

Toča in obramba pred njo

Marjan Divjak, Jožef Roškar, Tanja Cegnar, Branko Gregorčič, Jože Rakovec, Lučka Kajfež Bogataj

Uvod

Z zahoda se približujejo črni nevihtni oblaki. Posevkom na njivah grozi, da jih bo oklestila huda toča. Skupina mladih vojščakov hitro steče na polja in začne iz lokov s puščicami streljati v zrak. Takoj se ulije močan dež in le tu in tam pade kako drobno zrno toče. Mladci so bili uspešni! Preprečili so katastrofo!

Tako je bilo v Trakiji za časa starih Grkov. Kadar po streljanju ni bilo toče, je bila obramba uspešna. Kadar pa je toča padala, je bila obramba spet uspešna, kajti brez nje bi bilo vse le še huje. Z napredkom znanosti in tehnike v naslednjih dobah so obrambo prevzeli najprej cerkveni zvonovi, potem zvočni topovi in končno eksplozivne granate. Dandanes je v uporabi predvsem srebrov jodid, ki ga v oblake vnašajo talni generatorji, letala ali rakete. Kar se ni spremenilo, so le trditve strelcev, da so uspešni. Ali so res?

Kaj je toča?

Toča so ledena zrna, ki nastajajo v razvitih konvektivnih oblakih in včasih padajo na tla. V Sloveniji imajo zrna velikosti od graha do oreha, izjemoma kot kurje jajce. Ponekod v svetu, predvsem v severni Ameriki in v Indiji, dosežejo včasih velikost pomaranče.

Kako nastaja toča?

Najpreprosteje je razložiti nastanek toče v toplotni nevihti v mirnem zraku nad celino.

Poleti čez dan sonce močno segreje nekatere zemeljske površine. Zrak nad njimi se ogreje bolj kot zrak v okolici, se zredči in zaradi vzgona začne dvigati. Pri tem se razteza, ker prihaja v območja čedalje nižjega pritiska, in zaradi tega tudi ohlaja. Dviguje se vse dotlej, dokler je njegova temperatura višja od temperature okolice. Nastane navzgor usmerjen tok zraka, vzgornik.

Na višini, kjer se vzgornik dovolj ohladi, se začne vodna para v njem zgoščevati v oblačne kapljice, in sicer okrog številnih drobnih nečistoč – kondenzacijskih jeder. Kapljice so zelo drobne in tok jih nosi s seboj. Pri kondenzaciji se sprošča toplota in vzgornik se zato z višino ohlaja počasneje, kot bi se sicer. Oblačne kapljice v njem zaradi kondenzacije rastejo, hkrati pa se tudi ohlajajo. Ko se podhladijo na nekaj deset stopinj pod 0 stopinj, začno zmrzovati. Takrat se v zgornjem delu vzgornika pojavijo posamezni ledeni kristalčki. Zaradi razlike parnih tlakov nad vodo in ledom se začno debeliti na račun kapljic.

Ko se kristalčki dovolj odebelijo, jih vzgornik ne more več dvigovati; najprej začnejo lebdeči v njem, nato pa skozi njega padati proti tlu. Pri tem trkajo

z dvigajočimi se podhlajenimi kapljicami in se močno odebelijo. Nastanejo ledena zrna. Če je vzgornik šibak, nastanejo le drobna zrna, ki se stale, preden padejo na tla. Če pa je dovolj močan, nastanejo debela zrna, ki se vse do tal ne stalijo in pada toča.

Padavine pri padanju skozi vzgornik tega v spodnjem delu zaustavljajo s trenjem in ohlajajo z izhlapevanjem. Tako povzročijo tok hladnega zraka navzdol, z dolnik, in zadušijo izvor toplega vzgornika. Ta počasi odmre in oblak se razkroji.

Kakšen je vpliv vetra na razvoj neviht?

