

## OBRANA OD TUČE U HRVATSKOJ I SVIJETU

Posljednjih godina u Hrvatskoj se digla velika prašina oko uspješnosti operativnog provođenja obrane od tuče (OT), koje provodi Državni hidrometeorološki zavod, a financira državni proračun na teret svakog poreznog obveznika. Medijska eksponiranost tog problema postaje s dolaskom ljeta i pojavama šteta od olujnog nevremena praćenog tučom još intenzivnija. Često se pri tom spominje neslaganje u stručnim meteorološkim krugovima - jednih koji zagovaraju operativno provođenje obrane od tuče i onih drugih koji tu aktivnost smatraju neučinkovitom.

Ovdje treba naglasiti da **meteorološka struka i znanost**, kako u Hrvatskoj tako i u svijetu, **imaju jedinstveno mišljenje o tom problemu**, a dilemu stvaraju drugi interesni krugovi.

U Hrvatskoj postoji stajalište da je OT potrebna prvenstveno **poljoprivredi**. No, ima i drugih naznaka. Tako npr. štete od tuče na *materijalnim dobrima* u Kanadi i SAD-u prelaze veličinu šteta na *poljoprivrednim kulturama*. Zbog toga su velike osiguravajuće tvrtke odlučile uložiti novčana sredstva u istraživanja utjecaja na tučonosne procese bez obzira na poteškoće i neuspjehe. Pretpostavka je da su i vrlo mali pozitivni učinci smanjenja štete na materijalnim dobrima i poljoprivrednim kulturama dovoljan razlog ulaganja (0,5% - 1% premije).

### 1. Kratka povijest obrane od tuče u Hrvatskoj

Olujno nevrijeme uvijek je praćeno s izvjesnim strahom. Zapisi o pokušajima djelovanja na oluje (*zvonjava crkvenih zvona ili pucanje iz mužara i sl.*) u Hrvatskoj potiču već od sredine 19. stoljeća ("*Gospodarske novine*", 1855), a možda i ranije. Nakon Drugog svjetskog rata javljaju se pokušaji obrane ispaljivanjem raketa koje nose prema olujnim oblacima izvjesnu količinu kemijskog reagensa.

Obrana od tuče (OT) "suvremenijeg" tipa provodi se u Hrvatskoj u okviru Državnog hidrometeorološkog DHMZ-a preko 30 godina. Odluka o uspostavi sustava OT bila je političke naravi, preslikan je model obrane iz bivšeg Sovjetskog saveza (SSSR) u bivšu SFR Jugoslaviju. Tadašnje sovjetske tvrdnje u uspješnost ovih aktivnosti primljene su bez ikakvih znanstvenih i eksperimentalnih provjera.

U kolovozu 1970. na Psunju je postavljen radar za motrenje olujnih oblaka za područje tadašnje općine Nova Gradiška i njoj susjednih općina. To je značilo uspostavu sustava OT zasijavanjem olujnih oblaka (kumulonimbusa) s reagensom. Zasijavanje se provodilo lansiranjem određenog broja raketa koje su raspršivale čestice reagensa u određenom prostoru oblaka ili njegovoj blizini u trenutku kad su radarska mjerenja ispunjavala kriterij za djelovanje na olujne oblake. Svrha zasijavanja bila je sprječavanje ili smanjivanje padanja tuče, odnosno šteta od tuče i to prvenstveno na poljoprivrednim kulturama. Prijenos podataka omogućavao je sustav radioveza. Prve ocjene o uspješnosti suzbijanja tuče nisu bile utemeljene na objektivnim metodama, već često na grubim i nerealnim subjektivnim procjenama.

