

# UČINKOVITOST SODOBNIH METOD OBRAMBE PRED TOČO

Jože Rakovec\*

Prikazane so hipoteze, na katerih slonijo sodobne metode obrambe pred točo, kakršne se uporabljajo po svetu in pri nas. Kritično so ocenjene možnosti uporabe posameznih hipotez v praksi. Ker je pojavljanje toče na neki ožji lokaciji sorazmerno redek pojav, je potrebna pri ocenjevanju morebitne uspešnosti obrambe pred točo precejšnja previdnost. Na splošno so si strokovnjaki edini, da je pravi način ocenjevanja uspešnosti tak, da med seboj primerjajo zadostno število slučajno izbranih primerov, ko je obramba delovala, in takih, ko ni delovala. Pri tem je treba primerjati dobro definirane, merljive količine, ki res predstavljajo padanje toče. Pri ocenjevanju uspešnosti obrambe na osnovi podatkov, ki niso izmerjeni, temveč dobljeni z bolj ali manj subjektivnimi metodami (npr. ocenjene škode na rastlinah, kjer ni vedno mogoče ločiti škode, ki jo povzroči veter, od tiste, ki jo povzroči toča), o uspešnosti obrambe ne moremo dajati trdnih mnenj.

## Kako nastaja toča

Toča nastaja v nevihtnih oblakih, v tistih področjih oblakov, kjer je temperatura nižja od  $0^{\circ}\text{C}$  in ki so bogata s podhlajeno tekočo vodo v obliki manjših ali večjih kapljic (v premeru od nekaj mikrometrov do nekaj milimetrov). Te kapljice ob trkih primrzujejo na zametke toče, ali pa jih oblikujejo, če v času trkov ni ugodnih pogojev za hitro zmrzovanje, ter zmrznejo kdaj kasneje.

V laboratorijskih pogojih najdemo drobne (velike okrog enega mikrometra) nezmrznjene kapljice čiste vode tja do temperature okrog  $-40^{\circ}\text{C}$ . V ozračju, kjer vodne kapljice vsebujejo tudi primesi (saj so nastale s kondenzacijo na aerosolu), pa večina kapljic zmrzne pri temperaturi okrog  $-20$  do  $-25^{\circ}\text{C}$  (8). Ta temperatura je torej že ena od meja za rast toče. Po drugi strani pa se ob zmrzovanju kapljice sprošča talilna toplota, ki bi povzročila ogrevanje te kapljice, če se ne bi porazgubila v njeno okolico. Ta difuzija toplote v okolico je tem učinkovitejša, čim nižja je temperatura okolice kapljice. Zato zmrzovanje ni učinkovito, če je temperatura premalo pod lediščem ali pa če je prileta vanje kapljic vode na zrno toče zelo intenzivno. Vendar lahko tedaj kapljice, ki trčijo z zametkom toče, oblijejo ta zametek in ga povečajo, do zmrzovanja pa pride šele kasneje, ko zrno rastoče toče zaide v drug predel oblaka, kjer je zmrzovanje omogočeno (ali je temperatura dosti nižja ali pa ni več močnega dotoka novih kapljic). Za rast toče je najugodnejši tisti predel oblaka med izotermama od nekaj stopinj pod ničlo do približno  $-25^{\circ}\text{C}$ .

## Posipanje oblakov z aktivnimi snovmi

Obramba pred točo, ki bi bila najverjetneje zelo zanesljiva, vendar jo je zelo težko uporabiti, bi temeljila na zmrzovanju vseh podhlajenih kapljic v oblaku (3). Sprejemanje ledenih delcev z zrnem toče ob morebitnih trkih je namreč le malo učinkovito, neprimerno manj kot primrzovanje kapljic na zrno toče oziroma oblikovanje teh zrn s tekočo vodo. Mnogi od ledenih delcev bi se namreč po trku lahko kar odbili in odleteli proč.

Kako pa bi sploh povzročili zmrzovanje podhlajenih kapljic v oblaku? Ena od možnosti je posipanje oblaka s suhim ledom ( $\text{CO}_2$  v trdnem stanju), ki bi posuti predel oblaka toliko ohladil, da bi vsa voda zmrznila. Več se uporablja posipanje s snovmi, ki so po svoji kristalizacijski strukturi podobne ledu. Pri tem prednjači uporaba srebrovega jodida ( $\text{AgI}$ ), ki se obnaša podobno kot kristalčki ledu in na katerega se rada izloča vodna para že pri temperaturi okrog  $-5^{\circ}\text{C}$ . Ker pri tem nastane primanjkljaj vodne pare v okolici, ga skušajo prisotne kapljice nadomestiti tako, da izhlapevajo. Vendar rastoči kristalček spet pobere paro okrog sebe ter tako raste na račun kapljic, ki končno lahko povsem izhlapijo: oblak iz kapljic se spremeni v oblak iz ledenih kristalčkov.

