

NAPUTAK ZA RAD U OBRANI OD TUČE

Gerber Zorislav
Kovačić Tomislav
Marković Zlatko
Nikolić Davor
Osman Velimir
Peti Damir

Zagreb, ožujak, 2003. godine

SADRŽAJ

NAPUTAK ZA RAD U OBRANI OD TUČE	1
1. UVOD	2
2. RADARSKI SISTEM.....	3
3. OSNOVNI TEORIJSKI TIPOVI TUČONOSNIH PROCESA.....	3
3.1. STRUKTURA JEDNOSTANIČNIH PROCESA I NJIHOVIH RADARSKIH ODRAZA	5
3.2. STRUKTURA RADARSKIH ODRAZA I DINAMIKA RAZVOJA VIŠESTANIČNIH PROCESA	6
3.3. STRUKTURA RADARSKIH ODRAZA I DINAMIKA RAZVOJA SUPERSTANIČNIH PROCESA	7
4. RASPOZNAVANJE TIPOVA TUČONOSNIH PROCESA U OPERATIVNOM RADU	9
5. RADARSKA OBILJEŽJA TUČONOSNIH PROCESA	11
5.1. POREDAK RADARSKIH ODRAZA	11
5.2. ANOMALIJE U PREMJEŠTANJU ODRAZA	12
5.3. OBLIK RADARSKOG ODRAZA NA PPI EKRANU.....	13
5.4. OBLIK RADARSKOG ODRAZA NA RHI EKRANU	13
5.5. REFLEKTIVNOST ODRAZA.....	14
6. OPERATIVNO MJERENJE RADARSKIH PARAMETARA OBLAKA	14
6.1. KRITERIJI ZA DJELOVANJE RAKETAMA	15
7. NAČINI ZASIJAVANJA CB-a ZAVISNO O TIPU, SMJERU I BRZINI KRETANJA, TE KARAKTERISTIČNIM OBLICIMA DOBIVENIM OPAŽANJEM NA RADARSKOM EKRANU	16
7.1. ZASIJAVANJE JEDNOSTANIČNIH CB-a	17
7.2. ZASIJAVANJE VIŠESTANIČNIH CB-a.....	17
7.3. ZASIJAVANJE SUPERSTANIČNIH CB-a.....	18
7.4. ZASIJAVANJE PRVOG RADARSKOG ODRAZA U OBLAČNIM SISTEMIMA	19
7.5. ZASIJAVANJE CB-a S OBZIROM NA TRENUTNI STADIJ RAZVOJA.....	19
8. RAKETE ZA OBRANU OD TUČE	20
8.1. OSNOVNA NAČELA OBRANE OD TUČE RAKETAMA	20
8.2. DJELOVANJE RAKETAMA.....	20
8.3. SVOJSTVA RAKETA I OSOBINE REAGENSA.....	21
8.4. MREŽA LP-a I PODRUČJE ZASIJAVANJA POJEDINE LP-e	21
8.5. KOLIČINA I TEMPO ZASIJAVANJA.....	22
9. KONTROLA LETA	23
10. SPREMANJE RADARSKIH PODATAKA	23
11. OBRANA OD TUČE PRIZEMNIM GENERATORIMA KAO SASTAVNIM DIJELOM KOMBINIRANE OBRANE OD TUČE	23
11.1. UVOD.....	23
11.2. OSNOVNE POSTAVKE KOMBINIRANOG DJELOVANJA	24
11.3. MREŽA PRIZEMNIH GENERATORA	25
11.4. DOZIRANJE, MOĆ ZASIJAVANJA, FAKTOR ZASIJANOSTI OLUJE	26
11.5. MOGUĆNOST VIŠESTRUKOG DJELOVANJA.....	26
11.6. POŽELJNI ZAHTJEVI NA PRIZEMNI GENERATOR.....	27
12. ZAKLJUČAK	

1. UVOD

Dinamičan razvoj obrane od tuče (OT) na području Republike Hrvatske uvjetuje neprekidan rad na izradi i modifikaciji već postojeće metodologije rada u operativi OT. Ovaj naputak za rad u OT je pokušaj da se na jednom mjestu u cijelosti iznesu svjetska saznanja iz OT poglavito s onih klimatskih područja približno istih osobina kao što su u kontinentalnom dijelu Hrvatske u međurječju Save i Drave. Ovaj naputak najviše će koristiti za operativni rad stručnih ekipa na radarskim centrima. Njime bi se definirala jedinstvenost načina radarskih mjerenja i prepoznavanja tučonosnih procesa, kao i način zasijavanja tučoopasnih oblaka (vođenje akcije OT raketama u kombiniranoj OT) za sve radarske centre na branjenom području.

Od 1994. godine u Republici Hrvatskoj provodi se kombinirana OT raketama i prizemnim generatorima, pa se ovaj naputak bavi i metodologijom dostavljanja meteorološkog reagensa u željeno područje atmosfere pomoću oba načina zasijavanja.

2. RADARSKI SISTEM

Radar je uređaj kojim se mjere parametri tučonosnih oblaka, pa je bez njegove upotrebe nezamisliva radarski dirigirana OT. Riječ radar kratica je od engleskih riječi “radio detection and ranging” koje se prevode kao “radio otkrivanje i određivanje udaljenosti”. Najveći doprinos u razvoju radarske tehnike dali su Englezi Randall i Boot, te sir Watson–Watt. Za OT se najviše koriste radarski sistemi takozvanog “S” područja valne duljine oko 10 cm. Princip rada radara je sljedeći: predajnik (odašiljač) proizvodi impulse velike snage elektromagnetskog zračenja i u kratkim intervalima vremena šalje ih prema anteni koja ih emitira u prostor u određenom pravcu. Nakon emisije sklopka zatvara predajnik, a otvara prijemnik koji ima zadatak primiti reflektirane impulse, te ih pojačati i poslati na indikatore (ekrane – pokazivače). Treba napomenuti da je antena za predaju i prijem signala zajednička. Reflektirani signali od meteoroloških ciljeva u kojima su prisutne kapljice vode ili kristali leda i koje primi antena preko sklopke šalju se u prijemnik s kojeg se odvođe na tri tipa pokazivača, i to panoramski (PPI), amplitudni (I) i pokazivač vertikalnog razvoja (RHI). Predajnik radara emitira na anteni vretenasti snop elektromagnetskog zračenja. Uz pretpostavku normalne refrakcije (zakrivljenost snopa zračenja je prema tlu) uz uobičajenu razdiobu temperature, vlage i tlaka zraka sa visinom, radarski snop se širi kroz prostor trajektorijom prema tlu, tj. radarski snop je ispod pravog horizonta, a to se još naziva poboljšanje ili dobit radarskog zračenja. No nažalost površina zemlje nije idealno ravna, nego postoje orografske prepreke koje se na ekranu radara vide kao stalni odrazi. Za elektromagnetsko zračenje radara orografija je prava fizička prepreka. U OT je osnovni zadatak izbjeći stalne odraze ili ih svesti na najmanju moguću mjeru. Meteorološki radar namjenjen je za otkrivanje i praćenje razvoja i kretanja atmosferskih procesa koji su povezani sa oblačnim sistemima i popratnim pojavama. Pomoću radarskog sistema mogu se otkriti oblaci, oborine, područja povećanih gradijenata meteoroloških elemenata, turbulencije, vertikalna strujanja, atmosferska pražnjenja itd. Iz radarskih osmatranja dobivaju se podaci o prostornom rasporedu, strukturi, obliku i veličini osmotrenih meteoroloških ciljeva. U OT se koriste radarski sistemi takvih karakteristika koje omogućavaju otkrivanje konvektivnih grmljavinskih procesa.

3. OSNOVNI TEORIJSKI TIPOVI TUČONOSNIH PROCESA

Konvektivna nestabilnost i stupanj vlažnosti atmosfere određuju intenzitet grmljavinsko – tučonosnih pojava, a prostorna raspodjela stanične strukture i dinamika razvoja tučonosnih oblaka u osnovi se određuje strukturom vjetrova u atmosferi. Stanica je kompaktno područje

relativno jakog uzlaznog strujanja koje se kroz određeno vremensko razdoblje širi od nižih na srednje i više slojeve atmosfere. Ovisno o vremenu trajanja uzlazne struje razlikujemo stanice kratkog i dugog životnog vijeka. Kao osnova klasifikacije grmljavinsko – tučonosnih procesa služe slijedeće osobine:

- stanična struktura tučonosnih oblaka
- oblik konvektivne stanice
- dinamika razvoja oblačnog sistema kao cjeline
- dinamika razvoja pojedine konvektivne stanice
- dinamika razvoja novih i disipacija starih konvektivnih stanica u prostoru i vremenu
- dinamika rasprostiranja procesa obrazovanja oblaka i oborina u prostoru
- pravac i brzina premještanja konvektivnih stanica u odnosu na vodeću struju i premještanje oblačnog sistema kao cjeline
- termodinamički i aerosinoptički uvjeti konvektivnog razvoja

Svaka obična konvektivna stanica prolazi u svom životu kroz tri stadija, i to: kumulusni stadij (oblaci roda Cu i Cu con), zreli stadij (Cb) i stadij raspadanja (sve vrste naoblake od niske, srednje i visoke), dok superstanica ima drugačiji tijek zbivanja.

Uzlazna strujanja se često zovu i vertikalna strujanja, jer je kod njih prisutna vertikalna komponenta gibanja. Riječ je u stvari o kosim strujanjima, te su i Cb-i u pravilu nagnuti (opaženo vizualno i radarskim mjerenjima). Povoljno bi bilo znati nagnutost uzlaznih strujanja u području zasijavanja, jer je poželjno taj prostor zasijavati okomito na smjer gibanja uzlazne struje, s obzirom da to smanjuje mogućnost pojačavanja Cb-a.

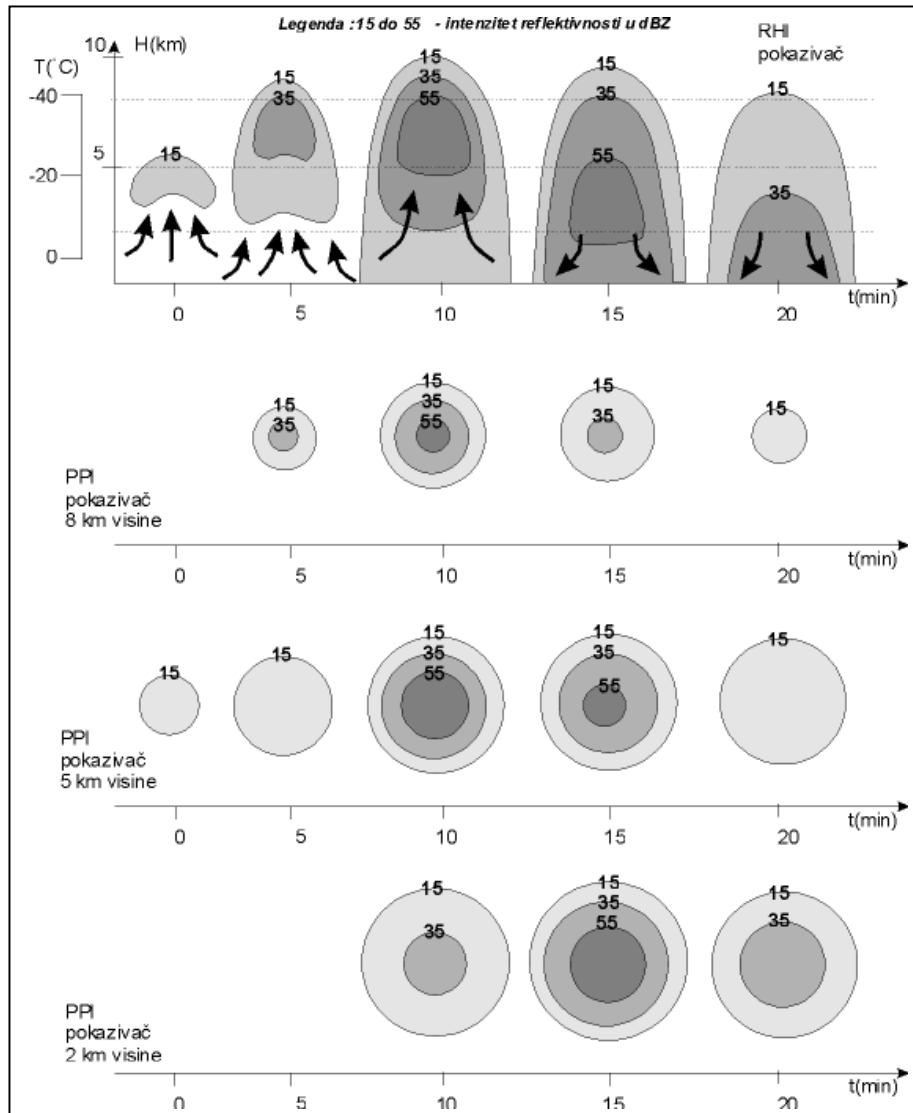
Tučonosni procesi imaju mnogobrojne regionalne osobine. Njihova struktura, dinamika razvoja, pravac i brzina premještanja u znatnom stupnju se transformira pod utjecajem reljefa površine tla. Dokazano je u operativi OT da orografija ima utjecaj na porast vrha oblaka i promjenu smjera i brzine kretanja tučonosnih procesa. Tučonosni procesi mogu se razvrstati u tri osnovna tipa cumulonimbusa koji se operativno dosta teško mogu razlučiti na radarskom ekranu, jer često znaju biti kombinacija dvaju ili više tipova takvih procesa. To su:

- jednostanični procesi
- višestanični procesi (uređeni, neuređeni i slabo organizirani)
- superstanični procesi

Ovisno o intenzitetu pojava, konvektivni procesi mogu biti štetonosni i neštetonosni, a ovisno o vremenu trajanja procesa mogu biti kratkoživući i dugoživući.

