1000	2000
B	153	653	1131	120	600	1200
C	105	449	778	73	283	462

Pretpostavljeni način rada pomoću generatora zahtijeva proračune i za veće udaljenosti za koje su podaci dobiveni na ovakav način nepouzdana zbog male baze podataka. Poslužit ćemo se eksperimentalnim podacima dobijenim mjerenjem difuzije plina SF<sub>6</sub>. Ovaj plin se može otkriti i u vrlo malim koncentracijama, pa se stoga i koristi kao traser. Plin je ispušten s tla, a dimenzije perjanice su mjerene pomoću zrakoplova (Griffith, 1990.). Na udaljenosti 10 km niz vjetar je izmjerena širina perjanice od 2 km, a na udaljenosti 17 km je širina bila 6 km, sve na visini od 1500 m. Iz mjerenja se vidi da je širina perjanice (3  $\sigma_y$ ) veća od teorijske vrijednosti. Mjerenja su vršena u uvjetima konvektivno nestabilne atmosfere, najavljene prognozom i potvrđene sondažom i radarskim mjerenjima. Te vrijednosti će se koristiti u daljem radu.

Primjena prizemnih generatora je prvenstveno predviđena za djelovanje na Cu con oblake koji se stvaraju ispred glavne oluje i do 30 km, a vezani su uz hladnu frontu i njeno gibanje.

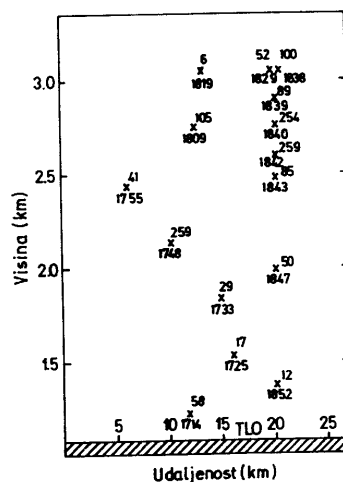
### C) Vertikalni prijenos

Osim difuzije u horizontalnom smjeru koja je značajna za planiranje mreže generatora, važno je i razmatranje mogućnosti vertikalnog prijenosa do podnice oblaka. Ukoliko se pokaže da u većini sinoptičkih situacija reagens ne može doći do podnice oblaka u predviđenom vremenu (oko 1 h), onda upotreba generatora ne bi bila efikasna. Koristit će se rezultati istraživanja koja su u Alberti (Heimbach i Stone, 1984.) provedena upravo s ciljem da se ustanovi mogućnost zasijavanja sa tla.

## PRIMJERI

08.08.1975.

Tog dana bile su primijećene linije nestabilnosti u području praćene grmljavinskim nepogodama s pojavom pljuskova i sugradice. Izmjerena je prirodna koncentracija ledotvornih jezgara od 0 do  $1 \text{ j/dm}^3$ . U 17 00 sati su generatori počeli sa zasijavanjem. Zrakoplovom je mjerena koncentracija ledotvornih jezgara prema unaprijed utvrđenom planu. Na slici 3. su prikazane mjerene vrijednosti maksimalne koncentracije ledotvornih jezgara u ovisnosti o visini leta i vremenu mjerenja. Mjerenja pokazuju da Cb u razvoju može osigurati odgovarajući prijenos reagensa do podnice oblaka (oko 2000 m iznad tla).



Slika 3. Maksimalne koncentracije ledotvornih jezgara u vremenu (Heimbach, 1984.)

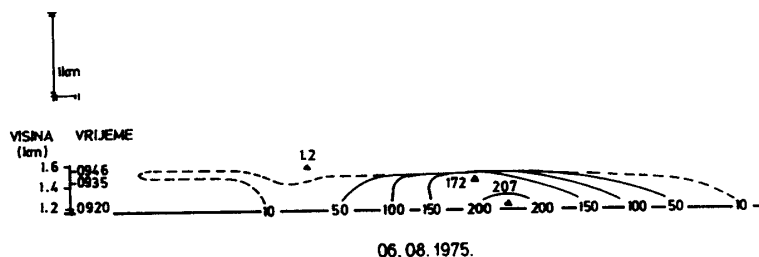
03.08.1975.

Radilo se o postfrontalnoj situaciji u kojoj je atmosfera bila umjereno stabilna do 150 m iznad tla. Generatori su počeli sa zasijavanjem u 15.10 h. U 15.18 je zabilježen maksimum od  $17 \text{ j/dm}^3$ , a u 15.21 je izmjerena maksimum od  $52 \text{ j/dm}^3$ ; sve na visini od 110 m iznad tla. U 16.18 je na visini od 11.50 m iznad tla izmjerena koncentracija od  $41 \text{ j/dm}^3$ . Eksperiment je vršen prvenstveno radi ustanovljavanja brzine uzdizanja reagensa i nije uspio utoliko što je brzina uzdizanja reagensa bila veća od brzine uzorkovanja zrakoplovom.

06.08.1975.

Ovdje se radilo o promatranju vertikalnog prijenosa u slučaju jutarnje inverzije pri tlu i na visini od 1700 do 2200 metara iznad tla. Generatori su počeli sa zasijavanjem u 0715 h, a na slici 4. je prikazana vertikalna razdioba koncentracije

ledotvornih jezgara u 09.20, 09.35 i 09.46 h. Sondažom u 10.00 h je ustanovljena visina inverzije bila oko 700 m iznad tla, što se dobro slaže s visinom perjanice reagensa u isto vrijeme.



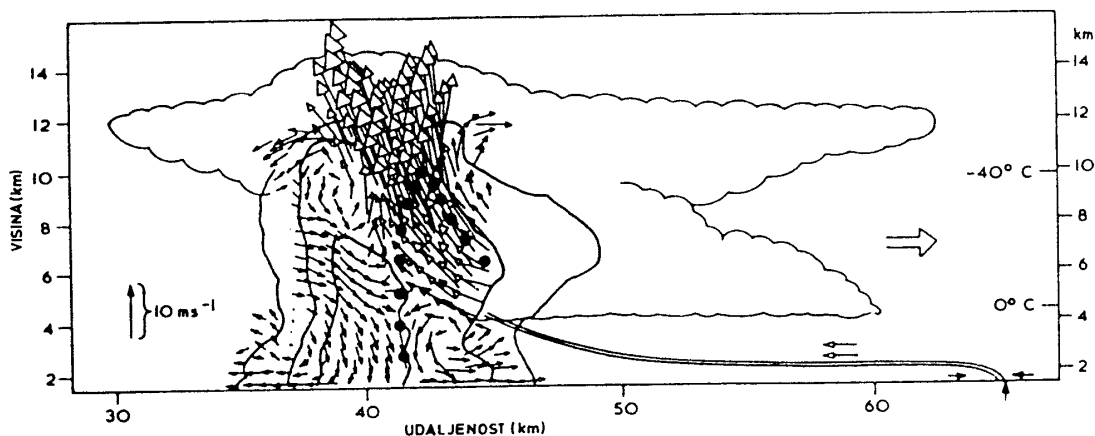
Slika 4. Vertikalni presjek koncentracije ledotvornih jezgara ( $N/dm^3$ ), 06.08.1975., (Heimbach, 1984.)

U zaključku se kaže da je na temelju istraživanja utvrđeno da se ledotvorne jezgre brzo uzdižu u uvjetima povoljnim za konvekciju, čak i bez prisustva oblaka. Reagens isijan s tla se miješa vertikalno unutar nestabilnih slojeva, što su ohrabrujući rezultati. U prvom primjeru je podnica Cb-a bila na oko 2000 m iznad tla. Raspoloživi podaci ukazuju (Poje et al, 1969.) da je visina podnice u našim krajevima (Gospić) u srpnju, od 800 do 1600 m iznad tla (100% podataka). Na temelju ovih podataka se može očekivati uspješan vertikalni prijenos reagensa od tla do podnice oblaka. Jedina nemogućnost vertikalnog prijenosa reagensa je u slučaju inverzije, no budući se inverzija prilikom stvaranja konvektivne naoblake razbija, djelovanje reagensa neće biti onemogućeno. Budući da je osnova djelovanja generatorima zasijavanje podnice oblaka, mogućnost djelovanja reagensa će prvenstveno ovisiti o visini razvoja oblaka. Primjerice, reagens neće djelovati u oblaku koji se razvije do visine izoterme  $-5^{\circ}C$  (zbog inverzije), ali ni taj oblak neće postati tučoopasan. Ukoliko oblak ipak postane tučoopasan (probije inverziju) usisani reagens će početi djelovati na temperaturnom pragu djelovanja.