Popolno zmrzovanje oblaka, v katerem potem toča ne bi mogla nastajati, bi dosegli z zmrzovanjem vseh novo nastalih kapljic (kar je pri srednje močnem nevihtnem oblaku po naših ocenah lahko celo  $10^{16}$ – $10^{18}$  kapljic na sekundo na vsak  $\text{km}^3$  oblaka; neka druga ocena (6) govori o  $10^{17}$  kapljicah na sekundo za ves oblak — potrebovali bi torej 1 kg srebrovega jodida na minuto za ves oblak). Ker trajajo nevihte lahko tudi več kot eno uro in ker so nekateri oblaki veliki tudi več sto  $\text{km}^3$ , bi tako potrebovali za en sam oblak od sto kilogramov do nekaj ton ali celo deset ton srebrovega jodida, enakomerno razpršenega po oblaku. Iz povedanega je razvidno, da popolno zmrzovanje oblakov praktično ni izvedljivo.

## Hipoteza o konkurenci zarodkov toče za razpoložljivo vodo

Ker popolno zmrzovanje podhlajenih oblakov ni možno, so predvsem sovjetski strokovnjaki razvili hipotezo za obrambo pred točo, po kateri naj bi v oblakih s posipanjem zmrzovali vsaj tiste predele, v katerih naj bi toča najintenzivneje nastajala. S tvorjenjem zelo velikega števila ledenih delcev v tem predelu oblaka naj bi dosegli,

da razpoložljiva voda preprosto ne bi zadoščala za rast tolikšnega števila zrn do nevarnih velikosti. Odtod ime hipoteza o konkurenci zarodkov toče za razpoložljivo vodo. Ta hipoteza je po svoje originalna, po drugi strani pa je kompromisna rešitev glede na tehnične zmožnosti. Žal daje, kot vse kompromisne rešitve, tudi rezultate, za katere ni mogoče trditi, da so vedno taki, kot bi si jih želeli. Hipoteza o konkurenci zarodkov je osnova skoraj vseh sodobnih prizadevanj v zvezi z obrambo pred točo. Tudi obramba v Jugoslaviji in Sloveniji temelji na njej.

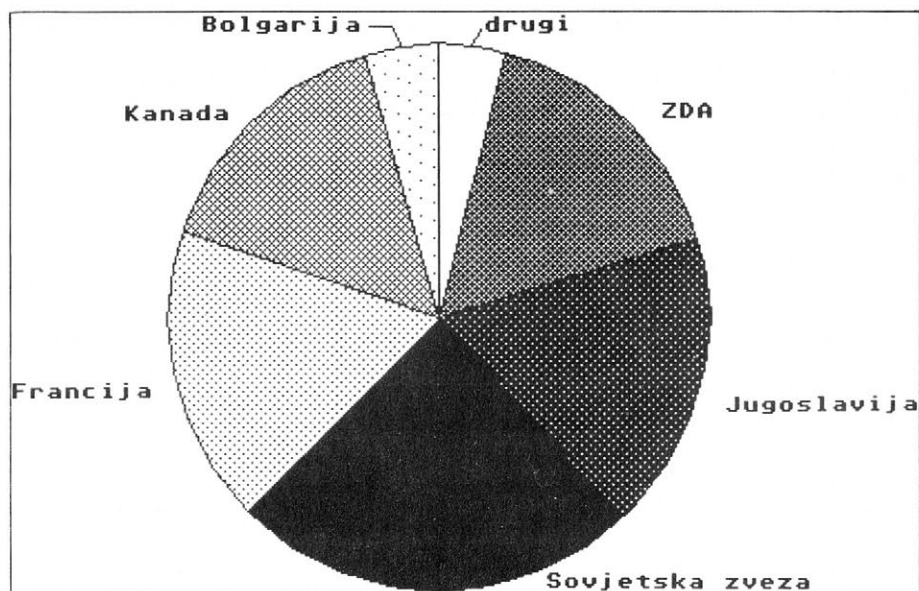
Glavna kritika hipoteze o konkurenci zarodkov ni več uperjena v trditev, da v nevihtnih oblakih obstaja predel z zelo intenzivno rastjo padavinskih delcev, čeprav so prav to trditev v preteklosti pogosto spodbijali. Res je sicer, da je prvotna sovjetska ideja o tem predelu zdaj nekoliko spremenjena, vendar pa merjenja s posebnimi raziskovalnimi letali in z radarji kažejo, da taki predeli v oblakih obstajajo. Nekateri kritizirajo tisti del hipoteze, ki pravi, da je treba zarodke umetno dodajati. Poskusi in računalniške simulacije namreč kažejo, da je v oblakih močan naravni mehanizem pomnoževanja ledenih delcev ob razletavanju zmrzujočih kapljic in da je tako zarodkov dosti več, kot so včasih mislili (8). Drugi spet trdijo, da je pomanjkljivost metode ta, da obravnava predel močne rasti kot neko zaključeno celoto. Pravijo namreč, da zarodki iz tega predela kaj lahko zaidejo v povsem druge predele oblaka, kajti gibanja v nevihtnih oblakih so velikokrat zelo kaotična in slučajno pogojena. Po njihovem mnenju dodajanje zarodkov lahko povzroči rast toče v tem ali pa v kakem drugem predelu oblaka.