Nevihte v brezvetrju so razmeroma šibke in kratkotrajne, saj same sebe zadušijo; pravimo jim enocelične nevihte. Dajo malo toče, če sploh. Če pa nevihte nastajajo takrat, ko se smer vetra z višino obrača in/ali njegova jakost narašča, padavine ne padejo na tla skozi vzgornik, ampak poleg njega. Pri tem z dolnik sproži s spodrivanjem nov vzgornik ali pa okrepi dotedanjega. V prvem primeru nastane obnavljajoči se skupek enoceličnih neviht – večcelična nevihta, ki daje močno točo. V drugem primeru pa se rodi močan, dolgoživ in med seboj povezan par vzgornika in z dolnika – supercelična nevihta, ki na svoji poti neprestano proizvaja in trosi katastrofalno točo.

Kako pogosti so točenosni oblaki?

Enocelične nevihte s točo se v Sloveniji pojavijo vsako leto nekaj desetkrat, večcelične nekajkrat, povratna doba superceličnih neviht pa je pri nas nekaj let.

Kako lahko ugotovimo, če je v oblaku toča?

Najboljši način za to je meritev z vremenskim radarjem.

Kako deluje vremenski radar?

Vremenski radar je sestavljen iz treh osnovnih delov: oddajnika, antene in sprejemnika. Oddajnik tvori zaporedne pakete elektromagnetnih valov – radarske impulze, antena pa jih usmerja v ozek prostorski kot. Izsevani impulz potuje skozi atmosfero s svetlobno hitrostjo in če na svoji poti naleti na oviro – množico padavinskih delcev v oblaku, se na njej sipa. Del elektromagnetnih valov se sipa nazaj priti radarju, kjer jih z isto anteno zazna sprejemnik. Z usmeritvijo antene je določena smer, v kateri je ovira, z zakasnitvijo odmeva za časom izsevanja njena oddaljenost, s spremembo frekvence valovanja pa njena radialna hitrost gibanja. Iz jakosti odmeva je možno oceniti še različne lastnosti padavin.

Antena se vrti okrog navpične osi pri različnih nagibih navzgor. Usmerjanje in sevanje antene ter sprejem, shranjevanje in obdelavo radarskih odmevov izvaja računalnik, ki je preko ustreznega vmesnika povezan z radarjem. Radarski odmevi se sproti merijo in shranjujejo v računalnikov pomnilnik, kjer se uvrščajo v tridimenzionalno polje. Moč odmeva iz obsevanega mesta je tem večja, čim večje je število padavinskih delcev na prostorninsko enoto in čim večji so ti delci.

Najpreprostejše ugotavljanje toče v oblakih sloni na dejstvu, da premeri vodnih kapljic v oblaku ne morejo biti poljubno veliki, saj se večje kapljice začno hitro razletavati. Prav tako je število kapljic na prostorninsko enoto navzgor omejeno s številom razpoložljivih kondenzacijskih jeder. Moč odbojev od vodnih kapljic je torej tudi navzgor omejena in ponavadi ne presega neke mejne vrednosti. Večje vrednosti zato pomenijo prisotnost večjih padavinskih delcev – skoraj zanesljivo zrn toče.

Kako predvidimo razvoj in gibanje oblakov?

Za posamezen dan napovedujemo verjetnost točenosnih oblakov na podlagi izmerjenega ali napovedanega stanja atmosfere: pritiska, temperature, vlage in vetra. Verjetnost, da se bodo razvili točenosni oblaki, je tem večja, čim bolj topla in vlažna je plast zraka pri tleh, čim hitreje pojema temperatura z višino in čim bolj se z višino spreminja tudi smer vetra.

Za kratek čas vnaprej napovedujemo razvoj in gibanje konvektivnih oblakov na podlagi časovne ekstrapolacije njihovih radarskih slik. Za kako dolgo vnaprej je smiselno napovedovati na ta način, je odvisno od tipa in dologoživosti nevihtnih celic: enocelične za ~10 minut, večcelične za ~30 minut in supercelične za ~1 uro.

Kako bi lahko po teoriji vplivali na rast toče?