#### 7. MREŽA GENERATORA

Pitanje difuzije je od najvećeg značaja prilikom oblikovanja mreže generatora. Realna udaljenost djelovanja reagensa je uvjetovana dimenzijama uzlaznih strujanja ispred oblaka. Iz primjera na slici 5. se vidi da za višestanični Cb uzlazne struje djeluju na udaljenosti od 20 - 25 km od oblaka. Pri proračunu potrebne gustoće mreže prizemnih generatora kao referentne vrijednosti su uzete sljedeće:

- 1) vjetar u nižim slojevima 5 m/s,
- 2) minimalno vrijeme rada generatora prije stvaranja ili nailaska nepogode na branjeno područje 1 sat,
- 3) udaljenost niz vjetar na kojoj djeluje generator ako je brzina vjetra 5 m/s za period od jednog sata i pretpostavljenu udaljenost djelovanja uzlazne struje od Cb-a 20 km,
- 4) pretpostavljena širina perjanice 7 km na udaljenosti 20 km od izvora (prema eksperimentalnim podacima),
- 5) promjer tipičnog Cu con 4.5 km.



Slika 5. Vertikalni presjek duž pravca gibanja višestanične oluje (sjeveroistočni Kolorado) dobiveni dopplerovim radarom. Prikazani su vektori brzine čestica ( $10\text{ m/s}$ ) i pune linije radarske odražajnosti u intervalima od 8 dB-a, (Kessler, 1984.)

Iz teorijskih i eksperimentalnih podataka, može se predložiti mreža prizemnih generatora dimenzija  $9 \times 9 \text{ km}$ , i to orijentirana prema najčešćim smjerovima nailaska fronti (SW - NW).

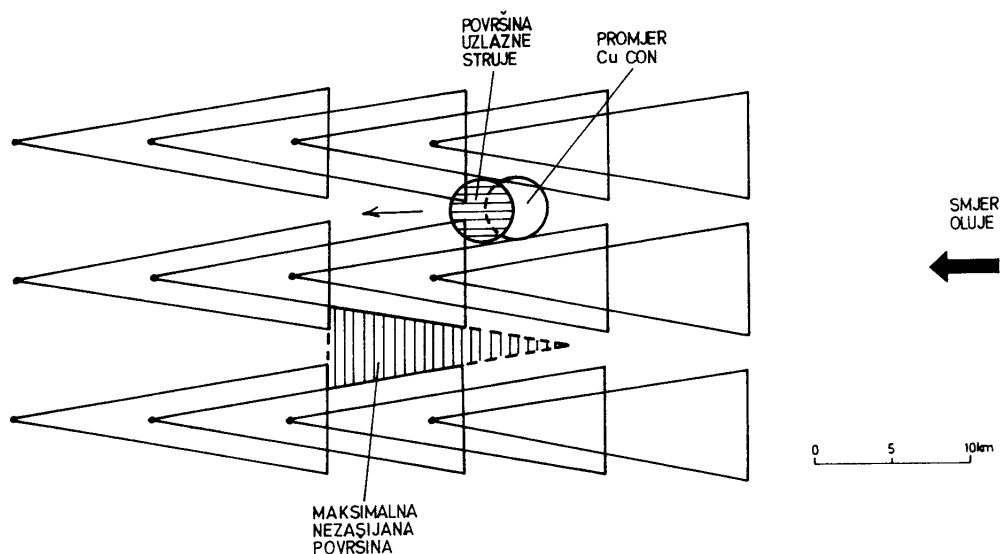
Prijedlog je napravljen za branjeno područje RC-Puntijarka tj. oko  $4000 \text{ km}^2$ . U slučaju idealnog prekrivanja to iznosi 50 generatora od kojih jedan pokriva  $80 \text{ km}^2$ . Usporedbe radi treba reći da je u Francuskoj područje koje pokriva jedan generator  $150 \text{ km}^2$ .

Na slici 6. je prikazana teorijska mreža za slučaj nailaska nepogode sa SW, a na slici 7. sa NW. Ova dva smjera nisu uzeta u razmatranje samo zbog čestine prodora nego i zato što je planiranje mreže najnepovoljnije za okomito orijentirane prodore.

U svim drugim slučajevima predviđeno prostorno prekrivanje će biti bolje. Općenito uzevši, polje vjetra na sinoptičkoj skali (ispred fronte) kao i ono prouzročeno izravnim utjecajem Cb-a je pod nekim kutom prema nadolazećoj nepogodi, što je ovdje ispušteno radi jednostavnosti prikaza. Mreža je strogo postavljena tako da su teorijski ostavljene minimalne dimenzije (odnosno vrijeme) za koje ne bi postojalo trenutno zasijavanje.

U planiranju mreže su uzete u obzir i veličine površina uzlaznih struja kod podnice Cb-a. Zrakoplovna mjerenja površina uzlaznih strujanja (Auer i Marwitz, 1968.) daju srednju vrijednost od  $63 \text{ km}^2$ , a za superstanični Cb oko  $200 \text{ km}^2$  (Browning i Foote, 1976.).

Na slici 8. je prikazan primjer nepovoljnog položaja mreže u odnosu na nailazak oblaka. Pretpostavljeno je da je srednja vrijednost površine uzlazne struje kružnog oblika i da djeluje u prednjoj polovini oblaka.



Slika 8. Najnepovoljniji primjer položaja mreže u odnosu na nailazak oluje

Vidi se da je potencijalno nezasijana površina beznačajna. Uz sve pretpostavke o širenju reagensa, nezasijana površina iznosi 37 km<sup>2</sup> (donji dio slike). To je skoro dvostruko manje od srednje površine uzlazne struje oblaka što znači da je vrlo mala vjerojatnost da oblak bude nezasijan. Prirodno je očekivati da oblaci jačeg razvoja imaju i veće površine uzlaznih struja (primjer superstaničnog Cb-a). Utvrđeno je da generatori vrlo dobro rade na planinskom području gdje prisilno uzlazno strujanje doprinosi donosu reagensa u željeno područje. Zbog konfiguracije terena, generatori bi se prvenstveno trebali primjenjivati na zapadnom dijelu branjenog područja (RC-1, RC-2A, RC-2B i RC-3).

Kombinacijom vremena rada, gustoće mreže i aktivnosti generatora može se dobiti optimalan broj generatora na branjenom području. Iz predložene mreže je vidljivo da se i iznad područja grada (Zagreba) može vršiti zasijavanje, što dosad nije bilo moguće iz sigurnosnih razloga. Gustoća mreže se može smanjiti, a efikasnost povećati i uvođenjem pokretnih generatora.

## 8. DOZIRANJE

Osnovni problemi umjetnog djelovanja na vrijeme se mogu svesti na pitanja: zašto, gdje, kada i koliko? Prva tri pitanja su kvalitativnog karaktera i na njih je približan odgovor već dan. Na zadnje pitanje iz niza ćemo pokušati odgovoriti na više načina. Najjednostavniji način podrazumijeva približnu primjenu tuđih iskustava, osnovanu na krajnjim rezultatima, ne ulazeći u bit problema.



## MOĆ ZASIJAVANJA

U literaturi se često koristi pojam moć zasijavanja koja predstavlja broj aktivnih jezgara zaleđivanja na sat i po kvadratnom km na referentnoj temperaturi (često  $-10^{\circ}\text{C}$ ). U tablici 6. su dane neke vrijednosti za već spomenute mreže generatora.