Područje provođenja OT postupno se širilo da bi konačno pokrilo šire područje međurječja Drave i Save, dijela međurječja Save i Kupe i Međimurja (25 200 km<sup>2</sup>). Domovinski rat djelomice je ograničio provođenje OT. Nije uključeno područje Baranje i Hrvatskog podunavlja kao posljedica ratnih djelovanja, gdje se OT nije obnovila. Početno su novčana sredstva osiguravala poljoprivredna dobra, zatim općine - pa su doneseni zakoni o OT (zadnji 2001). Sustav na cijelom branjenom području nije operativno istovrstan. U zapadnom dijelu branjenog područja radilo se s raketama i prizemnim generatorima, a na istočnom samo s generatorima. Djelovanje se provodilo preko 298 raketnih i 528 generatorskih postaja čijim radom se upravljalo preko 8 radarskih centara. U akcijama su se koristile rakete ALT-9 i prizemni generatori s otopinom AgI u acetonu. Trošilo se od 2000 do 8000 raketa i od 40.000 do 60.000 l otopine tijekom jedne sezone. Sezonsko operativno djelovanje provodilo se od 1. svibnja do 30. rujna.

Inače, tek od 1994. u OT uz rakete uvodi se i operativna OT gore spomenutim prizemnim generatorima. Novi način operativne OT uvodi se bez ikakvih prethodnih ili kasnijih istraživanja učinkovitosti, isplativosti, štetnosti utjecaja na okoliš. Djelotvornost prizemnih generatora je vrlo upitna, jer oni su u svijetu većinom napušteni.

Pored teorijskih nejasnoća, rad na terenu pokazao se upitnim i zbog tehničkih nedostataka (primjerice: kakvoće raketa i reagenasa, mogućnosti mjerenja radarom, održavanja radioveza). Osim toga, u slučaju da prethodno izostane, postoje realni problemi operativne prirode: nepostojanje adekvatne OT u susjednim zemljama, pitanje djelovanja u pograničnim područjima te povremena

zabrana djelovanja raketama zbog preleta zrakoplova (kontrola leta).

Sustav OT je tehnološki, organizacijski i operativno smješten u DHMZ, prije svega iz tradicijskih razloga. Ovakva organizacija djelatnosti u velikoj mjeri odstupa od svjetskih i europskih standarda gdje, u pravilu, državne meteorološke službe operativno ne obavljaju ovakve zadatke.

U posljednja dva desetljeća u svijetu su mnoge zemlje napustile operativnu OT. U nekim zemljama obrana još traje, no uz dvojbene rezultate. U stručnim i znanstvenim krugovima postoji mišljenje da za sada nema učinkovite operativne OT. Suglasno tome, Svjetska meteorološka organizacija (WMO) ne preporuča operativno djelovanje, već samo istraživanje djelovanja OT.

## 2. Obrana od tuče u svijetu

Način i organizacija provođenja OT u svijetu može se naći u dokumentima Svjetske meteorološke organizacije (WMO), koji ukazuju da se djelatnost OT na **državnoj razini** provodi **u okviru meteoroloških službi** uglavnom samo u zemljama bivše SFRJ (Hrvatska, Makedonija, Srbija i Crna Gora) te dijelom Kine i Rusije. Dokumenti pokazuju da djelatnost OT na državnoj razini **ne provodi ni jedna zemlja EU**. U nekim se zemljama na temelju privatne inicijative i privatnog ili lokalnog financiranja operativna obrana od tuče obavlja zrakoplovima i to na malom ograničenom području (npr. Austrija, Slovenija, Njemačka). Upravo je to razlog da u dokumentima Europske zajednice (EU) nema ni riječi o OT. Nadalje, bitno je istaći da su nacionalne meteorološke službe Slovenije i Mađarske prestale s OT početkom 90-tih godina. U Sloveniji je 1989. godine napravljena studija isplativosti OT, koja nije pokazala da je obrana imala utjecaj na smanjenje broja dana s tučom, kao i na promjenu režima oborine iz konvektivnih (tučonosnih) oblaka.