3.1. STRUKTURA JEDNOSTANIČNIH PROCESA I NJIHOVIH RADARSKIH ODRAZA

Jednostanični procesi se sastoje iz nekoliko izoliranih i neizoliranih konvektivnih stanica, u različitim stadijima razvoja, koje postoje istovremeno. Radarski odraz konvektivne stanice na PPI pokazivaču ima oblik kruga ili elipse, a na RHI pokazivaču ima obično osnosimetrični oblik u odnosu na vertikalnu os. Ono što nas najviše zanima je prvi radarski odraz (PRO), tj. ono što se u početku stvaranja Cb-a može zamijetiti radarom, a javlja se iznad zone uzlaznih struja i ima oblik prevrnutu čaše sa dnom na gornjoj strani (slika 1).



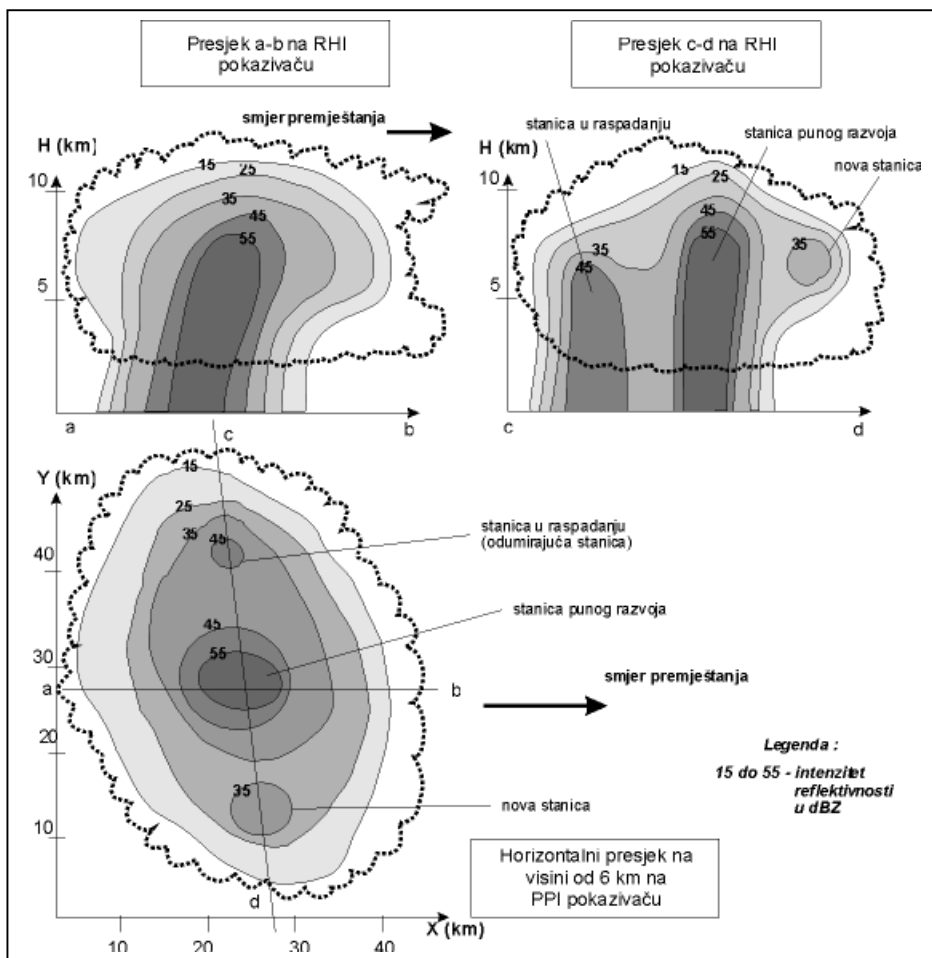
Slika 1. Shema stvaranja i dinamika razvoja jednostaničnog procesa na RHI i PPI pokazivačima

Kao pokazatelj zone uzlaznih struja javlja se područje “slabog radarskog odraza”. PRO kod tučoopasne stanice javlja se na visini 4 -7 km, netučonosnih stanica od 2 do 5 km visine, što odgovara u većini slučajeva operativnim mjerenjima. Nakon pojave PRO, primjećuje se nagli rast intenziteta radarskog odraza i to horizontalnih i vertikalnih dimenzija. Uzlazna struja dostiže 15 m/s za oko 10 minuta. Kroz 3-5 minuta radarski parametri dostižu maksimum, a nakon 10-15 minuta dolazi do spuštanja područja pojačanog radarskog odraza, dok se pojava oborine javlja 15-20 minuta poslije pojave PRO. Uslijed osne simetrije konvektivne stanice oborina se izlučuje u zoni uzlazne struje, što dovodi do narušavanja konvektivne stanice. Vrijeme života takvih stanica iznosi u srednjoj vrijednosti 30-50 minuta. One su obično slabopokretne, a tuča pada u obliku lokalnih staza dimenzija 2x2 km. Obični jednostanični

procesu su takvih karakteristika da se PRO javlja na visini 3-6 km iznad tla (visina izoterme -5°C) sa maksimalnim intenzitetom od 30 dBZ-a. U zreloj fazi intenzitet raste do 45-50 dBZ-a. Odraz u specijalnim slučajevima može postati i višestaničan, a promjer može biti od 5 do 20 km, ovisno o intenzitetu hladne fronte. Ukupni životni vijek manji je od 1 sat i 30 minuta. Pulsirajući jednostanični procesi su takvih osobina da se PRO javlja na visini 3-6 km iznad tla, u visini izoterme -5°C . No, maksimalni intenzitet od 50 dBZ je viši nego kod obične stanice i spušta se s vremenom prema tlu. Takva stanica je ekstremno tučoopasna ako izolacija od 50 dBZ prelazi visinu od 6 km. Za nju je još karakteristična kratkoživuća uzlazna struja u obliku mjehura brzine veće od 30 m/s, i javlja se tuča promjera do 5 cm koja je povezana s lokacijom zone odražajnosti od 50 dBZ. Samo trajanje nevremena na tlu je od 30-50 minuta.

3.2. STRUKTURA RADARSKIH ODRAZA I DINAMIKA RAZVOJA VIŠESTANIČNIH PROCESA

Višestanični procesi sastoje se od nekoliko (2-4) konvektivnih stanica koje se nalaze u različitim stadijima razvoja, horizontalnih dimenzija 15-50 km, a visine njihovog radarskog odraza (visine vrha oblaka) kreću se od 10 - 14 km, a gotovo uvijek iznad 7 km visine. Na srednjim visinama javlja se nadstrešnica koja se proteže do 6 km ispred ruba odraza na niskim visinama. Nove stanice se razvijaju uglavnom na desnoj strani u odnosu na smjer kretanja čitavog konvektivnog sistema uzrokujući napredovanje sistema u desno. Nova stanica se razvija svakih 5 do 10 minuta i javlja se kao nadstrešnica na srednjim visinama ispod kojih se javlja zona slabe odražajnosti (BWER – bounded weak echo region) (slika 2). Život kompletnog sistema je od jednog do nekoliko sati.



Slika 2. Shema dinamike razvoja višestaničnog procesa na RHI i PPI pokazivačima

U zavisnosti od režima vjetra u atmosferi imamo tri podtipa takvih višestaničnih procesa.

3.2.1. UREĐENI VIŠESTANIČNI PROCESI

Karakteristično kod ovog procesa je da se nove stanice obrazuju na desnom boku oblačnog konvektivnog sistema, brzo se razvijaju i premještaju u lijevo od pravca kretanja oblačnog sistema i kroz neko vrijeme dostižu maksimum u razvoju, tj. dominiraju unutar sistema. Pravac premještanja grmljavinsko tučonosnog procesa kreće se u desno od pravca vodeće struje i to za kut od 10° do 90° . Konvektivne stanice kreću se u lijevo od oblačnog sistema pod kutom od 30° do 35° , a desno od vodeće struje pod kutom od 5° do 60° . Brzina premještanja oblačnog sistema je 2 do 2,5 puta manja od brzine vodeće struje, a konvektivne stanice imaju manju brzinu od vodeće struje.

3.2.2. NEUREĐENI VIŠESTANIČNI PROCESI

Procesi ovog tipa uočavaju se u danima kada se pravac vjetra naglo mijenja sa visinom, a brzina vjetra je velika na svim visinama. Oblačni sistem također skreće od vodeće struje, a konvektivne stanice mogu nastati u bilo kom dijelu oblačnog sistema i imaju različit pravac i brzinu premještanja. Ovdje je teško predvidjeti mjesto stvaranja novih stanica i razlikovati stare od mladih. Treba napomenuti da je zasijavanje raketama na ovakve procese najsloženiji slučaj djelovanja u OT, jer se ne može predvidjeti mjesto stvaranja novih stanica, a mogu i u većini slučajeva imati različite pravce i brzine premještanja.

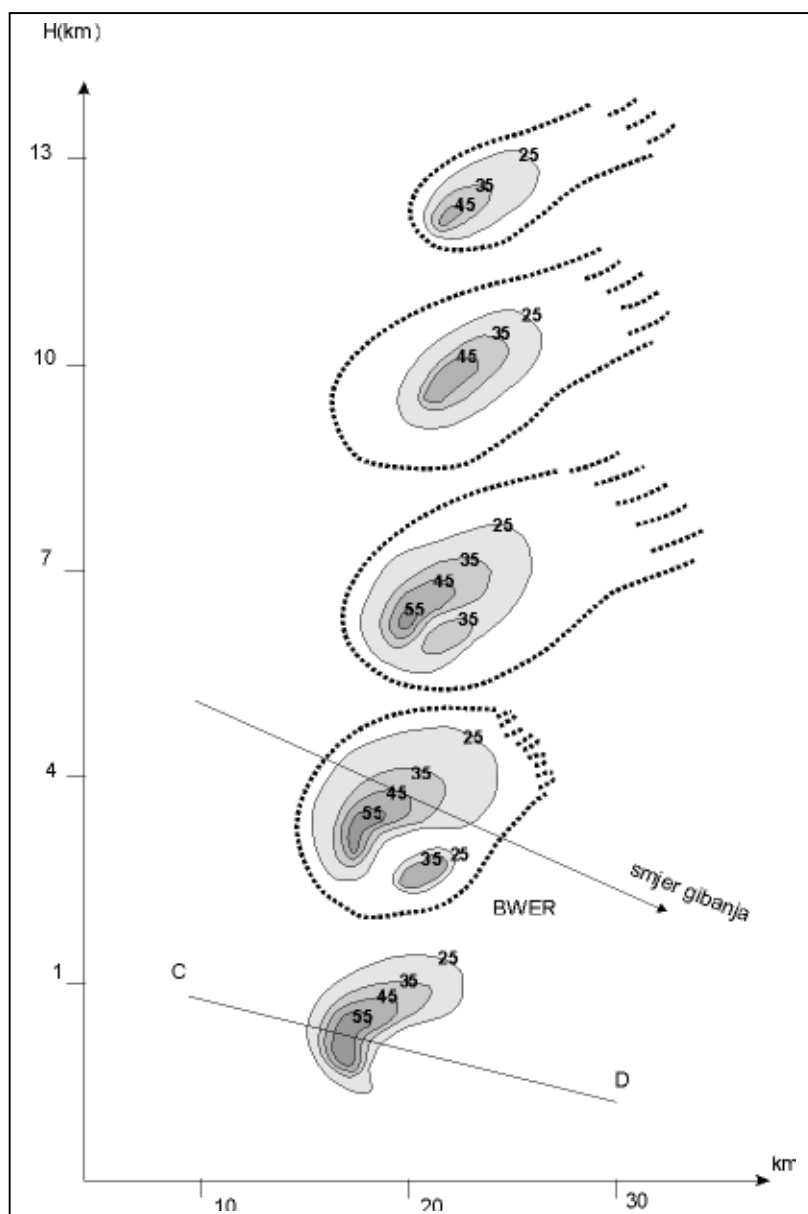
3.2.3. SLABO ORGANIZIRANI VIŠESTANIČNI PROCESI

Ovakvi procesi se razvijaju u danima sa jednolikom promjenom po visini i pravcu i sa znatnim vrijednostima brzine vjetra na svim nivoima u relativno suhoj zračnoj masi u prizemnom sloju. Oblačni sistem sastoji se iz manjeg broja konvektivnih stanica (2-3) koje se premještaju u pravcu vodeće struje ili nešto desno od nje, sve ili većina stanica nastaju i raspadaju se istovremeno, konvektivne stanice imaju relativno male promjere, ali znatnu visinu (9-11 km), nagnuti oblik na RHI ekranu i kreću se paralelno jedna sa drugom u jednom pravcu. Ovi procesi susreću se relativno rijetko, slabi su, a pojava tuče kod njih se veoma rijetko javlja ili je uopće nema.