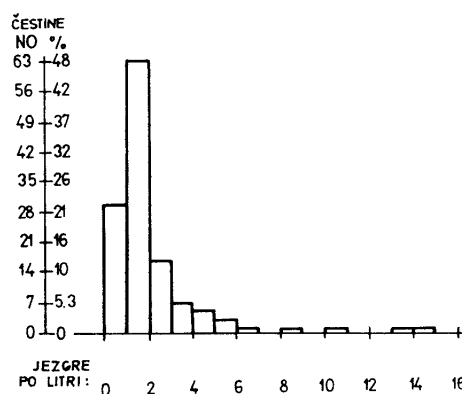
Tablica 6.

Država	moć zas. ( $\text{j/h}\cdot\text{km}^2$ )	temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
Francuska	$6.0 \cdot 10^{12}$	- 15
Italija	$1.6 \cdot 10^{14}$	- 10
Švicarska	$2.6 \cdot 10^{11}$	- 10
Argentina	$8.2 \cdot 10^{12}$	- 10

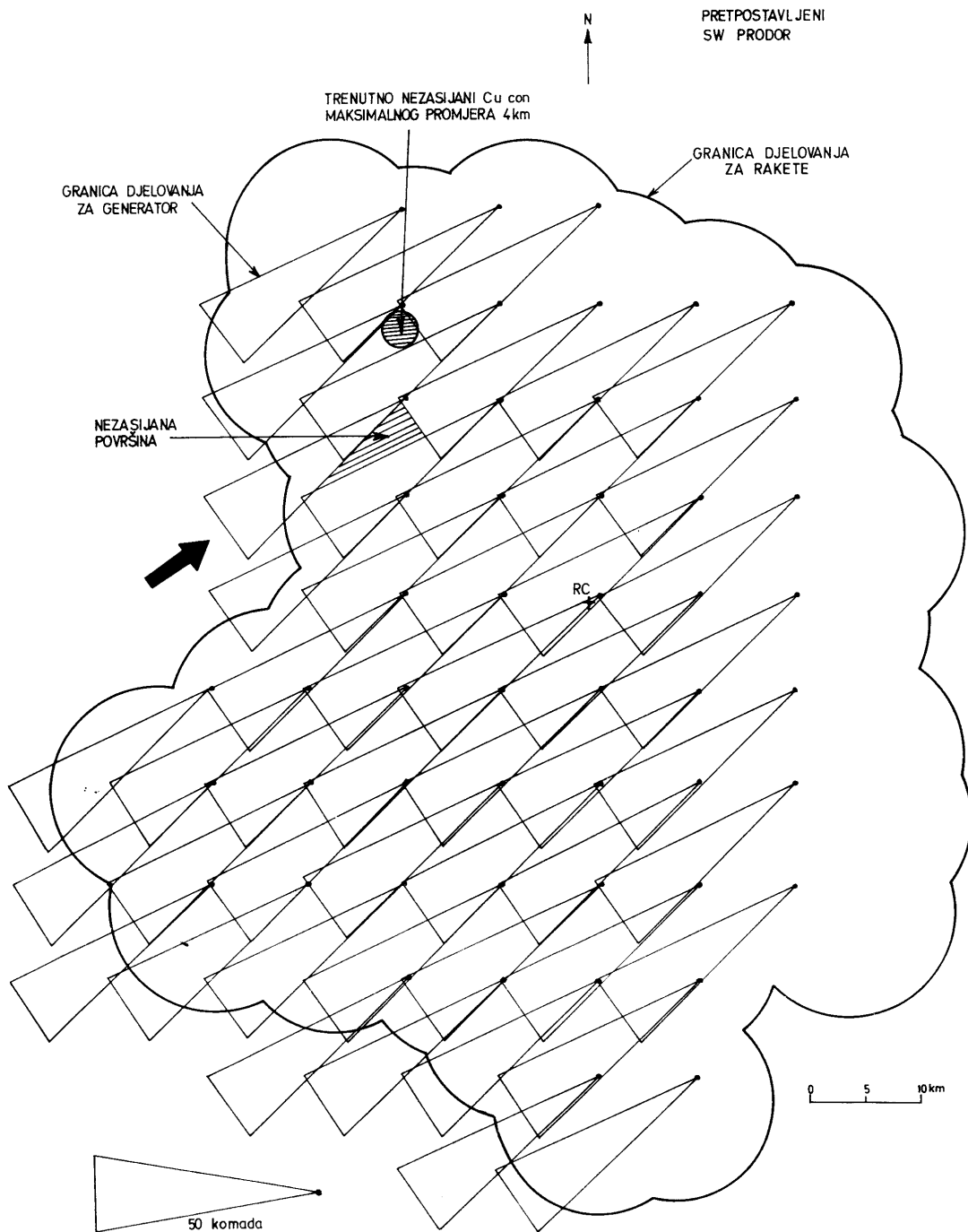
S obzirom na rezultate, vrijednost iz Francuske se može smatrati referentnom tj. moć zasijavanja od  $10^{13} \text{ j/h}\cdot\text{km}^2$ . Svaki rezultat iznad toga bi davao dodatnu sigurnost da je postignuta moć zasijavanja dovoljna za uspješno djelovanje.

## FAKTOR ZASIJANOSTI OLUJE

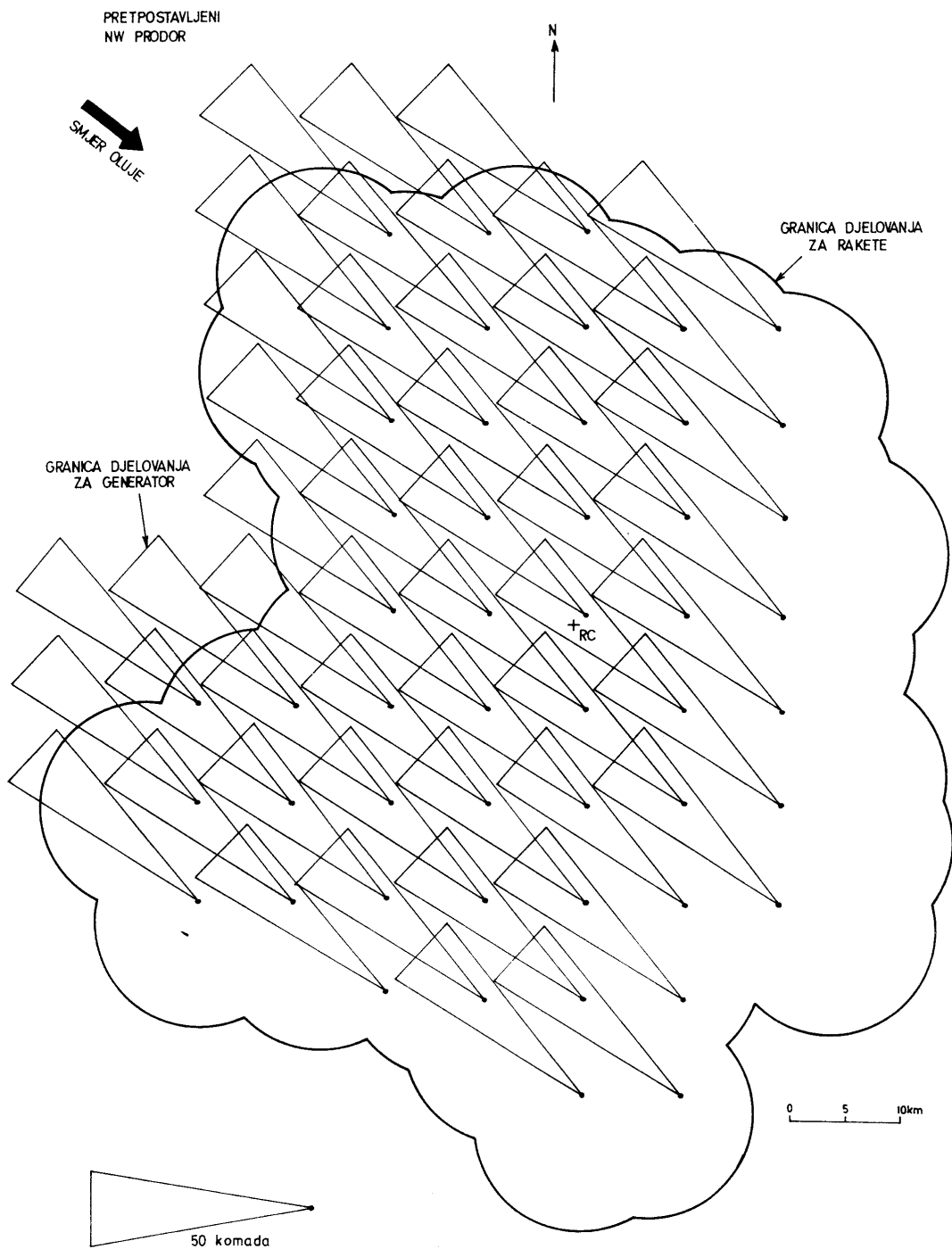
Slijedeći način je upotreba faktora zasijanosti oluje. Faktor se definira kao omjer umjetno stvorenih i prirodnih jezgara zaleđivanja. Budući da nismo u mogućnosti mjeriti broj jezgara zaleđivanja kod nas, navodimo nekoliko primjera iz svijeta. Na slici 9. je prikazana razdioba jezgara zaleđivanja u anticiklonalnoj situaciji bez zasijavanja, za već spomenuti talijanski eksperiment.