## Še nekaj hipotez

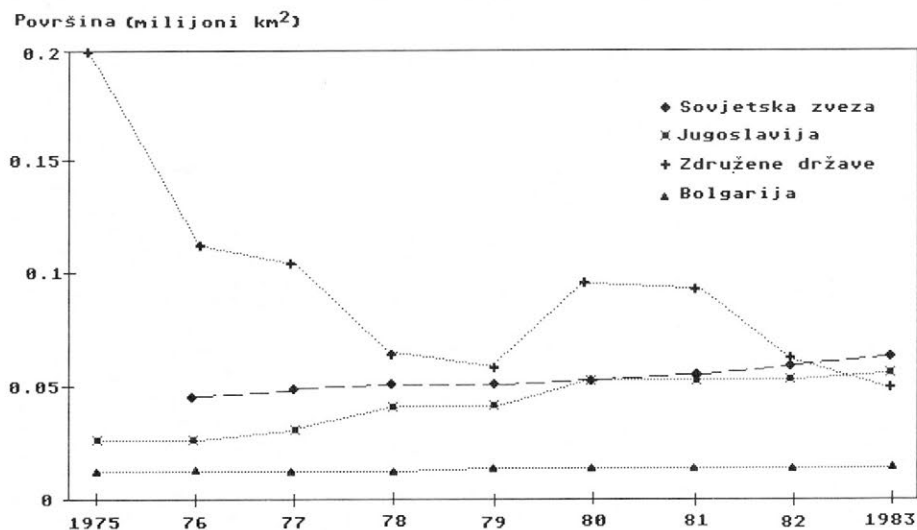
Ko že naštevamo hipoteze, omenimo še nekatere, ki pa niso dobro podprte s fizikalnimi razlagami. Nekateri se navdušujejo za način, ki je med ljudmi v navadi že od davno: kot so včasih zvonili in streljali z možnarji, naj bi zdaj uporabljali zvočne učinke v povezavi s sunkovitim oddajanjem vrtnicastih »izpuhov«. Te učinke naj bi dajali posebje skonstruirani, možnarjem podobni topovi. Razlaga, kaj naj bi s tem v oblaku dosegli (morda kako zaznavno spremembo gibanja, ali spremembo pri mikrofizikalnih dogajanjih med delci v oblaku in še kaj), pa ni dobro podprta s splošno sprejemljivimi dejstvi.

Ena hipoteza pravi, da bi bilo koristno tako znižati poti potencialnih zrn toče v oblaku, da bi le-ta popotovala skozi nižje predele oblaka, kjer je ali vodnost manjša ali pa celo temperatura toliko višja, da bi rast toče bistveno zavirala. To naj bi dosegli z dodajanjem sorazmerno velikih delcev v

\* Dr., docent na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, VTOZD Fizika, Jadranska 19, Ljubljana.



Slika 2. PRED TOČO BRANJENE POVRŠINE V SVETU (1983)  
(L. R. Koenig, Trends in Weather Modification, WMO, Geneva, 1986)



Slika 2. VELIKOST BRANJENIH POVRŠIN V NEKATERIH DRŽAVAH PO LETIH  
(L. R. Koenig, Trends in Weather Modification, WMO, Geneva, 1986)

nastajajoč oblak. Tako bi povzročili sicer več toče, vendar manjših dimenzij. Obrambe po tej hipotezi v svetu skoraj ne uporabljajo.

## Radar

Če že privzamemo hipotezo, da je treba v nevihtne oblake vnašati umetne zarodke ledenih delcev, jih je treba vnesti na pravo mesto, ob pravem času in tako, da bodo na tem mestu dosegli učinek, kakršnega pričakujemo.