3.3. STRUKTURA RADARSKIH ODRAZA I DINAMIKA RAZVOJA SUPERSTANIČNIH PROCESA

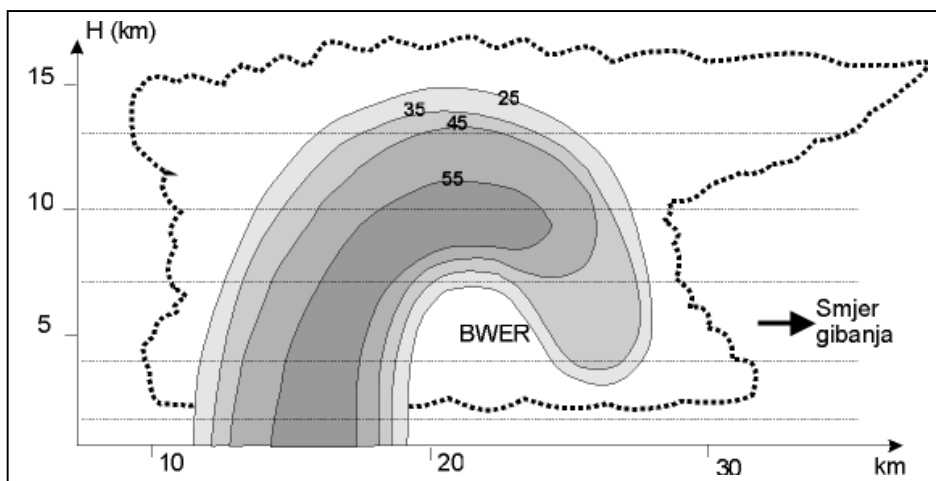
Ovaj konvektivni proces ima jednostaničnu strukturu, a radarski odraz je kružnog ili eliptičnog oblika sa horizontalnim dimenzijama 20-50 km (u srednjoj vrijednosti) i visinom od 12 do 15 km, pa i većom. Ovaj oblak ima na desnom boku prostranu zonu (5 do 15 km) snažne uzlazne struje (20-40 m/s) koja se probija do 10 km visine. To je na radarskom pokazivaču područje slabog radarskog odraza koje je ograničeno sa gornje strane svodom snažnog radarskog odraza, nadstrešnicom radarskog odraza na frontalnom dijelu i dijelu desnog boka, zatim odrazom visokog gradijenta reflektiranog signala i izraženom nadstrešnicom u obliku kuke ili privjeska (HOOK odraz) koja obuhvaća i prizemni sloj (slika 3). Na nižim razinama na stražnjoj desnoj strani oblaka ta pojava kuke ili privjeska se proteže u desno od smjera kretanja

oluje. Samo područje uzlazne struje se premješta paralelno sa tučonosnom jezgrom i to konstantnom brzinom 25 do 50 km/h.



Slika 3. Shema dinamike razvoja superstaničnog procesa **a)** slika superstanice na PPI ekranu na različitim visinama

U momentu maksimalnog razvoja superstanice u radijusu od nekoliko desetina kilometara zapaženo je da se druge stanice ne stvaraju. Superstanični oblak ima dugi životni ciklus trajanja od 1 do 6 sati pa i više, a praćen je katastrofalnom pojavom tuče traga širine 10 do 15 km i dužine nekoliko desetina kilometara, a ponekad i 100 km (npr. nepogode u Hrvatskoj i susjednim zemljama osmotrene 3.8.1983., 23.5.1984., 31.7.1985., 25.7.1987., 18.8.1991. i 17.6.1997.). Uzlazna struja skreće u pravcu lijevog boka i skreće silaznu zračnu struju na visini njenog stvaranja. Tako se prostorno razgraničava oblast uzlazne struje i oborinske zone (silazne struje) što isključuje mogućnost gušenja ili narušavanja uzlazne struje oborinskom zonom, a to osigurava stabilnost procesa održavanja života superstanice. Inače, evolucija superstanice se sastoji od faze rasta, zrele faze i faze raspadanja.



Slika 3. Shema dinamike razvoja superstaničnog procesa
b) slika superstanice na RHI ekranu (presjek C-D sa slike **a**)

Do razvoja nove superstanice dosta rijetko može doći 1 do 2 sata kasnije i to 40 do 70 km južnije od prethodno stvorene stanice. Brzina premještanja takve nepogode u srednjoj vrijednosti je 20 do 40 km/h, ali su bile i zabilježene brzine u pojedinim situacijama bliske i 100 km/h. Djelovanjem sistema OT na superstanične procese, može se za sada provesti operativno zasijavanje raketama tog sistema na donjoj granici efikasnosti i uspješnosti, baš zbog gore navedenih osobina samog konvektivnog procesa.

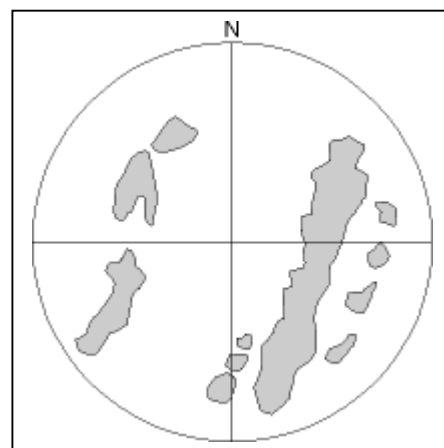
4. RASPOZNAVANJE TIPOVA TUČONOSNIH PROCESA U OPERATIVNOM RADU

Stvaranje pojedinih tipova tučoopasnih procesa određeno je režimom vjetra, utvrđenim aerosinoptičkim uvjetima, pri čemu je istovremeno postojanje raznih tipova procesa na danom području uglavnom isključeno. Struktura atmosfere u danima sa različitim tipovima procesa karakterizira se znatno visokim sadržajem vlage i visokim stupnjem konvektivne nestabilnosti, a bitno se razlikuju samo u režimu vjetra. Raspoznavanje radarskih odraza tučonosnih procesa različitih tipova vrši se po karakterističnoj slici na PPI i RHI ekranu. Zbog toga je neophodno:

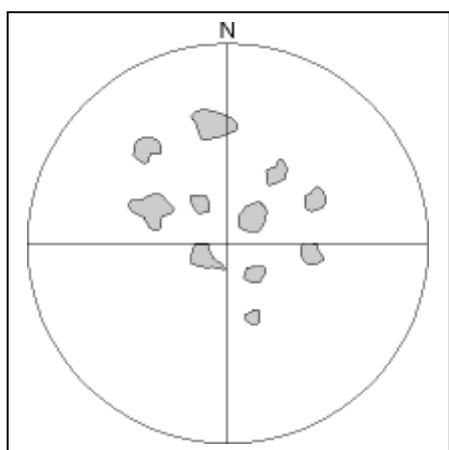
- utvrditi staničnu strukturu radarskog odraza oblačnog sistema na PPI i RHI pokazivačima
- utvrditi broj konvektivnih stanica (ako je to moguće)
- utvrditi prostornu strukturu stanice (simetrične, nesimetrične) i njihov oblik na PPI i RHI pokazivaču
- konstruirati trajektoriju premještanja oblačnog sistema kao cjeline i pojedinih konvektivnih stanica koje ulaze u sastav oblačnog sistema
- utvrditi pravac i brzinu premještanja oblačnog sistema i konvektivnih stanica
- utvrditi tip tučonosnog procesa (ako je to moguće)

Postojanje jedne snažne nesimetrične konvektivne stanice sa “kukom”, nadstrešnicom (frontalnom i bočnom) ukazuje na sigurno prisustvo superstaničnog tučonosnog procesa. Jednostanični i višestanični proces, također je lako razlikovati jedno od drugog po tome što oblačni sistem u prvom slučaju se sastoji iz izoliranih simetričnih kratkoživućih i nezavisnih stanica, a u drugom slučaju oblačni sistem se sastoji iz kompleksa nesimetričnih stanica koje su u međusobnoj zavisnosti i utječu na svoj međusobni razvoj. U rijetkim situacijama nije moguće raspoznavanje tipa tučonosnih procesa. Pri konkretnim osmatranjima sa dovoljnim iskustvom u radu, raspoznavanje tipa procesa obavlja se u toku nekoliko sekundi.

Uglavnom, oblačni sistemi mogu se razlikovati u tri tipa. Prvi tip radarskog odraza ima oblik oštro ocrtane trake čija dužina dostiže 200 – 300 km, a širina nekoliko desetina kilometara. Trake imaju strukturu jezgara sa dijametrom od 5 do 30 km i vertikalnim razvojem od 8 do 12 km. Ovaj tip odraza odgovara hladnim i sekundarnim frontama i višestaničnim i superstaničnim tučonosnim procesima. U ovakvim situacijama uvijek postoji tendencija oblaka i oblačnih masa da se formiraju u grupe i trake i tako se zajedno kreću u prostoru i vremenu sa glavnim smjerom i brzinom u srednjoj troposferi (slika 4).



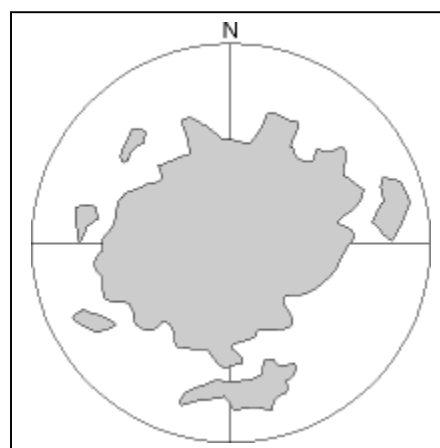
Slika 4. Radarski odrazi prvog tipa na PPI ekranu dometa 230 km



Slika 5. Radarski odrazi drugog tipa na PPI ekranu dometa 230 km

Drugi tip odraza karakterizira se pojedinačnim jezgrama ili grupom jezgara koje su bez ikakvog reda razbacani na uglavnom velikoj površini bez nekog uređenog kretanja (uglavnom stacioniraju). Odrazi ovog tipa znače pljuskovite oborine i grmljavinsku aktivnost unutar nestabilne zračne mase. Takvo stanje uzrokovano ovom vrstom nestabilnosti može postojati i po nekoliko uzastopnih dana na određenoj površini (visinska ciklona, kaplja). U operativi je zabilježeno da se nestabilnosti ovog tipa najčešće pomiču u nekom određenom pravcu (iz dana u dan) zavisno od kretanja zračne mase, a noću uglavnom nestabilnosti nema ili su slabijeg intenziteta (slika 5).