Slika 9. Statistička razdioba 131 slučaja broja ledotvornih jezgara leda na  $-10^{\circ}\text{C}$  i visini 1500 m, (Admirat, Caponigro, 1986.)



SLIKA 6. RC-Puntijarka  
 Teorijska mreža (9×9km) s prizemnim generatorima



SLIKA 7. RC-Puntijarka  
Teorijska mreža (9×9 km) s prizemnim generatorima

Vidi se da je 84% vrijednosti u rasponu od 0 do 3 kristala /dm<sup>3</sup>. Srednja vrijednost kroz tri godine iz tih podataka je 1.7 j/dm<sup>3</sup>. Za tu vrijednost se misli da je nešto veća od uobičajene možda zbog rezidualnog utjecaja AgI. Mjerenja i u drugim područjima su najčešće davala vrijednost oko i ispod 1 j/dm<sup>3</sup>. Mjerene su i vrijednosti (Italija) sa zasijavanjem u uvjetima nadolazeće oluje. Rezultati 31 analize variraju od 30 do 200 j/dm<sup>3</sup>, na -10°C. Mjerene koncentracije pokazuju da je većina AgI jezgara aktivna na nivou kondenzacije oblaka. Faktor zasijanosti oluje je između 100 i 500 što je red veličine bolje od većine drugih eksperimenata zasijavanja pomoću prizemnih generatora. U Francuskoj su te vrijednosti, dobivene sličnim načinom, varirale od 10 do 70. (Soulage i Admirat, 1968.) predlažu poželjnu koncentraciju umjetnih jezgara zaleđivanja dva reda veličine višu od prirodne.

### Mikrofizički pristup

Olakšavajuća okolnost pri razmatranju problema doziranja, koje nije u potpunosti riješeno ni za jedan eksperiment, je i primjer iz HIPLEX-a. Zasijavano je s dvije količine reagensa (1.0 i 0.1 kg/km), a ustanovljeno je da je u prvom slučaju broj čestica veći samo za tri puta. Isto tako, brzina "isušivanja" (smanjenja srednjeg sadržaja tekuće vode) za 18 oblaka zasijavanih većom i 9 oblaka zasijavanih manjom količinom reagensa je približno ista. Opća pretpostavka, u mikrofizičkom pristupu doziranju, je da je koncentracija od 10<sup>4</sup> j/m<sup>3</sup> dovoljna za efikasno "isušivanje" (zaleđivanje) oblaka u periodu od 15 minuta. Iz te pretpostavke se zasad ne može doći do procjene potrebne aktivnosti generatora jer su pojednostavljenja nužna za izvođenje računa prevelika i tako ostaje bez smisla krajnji rezultat. Za ovakve proračune potrebna su mjerenja in situ i kompletna statistička obrada svih karakteristika oblaka potrebnih za proračun.

### Z A K L J U Č A K

Za naše predviđeno područje i gustoću mreže izračunat će se potrebna aktivnost generatora pomoću moći zasijavanja i faktora zasijanosti oluje. Uzimajući vrijednost moći zasijavanja korištene u Francuskoj slijedi za naše područje

$$A = P \cdot M / N = 4 \cdot 10^3 \cdot 0.6 \cdot 10^{15} / 50 = 4.8 \cdot 10^{14} \text{ j/h (na } -15^\circ\text{C)}$$

gdje : A - aktivnost jednog generatora (j/h)  
 P - branjena površina (km<sup>2</sup>)  
 M - moć zasijavanja (j/h\*km<sup>2</sup>)  
 N - broj generatora

Ako se kao poželjan uzme faktor zasijanosti 100, korišten u Italiji, računom slijedi potrebna aktivnost generatora od 1.3\*10<sup>16</sup> j/h, na -10°C.

### 9. MOGUĆNOST VIŠESTRUKOG KORIŠTENJA

Već je naznačeno da se prizemni generatori (kao pojedinačne naprave) koriste i u druge svrhe, a to isto vrijedi i za mrežu prizemnih generatora. Mreža prizemnih generatora je vrlo često

korištena u pokušajima povećanja količine oborine. Najpoznatije istraživanje je provedeno u Izraelu (u kombinaciji sa zrakoplovima) i smatra se najbolje obrađenim s najčvršće utemeljenim rezultatima (Gagin, 1981.). Zasiјavanje je provedeno na kumulativnim oblacima (pojedinačnim ili unutar većeg sistema) koji su imali tipične kontinentalne karakteristike. Provedena su dva sedmogodišnja istraživanja čiji temeljni rezultati su povećanje oborine za 15% na 2% nivou, odnosno 13% na 2.8% nivou signifikantnosti. Analizom podataka o ukupnoj dnevnoj količini oborine na kontrolnom području ustanovljeno je da su efekti zasiјavanja najizraženiji u danima čija srednja vrijednost količine oborine je 8.8 mm, odnosno najmanji za dobro razvijene sisteme s velikom prirodnom količinom oborine. Slični rezultati su potvrđeni i za druga istraživanja, pa postoji opći stav da je povećanje količine oborine najizraženije kod oblaka koji prirodno daju manju količinu oborine ili uopće ne. Interesantno je pogledati rezultate u povećanju količine oborine eksperimenata čiji je cilj bio obrana od tuče.