Radar se uporablja za odkrivanje tistih predelov oblaka, kjer se kopiči velika količina kapljic, ali kristalov ledu, ali zrn sode, ali toče, ali pa mešanice vsega tega. Meteorološki radar je namenjen »gledanju«  
sestave oblakov samih; torej prav v nasprotju s tistim, za kar je bil prvotno razvit, namreč za gledanje skozi oblake. taka radarska tarča je v resnici sestavljena iz množice drobnih, med seboj si različnih delcev, ki pa jih radar žal ne more ločiti med seboj. Zato ne vemo, kaj je radar

v resnici izmeril, čeprav se radarski snop drugače odbija na tekoči vodi kot na ledu. Enak odboj lahko dobimo od neke količine kapljic ali pa morda od neke druge količine ledenih delcev. Prav zato se v zadnjem času vedno bolj uveljavljajo radarji, ki vsaj delno znajo ločiti tekočo vodo od ledu. To so radarji z možnostjo izbire polarizacije oddajnega elektromagnetnega valovanja, ali radarji z možnostjo izbire valovne dolžine tega valovanja in Dopplerjevi radarji, ki lahko merijo tudi hitrost oblačnih in padajočih delcev vzdolž radarskega snopa.

Kljub negotovosti glede sestave oblaka na mestu, odkoder smo dobili nek radarski odboj, pa je uporaba radarja pri spremljanju oblakov nepogrešljiva. Z njim lahko lociramo predele s povečano količino oblačnih in padajočih delcev, na osnovi drugih meteoroloških informacij (npr. o temperaturi) pa vseeno lahko sklepamo tudi na to, ali je v oblaku morda toča. Nazoren je primer, kakšna je prednost opazovanja z radarjem nasproti vizualnemu opazovanju: tisti predel pri bazi oblaka, ki na oči izgleda najbolj črn in grozeč, je

pogosto z radarjem videti skoraj votel, neviden. Vzrok za nasprotje je ta, da je v tem predelu sicer ogromno vodnih kapljic, ki močno oslabijo prehod svetlobe, so pa v resnici zelo zelo majhne, tako da za radar ne pomenijo nobene ovire. Na oči bi torej morda lahko sodili, da je v tem predelu oblaka skrita največja nevarnost velike toče, v resnici pa gre le za drobne kapljice, podobne tistim v megli. Že ta primer kaže, da lahko včasih daje vizualno opazovanje precej dvomljive rezultate.

## Kako vnašati aktivne snovi v oblake

Ker je srebrov jodid snov, ki je uporabna prav zaradi kristalizacijske podobnosti ledu, ga je treba v oblak spraviti tako, da se ta njegova lastnost ne bo spremenila. Generatorji na tleh pošiljajo srebrov jodid v naravne vzgornike, ki se pojavljajo pod oblaki. Ti vzgorniki naj bi zanesli aktivno snov na pravo mesto. Podobno delujejo tudi generatorji in plamenice na krilih letal: pri letenju pod bazo oblakov naj bi tudi vzgorniki zanesli snov navzgor v oblak. Letenje skozi nevihtne oblake je namreč tako nevarno, da je brezpogojno prepovedano. Izjema so le posebna, oklopljena letala, ki pa jih je v svetu le malo.

Pri dviganju z vzgorniki pa srebrov jodid potuje najprej skozi nižje predele oblakov, kjer je dosti vodnih kapljic. Če se tam zmoči, ni več podoben ledenemu kristalku, temveč drobni kapljici. Tako izgubi svojo bistveno lastnost, zato je učinkovitost takega posipanja zmanjšana. Tudi ni gotovo, da bo snov prišla na res pravo mesto v pravem času.

Rakete imajo glede tega prednost, da naj bi sproščale aktivno snov prav na izbranem predelu oblaka. Zato pa je potrebno, da je raketa res balistično brezhibna. Ne moremo z gotovostjo trditi, da je neka raketa zadovoljivo opravila svojo nalogo, če je uspešno startala. Nedvoumni neuspeh je očiten, če neeksplozivne rakete padejo na tla, bolj malo pa vemo, ali so druge rakete, ki jih štejejo za uspešno uporabljene, res letele po izbrani poti in posipale aktivno snov ob pravem času. V Sovjetski zvezi sicer večinoma uporabljajo rakete, poleg njih pa tudi topovske granate, ki cilj v splošnem zanesljiveje zadevajo.

Pri vseh načinih poseganja v oblake je skupno prizadevanje, da bi aktivno snov spravili na izbrano mesto v pravem času in v pravi količini. Ker letal nimamo toliko, da bi npr. po eno letalo obdelovalo vsak nevaren oblak, imajo tudi glede tega v načelu rakete (ali granate) prednost, saj jih hkrati lahko izstrelimo skoraj poljubno mnogo, vsekakor dovolj. Pri tem pa je treba upoštevati še gostoto letalskega prometa in z njim povezano tveganje, da bo ob potrebnem času ravno zaradi letal izstreljevanje raket onemogočeno.