Toča raste s primrzovanjem podhlajenih vodnih kapljic na maloštevilne lebdeče ali padajoče zametke ledenih zrn. Če bi bilo teh kapljic manj ali če bi se slabše lepile na obstoječa ledena zrna, bi ta ne mogla uspešno zrasti. To sta dve temeljni zamisli za preprečevanje rasti toče.

Kako zmanjšati dotok kapljic v podhlajeni del vzgornika? Če bi v spodnjem delu zgornika nastajale dovolj debele kaplje namesto običajnih drobnih, bi morda iz zgornika izpadle, preden bi jih ponesel dovolj visoko. To lahko storimo z vnosom debelih higroskopičnih jeder, na primer kristalov navadne soli. Na njih se kondenzira vodna para v debele kaplje. Ali izpadejo ali ne, pa je odvisno od moči vzgornika. Pri razvitih oblakih je praviloma premočen za to. Metoda je znana kot nižanje trajektorij padavin. V naravi se to nenehno dogaja nad morji.

Kako preprečiti, da bi se podhlajene kapljice lepile na zametke ledenih zrn? Tako, da jih spremenimo v ledene kristale. Kristali se namreč slabo lepijo na ledena zrna. Če bi torej v področju rasti toče umetno pretvorili vse ali vsaj dovolj veliko število podhlajenih kapljic v ledene kristale, bi rast ustavili ali omilili. Namesto sorazmerno majhnega števila debelih zrn toče bi tako nastalo veliko število drobnih zrn, ki bi se na svoji poti do tal povsem ali večinoma stalila. To lahko storimo z vnosom zaledenitvenih kristalov primerne snovi, ki ima podobno kristalizacijsko strukturo kot voda, na primer srebrovega jodida, v podhlajeni del oblaka. Kristali takega reagenta delujejo prav tako kot kristali pravega ledu: debelijo se na račun podhlajenih kapljic. Metoda je znana pod imenom konkurenca zametkov toče in je, vsaj na papirju, najbolj obetavna izmed danes poznanih.

Kako lahko vnašamo zaledenitvena jedra v oblak?

Najboljši način je vnos z raketami, ki jih prožimo s tal ali iz letal v hladni del oblaka. Vnos v topli del oblaka s pomočjo talnih generatorjev ali letal, ki

letijo pod bazo oblaka, je slabši, ker se jedra trosijo tam, kjer ne delujejo zamrznitveno, in preden se dovolj dvignejo, se jih večina deaktivira, ker se omočijo.

Koliko jeder je potrebnih?

Čim več, tem bolje. Premajhno število ne doseže zadostnega učinka. Obstaja tudi možnost, da tedaj točo celo ojačijo.

Kako ugotovimo, ali je obramba uspešna?

Končni razsodnik resničnosti vsake domneve, torej tudi domneve o uspešnosti obrambe pred točo s posipanjem oblakov z zaledenitvenimi jedri, je poskus. Naj bo domneva še tako lepa, zaželjena in/ali utemeljena, njeno resničnost dokončno potrdi ali ovrže samo in zgolj poskus.

Najboljši poskus o uspešnosti obrambe pred točo je tak, da izberemo branjeno področje in vnaprej določimo, kakšne oblake bomo posipali in kako. Nato se vsak dan na slepo odločimo in oblake, ki zadoščajo kriterijem, bodisi posipamo ali pa ne. Hkrati na tleh s točemerji merimo, koliko toče je padlo. To ponavljamo toliko časa, da zberemo dovolj veliko število posipanih in neposipanih oblakov. Na koncu pogledamo, koliko je bilo toče iz posipanih in koliko iz neposipanih oblakov. Če je razlika statistično značilna v prid posipanim oblakom, je obramba uspešna, sicer pa ne. Rezultat je tem bolj natančen, čim večja sta oba vzorca oblakov. Ponavadi je za njuno pridobitev potrebno nekaj let, tipično od pet do deset.