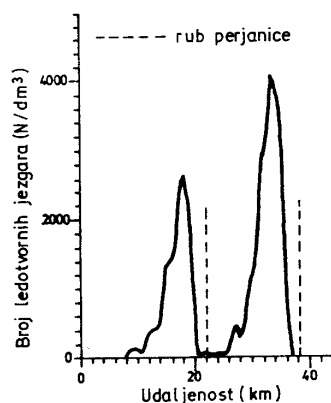
U Francuskoj se pokazalo da nema povećanja količine oborine na globalnoj skali, ali je za jednu stanicu koja se nalazi u sredini vrlo guste mreže generatora nađen porast od 30%, za razdoblje od 1969. do 1983. godine signifikantan na nivou 0.05 (Dessens, 1985.). U Keniji je ustanovljeno povećanje od 12% na nivou 0.10, a u Texasu 5% na nivou 0.05 (Henderson, 1987.). Navedena istraživanja su provedena različitim tehnikama zasiјavanja. U ovim drugim istraživanjima su branjene površine bile daleko manje nego u Francuskoj. Slični rezultati su postignuti i za druge eksperimente, ali ne na signifikantnom nivou. Može se zaključiti da pri obrani od tuče (prizemnim generatorima i/ili zrakoplovima) dolazi do povećanja količine oborine, ukoliko branjeno područje nije izuzetnih dimenzija (Francuska - 55 000 km<sup>2</sup>). Drugim riječima, preraspodjela količine oborine na velikoj skali se očituje kao povećanje na manjoj skali. Imajući u vidu izraelske rezultate i slične indikacije iz Alberta istraživanja, uz poznavanje načina zasiјavanja (oblaci hranjoci) i određivanja početka djelovanja (prognoza) moguće objašnjenje za neke slučajeve je djelovanje na oblake različitog potencijala. Naime, zasiјavanje oblaka koji se ne razviju do tučoopasnih, odnosno oborinskih, dimenzija je upravo vrlo povoljno za povećanje količine oborine. Znači, primjenom iste mreže generatora može se u danima sa slabom konvekcijom očekivati povećanje količine oborine. Oblaci čiji vrh ne dostigne nivo -15°C, najčešće prirodno ne daju oborinu na tlu, što se može primijeniti kao vrlo jednostavan kriterij uspješnosti djelovanja. U našim krajevima ovu mogućnost ne treba zanemariti u kontinentalnim predjelima, a pogotovo ne u primorskim. Osim zbog poljoprivrede povećanje količine kiše se provodi i zbog povećanja hidroenergetskog potencijala u hidroelektranama. Slijedeći sličnu logiku nedovoljne prirodne oborinske efikasnosti vrše se istraživanja povećanja količine snijega zbog zaštite usjeva ili za povećanje hidroenergetskog potencijala. Postoji i jedna dosad zanemarena ideja V. Schaefer-a o ekonomski isplativom zasiјavanju hladnih stratusnih oblaka. Naime, osim u prvom velikom istraživanju mogućnosti modifikacije vremena (projekt Cirrus), stratusni oblaci uopće nisu bili predmet istraživanja. Sve većom upotrebom solarne energije mogli bi postati ekonomski opravdani pokušaji rastjerivanja takvih oblaka.

## 10. PITANJE FOTODEAKTIVACIJE, INVERZIJE I POLJA STRUJANJA

U primjeni prizemnih generatora se uvijek nameće isti temeljni problem: koliko je stvarno aktivnih čestica reagensa ušlo u oblak? Za razliku od djelovanja raketama, puno lakše je odgovoriti na pitanje kada? Dobrim planiranjem mreže može se postići dosta velika vjerojatnost da je u samom početku stvaranja oblak usisao jezgrama "zaraženi" zrak. Inverzioni sloj koji se može pojaviti kao kočnica vertikalnom širenju reagensa ne bi smio biti problem budući da se razvojem konvekcije (probijanjem inverzije) oslobađa i put za djelovanje reagensa. Opasnost postoji od značajne deformacije polja strujanja u nižim slojevima koji mogu geometrijski planiranu mrežu učiniti nedovoljno efikasnom. To je problem koji će se teško moći riješiti bez mjerenja polja strujanja ili primjene sofisticiranog mezomodela. Kao pitanje od velike važnosti je uvijek spominjana foto deaktivacija reagensa u vremenu. U nekima ranijim istraživanjima je fotodeaktivacija bila značajna pojava (Mason, 1971.) dok kasniji radovi (Super et al, 1975.) indiciraju mali ili nikakav utjecaj fotodeaktivacije u slučaju kompleksa  $\text{AgI-NH}_4$ -aceton reagensa.

Testiranje lučnog generatora (Heimbach i Stone, 1984.) izlaganjem reagensa ultraljubičastom zračenju je pokazalo smanjenje aktivnosti za 20 % u vremenu uzorkovanja od pet sati i može se smatrati beznačajnim. U Alberti su nekoliko godina kasnije vršeni istraživački letovi radi utvrđivanja karakteristika zasijavanja iz zrakoplova različitim sredstvima (zrakoplovni generator, padajuće baklje i baklje na krilu). Drugi zrakoplov je služio za prikupljanje podataka. Oblačnom komorom je mjerena prirodna koncentracija ledotvornih jezgara i rezultat je bio stalno ispod  $1 \text{ j/dm}^3$ .

Na slici 10. je prikazan način određivanja postojanja i položaja perjanice reagensa za različite načine zasijavanja. Za nas je ovdje od prvenstvenog značaja dugovječnost tako određene perjanice. Zaključuje se da fotodeaktivacija i drugi faktori nisu od značaja za čestice proizvedene acetonskim generatorom.



Slika 10. Perjanice reagensa izmjerene 27.07.1984. (Heimbach, 1990.)

## 11. ZAHTJEVI NA GENERATOR

Razmatranjem difuzije u nestabilnoj atmosferi predložena je mreža generatora koja bi trebala u minimalnom vremenu od jednog sata dati moć zasijavanja oluje barem na nivou onog u Francuskoj, a poželjno i veći. Iz predloženog koraka mreže (oko 9 km) slijedi da je za područje od oko 4 000 km<sup>2</sup> potrebno oko 50 generatora, odnosno 1 generator na 80 km<sup>2</sup>. Ako se za traženu vrijednost moći zasijavanja uzme  $1 \cdot 10^{13}$  j/h\*km<sup>2</sup>, slijedi da je minimalna potrebna aktivnost generatora oko  $1 \cdot 10^{15}$  j/h na -10°C. Slijedeći zahtjev za faktorom zasijanosti oluje 100 proizlazi da je potrebna aktivnost generatora oko  $1 \cdot 10^{16}$  j/h na -10°C (poželjna). Predložena mreža je zamišljena za većinu sinoptičkih situacija, dok bi se smanjivanjem njene gustoće izbor situacija u kojima je predviđena upotreba generatora donekle suzio, odnosno morao osnivati na pouzdanim procjenama difuzije i polja strujanja.

Također, poželjno bi bilo da se radi o brzom reagensu čiji bi se veliki postotak čestica aktivirao u roku od 5 min tako da se može postići potrebna koncentracija što prije u životu oblaka. Reagens mora ostati aktivan barem 1 sat budući da je to referentno vrijeme za proračun koncentracije, a i preporučeno vrijeme za djelovanje prije nailaska oluje (Soulage i Admirat, 1968.). Fotodeaktivacija ne smije biti značajan proces za referentni period. Uz ove zahtjeve koji se ne moraju dati decidirano po elementu budući da postoji više kombinacija koje mogu dati približan krajnji rezultat, postoje i tehnički uvjeti:

- 1) lagan za rukovanje i neobučene radne snage,
- 2) energetski autonoman,
- 3) sigurnosni i zakoni o upotrebi u RH (atestiranje reagensa se može vršiti u RHMZ).

## 12. EKOLOGIJA

Jedan od važnih segmenata pri eksperimentima modifikacije vremena je pažljivo proučavanje mogućeg utjecaja djelatnosti na okoliš. Eksperimenti modifikacije vremena širom svijeta najčešće upotrebljavaju razne tipove reagenasa temeljenih na sličnoj kristalnoj strukturi, kao i molekula H<sub>2</sub>O. U Hrvatskoj isključivo, a u svijetu najčešće koriste se reagensi na bazi srebra jodida (AgI). S obzirom na moguću toksičnost AgI te iona srebra Ag<sup>+</sup>, u više je svjetskih eksperimenata posebna pažnja posvećena je ekološkoj komponenti, o čemu je objavljen znatan broj radova.

Toksičnost srebra jodida se može promatrati na dva načina. Prvi način je da se razmatra toksičnost srebra jodida, a drugi da se razmotri toksičnost iona srebra (Ag<sup>+</sup>). Također, toksičnost i jednog i drugog je različita ovisno o tome u kojem se mediju promatra. Prvo ćemo razmotriti toksičnost srebra jodida u zraku. U svijetu se danas smatra da je granica toksičnosti AgI u zraku 1 mg/m<sup>3</sup>. U slučaju udisanja zraka s povećanom koncentracijom AgI, ili gutanjem, može doći do kožnog osipa, glavobolje, oštećenja sluzokože. U slučaju da dođe do znatnog povišenja koncentracije, dolazi do depresije, anemije, smanjenja tjelesne težine.