Ponekod v svetu uporabljajo tudi posipanje oblakov z letali odzgoraj, ponekod tudi s posebnimi petardami, ki jih spuščajo v oblake. Te začnejo spoščati

8 aktivno snov, ko padejo na primerno mesto v oblaku.

Na splošno lahko rečemo, da tam, kjer država podpira in celo zakonsko ureja obrambo pred točo, večinoma uporabljajo rakete in imajo na razpolago tudi meteorološko podporo, vključno z radarjem. Kjer pa je obramba v rokah privatnih ali združenih združenj, z letali posipajo oblake, ponavadi odspodaj; uporaba raket pač zahteva tudi neki nadzor s strani države. Pogosto tudi tarnajo, da imajo od meteorološke službe preslabo podporo. To težavo je mogoče odpraviti s primerno organiziranostjo, kajti če meteorološka stroka lahko sodeluje pri državnih projektih, je prav tako mogoče doseči sodelovanje pri združenih ali privatnih.

Dobra pripravljenost in učinkovito delovanje operativnega sistema obrambe pred točo je seveda pogoj, brez katerega uspešna obramba ni možna. Toda temeljno vprašanje ni večja ali manjša učinkovitost izvajanja vseh potrebnih postopkov, temveč je bistveno naslednje: kako uspešna bi mogla biti obramba pred točo, če bi bili vsi predvideni postopki opravljeni brez pomanjkljivosti, napak in zamud? Ali je torej za morebitne neuspehe kriv neustrezen operativni sistem ali pa so težave morda globlje, v sami naravi in zapletenosti pojava?

## Obramba pred točo v svetu

Rekli smo že, da je metoda obrambe, ki se največ uporablja, nastala v Sovjetski zvezi. Od tam so poročali o veliki, za umetne vplive na geofizikalna dogajanja kar osupljivi uspešnosti. Na naravo na splošno namreč ne moremo kaj dosti vplivati, vesti, ki so prihajale, pa so sprva govorile celo o 80- do 90-odstotni, kasneje pa o 70-odstotni uspešnosti obrambe pred točo. Razumljivo je, da so se strokovnjaki — pa tudi javnost — začeli močno zanimati za obrambo pred točo po tej metodi.

Svetovna meteorološka organizacija (WMO) je z vprašalnikom skušala ugotoviti aktivnosti na področju umetnega vpliva na vreme nasploh in pri obrambi pred točo, posebej za obdobje 1975—1983 (5). Odgovore so dobili od okrog 50 % vprašanih članic (vseh je 150), približno 15 % držav (delež se iz leta v leto nekoliko spreminja) se ukvarja vsaj z enim od načinov vplivanja na vreme (razbijanje megle, povečevanje količine padavin, obramba pred točo).

Obramba pred točo je naraščala do leta 1980, ko je obsegala kakih 13 % od vseh umetnih vplivov na vreme, potem pa je padala do kakih 8 % v letu 1983. Pri tem se je obseg branjene površine v svetu počasi povečeval od okrog 0,3 milijona km<sup>2</sup> na skoraj 0,5 milijona km<sup>2</sup> v letu 1983. Združene države Amerike so v tem času obrambo opuščale, Jugoslavija povečevala, npr. Sovjetska zveza in Bolgarija pa sta jo vzdrževali na približno enaki površini (sliki 1 in 2). Jugoslavija se je po branjeni površini približala Sovjetski zvezi

in prehitela Združene države, Francijo in Kanado. Čeprav morda nekateri privatni ali združni projekti obrambe pred točo v tem pogledu niso upoštevani (npr. taki kot v sosednji Avstriji), pa so deleži branjenih površin v drugih državah vsekakor majhni (npr. v Avstriji na Spodnjem Avstrijskem 500 km<sup>2</sup> in na Štajerskem 700 km<sup>2</sup> v letih 1981—1982) (10).

## Eksperimenti v zvezi z obrambo pred točo v Združenih državah Amerike

Zakaj so npr. v Združenih državah obrambo pred točo opuščali? Med drugimi, komercialnimi projekti, so imeli tudi enega, ki ga je v raziskovalne namene podprla država (National Hail Research Experiment). Del tega poskusa NHRE je potekal v Coloradu (4) v letih 1972—1974. Sprva so uporabljali samo letala, kasneje tudi rakete, v bistvu pa so testirali uspešnost sovjetske hipoteze o konkurenci zarodkov toče za razpoložljivo vodo. Pri tem se s slučajnim odločanjem izbirali primere, ko so obrambo aktivirali, in tiste, ki so pustili naravi, da je delovala brez umetnih posegov. Tako so zbrali dva vzorca primerov in ju statistično primerjali med seboj.