Treći tip odraza ima oblik razvučene i široke jednolične mrlje, bez oštro izraženih granica, uglavnom veće od 100 km promjera i asimetrično položene u odnosu na centar radarskog ekrana (jedino ako radar nije baš u centru te oblačne mase u trenutku mjerenja). To odgovara slojevitoj naoblaci toplih fronti i fronti okluzije. Unutar te mase mogu se pojavljivati konvektivne stanice slabog vertikalnog razvoja. U toj situaciji granice tog radarskog odraza ne predstavljaju granice oblačnog sistema opažene fronte, već granice dometa radara u otkrivanju oblačnosti (gušenje radarskog signala). Prema tome, izvan opažene mrlje radarski je vedro, mada se oblačnost vezana uz frontu prostire daleko šire od radarski izmjerene površine odraza (slika 6.).

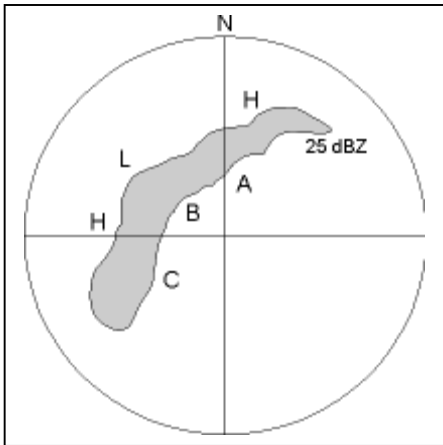


Slika 6. Radarski odrazi trećeg tipa na PPI ekranu dometa 230 km

5. RADARSKA OBILJEŽJA TUČONOSNIH PROCESA

5.1. POREDAK RADARSKIH ODRAZA

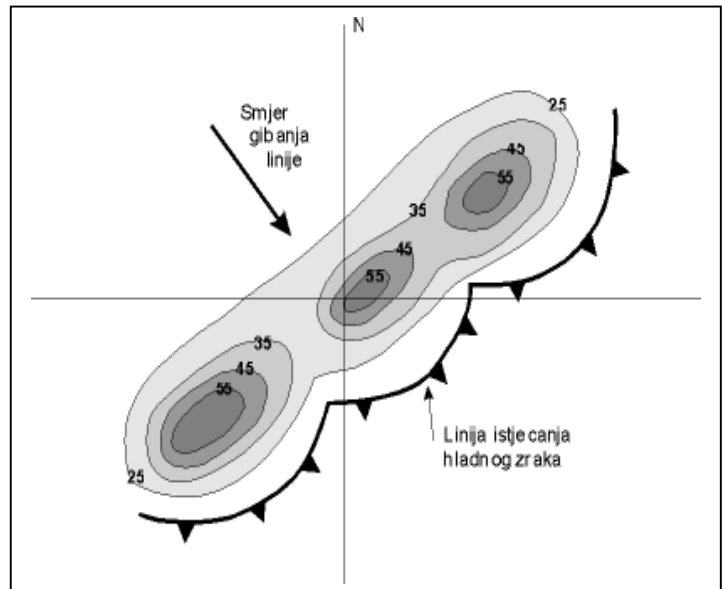
Kriterij za raspoznavanje oblačnih linija je odnos duljine i širine 5:1, minimalna duljina 55 km, minimalna pokrivenost odrazima 30%. Linija oblaka u obliku vala (line echo wave pattern - LEWP) je prikazana na slici 7. To je najjače radarsko obilježje koje indicira olujno nevrijeme. To je niz radarskih odraza kod kojih je linija odraza poprimila oblik vala u horizontalnoj ravnini (PPI), zbog različite brzine premještanja odraza. Najveći intenzitet oluje je pod krijestom i nešto južnije od nje (točka B). Cb sa grmljavinom i tučom, te jak olujni vjetar javlja se u točki C. Tuča i jak vjetar javlja se i u točki A, međutim intenzitet je slabiji nego u točki C.



Slika 7. Linija oblaka u obliku vala (LEWP) na PPI ekranu dometa 100 km

Linija nestabilnosti (squall line) je po definiciji svaka uska linija aktivnih Cb-a koji mogu biti obične stanice ili superstanice (slika 8). Radarski je karakterističan jak gradijent odražajnosti na nižim razinama, izražena nadstrešnica i pomak vrha oblaka od središta prema prednjem rubu linije. Vrijeme života takve linije je oko 6 sati. Može doći do pojave presijecanja više takvih linija nestabilnosti što može dovesti do pojave tornada, no, to je za naše krajeve izuzetno rijetka pojava.

Ako se dio linije kod točke A premješta brže od dijela linije označenog točkom C, vjerojatnost za pojave istog intenziteta u A i C je velika. Neprekidna olujna linija je opasnija od isprekidane, pa je radarsko mjerenje na srednjim razinama najznačajnije. Što je veća brzina premještanja takve linije, to je veća vjerojatnost za tučonosne oluje. Srednja brzina premještanja ovakvog sistema je od 50 do 60 km/h. Dio te linije koji putuje najsporije i formira oštar vrh vala naziva se krijestom, a dio koji putuje najbrže formira se iznad visokog tlaka i naziva se zadebljani odraz (bow echo). Intenzitet odraza je uglavnom iznad 45 dBZ.

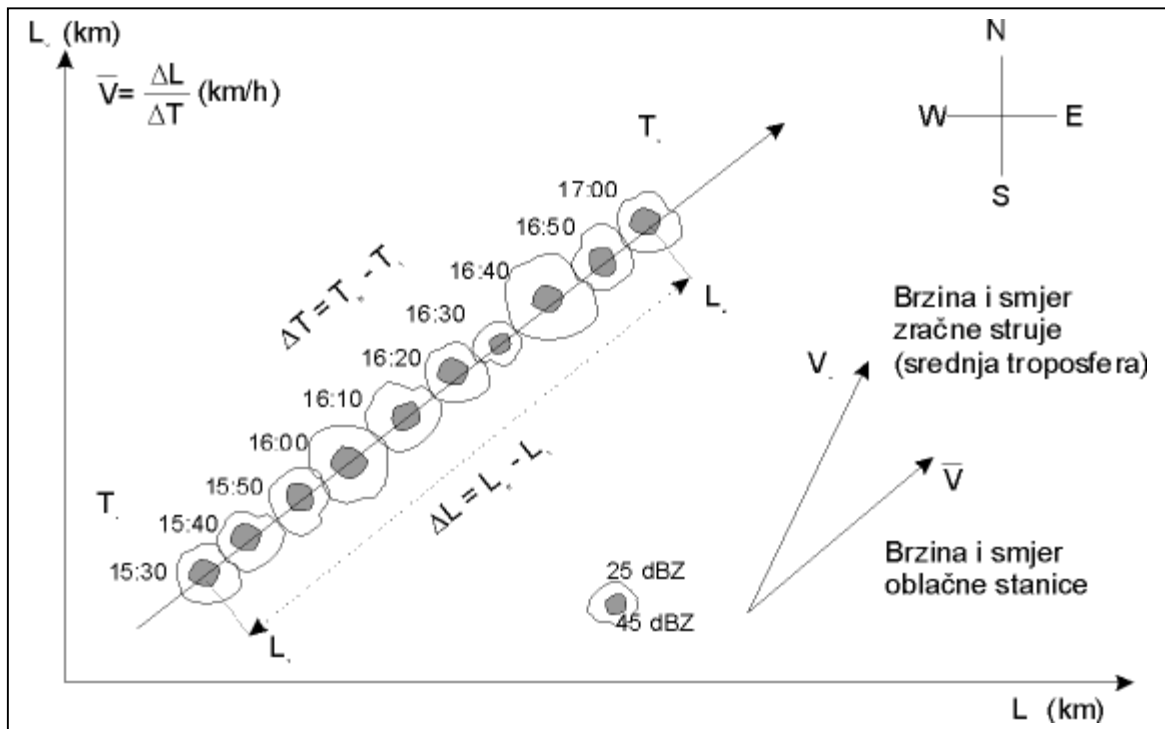


Slika 8. Linija nestabilnosti (squall line) na PPI ekranu dometa 100 km

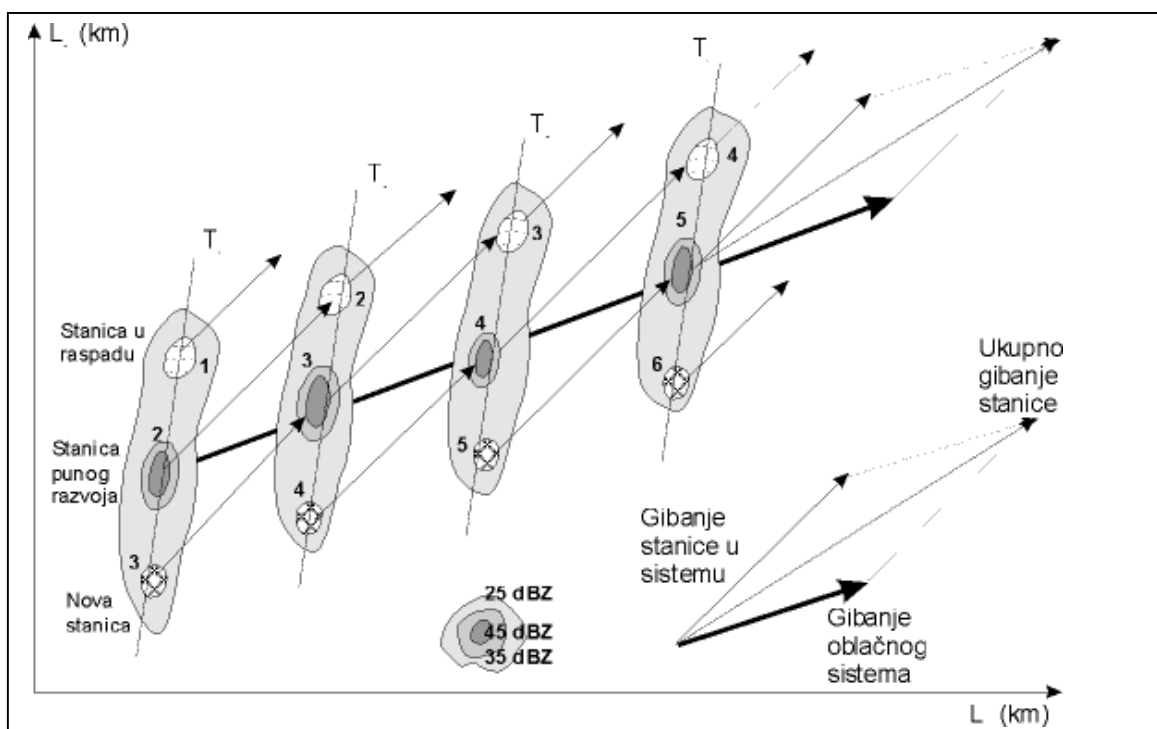
5.2. ANOMALIJE U PREMJEŠTANJU ODRAZA

Oblačni sistemi premještaju se uglavnom u smjeru vjetra srednje troposfere. Najopasnije su stanice koje se samostalno kreću. Stanice koje zakreću u desno, sporije se premještaju od srednjeg vjetra, a stanice koje zakreću u lijevo se brže kreću od srednjeg troposferskog strujanja. Dva su tipa premještanja oblačnih stanica :

- translacija (premještanje blačnih stanica u smjeru vjetra), slika 9.
- propagacija (premještanje sistema nastajanjem i nestajanjem stanica), slika 10.



Slika 9. Premještanje oblačnih stanica u horizontalnoj ravnini u smjeru vjetra (translacija)

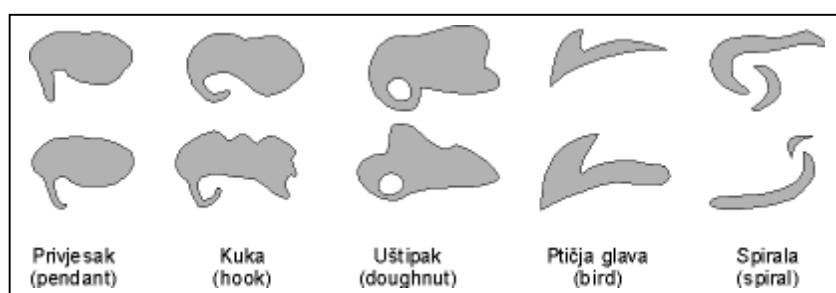


Slika 10. Premještanje sistema nastajanjem i nestajanjem stanica (propagacija)

U operativi se obično zapaža da je gibanje konvektivnih stanica kombinacija translacije i propagacije. Postoji još konvergentno i divergentno gibanje stanica koje je takvog tipa, (donekle rijetko) da se dvije stanice ujedinjuju, tj. spajaju u jednu veliku stanicu ili dolazi do raspada jedne stanice na dvije stanice.