Zbog vrlo male topivosti AgI u vodi on je neotrovan u količini koja se može otopiti, te se ovdje neće dalje razmatrati. Što se tiče graničnih koncentracija i toksičnosti iona srebra u vodi, razni autori daju različite vrijednosti.

#### Toksičnost Ag<sup>+</sup> u vodi

AUTOR	KONCENTRACIJA
Dapkina, 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 niti liječenjem, zatim stanje membrane sluznice poznato kao argiria (u prijevodu - otrovanje srebrom). U težim slučajevima trovanja može doći do reduciranja rasta, pa čak i smrti.

Ag<sup>+</sup> se inače može koristiti i kao agens za sterilizaciju vode za piće, no nije toliko značajan za te svrhe kao što su kloridi.

Dopuštena vrijednost Ag<sup>+</sup> u zraku iznosi  $1 \cdot 10^{-4}$  g/m<sup>3</sup>. Sve navedene brojke odnose se na toksičnosti u odnosu na čovjeka. Podaci o toksičnosti u odnosu na ostale organizme nisu bili dostupni. Što se tiče prirodne koncentracije AgI i Ag<sup>+</sup> u zraku i vodi bilo je moguće doći do sljedećih podataka.

Australia	$5.4 \cdot 10^{-10}$ g/ml Ag <sup>+</sup>
Illinois SAD	$7.3 \cdot 10^{-11}$ g/ml Ag <sup>+</sup>
Alberta Canada	0.5 do $4.9 \cdot 10^{-11}$ g/ml Ag <sup>+</sup>
Australia	$3 \cdot 10^{-12}$ do $4.8 \cdot 10^{-11}$ g/ml Ag <sup>+</sup>

U Hrvatskoj nisu do danas vršena mjerenja prirodne koncentracije Ag<sup>+</sup> u vodi, kao ni koncentracije u kišnici pri raznim projektima umjetnog djelovanja na vrijeme (npr. obrana od tuče). Raspolaze se međutim rezultatima koncentracije Ag<sup>+</sup> iz kišnice oblaka tretiranih srebro jodidom u Alberti, pri jednom takvom eksperimentu.

Zasijavanje se provodilo zrakoplovom u zonu embrija zrna tuče, a trošeno je 2 - 4 kg AgI 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 Ag<sup>+</sup> u slučajevima "zasijane" kišnice 10 puta niže od dopuštene i to u najlošjoj varijanti. (Vidi Toksičnost Ag<sup>+</sup> u vodi)

Nikolić, 1987. godine pojednostavljenim računom dolazi do mogućih zagađenja okoliša sistemom Hrvatskoj. Promatrajući oba medija (zrak i voda), te količinu jednogodišnjeg unošenja AgI,



račun ukazuje da su uprosječne koncentracije Ag+ za nekoliko redova veličina manje od graničnih - dopuštenih. S obzirom na predloženu sinhronu upotrebu prizemnih generatora i raketa u cilju obrane od tuče, potrebno je promotriti za taj slučaj mogući utjecaj na okoliš.

Za proračun količine isijanog reagensa pomoću prizemnih generatora uzeta je prosječna vrijednost trajanja radarskog praćenja za RC-Puntijarka za razdoblje 1981.-1990. godina i količina isijanog AgI za francuski generator (10 g/h). Za predviđen broj generatora (50) i područje RC-Puntijarka (4000 km<sup>2</sup>) dobija se godišnja količina od 88 kg AgI. Pomoću raketa je ta vrijednost 141 kg. Pokazuje se da i u slučaju kombiniranog djelovanja ne postoji opasnost prekoračenja dozvoljene koncentracije. U Francuskoj, 455 generatora radeći i do 10 sati dnevno, prosječno 30 dana u sezoni, isije više od 1 tone AgI. Mada je to izuzetno velika količina, problem zagađenja u Francuskoj smatraju trivijalnim, čak i u neposrednoj blizini generatora (Lodge, 1979.).

Sva dosadašnja razmatranja proučavana su uz razne pretpostavke i osrednjenja. Osvrnuti se međutim treba i na situacije u kojima na malom prostoru i u relativnom kratkom vremenu može doći do značajnih povećanja koncentracije AgI i Ag+. Jedna takva situacija od značaja u obrađenoj temi je rad operatera na generatoru. Izvješća iz eksperimenata umjetnog djelovanja na vrijeme u Americi svjedoče da čak i oni operateri koji su bili izloženi neposrednom utjecaju AgI (rad na generatorima) i to u trajanju do 6 sati, nisu imali nikakvih popratnih poremećaja u organizmu. S obzirom na navedene moguće bolesti uzrokovane povećanom koncentracijom srebra u organizmu kao posljedica učestvovanja u eksperimentu umjetnog djelovanja na vrijeme, preporuča se upotreba zaštitnih sredstava za osoblje neposredno uključeno u posao. Moguća rješenja su upotreba maski za usta i nos, te PVC kabanice.

Na kraju ovog razmatranja može se zaključiti da ni u ekstremnim situacijama ne može doći do povećanja koncentracije AgI i Ag+ koje bi uzrokovale patološke promjene na živim organizmima. Pažnju međutim treba usmjeriti na kumulativni efekt u određenom nizu godina. Da bi se utjecaj AgI i Ag+ stavio pod kontrolu, potrebno je imati stalan uvid u te koncentracije na terenu, tj. imati organizirano prikupljanje uzoraka kišnice i njihovo analiziranje po pitanjima interesantnih elemenata. Ovom problemu bi svakako trebalo posvetiti punu pažnju u nastupajućem razdoblju budući da su zagađenja atmosfere, vode i tla raznim elementima dosegla takve vrijednosti da ih se više ne smije i ne može zanemarivati.

### **13. FINANCIJSKI EFEKTI**

Poslužit ćemo se opet svjetskim iskustvima. Uzimajući u obzir vrijednost poljoprivredne proizvodnje i statistički pokazanu efikasnost (41%) u Francuskoj se pokazuje da je omjer koristi i troškova oko 24. U Alberti je godišnja vrijednost poljoprivredne proizvodnje 3 mlrd \$. Direktno godišnje prosječne štete od tuče su oko 150 mil \$, indirektno oko 50 mil \$. Štete

od nedovoljne količine vlage u tlu su isto oko 150 mil \$ godišnje. Povremene štete u gradovima su vrlo visoke (München, 1984. oko 1 mlrd \$). Smanjenje šteta od tuče za 5% bi bilo dovoljno da pokrije ulaganja i operativno vođenje obrane od tuče. (Zasijavanje u Alberti se provodilo uglavnom zrakoplovima uz još puno dodatne opreme, instrumenata itd.) Za mogući financijski efekt ćemo se poslužiti dostupnim podacima (Heimbach, 1990.) o usporedbi troškova zrakoplovnog generatora i baklji (piro-patrona) postavljenih na krilo zrakoplova. Za jednaku aktivnost su troškovi 75 \$ (za baklje) odnosno 3 \$ (za generator) za 4 min zasijavanja. Prema danim podacima, uvažavajući našu situaciju već postojeće mreže lansirnih postaja s objektima, radio uređajima i sličnom opremom i radarskom mrežom, vidi se da bi naši troškovi bili značajno niži.

### Proračun troškova

Troškove istraživanja, razvoja i probnog uvođenja kombinirane obrane od tuče možemo podijeliti u dvije osnovne grupe:

- a) Troškovi projektiranja, razvoja i nabavke opreme i metodologije djelovanja.
- b) Troškovi probnog operativnog rada i praćenje rezultata.

Proračun troškova izrađen je na temelju pretpostavke probnog i razvojnog rada u trajanju od tri godine nakon čega bi se donijela odluka o prelasku u potpuno operativan rad kombiniranog sistema.