Ocenili so, da sta si bila kljub slučajnemu izboru vzorca nekoliko različna, kajti ozračje je bilo v povprečju nekoliko bolj labilno (torej bolj nevarno za točo) v primerih s posipanjem kot v primerih, ko oblakov niso posipali. Ugotovili so, da pri 90-odstotnem pragu zanesljivosti ni statistično pomembne razlike med posipanimi in neposipanimi oblaki, tako glede količine dežja kot količine toče. Posipanje ni povzročilo sprememb v oblakih, ki bi jih lahko zaznali z radarjem. Ker so se posamezni rezultati med seboj močno razlikovali, so ugotovili, da lahko z zanesljivostjo 90 % trdijo, da ima posipanje najrazličnejše posledice: od 60-odstotnega zmanjšanja do 5-kratnega povečanja toče.

## Ocenjevanje uspešnosti

Odkod veliko neskladje med sovjetskimi poročili o vsaj 70-odstotni uspešnosti in rezultati poskusa NHRE ter še nekaterimi drugimi rezultati, ki ne kažejo na kak bistven učinek posipanja oblakov? Gre predvsem za različne načine ocenjevanja uspešnosti.

Pri operativni obrambi ocenjujejo škode na poljih, in čeprav si ocenjevalci škod na splošno prizadevajo za čim pravičnejšo oceno, je to kljub temu le ocena, na katero v posameznih primerih lahko vplivajo tudi kake subjektivne okoliščine. K škodi vča-

sih prištejejo tudi poškodbe, ki niso le posledica udarcev zrn toče, temveč tudi vetra, nalivov in podobno. Pri operativni obrambi pred točo tudi ni slučajnega izbiranja, ukrepe za obrambo izvajajo vedno, kadar so za to izpolnjeni določeni kriteriji. Vemo, da je prav toča zelo krajevno omejen pojav. Na neki manjši lokaciji, na nekem konkretnem polju, v nekem konkretnem sadovnjaku je (na srečo) sorazmerno redka. Tako je prav možno, da v nekem dnevu toča iz nekega oblaka ne bi padala, pa najsi imamo obrambo ali ne.

Prav zaradi tega pri raziskovalnih eksperimentih primerjajo slučajno izbrano sorazmerno veliko število enih primerov z delovanjem obrambe nasproti tistim brez obrambe. Pri tem je tudi treba povedati, kako zanesljiva je npr. trditev o neki stopnji uspešnosti. Statistične ocene na velikem številu primerov so namreč dosti bolj zanesljive kot tiste, ki jih dobimo iz nekaj posameznih primerov, in nekateri statistični testi so ustreznejši od drugih. Žal nekatere sovjetske metode ocenjevanja ne dajejo takih statistično neoporečnih odgovorov.

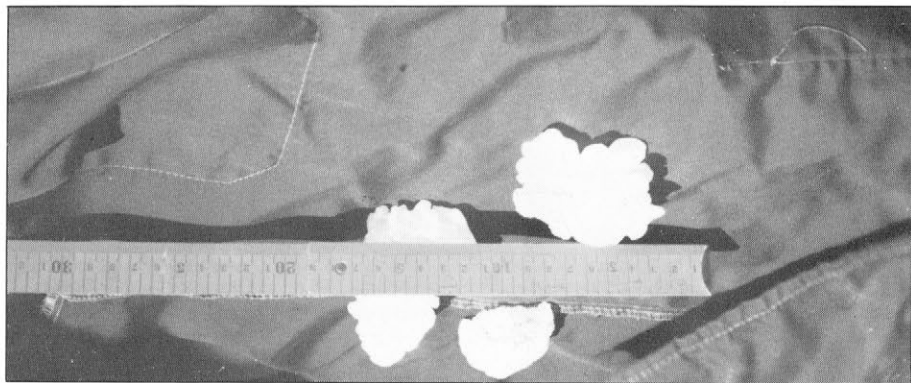
Manj zanesljive so tudi trditve o domnevno veliki uspešnosti obrambe, ki jo izvajajo privatna ali združna združenja. Te trditve ponavadi izhajajo iz vizualnih opazovanj oblakov pred posipanjem in po njem. Pri tem morda vpliva na oceno, ki torej ne sloni na objektivno merljivih podatkih, tudi povsem razumljiva subjektivna želja, da bi točo res preprečili. Ljudje, ki se združujejo za obrambo pred točo, so konec koncev od morebitne toče zelo prizadeti in si uspešno obrambo močno želijo. Značilni sta npr. izjavi, ki smo ju slišali na simpoziju v Ljubljani (9) od enega od udeležencev iz Bavarske, podobne prinaša pa tudi naš dnevni tisk, ko poroča o obrambi pred točo na sosednjem avstrijskem Štajerskem: »Nevaren oblak smo izdatno posuli s srebrovim jodidom, nakar se je čez čas razbil in toče ni bilo.« Ali pa: »Kljub izdatnemu posipanju je bil oblak tako močan, da toče nismo mogli preprečiti.«