5.3. OBLIK RADARSKOG ODRAZA NA PPI EKRANU

Tornado je ciklona malih dimenzija, promjera 15 - 30 km, i pojavljuje se na stražnjoj desnoj strani superstanice; to je rijetka pojava za naše područje. Pojačani odraz koji predstavlja tornado, spušta se sa srednjih razina k bazi oblaka. Odraz u obliku privjeska ili kuke (hook) javlja se uz dobro razvijene superstanice na njihovoj stražnjoj strani. Odražajnost odraza uz koji se javlja oblik kuke je ekstremno jaka, preko 65 dBZ. U slučaju vrlo intenzivne ciklonalne cirkulacije na ekranu se pojavljuje oblik ptičje glave i V izreza koji indiciraju pojavu tornada, a na mjestu same pukotine moguća je jaka tuča (slika 11).

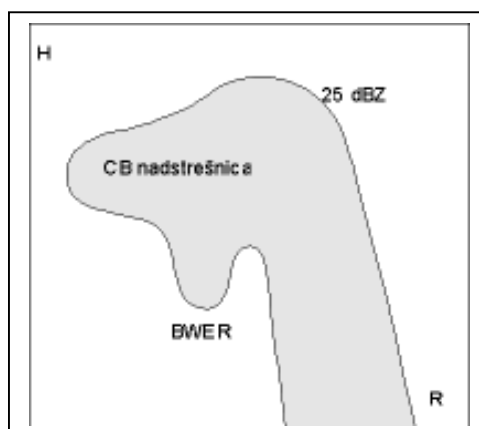


Slika 11. Neki oblici odraza na PPI ekranu

5.4. OBLIK RADARSKOG ODRAZA NA RHI EKRANU

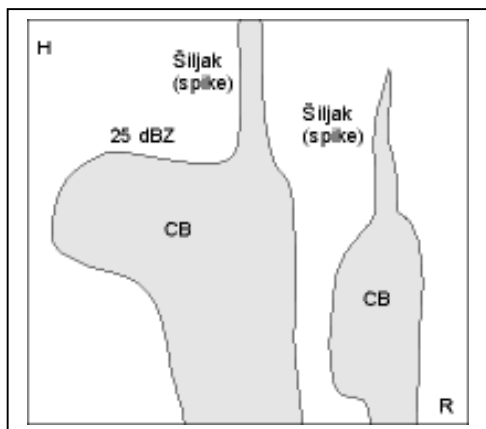
Prilikom razmatranja visine odraza i podataka RHI ekrana valja imati na umu pojave kao što su abnormalno širenje snopa, širinu snopa, činjenicu da optički i radarski izmjereni vrh odraza nisu isti. Istraživanja ukazuju da više od polovice stanica koje daju tuču prelaze visinu tropopauze, a jačina tuče ovisi o trajanju tog proboja. Može se očekivati tuča iz stanica koje dosežu do tropopauze i jaka tuča s mogućnošću tornada iz odraza koji probijaju tropopauzu za više od 500 metara, a bitno je i vrijeme trajanja proboja tropopauze.

Takozvani BWER (buonded weak echo region) je područje unutar odraza na RHI ekranu gdje je signal veoma slab, ili ga nema. To je, ustvari, vertikalni presjek odraza u obliku kuke (na PPI ekranu). Iznad toga je nadstrešnica koja je povezana sa pojavom tuče i jakog vjetera.



Slika 12. Shematski prikaz oblika BWER na RHI ekranu

Takozvani RHI SPIKE je produžetak na vrhu odraza koji često prelazi skalu RHI ekrana, a nastaje uslijed bočnih latica antene reflektiranih od bliskih jako reflektirajućih stanica (slika 13.). Tu je prava visina odraza niža, a sama pojava RHI SPIKE-a je povezana s pojavom tuče.



Slika 13. Shematski prikaz oblika RHI SPIKE-a na RHI ekranu

5.5. REFLEKTIVNOST ODRAZA

Radarska reflektivnost nekog cilja ovisi o koncentraciji oblačnih čestica, njihovim dimenzijama, obliku čestica, dielektričnoj konstanti i valnoj duljini. Istraživanja su pokazala da je najveća razlika u reflektivnosti između grmljavinskih oblaka koji nisu praćeni opasnim pojavama (tuča) blizu površine tla. Kriteriji koji se koriste u SAD-u za određivanje postojanja tuče sa S-band radarima su:

- kada površina koju zatvara izolinijska 45 dBZ dosegne maksimalni iznos, taj oblak može sadržavati tuču
- kada reflektivnost prelazi 55 dBZ odraz sadrži tuču
- kada reflektivnost prelazi 60 dBZ postoji mogućnost pojave tornada

Razine digitalnog video integratora i procesora (misli se na WSR 74S) su podešene prema srednjoj primljenoj snazi radara od nekog cilja na nekoj udaljenosti, koristeći se radarskom jednadžbom, radarskom konstantom, te gušenjem kao odnosom snage prijemnika, snage šuma i reflektivnošću samog cilja.

6. OPERATIVNO MJERENJE RADARSKIH PARAMETARA OBLAKA

Budući da je došlo u posljednjih nekoliko godina do digitalizacije radarskih slika na većini radarskih centara, promijenio se i način prikazivanja i mjerenja radarskih parametara oblačnih sistema. Prije svega treba napomenuti da je važna karakteristika radarskog prijemnika minimum detektibilnog signala (MDS), tj. najslabiji signal koji se može otkriti iznad nivoa šuma. Za većinu meteoroloških radara je MDS oko 10^{-13} W. S druge strane emitirana snaga je nekoliko stotina KW. Zbog toga je uobičajeno izražavanje razlike u snazi u decibelima (dB). No, u praksi se radarska reflektivnost mjeri u dBZ, a gušenje predstavlja, u stvari, slabljenje primljenog signala i mjeri se u dB u odnosu na 1W. Mogućnost otkrivanja meteoroloških ciljeva ovisi o valnoj duljini radarskog sistema. Što je manja veličina čestice, to kraća mora biti valna duljina da bismo je otkrili. Za nas u OT povoljno je S-područje (10 cm), jer radimo s oblacima velike radarske reflektivnosti (što je kraća valna duljina, to je gušenje signala zbog meteorološkog cilja veće). Radarski sistemi su podešeni tako da se vrijednost od 45 dBZ uzima

kao kritična vrijednost kod koje se može pojaviti tuča. Inače, razine reflektivnosti signala su uglavnom razvrstane na slijedeći način:

- 20 dBZ - minimum detektibilnog signala, ima značaja u slučaju određivanja prvog radarskog odraza
- 25 dBZ – ako jačina odraza ne prelazi tu vrijednost (PPI), ima pojavu slabe kiše, inače služi za određivanje visine vrha oblaka Hv (RHI) - kriterij za akciju raketama
- 35 dBZ – ako jačina odraza ima tu vrijednost (PPI) odraz ima pojavu jake kiše ili pljuska, inače ranije se koristilo za određivanje promjera oblaka
- 45 dBZ – ako jačina odraza ima tu vrijednost (PPI) odraz ima pojavu jakog pljuska, a može biti i krute oborine, zavisno od visine njegove konture, - drugi kriterij za akciju raketama (RHI) ($0\text{ }^{\circ}\text{C}+1.4\text{ km}$)
- 55 dBZ – ako jačina odraza ima tu vrijednost (PPI) odraz u sebi sadrži ledena zrna, a na tlu ima pojave jakog pljuska i krute oborine zavisno od visine njegove konture (RHI)
- 65 dBZ – ako jačina odraza ima tu vrijednost (PPI) odraz sigurno u sebi sadrži ledena zrna većeg promjera, a na tlu imamo pojavu intenzivne krute oborine s štetom, a intenzitet pojava ovisan je opet o visinama njegove konture(RHI).

6.1. KRITERIJI ZA DJELOVANJE RAKETAMA

Kriterij za djelovanje raketama ustanovljen u Švicarskoj za vrijeme projekta Grossversuch IV uveden je kod nas u operativu OT 1985. godine. On je ustanovljen u periodu eksperimenta kada se nije djelovalo raketama, nego su se vršila samo radarska mjerenja i pratile pojave na tlu. “Švicarski kriterij” znači da je oblak tučoopasan ako vrh zone odražajnosti 45 dBZ konkretne oblačne stanice prelazi visinu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ uvećanu za 1.4 km, a vrh oblaka, tj. zone odražajnosti od 25 dBZ, prelazi visinu izoterme $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prvi kriterij je jači od drugoga, i ako je samo on zadovoljen, djelovanje se provodi. Uz ovo treba uvažavati kao kriterij i pojavu prvog radarskog odraza na visini izoterme $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pa i na većim visinama. Pri pojavi navedenih kriterija sa djelovanjem treba početi odmah, i to sa preporučenom količinom raketa za početno djelovanje. Proboj vrha oblaka (kontura 25 dBZ) kroz visinu tropopauze je uglavnom indikator sigurne tuče na tlu, jer su i druge zone jačih odražajnosti unutar mjenog oblaka na većim visinama.

Operativni način mjerenja s obzirom na digitalizaciju radarske slike se izmijenio. S obzirom na vrstu radara i programsku podršku, postoji mogućnost dobivanja kvalitetnijih radarskih podataka (različiti radarski presjeci promatranog prostora po horizontali i vertikali daju više različitih radarskih produkata). Prema tim produktima treba prilagoditi i kriterije za akciju OT ili same produkte prilagoditi trenutno važećim kriterijima. Budući da s trenutnom tehnologijom radarskih mjerenja imamo pregled svih konvektivnih procesa na određenom području (ručnim načinom mjerenja su se uglavnom mjerili samo jači odrazi, tako da se ne zna začetak novih stanica (PRO)), glavni podaci o trenutnoj vremenskoj situaciji predstavljeni su u obliku radarskih slika (PPI, RHI prikazi). Bez obzira na modernu tehnologiju rada glavnu ulogu u određivanju tučoopasnih oblaka još uvijek zadržava operater za radarskim ekranom koji odlučuje, uglavnom iskustveno i na osnovi kriterija (često se situacije na terenu ponavljaju), o manje ili više opasnim oblacima.

7. NAČINI ZASIJAVANJA Cb-a ZAVISNO O TIPU, SMJERU I BRZINI KRETANJA, TE KARAKTERISTIČNIM OBLICIMA DOBIVENIM OPAŽANJEM NA RADARSKOM EKRANU

Osnovni princip u provođenju OT raketama je hipoteza konkurentnih jezgara. Ideja je stvoriti znatno više zrna leda, nego što bi se prirodnim putem stvorilo i da se tako smanji prosječna veličina zrna tuče. Ovaj pristup pretpostavlja da u svakom oblaku postoji ograničena količina pothlađene vode raspoložive za rast zrna tuče. Za taj koncept djelovanja su potrebne relativno male količine reagensa pod uvjetom da se reagens ubaci na male visine, gdje je temperatura između $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, tj. uži pojas od $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stvaranje zametka tuče i rast tuče do konačne veličine se odvija u različitim uvjetima i stoga u različitim dijelovima oblaka. Provođenju akcije treba pristupiti selektivno za svaki pojedini Cb, imajući u vidu povijest oblaka i pravilno određujući vrstu Cb-a. Područje zasijavanja treba biti područje stvaranja zametaka tuče. Čestice reagensa moraju stvarati takve čestice koje svojom veličinom mogu konkurirati prirodnim česticama, zamecima tuče. Da bi konkurencija reagensa bila stvarna, reagens se mora ubacivati u zonu slabe uzlazne struje (1-5 m/s). Na taj način će čestice reagensa imati dovoljno vremena da u oblaku stvore ledene kristale koji narastu do veličine koja će onemogućiti njihovu pasivizaciju sljepljivanjem s većim česticama. Prilikom zasijavanja Cb-a koji zadovoljavaju kriterije za akciju OT raketama, treba prvo odrediti vrstu Cb-a, zatim izračunati brzinu i smjer kretanja.