Primerjava dveh območij, branjenega in nebranjenega oziroma kontrolnega, v istem časovnem obdobju je že obremenjena z napakami, saj je mikroklima na obeh območjih različna. Podobno velja za primerjavo istega območja v dveh obdobjih, branjenem in nebranjenem. Uporaba subjektivno ocenjene škode na poljščinah namesto objektivnih točemerov je še posebej vprašljiva, tudi če jo ocenjujejo zavarovalnice. Kakršnokoli sklepanje o uspešnosti obrambe na podlagi neprimernih, neslučajnih in/ali premajhnih vzorcev pa je neutemeljeno.

In kako, če je ekonomsko upravičena?

Obramba je ekonomsko upravičena, če so njeni stroški manjši od škode po toči, ki jo prepreči. Pri operativni obrambi pa je nemogoče ugotoviti, kaj bi se zgodilo, če je ne bi bilo. V naravi namreč ni mogoče ponoviti poskusa tako, da bi isti oblak bodisi branili ali pa ne. Objektivna ocena je torej možna le pri slučajnem odločanju za posipanje oziroma neposipanje.

Kje vse je (bila) organizirana obramba pred točo?

Obramba pred točo s posipanjem oblakov z zaledenitvenimi jedri se je razvila v šestdesetih letih dvajsetega stoletja v tedanji Sovjetski zvezi. Za tiste čase je bila dobro zasnovana: temeljila je na uporabi radarjev in talno proženih raket. Izvajala jo je država in izvajalci so sprva trdili, da so rezultati vzpodbudni, saj da je obramba uspešna preko 90-odstotno.

Zaradi domnevno dobrih rezultatov se je obramba po sovjetski metodi kmalu razširila v več vzhodnoevropskih držav in v sedemdesetih letih tudi v Jugoslavijo ter njeno republiko Slovenijo. Sovjetske trditve o uspešnosti so

bile v Sloveniji sprejete brez predhodnega eksperimentalnega preverjanja, ki je težko in drago, pa tudi dovolj utemeljenih nasprotnih mnenj o neuspešnosti ni bilo zaslediti. Obramba je sprva potekala v okolici Maribora s predelanim vojaškim radarjem kratkega dosega, kasneje pa se je razširila nad celotno vzhodno in osrednjo Slovenijo. Takrat je bil tudi vzpostavljen nov radarski center Lisca z vremenskim radarjem dolgega dosega. Obrambo je financiral državni proračun, izvajal pa jo je tedanji Hidrometeorološki zavod.

Drugod po svetu se državna obramba z raketami zaradi relativno gostega zračnega prometa ni prijela. Pojavilo pa se je bolj ali manj privatno branjenje na več manjših območjih, in sicer z uporabo talnih generatorjev in/ali letal. Hkrati so izkušnje začele kazati, da obramba morda le ni tako učinkovita, kot se je dotlej mislilo. Zato je bilo narejenih več poskusov (opisanih v nadaljevanju), ki so dali v glavnem negativne rezultate. Na polagi teh rezultatov so širokopotezne državne obrambe sredi devetdesetih let začele odmirati. Takrat je bila raketna obramba ukinjena tudi v Sloveniji. Danes imajo aktivno, državno-meteorološko podprto obrambo v Evropi le še na Hrvaškem in v Srbiji. Branjenje, v glavnem z letali, je prepuščeno privatni iniciativi, je brez državne podpore in omejeno na majhna področja. Tipičen zgled za to je Avstrija.

Kateri poskusi so preverili njeno uspešnost?

Trije najboljše poskusi, ki so doslej preverjali uspešnost obrambe pred točo, so bili naslednji: NHRE v Ameriki, GROSSVERSUCH IV v Švici in NDCMP v Ameriki.

Kakšen je bil poskus NHRE v Ameriki?