Kako je z vizualnim ocenjevanjem nevarnosti oblaka smo že nekaj povedali, da pa se od nevarnih oblakov le redki razvijajo v točonosne, je (na srečo) tudi res. Zato taka trditev o nekem posameznem primeru ni zelo zanesljiva. Za obrambo v Avstriji sta dva, v obrambo nevpletena avtorja namreč po drugi strani ugotavljala — resda že pred časom — da takrat ni bilo jasnega znaka za zmanjšanje škod zaradi uvedbe obrambe (2,7).

## Zanesljive ocene o uspešnosti

Nedavni simpozij v Ljubljani o obrambi pred točo (9) je med zaključki strnil tudi mnenje, da je na splošno med izvajalci obrambe pred točo dosti več optimizma kot med tistimi, ki se s to problematiko raziskovalno ukvarjajo v inštitutih ali na univerzah. Raziskovalci trdijo, da je edina neoporečna ocena tista, ki upošteva:

- Izmed oblakov, ki so sicer dosegli neki vnaprej določen, merljiv kriterij za nevarnost toče, je treba slučajno, nepristransko



Zrna toče, ki je 12. 8. 1980 padala v Zgornji Kungoti, so imela premer tudi dobrih 7 cm.  
(Foto: Andrej Kranjc)

izbrati tiste, na katere potem umetno vplivajo, in tiste, ki jih pustijo, da se razvijajo brez umetnih posegov.

- Meriti je treba fizikalno definirane količine v zvezi s pojavljanjem toče, npr. energijo, s katero zrna toče udarijo na posebne točemerne, ali intenzivnost radarskega odboja od nevihtne celice.

- Statistično je treba primerjati te nepristransko izmerjene vrednosti, dobljene iz dovoljšnjega števila primerov oblakov, na katere so umetno vplivali z ustreznim številom izmerjenih vrednosti, ko umetnega vpliva ni bilo.

## Rezultati eksperimenta v predalpskem svetu

Za nas je morda bolj kot ameriški poskus NHRE, ki je bil na dvignjeni planoti na meji severovzhodnega Colorada, Nebraske in Wyominga, pomemben poskus Grossversuch, ki so ga v več fazah izvajali v južni Švici, v Ticinu. Tamkajšnji predalpski svet je klimatsko bolj podoben Sloveniji kot celinski predel na zahodu Great Plains. V tem poskusu (1), kjer so sodelovali Švicarji, Francozi in Italijani, so v 4. fazi v letih 1977—1981 (s podaljšanjem še v leto 1982) preizkušali delovanje sovjetske metode obambe. Dosledno so se držali kriterijev, ki so jih vnaprej postavili skupaj s sovjetskimi strokovnjaki, in uporabljali sovjetske rakete. V teh letih so s slučajnim izbiranjem zbrali 140 primerov neposipanih in 113 primerov posipanih točonosnih celic. Po temeljiti statistični primerjavi niso našli zanesljivih razlik med posipanimi in neposipanimi celicami.

Izmed množice rezultatov tega skrbno vedenega poskusa omenimo le nekatere bolj pomembne. Iz radarskih podatkov z zanesljivostjo 90 % sledi trditev, da ima posipanje lahko najrazličnejše učinke, od 30- ali 40-odstotnega zmanjšanja kinetične energije padle toče tja do 2,5 ali celo 10-kratnega povečanje te energije (različne ocene so dobili z uporabo različnih statističnih metod). Gosta mreža točemerov na tleh (eden na 4 km<sup>2</sup>) je zajela manj primerov: 47 primerov toče ob posipanih in 62 primerov ob neposipanih točenosnih celicah. Primerjava teh dveh števil je si-

cer v prid uspešnosti obrambe, vendar pa je razlika premajhna, da bi bila statistično zanesljiva. Z 90-odstotno zanesljivostjo namreč sledi trditev, da posipanje lahko povzroči kakršenkoli učinek med 66-odstotnim zmanjšanjem in 75-odstotnim povečanjem kinetične energije padle toče za posamezno točenosno celico ali med 76-odstotnim zmanjšanjem in 43-odstotnim povečanjem te energije, če obravnamo točo, padlo prek celega dneva.