Da bi se efikasno moglo djelovati, mora se odrediti prednji i bočni desni kraj oblaka u odnosu na gibanje, te preticanje za lansiranje raketa u odnosu na brzinu premještanja nepogode. Ti podaci dobivaju se iz više uzastopnih mjerenja radarskih odraza u jednom vremenskom intervalu. Dakle, da bi se pristupilo zasijavanju Cb-a potrebno je utvrditi slijedeće:

- položaj Cb-a (PPI)
- ispunjenost kriterija za akciju raketama (RHI)
- pravac i brzinu kretanja Cb-a (PPI)
- pojave na tlu koje je Cb davao na svom putu do ulaska u branjeno područje (ako je to moguće, jer ima situacija kada su kriteriji za akciju ispunjeni, a sistem ne daje tuču na tlu ili se ona ne osmotri)
- visine izoterma za dan provođenja akcije (sondaža i pseudotempovi)
- tip Cb-a, da bi se prema njemu odredio i način djelovanja
- tip rakete kojima će se izvršiti zasijavanje
- odgovarajuća elevacija za pojedini tip raketa i pojedini dan s obzirom na visine određenih izoterma
- dozvola kontrole leta za lansiranje raketa u pojedinom području

U djelovanju na Cb-e potrebno je i praktično pridržavati se nekih operativnih "savjeta":

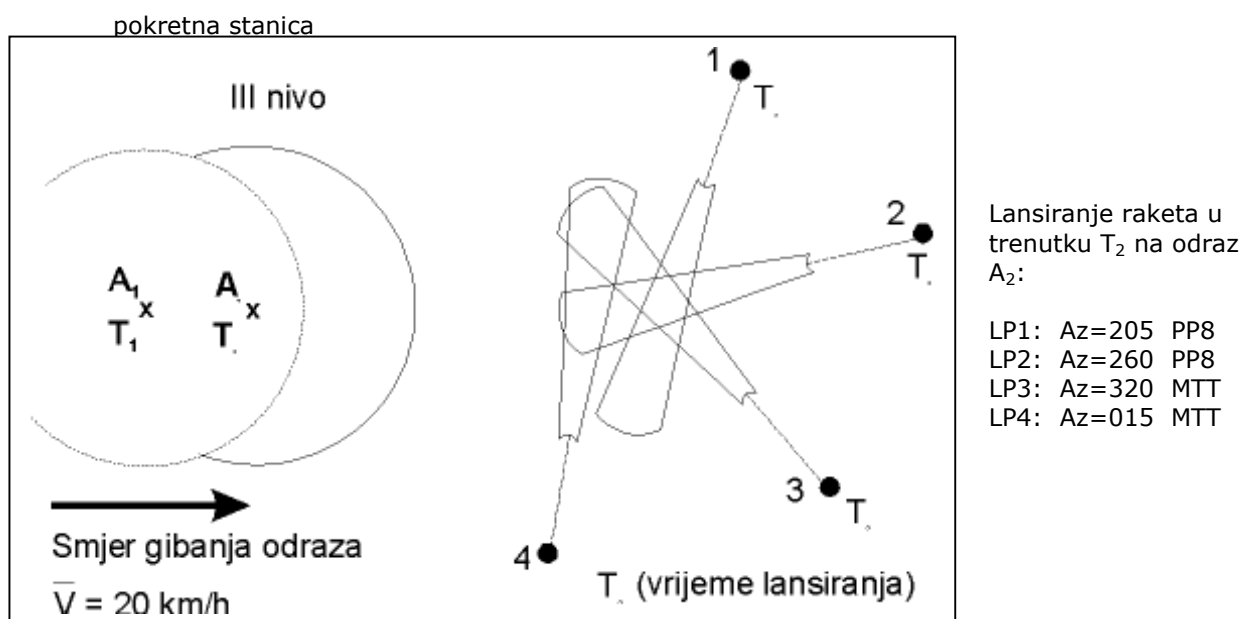
- pričekati da svi kriteriji budu zadovoljeni (ili samo visina 45 dBZ)
- ne pucati u prvi izmjereni odraz
- biti siguran da se rakete lansiraju u pravi odraz
- nakon zasijavanja pričekati da se vidi efekt zasijavanja
- prestati pucati ako oblak pada ispod kriterija za akciju OT
- prestati pucati ako oblak prelazi državnu granicu ili na nebranjeno područje
- ne pucati nerezonski, samo zato da bi se to "čulo"

Trebamo razlučiti zasijavanje za tri već navedene vrste tučonosnih procesa, kao i zasijavanje prvog radarskog odraza, što će biti opisano na slijedećim stranicama.

7.1. ZASIJAVANJE JEDNOSTANIČNIH CB-a

Kod jednostaničnih Cb-a djelovanje se provodi samo u svrhu sprečavanja formiranja tuče. Djeluje se na stanice čiji se prvi radarski odraz (PRO) pojavljuje najčešće na nivou -6°C do -10°C , a moguća je pojava i na većim visinama. Djeluje se i na stanice nastale na nižim nivoima, ako su u razvoju dosegle nivo prirodne kristalizacije.

Način zasijavanja prikazan je na slici 14.

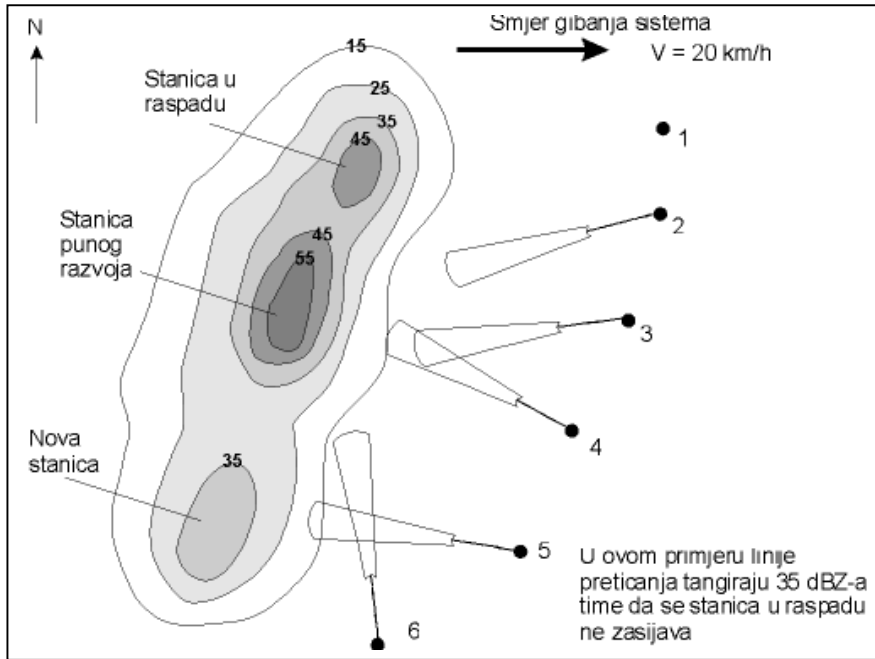


Slika 14. Zasijavanje jednostaničnih Cb-a

Zasijavanje se provodi odmah po otkrivanju PRO, a najkasnije 15 minuta po pojavi PRO i to na nivou izoterme -4°C do -10°C (3-5 km visine), ispred desne prednje strane oblaka (područje radarske odražajnosti do 30 dBz), s obzirom na smjer kretanja. Ukoliko je oblak stacionaran, oblak treba zasijavati sa svih strana radarskog odraza (područje radarske odražajnosti do 30 dBz).

7.2. ZASIJAVANJE VIŠESTANIČNIH CB-a

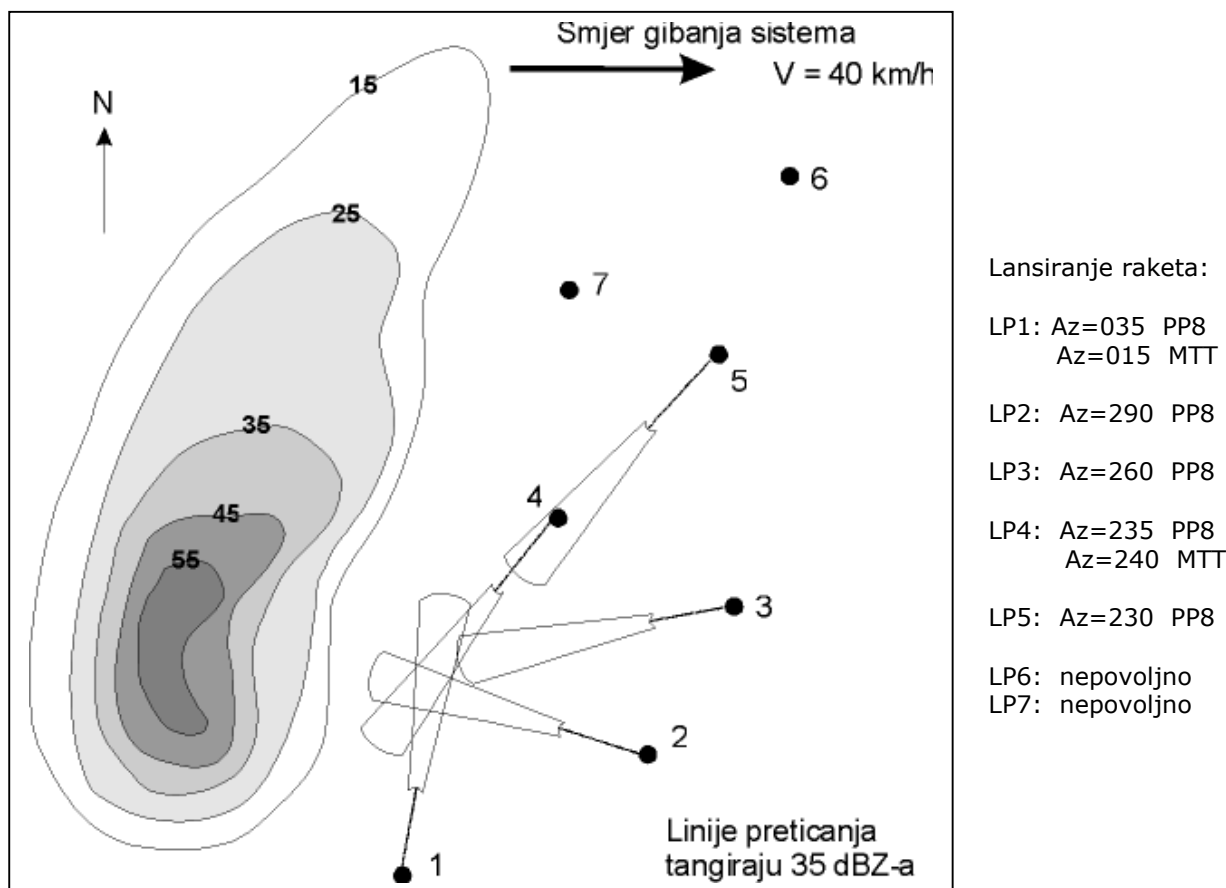
Kod višestaničnih Cb-a zasijavanje se vrši u svrhu sprečavanja formiranja tuče i u svrhu prekidanja padanja tuče. Na mlade stanice u sistemu djeluje se kao i kod jednostaničnih procesa u svrhu sprečavanja formiranja tuče, dok se istovremeno provodi zasijavanja zrele (formirane) stanice koja daje tuču, da bi se prekinulo njeno padanje iz oblaka, dok se stanica u raspadu ne zasijava (slika 15). Najefikasniji način djelovanja na višestanične procese je zasijavanje mladih, tek oformljenih stanica na bočnoj desnoj strani zrele tučoopasne stanice. U slučaju kad oblak već daje tuču zasijavanje se vrši u serijama na nivou izoterme -6°C i -10°C (3.5-5 km) na desnom bočnom dijelu čitavog oblačnog sistema i na nivou izoterme -8°C do -10°C (4.5 - 5 km) u zonu slabog radarskog odraza, gdje se nalazi uzlazna struja. Dakle ukratko, u slučaju višestaničnog oblaka treba zasijavati područje ispred prednje desne strane oblaka u razvoju (područje radarske odražajnosti do 30 dBz). Prednju stranu radarskog odraza treba zasijavati kod zrele stanice, a prednju desnu zbog toga što se tamo najčešće razvijaju mlade stanice (područje slabe uzlazne struje).