Tisućama godina ljudi su nastojali umjetno djelovati na vrijeme i klimu u svrhu povećanja vodnih resursa i ublažavanja vremenskih nepogoda. Moderna tehnologija djelovanja na vrijeme započela je koncem 40-ih godina dvadesetog stoljeća pronalaskom načina kako kapljice prehladnog oblaka pretvoriti u kristale leda ubacivanjem u oblake suhog leda ili jezgara srebrenog jodida. Tijekom sljedećih 50 godina istraživanja naše se znanje o mikrofiziци, dinamici i procesima stvaranja oborina iz prirodnih oblaka (kiša, tuča, snijeg) znakovito povećalo, kao i znanje o mogućnosti djelovanja ljudi na te procese.

Svjetska meteorološka organizacija izdala je [Izjavu o stanju umjetnog djelovanja na vrijeme \(Abridged Final Report of the Fifty-Third Session of the Executive Council, Geneva, 2001\)](#), a najnovije spoznaje objavljene su i u članku "Developments in hail suppression" (Bulletin WMO, Vol.53, No.2, April 2004).

Mogućnost utjecaja na mikrostrukture oblaka pokazana je u laboratoriju, simuliranjem numeričkim modelima, te provjeravana pomoću fizikalnih mjerenja u nekim prirodnim sustavima kao što su magla, stratiformni oblaci i kumulusi. Međutim, izravan fizikalni dokaz da se procesi nastanka oborine, uključujući i tuču, munja i vjetrova mogu znatno preinačiti pomoću umjetnih sredstava, nije moguće realizirati u znakovitoj mjeri. Složenost i raznolikost oblaka uzrokuje velike poteškoće u razumijevanju i uočavanju učinaka naših pokušaja da ih preinačimo na umjetan način. Kako se povećalo znanje o fizici i statistici oblaka i njihova primjena na preinačivanje vremena, razvili su se novi kriteriji procjene za vrednovanje pokusa na zasijavanju oblaka. Razvoj nove opreme kao što zrakoplovi s mikrofizičkim sustavima i sustavima za mjerenje kretanja zraka, radara (uključujući Doppler i mogućnost polarizacije), satelita, mikrovalnih radiometara, uređaja za mjerenje vertikalnog profila vjetra (wind-profiler), mreže automatskih kišomjera, postaja lokalne mreže - unijeli su novu dimenziju. Jednako je važan i napredak u kompjuterskim sustavima koji omogućuju procesiranje velikog broja podataka. Novi skupovi podataka koji se koriste zajedno sa sve sofisticiranijim numeričkim modelima oblaka pomažu u ispitivanju različitih hipoteza o umjetnom djelovanju na vrijeme. Pomoću nekih od ovih novih mogućnosti može se prirediti bolja klimatologija oblaka i oborina za provjeru hipoteza zasijavanja prije nego što se počne s projektima umjetnog djelovanja na vrijeme.

Kada bi se moglo točno predvidjeti oborinske procese sustava oblaka, bilo bi jednostavno otkriti učinak umjetnog zasijavanja na taj sustav. Očekivani učinci zasijavanja, međutim, gotovo su uvijek unutar granica prirodnih varijabilnosti (niski omjer između signala i šuma) pa je naša mogućnost predviđanja ponašanja prirode u ovoj sferi još uvijek ograničena.

Postoji mnogo hipotetičnih prijedloga za suzbijanje tuče, a u mnogim se zemljama eksperimentalno koriste metode zasijavanja. Fizikalne hipoteze uključuju stvaranje mnogih dodatnih embrija tuče s ciljem smanjenja veličine zrna tuče kako je već rečeno.

Naše razumijevanje oluja još uvijek nije dovoljno za pouzdanu prognozu o učincima zasijavanja na tuču. Mogućnosti povećanja ili smanjenja tuče ili kiše u određenim uvjetima bile su predmetom rasprava u znanstvenoj literaturi. Oluje sa superćelijama prepoznate su kao poseban problem.