Poskus NHRE (National Hail Research Experiment) je v letih 1972-74 izvedel ameriški center za atmosferske raziskave NCAR (National Center for Atmospheric Research). Poskus je potekal v osrednji severni Ameriki in je trajal tri leta. Oblake so posipali iz letal, in sicer najprej s plamenicami in kasneje z raketami zrak-zrak. Tako so poskušali čim bolj natančno posnemati sovjetsko metodo dostave zaledenitvenih jeder v oblak. Pri tem so uporabljali dvojno slepo metodo. Čeprav je bil poskus sprva načrtovan kot petletni, je bil po treh letih prekinjen zaradi negativnih rezultatov.

Opis poskusa in dobljene rezultate lahko najdemo v več prispevkih revije Journal of Applied Meteorology v obdobju 1975-1985. Omenjena revija je najboljša na svetu za objavljanje prispevkov iz uporabne meteorologije. Rezultat NHRE je bil, prizanesljivo rečeno, neodločen: z 90% statistično zanesljivostjo je posipanje povzročilo izide med 60% zmanjšanjem in 5-kratnim povečanjem toče. Posebej je bilo ugotovljeno, da je v superceličnih nevihtah tolikšen dotok vlage v področje rasti toče, da te praktično ni mogoče zmanjšati; nasprotno, zlahka jo še povečamo.

In poskus GROSSVERSUCH IV v Švici?

Poskus GROSSVERSUCH IV so skupaj izvedli raziskovalci iz Francije, Italije in Švice na področju južne Švice v letih 1977-82. Preveriti so želeli sovjetsko metodo obrambe pred točo. Uporabili so enake rakete, radarje in metodologijo kot v Sovjetski zvezi. Vsi operaterji so se predtem izšolali pri sovjetskih specialistih in za to dobili ustrezna potrdila.

Sprva je bil poskus načrtovan kot petleten, da bi pridobili dovolj velik vzorec posipanih in neposipanih nevihtnih oblakov. Da bi vzorec povečali, so izvajanje podaljšali za eno leto. Točo pri tleh so merili s točmeri in radarji. Ali bodo potencialno nevarne oblake posipali ali ne, so določali na slepo vsak dan posebej. Tako so zbrali vzorec 216 nevihtnih oblakov, od katerih je bila približno polovica posipanih.

Glavni rezultat, objavljen leta 1986 v reviji Journal of Applied Meteorology, je bil naslednji: posipanje oblakov po sovjetski metodi ni povročilo statistično značilnega vpliva na kinetično energijo izpadle toče. Dodatne analize različnih količin, na primer števila zrn na kvadratni meter, pa so pokazale, da z 90% statistično zanesljivostjo posipani oblaki dajejo med 30% manj in 75% več toče.

Pa NDCMP v Ameriki?

Kombinacija operativne obrambe in poskusa NDCMP (North Dakota Cloud Modification Project) je časovno najdaljša tovrstna dejavnost na svetu in menda še traja; glavna je potekala v letih 1976-1988. Aktivnost je tedaj nadzirala posebna državna komisija Severne Dakote. Nad branjenim območjem so izvajali operativno posipanje iz letal, točo na tleh pa ocenjevali na podlagi zavarovalniških škod na poljščinah. Kot primerjava jim je služilo kontrolno, neposipano območje in zavarovalniške škode na njem.

Rezultati operative in poskusa so bili v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja objavljeni v reviji Journal of Applied Meteorology. Primerjava zgodovine škod po toči na obeh področjih kaže, da se je v obravnanem razdobju škoda po toči na branjenem območju zmanjšala za 40%. Ocena je manj zanesljiva predvsem zaradi posrednega ocenjevanja delovanja obrambe, vsakoletnih sprememb kmetijskih kultur na obeh področjih, sprememb cen kmetijskih pridelkov in še posebej sprememb v tehnologiji in praksi obdelave polj.

Kaj pa pri nas?

Leta 1988 je bila tudi v Sloveniji izdelana študija o uspešnosti obrambe. Izdelala jo je Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo na Univerzi v Ljubljani, skupaj s Hidrometeorološkim zavodom. Za podlago so služili, med drugim, podatki o padavinah, toči in škodi na poljščinah v dveh obdobjih, pred uvedbo obrambe in med njenim izvajanjem.