Slika 15. Zasijavanje višestaničnih Cb-a

7.3. ZASIJAVANJE SUPERSTANIČNIH CB-a

Cilj zasijavanja superstanice je da se pokuša smanjiti broj velikih jezgara u “embrionalnoj zavjesi”. Ona nastaje od jezgara podignutih glavnom uzlaznom strujom. Rano zasijavanje u području slabih uzlaznih struja daje više vremena za aktiviranje umjetnih jezgara kristalizacije. U praksi se zasijava prednji i bočni dio nadstrešnice radarskog odraza, te zona slabog radarskog odraza na nivou izoterme $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4-5 km). Dakle, kod superstaničnog oblaka treba zasijavati prednju desnu stranu oblaka, tj. prednji i bočni dio nadstrešnice radarskog odraza sa odražajnošću oko 30 dBz ispred glavne uzlazne struje, jer je tamo pretpostavljena zona stvaranja zametaka tuče (slika 16.). Kod višestaničnih i superstaničnih oblaka je beskorisno zasijavati područje jake uzlazne struje, jer čestice stvorene zasijavanjem nemaju vremena narasti do veličine stvarne konkurencije prirodnim česticama. Inače djelovanje na superstanice je najveći problem, zbog postojanja kvazistacionarne uzlazne struje, što ima za rezultat neprekidno pražnjenje vodenog sadržaja oblaka u obliku oborina i obnavljanje istog, tako da život takve stanice može trajati i 6 sati, a gibajući se u prostoru i više stotina kilometara. Superstanicu treba zasijavati kontinuirano i sa maksimalnim tempom zasijavanja u već navedena područja, s maksimalnim brojem raketa koji je u operativi moguće lansirati.



Slika 16. Zasijavanje superstaničnih Cb-a

7.4. ZASIJAVANJE PRVOG RADARSKOG ODRAZA U OBLAČNIM SISTEMIMA

Problem pravovremenog određivanja prvog radarskog odraza nove razvijajuće stanice je vrlo težak u praktičnom radu. Taj problem je još teži kod neuređenih višestaničnih procesa, kada lokalizacija razvoja nove stanice ne može biti pravovremena i točno predviđena zbog pozadine složenosti višestanične strukture oblačnog sistema. To može uzrokovati kašnjenje zasijavanja nove stanice stvorene na većim visinama. Poseban problem je spremnost i brzina raketara na LP-ima, te brzina dobivanja kvadranta za djelovanje raketama. Pojediniosti o načinu mjerenja i djelovanja su obrađene u uputstvu “Radarska identifikacija Cb-a i određivanje područja djelovanja” (T. Kovačić).

7.5. ZASIJAVANJE CB-a S OBZIROM NA TRENUTNI STADIJ RAZVOJA

U samoj operativi možemo razlikovati zasijavanje formiranih Cb-a, Cb-a u formiranju i stacionarnih Cb-a uz uvažavanje gore spomenutih vrsta tučonosnih procesa.

- a.) Zasijavanje već formiranih Cb-a vrši se u odnosu na konturu 25 dBZ, odnosno nekad mjenjenog promjera oblaka, i to tako da se odredi pravac i brzina kretanja nepogode, odredi lokacija Cb-a, odredi elevacija u odnosu na $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4.5 km). Ako je oblak zadovoljio kriterije za zasijavanje pristupa se provođenju akcije OT i to na način da se odredi područje zasijavanja i najpogodnije LP-e koje će izvršiti to zasijavanje, tražeći prije svega dozvolu kontrole leta za lansiranje raketa u pojedinim kvadrantima

- b.) Stacionarne Cb-e zasijavati u skladu sa već spomenutim, sa svih strana radarskog odraza. Oblake koji jačaju zasijavati češće, a kad počnu slabiti prestati sa zasijavanjem, ali pratiti i dalje situaciju putem radarskih mjerenja, jer često postoji obnavljanje procesa.
- c.) Zasijavanje Cb-a u formiranju se vrši na već spomenuti način, ali i koristeći podatke o PRO (ako je to moguće) i zasijavanjem istih.

8. RAKETE ZA OT

8.1. OSNOVNA NAČELA OBRANE OD TUČE RAKETAMA

Cilj djelovanja na tučoopasne Cb-e je sprečavanje padanja ili slabljenje intenziteta tuče umjetnim izazivanjem mikrofizičkih i dinamičkih promjena u oblaku. Danas se koriste dvije poznate metode djelovanja:

- a) Metoda blagotvorne konkurencije se temelji na pretpostavci da je količina pothlađene vode u oblaku ograničavajući faktor za odnos broja i veličine zrna tuče. Pretpostavlja se da veći broj jezgara kristalizacije dovodi do smanjenja veličine zrna tuče na račun raspodjele iste količine vode, tako da se zrna do tla djelomično ili potpuno otope. Ovo je metoda kojom se izazivaju mikrofizičke promjene u oblaku i zahtjeva djelovanje u temperaturnom području hladnijem od $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na ovoj metodi se zasniva raketno djelovanje.
- b) Metoda izazivanja prijevremene oborine pretpostavlja iniciranje razvoja kristala u toplijem dijelu oblaka, tj. u negativnom području što bliže $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, odnosno ranije u životu oblaka, tako da se pokreće proces ranijeg ispadanja oborine iz oblaka u razvoju, ili iz oblaka hranioca prije spajanja sa glavnom olujom. Ovom metodom se izazivaju dinamičke promjene u oblaku spuštanjem trajektorije zrna tuče i gušenjem uzlaznih struja. Ova metoda je osnova djelovanja prizemnim generatorima i avionskim zasijavanjem.

S obzirom na navedene metode, vidimo da se djelovanje raketama i prizemnim generatorima nadopunjuje, tako da se pokriva spektar dinamičkih i mikrofizičkih promjena u oblaku s ciljem sprečavanja ili smanjenja intenziteta tuče.

8.2. DJELOVANJE RAKETAMA

Djelovanje raketama u svrhu obrane od tuče bazira se na metodi blagotvorne konkurencije. Rakete za obranu od tuče predstavljaju sredstvo za unos umjetnih jezgara kristalizacije (reagensa) u tučonosni oblak. Djelovanje se provodi na radarski identificirani cilj koji je vezan uz tučoopasan oblak. Način djelovanja ovisi o već navedenim vrstama Cb-a, te spomenutim stadijima razvoja pojedine vrste Cb-a. Kako bi se za konkretni radarski identificirani oblak odredio cilj i način djelovanja raketama, treba prvo odrediti gdje je područje djelovanja i kada treba djelovati i sa kojom količinom reagensa doći u određeno područje. Potrebni uvjeti u području unosa umjetnih jezgara kristalizacije da bi se ostvarila pretpostavka o blagotvornoj konkurenciji su sljedeći:

- a) Jezgre moraju biti unesene i stvarati kristale u području temperatura od $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tada se iskorištava i prirodni proces umnožavanja kristala, stvaranja sekundarnih kristala zbog sudara s krupnim kapima ili kristalima. Ovaj proces je najefikasniji na temperaturama od $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hallet – Mossopov efekt sekundarne produkcije kristala). Iskorištava se i proces najbržeg stvaranja zametaka tuče na kristalima štapićaste

strukture sa najvećom brzinom propadanja i moći sakupljanja oblačnih kapi u području temperatura od $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fukuta). U području temperatura hladnijih od $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ prirodnim procesom nastaje veliki broj kristala tako da je raspoloživa voda za rast konkurentnih zrna tuče vrlo mala.

- b) U području isijavanja reagensa moraju prevladavati oblačne kapi dimenzija reda veličine 100 mikrometara. Manje kapi imaju vrlo malu vjerojatnost sudara s jezgrom kristalizacije i rasta do dimenzija konkurentnih prirodnim jezgrama. U slučaju unosa u područje bitno krupnijih kapi dolazi do vrlo brzog ispiranja umjetnih jezgri iz područja stvaranja zametaka tuče.
- c) Reagens mora biti unesen u područje manjih uzlaznih struja od 1-5 m/s, kako bi umjetne jezgre imale dovoljno vremena boraviti u području isijavanja i rasta kristala do konkurentnih dimenzija. Računa se da je za to potrebno minimalno vrijeme od 3 minute.

8.3. SVOJSTVA RAKETA I OSOBINE REAGENSA

U Hrvatskoj se u OT koristi raketa ALT 9. To je jednodijelna raketa koja se lansira iz lansirne cijevi iz šesterocijevnog lansera. Balistička svojstva rakete su dana tablicom u "Napatku o djelovanju raketama ALT-9" i u tehničkoj dokumentaciji proizvođača "Balistička i meteorološka svojstva rakete ALT 9" iz ožujka 1995. godine (po izvršenom novim balističkim ispitivanjima u 2003. godini očekuje se korekcija balističkih tablica). Lanser za rakete je šesterocijevni lanser ALT-6 i sve cijevi su u nominalnom azimutu (bez snopa), pa se preporuča određeni broj raketa lansirati sa više postaja kako bi se raketama što ravnomjernije pokrilo cijelo područje. S obzirom da lansiranje nije u snopu, RC daje u naređenju raketaru azimut, elevaciju i broj raketa koje treba lansirati. Djelovanje se operativno provodi sa lansirne postaje u azimutu cilja, cijelom frontom ciljane zone zasijavanja kontinuirano, vremenski prije nailaska oblaka pod elevacijom (zavisno od visina pojedinih izoterma) koje se određuju za akciju, tako da trag isijavanja bude u sloju između izoterma $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Procjena potrebne koncentracije reagensa bazira se na osnovnoj pretpostavci blagotvorne konkurencije i empirijskim vrijednostima utvrđenim analitičkim putem. Uzima se da je uobičajena koncentracija prirodnih jezgara kristalizacije od 10 do 1000 u kubnom metru zraka. Da bi došlo do smanjenja intenziteta tuče treba koncentraciju povećati najmanje 100 puta. Procjenjuje se da je neophodno postići koncentraciju od 10^4 do maksimalno 10^6 jezgara kristalizacije po kubnom metru zraka. Ispod ove koncentracije dolazi do podzasijavanja, a iznad do prezasijavanja.

Uz sve navedeno, iskustvo je pokazalo da je prilikom djelovanja na formiran tucoopasan oblak za njegova cijelog životnog vijeka neophodno prostorno i vremenski kontinuirano djelovanje. Prostorno s obzirom na navedeno područje zasijavanja, a vremenski s obzirom na životni vijek oblaka sve dok se ne pokažu znakovi slabljenja i nezadovoljavanja niti jednog kriterija. Vremenski gledano, prekidom se računa svaki izostanak zasijavanja duži od 7 minuta. Postoji zahtjev da se vremenski ranije zasije prostor na koji se očekuje nailazak oblaka u vremenu do 3 minute prije njegovog nailaska.

8.4. MREŽA LP-a I PODRUČJE ZASIJAVANJA POJEDINE LP-e

Svaki radarski centar se sastoji od mreže lansirnih postaja (LP) koje su locirane na njegovom branjenom području. Prilikom lociranja LP-a išlo se s tendencijom da se ostvari dvostruko prekrivanje (gušća mreža LP). Svaka LP pokriva prstenasti prostor oko sebe.

Evidentno je da visine izoterma i nadmorska visina LP određuje efikasnu elevaciju, a efikasna elevacija određuje različita područja zasijavanja. Na taj način područje djelovanja dobiva izgled potkove koji ovisi o elementima lansiranja raketa.

To znači da krug djelovanja oko LP-a u programskim paketima za OT nije realan, nego više liči na kružni vijenac. To dalje znači da se gustoća kompletne mreže LP-a smanjuje i realno mreža LP-a postaje rijetka. S obzirom na korištene elevacije lansiranja, mreža LP-a postaje također rjeđa, ako se koriste veće elevacije lansiranja jer se smanjuje domet korištene rakete.

LP je mjesto na kojem se čuvaju rakete i oprema, na kojem boravi raketar prije i poslije akcije i mjesto odakle se lansiraju rakete. LP je osnovna jedinica mreže LP-a.

Za vođenje akcije OT potrebno je poznavati izgled LP-a, rakete i opremu za ispaljivanje, te sam postupak ispaljivanja i mjere zaštite raketara. Mreža LP-a se planira prema balističkim svojstvima korištenih raketa, lokalnim meteorološkim prilikama, te prirodi branjene površine. Sprega LP-a u mreži omogućava zasijavanje olujnih oblaka na velikoj površini i visini, što je preduvjet efikasne OT. Lansirane rakete su sve aktivirane rakete iz lansera bez obzira da li su ispravno obavile svoju funkciju ili su bile neispravne. Ispravne rakete su sve ispaljene rakete kod kojih nije primijećena neispravnost, tj. odstupanje od propisanih vrijednosti. Neispravne rakete su sve ispaljene rakete kod kojih se primijeti odstupanje od propisanih vrijednosti, a to su skretanje s putanje, tumbanje u letu, prijevremena eksplozija u zraku, eksplozija u lanseru, progorijevanje motora, nepotpuna samolikvidacija ili greške u isijavanju reagensa. Oštećene rakete su sve neispaljene rakete koje su oštećene prilikom transporta, skladištenja ili rukovanja, tako da nisu za ispaljivanje. Meteorološki neispravna raketa je svaka raketa koja nije isijala reagens u željenom području. Otkaz rakete je slučaj kada prilikom pokušaja ispaljivanja rakete nije došlo do njenog aktiviranja, tj. niti jednog njenog sklopa. U tim slučajevima RC treba upozoriti raketara da ostane u skloništu i ne prilazi lanseru 5 minuta. Isto važi i za eksploziju u lanseru ili padu rakete u blizini LP-a.