Numeričke simulacije modela oblaka pružile su uvid u složenost procesa stvaranja tuče, no te simulacije još uvijek nisu dovoljno točne za davanje konačnih odgovora.

Učinjeno je nekoliko randomiziranih pokusa za suzbijanje tuče uz korištenje elemenata poput mase tuče, kinetičke energije, broja zrna tuče, i područja na koje je pala tuča. Međutim, većina pokušaja procjene uključila je nerandomizirane radne programe. U njima su često korišteni povijesni načini ocjene jačine tuče u odnosu na veličinu štete, katkada uz ciljana i kontrolna područja uz vjetar, no takve se metode mogu pokazati nepouzdanima. Težina znanstvenih dokaza do danas ne ukazuje na zaključke, koji bi bilo potvrdili ili zanijekali učinkovitost radnji vezanih uz suzbijanje tuče.

Značajan napredak u tehnologiji u zadnjih deset godina otvorio je nove putove kojima dokumentiramo i bolje razumijemo razvoj jakih oluja i tuče. Numerički 3-D (tro-dimenzionalni) modeli simulacija fizikalnih procesa u olujnom oblaku još uvijek nisu dovoljno precizni da bi nam dali odgovor na sva nejasna pitanja. Potrebni su novi pokusi o organizaciji oluja i stvaranju oborina uključujući tuču.

U prilog svega navedenog idu i [izjave vodećih europskih stručnjaka meteorologa](#) o operativnom djelovanju obrane od tuče. Stajalište o trenutnom stanju i mogućnosti obrane od tuče dala je i "Agencija Republike Slovenije za okolje" koje se može vidjeti na internet stranici:

[http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme\\_in\\_podnebjje/poro~cila\\_in\\_publikacije/HAIL\\_FAQ\\_20040628.pdf](http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebjje/poro~cila_in_publikacije/HAIL_FAQ_20040628.pdf)

#### 4. Zaključak

Svjetska znanstvena i stručna zajednica jedinstvena je u stavu da trenutno naša spoznaja o poznavanju fizikalnih procesa u oblaku i mogućnost njihovog predviđanja, a samim tim i djelovanja na eventualnu njihovu promjenu, još nisu na razini da bi se operativno provodila obrana od tuče. Stoga, trošiti državni novac na OT smatra se potpunim gubitkom. Bolje je ta sredstva prenamijeniti na nešto korisnije, kao na primjer za nadoknadu nastalih šteta od tuče, ali i ulaganja u daljnja istraživanja.

Državni hidrometeorološki zavod kao državna institucija za meteorološku struku, dužan je izvjestiti javnost o dosadašnjim znanstvenim ispitivanjima i rezultatima opravdanosti OT, kao i stajalištu Svjetske meteorološke organizacije. OT nije pitanje samo poljoprivrede već i cijele zajednice, jer svi porezni obveznici daju novac za nešto što nije znanstveno utemeljeno i s nepoznatim učincima zagađenja zraka i općenito djelovanja na prirodu.

Pripremili:

**Dr.sc. Branka Ivančan-Picek**, pomoćnica ravnatelja (Služba za meteorološka istraživanja i razvoj), voditelj znanstvenog projekta Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa ("Oluje i prirodne katastrofe u Hrvatskoj")

**Dr.sc. Krešo Pandžić**, pomoćnik ravnatelja (Služba za opću meteorologiju), naslovni docent na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, voditelj znanstvenog projekta Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa ("Metode meteoroloških mjerenja i asimilacije podataka")

**Dr. sc. Vlasta Tutiš**, načelnik Odjela za vremenske analize i prognoze, naslovni docent Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Mr.sc. Ivan Čačić**, pomoćnik ravnatelja (Služba za primijenjenu meteorologiju), član međuresorske Vladine radne grupe za OT

**Jerko Kirigin, dipl.inž.**, zamjenik ravnatelja DHMZ-a