### Troškovi projektiranja

Projektiranje kombinirane obrane od tuče u najvećoj mjeri je već dovršeno za probno područje RC Puntijarka. Preostalo je terensko utvrđivanje mikrolokacija za što je predvidivo potrebno oko 4 mjeseca SSS uz upotrebu vozila.

U slučaju daljnjeg širenja na cijelo interesantno područje Hrvatske potrebno je uložiti dodatno cca 4 mjeseca VSS i 2 mjeseca SSS. Troškovi projektiranja praktično su jednokratni.

### Troškovi razvoja i nabavke opreme

Razvoj opreme svodi se na razvoj generatora i smjese za proizvodnju aktivnih čestica zaleđivanja. Prva faza razvoja generatora i smjese do izrade prototipa sadrži slijedeće predvidive troškove:

- projektiranje prototipa cca 6 mjeseci VSS,
- izrada prototipa cca 2 mjeseca VKV,
- provjera prototipa i dotjerivanje cca 4 mjeseca VSS i 1 mjesec VKV.

Materijali potrebni za izradu prototipa cca 2,000 DM i razne kemikalije za razvoj smjese i probe cca 2,000 DM.

Nabavka generatora - proizvodnja (50 uređaja) u ovom trenutku je financijski neizvjesna. Na temelju preliminarnih informativnih razgovora može se dati samo približna procjena proizvodnje jednog primjerka u visini cca 3,000 DM, odnosno za cijelo probno područje 150,000 DM.

Troškovi razvoja i nabavke opreme u smislu probnog rada također su jednokratni.

#### **Troškovi razvoja metodologije**

Razvoj metodologije primjene generatora trajan je zadatak. U prvoj godini probnog rada RC Puntijarka izravno je povezan rad na razvoju metodologije i operativa. Posebno značajni dio razvoja metodologije sastoji se u izradi klimatoloških i sinoptičkih podloga. Očekivani utrošak radnog vremena iznosi:

- 20 mjeseci VSS,
- 6 mjeseci SSS.

U kasnijim godinama zastupljeniji dio razvoja metodologije odnosi se na primjenu prizemnih generatora za druge svrhe izvan sistema obrane od tuče. Očekivani godišnji utrošak radnog vremena bio bi identične strukture kao u prvoj godini.

#### **Troškovi probnog operativnog rada**

Troškovi operativnog rada javljaju se već u prvoj godini u probnom radu. Očekivani godišnji utrošak radnog vremena iznosi:

- 10 mjeseci VSS,
- 32 mjeseca SSS.

Očekivani godišnji materijalni troškoviastoje se od:

- troškovi za nabavku kemikalija cca 30,000 DM,
- troškovi nabavke/zamjene akumulatora cca 5,000 DM,
- troškovi održavanja, obilaska uređaja na terenu, rezervni dijelovi cca 4,000 DM,
- troškovi prikupljanja i analize sadržaja oborine sa stanovišta sadržaja srebra jodida,
- administrativni troškovi, dokumentacija, izvještaji i slično cca 1,000 DM.

Prikazani proračun predvidivih troškova podrazumjeva korištenje ostalih raspoloživih sredstava obrane od tuče bez naknade i stvarne rezerve te su u realizaciji moguća određena odstupanja.

#### **Prikaz godišnjih troškova**

Sumarni prikaz godišnjih troškova od projektiranja do završetka probnog rada prizlazi iz prethodno navedenih stavki:

#### Prva godina

Radno vrijeme	Materijalni troškovi
- 44 mjeseca SSS;	- 194,000. DM.
- 3 mjeseca VKV;	
- 44 mjeseca VSS.	

#### Druga godina

Radno vrijeme	Materijalni troškovi
- 38 mjeseca SSS;	- 40,000. DM.
- 30 mjeseci VSS.	

#### Treća godina

Radno vrijeme	Materijalni troškovi
- 38 mjeseci SSS;	- 40,000. DM.
- 30 mjeseci VSS.	

#### Ukupni troškovi za tri godine

Radno vrijeme	Materijalni troškovi
- 120 mjeseci SSS;	- 274,000. DM.
- 3 mjeseca VKV;	
- 104 mjeseca VSS.	

#### 14. ZAKLJUČAK

Rad predstavlja prvi korak u pokušaju korištenja prizemnih generatora u obrani od tuče u RH. Dane su načelne osnove koncepcije i metodologije djelovanja. Definirano je eksperimentalno branjeno područje (RC-Puntijarka) sa definiranom mrežom prizemnih generatora i zahtjevi za generator. Postoje četiri osnovna smjera dalje razrade prijedloga danih u radu:

- A) Stvaranje klimatologije pojava i radarskih mjerenja radi daljnje razrade metodologije i operativnih postupaka.
- B) Stvaranje sinoptičke podloge i prognoze vremena za specifične potrebe predloženog načina rada.
- C) Istraživanje korištenja prizemnih generatora za druge svrhe (povećanje količine oborine i rastjerivanje magle).
- D) Eksperimentalni rad sistema obrane od tuče u kombiniranom djelovanju i razrada rezultata djelovanja.

Umjesto zaključka dat će se moguće odvijanje eksperimentalnog rada.

- 1) Nabavka potrebnog broja generatora (oko 50 kom).
- 2) Određivanje mikrolokacija uz uvažavanje osnovnih pretpostavki za što bolje djelovanje.
  - a) Navjetrinska strana u podnožju orografske prepreke (zbog omogućavanja prisilne konvekcije).
  - b) što veća glatkost podloge u neposrednoj okolini generatora.
  - c) Gustoća mreže što približnija teorijskoj gustoći.
- 3) Određivanje početka djelovanja generatorima uz pomoć standardne prognoze vremena uz korištenje radarske i satelitske slike.
- 4) Predviđeno trajanje rada generatora barem jedan sat prije oluje pa do pojave oborine na pojedinoj lokaciji.
- 5) Kemijska analiza oborine na eksperimentalnom području i daleko od njega (radi usporedbe).
- 6) Praćenje rezultata (usporedni podaci o pojavama i radarski podaci).
- 7) Prilagodba kriterija tučoopasnosti.

#### **POGLED U BUDUĆNOST**

Pretpostavljamo da je u sadašnjoj situaciji teško razmišljati o budućnosti modifikacije vremena kod nas. Čini se da je i obnova postojećeg sustava obrane od tuče dug i težak put. Treba, ipak, predvidjeti i povoljniji razvoj situacije. Za primjer ćemo uzeti Istru i predviđeno postavljanje obrane od tuče. Promjenom nekoliko osnovnih postavki može se mogućnost djelovanja proširiti do skoro nevjerojatnih razmjera.

#### **OSNOVNE PRETPOSTAVKE**

1. Obrana od tuče isključivo mrežom prizemnih generatora.
2. Doppler radar valne duljine 5 cm.

Nijedna od ove dvije pretpostavke nije neobična budući da su i jedna i druga u čestoj upotrebi u svijetu.

#### **R E Z U L T A T I**

1. Obrana od tuče.
2. Povećanje količine kiše (Istra i Gorski Kotar).
3. Najava nepogoda za turističko gospodarstvo, pomorsku službu, zrakoplovnu meteorologiju, sinoptičku službu.
4. Mjerenje oborine radarom za elektro- i vodoprivredu.
5. Povećanje količine snijega (Gorski Kotar) za elektro privredu i zimski turizam.
6. Najava poplava.
7. Istraživačko-operativno korištenje opreme (radar i dr.).