Rezultati tega poskusa niso statistično potrdili, da bi mogla biti sovjetska metoda obrambe na tem predelu južne Švice tako uspešna, kot trdijo, da je uspešna obramba ob Kavkazu (70 %). Nekateri sicer očitajo, da je bilo branjeno območje v Ticinu premajhno in da so vanj lahko vstopali že formirani oblaki. Toda ta težava se pojavlja povsod ob robovih branjene površine, pa naj bo ta še tako velika. Potemtakem bi kakih 30 km od meje ne bilo mogoče zagotoviti uspešne obrambe (približno toliko je bil širok branjeni pas v omenjenem poskusu).

## Sklep

Nekateri poskusi v svetu so kazali na možnost uspešnosti obrambe pri določenih tipih neviht. Npr. v Argentini so pri poskusu s slučajnim izbiranjem in na osnovi ocenjenih škod ugotovili, da ni nobenega znatnega učinka posipanja, če so obravnavali vse primere skupaj. Pač pa kaže na 70-odstotno uspešnost, če so posebej obravnavali samo nevihte ob hladni fronti, pri vseh ostalih, ki niso v zvezi s hladno fronto, pa naj bi bila škoda zaradi toče večja pri posipanih oblakih. O verjetnosti za uspešnost obrambe so, spet na osnovi podatkov o škodah, na podlagi statističnih analiz poročali tudi iz Srbije. Taka poročila so bila odločilna za uvajanje obrambe pred točo tudi v Sloveniji.

V Sloveniji je obramba pred točo podobna sovjetski. Ker je ta obramba operativna in brez slučajnega izbiranja, in ker ni zasnovana kot poskus, ki naj bi odgovoril na vprašanje o uspešnosti, ni možna ocena te uspešnosti po vseh kriterijih neoporečnosti, kot smo jih navedli. Kljub temu pa prav zdaj skupina strokovnjakov raziskuje, kaj je mogoče na osnovi razpoložljivih podatkov in glede na kvaliteto teh podatkov ugotoviti v zvezi z uspešnostjo obrambe pred točo v Sloveniji in kako zanesljiva bi mogla biti ta ugotovitev.

1. Federer, B., et al., 1986. Main Results of Grossversuch IV. J. of Climate and Applied Meteorology **25**, str. 917—957.
2. Friedrich, W., 1971. Versuche zur Hagelabwehr in Österreich. Wetter und Leben **23**, str. 103—114.
3. Kessler, E. (ed.), 1981 and 1982. Thunders-torms: A Social, Scientific, & Technological Documentary. Vol 1. (Sept. 1981) 206 str., Vol 2. (Feb. 1982) 603 str., Vol 3. (Apr. 1982) 313 str.
4. Knight, C. A., et al., 1979. Results of a Randomized Hail Suppression Experiment in Northeastern Colorado. Parts 1—9, J. Applied. Meteorol. **18**, str. 1521—1639.
5. König, L. R., 1986. Trends in Weather Modification 1975—1983. WMO, 23 str. Geneva.
6. Mezeix, J. F., 1987. Vue d'ensemble sur la modification artificielle des orages. Referat na 2. mednarodnem simpoziju o obrambi pred točo, Ljubljana, 1. in 2. okt. 1987.
7. Müller, W., 1973. Hagelschadenhäufigkeiten in der Oststeiermark, 1967—1972. Wetter und Leben **25**, str. 220—233.
8. Pruppacher, H. R., and J. D. Klett, 1978. Microphysics of Clouds and Precipitation. D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht etc., xvi + 714 str.
9. Rakovec, J. (ed.), 1987. Zbornik del 2. mednarodnega simpozija o obrambi pred točo, Ljubljana, 1. in 2. okt. 1987, 166 str.
10. Svabik, O., 1987. Review of Meteorological Aspects on Hail Defense Activities in Austria. Referat na 2. mednarodnem simpoziju o obrambi pred točo. Ljubljana, 1. in 2. okt. 1987.

Jože Rakovec

## The efficiency of modern methods of defence against hailstorms

The theoretical basis of modern methods for defence against hailstorms, as adopted in Yugoslavia and elsewhere in the world, is presented. The use of individual hypotheses in practice has been subjected to a critical survey. Since, at any given location, hailstorms are a fairly rare event, considerable care should be taken when assessing the success or failure of defence systems. Experts agree that the proper way to assess the successfulness of defence systems involves a comparison of a sufficient number of arbitrarily chosen cases where defence was activated with a corresponding number of cases when it was not. In all cases comparisons should be made only on the basis of well-defined, measurable quantities, which provide a realistic picture of the effect of hail. If the successfulness of defence systems is estimated on the basis of data which are not measured but obtained using more or less subjectively-based methods (e.g. the estimation of damage to crops, where it is not always possible to differentiate between damage caused by wind and that caused by hail), then firm opinions about this successfulness cannot be given.