Analiza podatkov je pokazala, da z visoko stopnjo statistične zanesljivosti obramba ni vplivala ne na količino padavin iz konvektivnih oblakov, ne na število dni s točo na meteoroloških postajah. Sicer opaženo zmanjšanje kmetijske škode na določenih delih branjenega ozemlja pa ni bilo statistično zanesljivo.

Ali je torej obramba pred točo uspešna ali ne?

Ne, obramba ni dokazano uspešna. Nasprotno, možno je celo, da je v nekaterih primerih bolj škodljiva kot ne. Tako žal kažejo izidi najboljših dveh poskusov, kar jih je bilo do sedaj narejenih, NHRE in GROSSVERSUCH IV.

Kakšno je mnenje meteorološke stroke?

Mnenje stroke, doma in v svetu, je enotno: domneva o vplivanju umetnih zaledenitvenih jeder na podhlajene kapljice je fizikalno utemeljena in potrjena s poskusi na slojastih oblakih. Za nevihtne oblake pa ni prepričljivih dokazov, da bi vnos zaledenitvenih jeder statistično značilno zmanjšal točo na tleh. Poraba sredstev za operativno obrambo je zato na današnji stopnji poznavanja nevihtnih procesov nesmotrna.

Ali kdo nasprotuje uradnemu mnenju stroke?

Da. Uradnemu mnenju stroke nasprotujejo predvsem izvajalci operativnih obramb pred točo oziroma njihovi sodelavci. Poleg pomanjkljivih dokazov o svoji uspešnosti često izjavljajo tudi naslednje: "Ni važno, ali obramba pred točo deluje, pomembno je, da ljudje čutijo, da se vsaj poskušamo boriti proti tej naravni ujmi."

S tem mnenjem se ne strinjamo. Tovrstna (slaba) uteha temelji na slepljenju ljudi. Odrasel in zrel človek bo znal sprejeti dejstvo, da obramba ni dokazano uspešna. Uteho bo našel v tem, da po vsem svetu potekajo bitke (raziskave) za razumevanje neviht, in da bo na tej podlagi morda kdaj le mogoče krotiti to naravno ujmo.

Kako si lahko svoje mnenje ustvari nestrokovnjak?

Vsakdo si lahko kljub nepoznavanju meteorologije in brez študija objavljenih poskusov ustvari dokaj utemeljeno mnenje o tem, ali je obramba bolj verjetno uspešna ali neuspešna.

Mar ne bo bolj zaupal poskusu, ki ga je naredila ustanova, ki ne živi od obrambe; ki je bil randomiziran (odločanje o posipanju je bilo slučajno); ki je objektivno meril količino izpadle toče; in ki je bil recenziran in objavljen v priznani svetovni strokovni reviji?

Bolj pa bo dvomil v "poskus", ki ga je naredila ustanova, ki živi od obrambe; ki je bil narejen nerandomizirano; ki je temeljil na subjektivni oceni škode po toči; katerega rezultati sploh niso bili objavljeni ali pa so bili objavljeni le v nerecenzirani literaturi dvomljive narave.

Kot je razvidno iz povedanega, je tudi odločitev za nestrokovnjaka dokaj lahka.

Zaključna misel

Sredstva državnega proračuna Republike Slovenije so omejena. Trošiti jih moramo smotrno in utemeljeno. Operativna obramba pred točo ni dokazano učinkovita in je morda celo škodljiva, zato denar davkoplačevalcev raje potrošimo v druge, bolj koristne in strokovno utemeljene namene, predvsem za povrnitev škod po toči. Ne nasprotujemo privatno organizirani obrambi kakršnekoli vrste, seveda brez državne podpore in/ali koncesije, vendar smo kot stroka dolžni opozoriti njene morebitne plačnike in/ali naročnike, da so/bodo tozadevna sredstva porabljena nesmotrno. Kakor zaenkrat kaže, in tako bo še dolgo, sta najboljši obrambi pred točo zaščitna mreža in zavarovanje.