**LITERATURA:**

Admirat,P. & Caponigro,R. 1986.: GROUND SEEDING : A VERY POWERFULL TECHNOLOGY FOR THE FUTURE OF HAIL SUPPRESSION. J.W.M.,VOL 28

Auer, A.H. Jr & Marwitz, J.D. 1968 : ESTIMATES OF AIR AND MOISTURE FLUX INTO HAILSTORMS ON THE HIGH PLAINS, J.A.M., VOL 7

Baudet,G.J.R. et al, 1986 : OBSERVATIONS CARRIED OUT IN AN EQUATORIAL FOREST AFTER SILVER IODIDE SEEDINGS FROM A GROUND GENERATOR, J.W.M., VOL 28

Bižić,D. & Mozer,Z. 1985 : PONAŠANJE RADARSKIH PARAMETARA I NJIHOVA USPOREDBA, I JUGOSLAVENSKO SAVJETOVANJE OT I DRUGIM NAČINIMA UMJETNOG DJELOVANJA NA VRIJEME

Brandes,E.A. 1977 : FLOW IN SEVERE THUNDERSTORMS OBSERVED BY DUAL-DOPPLER RADAR, M.W.R., VOL 105

Browning,K.A. & Foote,G.B. 1976 : AIRFLOW AND HAIL GROWTH IN SUPERCELL STORMS AND SOME IMPLICATIONS FOR HAIL SUPPRESSION, Q.J.R.M.S., VOL 102

Cooper,W.A. & Lawson,R.P. 1984 : PHYSICAL INTERPRETATION OF RESULTS FROM HIPLEX 1 EXPERIMENT, J.C.A.M., VOL 24

Dennis,A.S. et al 1974 : CLOUD SEEDING TO ENHANCE SUMMER RAINFALL IN NORTHERN PLAINS. REPORT No. 70-10, INSTITUTE OF ATMOS. SCIENCE S. DAKOTA SCHOOL OF MINES AND TECHNOLOGY,RAPID CITY

Dessens, J. 1985 : HAIL IN SOUTHWESTERN FRANCE , I i II J.C.A.M., VOL 25

Dessens,J. 1985 : DOES A LARGE HAIL SUPPRESSION PROJECT BY GROUND SEEDING HAVE AN EFFECT ON THE RAINFALL REGIME? PROCEEDINGS OF THE FOURTH WMO SCIENTIFIC CONFERENCE ON WEATHER MODIFICATION, HONOLULU, HAWAII

English,M. 1987 : RESULTS OF HAIL SUPPRESSION RESEARCH IN ALBERTA, CANADA. 11-th CONF. ON WEATHER MODIFICATION, AMS, EDMONTON, CANADA

Finnegan,G.W. & Pitter,R.L. 1987 : RAPID ICE NUCLEATION BY ACETONE-SILVER IODIDE GENERATOR AEROSOLS AND IMPLICATIONS TO WINTER OROGRAPHIC STORM SEEDING STRATEGIES, 11-th CONF. ON WEATHER MODIFICATION, AMS, EDMONTON,CANADA

Foote,G.B. & Frank,H.W. 1983 : CASE STUDY OF A HAILSTORM IN COLORADO.PART III. J.A.S.,VOL 40

Fukuta, N. 1981 : "SIDE-SKIM SEEDING " FOR CONVECTIVE CLOUD MODIFICATION. J.W.M., VOL 13

Gagin,A. 1981 : THE ISRAELI RAINFALL ENHANCEMENT EXPERIMENT A PHYSICAL OVERVIEW, J.W.M., VOL 13

- Gatz, Donald F. 1975: BACKGROUND SILVER CONCENTRATIONS IN ILLINOIS PRECIPITATION AND RIVER WATER, J.A.M, VOL 14
- Geło, B. 1991 : MEZOMODELIRANJE U OBRANI OD TUČE, 2-nd YUGOSLAV CONFERENCE ON WEATHER MODIFICATION PART I, SKOPJE
- Goyer, G.G. & Renick, J.H. 1980 : THE RESULTS OF THE ALBERTA HAIL PROJECT, 3-rd SCIENTIFIC CONFERENCE ON WEATHER MOD. VOL II, CLERMONT-FERRAND
- Griffith, A.D. et al 1990 : AIRBORNE OBSERVATIONS OF A SUMMERTIME, GROUND-BASED TRACER GAS RELEASE, J.W.M., VOL 22
- Hanna, R.S. et al 1982 : HANDBOOK ON ATMOSPHERIC DIFFUSION OAKRIDGE, TENN. NOAA
- Heimbach, A.G. Jr. & Stone, N.C., 1984 : ASCENT OF SURFACE-RELEASED SILVER IODIDE INTO SUMMER CONVECTION ALBERTA 1975 J.W.M., VOL 16
- Heimbach, A.G. Jr 1990 : SOME CHARACTERISTICS OF AERIALY RELEASED AgI PLUMES IN ALBERTA, J.W.M., VOL 22
- Henderson, J.T. 1982 : RESULTS FROM COMPARISONS BETWEEN THE FIELD APPLICATIONS OF AgI-NaI AND AgI-NH<sub>4</sub>I SOLUTION IN AIRBORNE GENERATORS ON A HAIL SUPPRESSION PROGRAM IN KENYA, 3-rd CONFERENCE ON WEATHER MODIFICATION, AMS
- Henderson, J.T. 1987 : SOME HISTORIC OPERATIONAL HAIL SUPPRESSION PROGRAMS DATING TO 1957, J.W.M., VOL 19
- Humphries, R.D. et al 1987 : WEATHER MODIFICATION IN ALBERTA J.W.M., VOL 19
- Jurica, G.M. & Scro, D.K. 1985 : MICROPHYSICAL PROPERTIES OF CUMULUS CONGESTUS CLOUDS OBSERVED DURING TEXAS HIPLEX, PROCEEDINGS OF THE FOURTH WMO SCIENTIFIC CONFERENCE ON WEATHER MODIFICATION, HONOLULU, HAWAII
- Kessler, E. ed 1984 : HAILSTORM MORPHOLOGY AND DYNAMICS, UNIVERSITY OF OKLAHOMA PRESS
- Lodge, J.P. Jr 1979 : BOOK REVIEW OF "ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ARTIFICIAL ICE NUCLEATING AGENTS", ATMOS. ENVIRON. 13
- Mason, B.J. 1971 : THE PHYSICS OF CLOUDS, CLARENDON PRESS, OXFORD
- Nikolić, D. 1987 : UTJECAJ SREBRO-JODIDA I SREBRA KORIŠTENIH U SISTEMU OBRANE OD TUČE, NA ZAGAĐENJE OKOLINE, RHMZ RH.
- Poje, D. et al , 1969 : STIMULACIJA OBORINA NA PODRUČJU LIKE I GORSKOG KOTARA, RHMZ RH
- Rogers, C.D. & Kochtubajda, B. 1984 : SEEDING EFFECTS ON LWC AND ICE CRYSTAL CONCENTRATIONS IN ALBERTA CUMULUS CLOUDS, 9-th CONFERENCE ON WEATHER MODIFICATION, AMS, PARK CITY, UTAH

Rosenfeld,D. & Woodley,W.L.1989 : EFFECTS OF CLOUD SEEDING IN WEST TEXAS, J.A.M., VOL 28

Sand,W.R. et al 1973 : OBSERVED UPDRAFTS AND HAIL INSIDE A THUNDERSTORM, J.W.M., VOL 5

Silverman,B.A. 1979 : THE DESIGN OF THE HIPLEX I ,BUREAU OF RECLAMATION

Soulage,G. & Admirat,P. 1968 : LIMITS OF EFFICIENCY OF SILVER IODIDE GROUND BURNERS TO SEED CLOUDS, PROCEEDINGS OF THE INT. CONF. ON CLOUD PHYSICS, TORONTO

Standler, Ronald B. 1972: ESTIMATED POSSIBLE EFFECTS OF AgI CLOUD SEEDING ON HUMAN HEALTH, J.A.M. VOL 11

Warburton,J.A. 1973: THE DISTRIBUTION OF SILVER IN PRECIPITATION FROM TWO SEEDED ALBERTA HAILSTORMS, J.A.M. VOL 12

Warburton,J.A. & Maher,C.T. 1975: THE DETECTION OF SILVER IN RAIN WATER: ANALYSIS OF PRECIPITATION COLLECTED FROM CLOUD - SEEDING EXPERIMENTS J.A.M. VOL 4