8.5. KOLIČINA I TEMPO ZASIJAVANJA

Količina i tempo zasijavanja raketama su bitni faktori za efikasnost OT. U operativi se obično smatra da je svaka lansirana raketa ispravno odradila svoj dio u lancu OT. Zbog toga moramo odrediti jedan pretpostavljeni broj raketa koje treba lansirati u određeni prostor (sa željom da će one sve ispravno odraditi svoj posao), koji je funkcija volumena tog prostora. Tablica iz "Naputka o djelovanju raketama ALT-9" daje preporučeni broj raketa s obzirom na produkciju aktivnih jezgri kristalizacije, dimenzije oblaka, pretpostavljeni rasap po azimutu, neophodnu koncentraciju i njeno vremensko i prostorno održavanje.

Preporučeni broj raketa za djelovanje na Cb-e dan je s obzirom na dimenziju veće osi zone odražajnosti od 25 dBZ mjereno na visini od 4 -5 km, kako bi se postigla optimalna koncentracija od 10^5 jezgri kristalizacije po metru kubnom. Ove vrijednosti su korigirane s obzirom na dimenziju oblaka i činjenicu da se raketa ne lansira u snopu. Rasap u smjeru nominalnog azimuta je +/- 3 stupnja.

Tempo zasijavanja je vremenski razmak između lansiranja pojedine serije raketa u vremenskom nizu tijekom akcije OT. Pojedina serija raketa je ispaljena u isto vrijeme.

Tempo zasijavanja trebao bi zavisiti od intenziteta nepogode, a ne bi trebao biti češći od 3 minute od jednog do drugog lansiranja određenog broja raketa (2 do 6 komada), ali niti manji od 8 minuta. Pragovi intenziteta nepogode za promjenu tempa zasijavanja trebali bi biti 45 dBZ, 50 dBZ i 55 dBZ. Što je jači intenzitet refleksivnosti i vrh na većoj visini tempo mora biti kraći. (Naprimjer, za zonu 45 dBZ ako je vrh na visini:

0 °C + 1.4 km - 8 minuta, 0°C + 3.0 km - 6 minuta, 0°C + 4.0 km - 5 minuta)

Kod višestaničnih i superstaničnih kumulonimbusa s obzirom na razmjere područja zasijavanja, a koje se mora pokriti sa većim brojem postaja, i s obzirom na brzinu kretanja oblaka, te najčešće pojave intenziteta preko 50 dBz, zasijavanje se svodi na kontinuirano djelovanje.

9. KONTROLA LETA

Bez dozvole oblasne kontrole leta za traženi kvadrant (određeno područje zračnog prostora) nije moguće lansirati rakete. Dozvola za pojedini kvadrant se treba tražiti ranije nego što je potrebno (jer se mora obično čekati), radi ostvarenja svih potrebnih uvjeta za akciju OT (raketar je na vezi i spreman je za lansiranje raketa, vrsta, smjer gibanja i brzina oblaka su određeni i čeka se da zadovolji kriterije za akciju OT, utvrđeni su kriteriji tj. visine izoterma za akciju OT, te elevacija lansiranja itd.). Jedan od glavnih faktora efikasnosti OT je pravovremeno dobivanje dozvole za lansiranje raketa od oblasne kontrole leta (OKL). Sabirni centar (SC) kao posrednik u pribavljanju suglasnosti za ispaljivanje raketa između RC-a i OKL-a obuhvaća područje rada svih RC-a u Hrvatskoj. To je područje gustog zračnog prometa, kako tranzitnog tako i lokalnog. Naročite poteškoće su kod odobravanja lansiranja raketa u području velikih civilnih, te manjih sportskih aerodroma, kao i u blizini državne granice. Prijenos propisanih podataka između RC-a, SC-a i OKL-a obavlja se radio vezom. Na temelju utvrđene potrebe za akcijom OT raketama RC traži od SC-a odobrenje za njihovo lansiranje. Odobrenje se traži otvorenim tekstom koji sadrži oznaku kvadranta (slovo i broj), te visinu djelovanja. Odobrenje od strane OKL-a se izdaje radio vezom otvorenim tekstom koji sadrži: oznaku kvadranta, visinu djelovanja, vrijeme početka odobrenja i vrijeme prestanka odobrenja. U slučaju da nije moguće odobriti lansiranje raketa u određenom kvadrantu u traženo vrijeme, OKL izdaje zabranu djelovanja koja traje do ponovne dozvole za odobrenjem kvadranta. Tekst zabrane koja se izdaje radio vezom mora sadržavati: oznaku kvadranta, vrijeme početka zabrane djelovanja i vrijeme kraja zabrane djelovanja. Ako RC u trenutku dobivanja zabrane kvadranta odjavi isti, zabrana se ne bilježi.

10. SPREMANJE RADARSKIH PODATAKA

Od uvođenja digitaliziranih radarskih mjerenja promijenio se način spremanja radarskih podataka, budući da su se prije ti radarski podaci upisivali u tiskanice. Radarski podaci (PPI i RHI slike) se trebaju spremati prema datumu opažanja (mjesec, dan, godina) u jednu datoteku, koja se komprimira, jer podaci zauzimaju veliki prostor na računalu. Poslije sezone OT sva radarska mjerenja jednog RC-a se stavljaju na CD i arhiviraju na RC-u i u DHMZ-u. Pojednostosti su objašnjene u "Naputku za spremanje radarskih mjerenja na disk i arhiviranje"

11. OBRANA OD TUČE PRIZEMNIM GENERATORIMA KAO SASTAVNIM DIJELOM KOMBINIRANE OBRANE OD TUČE

11.1. UVOD

Suvremena obrana od tuče ne pokušava kontrolirati samu oluju, jer nam za sada znanje i mogućnosti to ne dopuštaju, nego samo modificirati proces rasta zrna tuče unutar oluje. Obrana

od tuče prizemnim generatorima zasniva se na već spomenutoj hipotezi izazivanja prijevremene oborine. Ona 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 pokreće oborinski proces u takozvanim oblacima “hraniteljima” ranije, i rezultira ispadanjem potencijalnih jezgara tuče iz tih oblaka prije nego što se spoje s glavnom olujom. Opaženo je da su oblaci hranitelji uvijek prateći elementi svakog olujnog tučonosnog procesa, a odgovorni su za njegovo trajanje i intenzitet. Nakon začetka zametaka tuče prirodnim putem u oblacima hraniteljima, čestice brzo rastu u glavnoj uzlaznoj struji i završavaju svoj put kao zrna tuče na tlu. Zasiijavanje oblaka hranitelja uvođenjem velikog broja ledotvornih jezgara na umjetan način (istovremeno kad se stvaraju i prirodne jezgre) proizvodi veliku količinu umjetnih zametaka tuče koji se natječu za raspoloživu vodu u oblaku. Uvođenjem umjetnih ledotvornih jezgara ranije u životu oblaka, dolazi do već spomenutog izazivanja prijevremene oborine. Tako dolazi do pojave oborine iz oblaka hranitelja prije nego što dođe u područje glavne uzlazne struje u kojoj se više ništa ne može umjetnim djelovanjem (za sada) učiniti. U slučaju izazivanja prijevremene oborine preporučeno zasiijavanje se provodi na nivou izoterme – 5 °C, budući da je tu prag aktivnosti za većinu reagensa na bazi AgI (ukoliko se koriste zrakoplovi), kao i mrežom prizemnih generatora, uz pretpostavku i eksperimentalne podatke o vertikalnim strujanjima u atmosferi, da će isijani reagens doseći taj nivo koristeći postojeće slabe uzlazne struje.

11.2. OSNOVNE POSTAVKE KOMBINIRANOG DJELOVANJA OT

Kontinuirano i vremenski i prostorno rano djelovanje se pokazuje bitnim za uspješno provođenje obrane od tuče. Rad mreže prizemnih generatora dodatno osigurava kontinuirano djelovanje na sve potencijalno tučoopasne oblake, jer se na ovaj način zasiijava prostor u kojem bi se mogli odvijati tučoopasni procesi koji su najavljeni prognostičkim materijalima. Osnova mogućeg djelovanja na tučoopasne procese pomoću prizemnih generatora leži u činjenici da konvektivni procesi imaju začetak u nižim slojevima atmosfere. Prizemni generatori bi se trebali koristiti u situacijama s dobro organiziranim konvektivnim kompleksima poput hladnih fronti ili linija nestabilnosti koje nailaze na branjeno područje. Raketne bi služile u situacijama oluja u zračnoj masi koje se stvaraju iznad branjenog područja, te u kombinaciji s uključenom mrežom prizemnih generatora kod posebno intenzivnih olujnih procesa u ostalim sinoptičkim situacijama. Mreža generatora se mora na osnovu prognostičkih materijala uključiti dva do tri sata prije nastupa konvektivnih procesa, (zavisno od prognostičkih podataka), da bi efikasno odradila svoj dio posla. To znači da je za obranu od tuče generatorima najvažnija prognoza vremena, jer se mreža generatora uključuje nekoliko sati prije nailaska nepogode.

Uz već spomenutu prognozu vremena u operativi se koristi radarska i satelitska slika radi preciznijeg određivanja početka i završetka djelovanja. Jedinica djelovanja mreže prizemnih generatora nije radarski definiran oblak, nego prostor. Drugim riječima, generatori djeluju na sve oblake koji nailaze ili se stvaraju iznad na vrijeme uključene mreže prizemnih generatora. Na taj način se pruža mogućnost redistribucije intenziteta oblaka u danom prostoru oduzimanjem energije glavnoj oluji u korist oblaka hranitelja. Vremenski dovoljno rano djelovanje je osigurano početkom rada generatorske mreže nekoliko sati prije pojave grmljavinske oluje. Prostorno dovoljno rano djelovanje ovisi u najvećoj mjeri o strujanjima u nižim slojevima atmosfere. Najveći problem u primjeni generatora ostaje nepoznavanje podatka o postotku reagensa koji dolazi u oblak.

Dakle, način rada pretpostavlja da su svi oblaci na branjenom području zasiijani u svrhu izazivanja prijevremene oborine. Ako se taj način ne ostvaruje iz bilo kojeg razloga, na radarski ustanovljene tučoopasne oblake se djeluje raketama, na već propisani način. Temeljni problem u početnoj fazi takvog djelovanja je kako procijeniti nivo zasiijanosti oblaka. Taj problem se

zasada može riješiti grubom procjenom transporta reagensa u oblak, uzimajući u obzir polje strujanja, vrijeme rada generatora, gustoću mreže i difuziju reagensa u atmosferi.

Jedinica djelovanja mreže prizemnih generatora je prostor, a kod raketa to je radarski definiran oblak. Ova dva načina djelovanja se konceptualno razlikuju, ali dobrim dijelom nadopunjuju u operativnom radu, tako da se nedostaci jednog načina gotovo u pravilu mogu nadoknaditi upotrebom drugog načina djelovanja. Kao primjer navest ćemo slučaj zabrane djelovanja raketama zbog preleta aviona koji se djelomično kompenzira radom generatora. S druge strane, iznenadne i burne promjene u vremenu nemaju nikakav utjecaj na rad raketnog sustava, dok takva situacija mreži prizemnih generatora (visoka osjetljivost na prognozu vremena), ne ostavlja dovoljno vremena za uspješno djelovanje.

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 slaboj uzlaznoj struji oblaka, a položaj i intenzitet uzlazne struje sa trenutnim operativnim radarskim sistemima nije moguće točno odrediti. Vremenski ranije djelovanje (u životu oblaka), ne bi riješilo problem potrošnje budući da korektno djelovanje pretpostavlja intenzifikaciju oblaka. Radarski orijentiran kriterij tučoopasnosti prisiljava voditelja akcije OT na kontinuirano zasijavanje, jer se ne zna trenutak u kojem se oblačni sistem počinje raspadati (tj. prestaje potreba za daljim zasijavanjem). Iz navedenog se vidi potreba za kontinuiranim zasijavanjem novih i zrelih stanica kod višestaničnog procesa (koji su vjerojatno najčešći izvor padanja tuče kod nas). Sljedeći problem su oluje većih brzina gibanja (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 koje treba trenutno zasijavati. Oba navedena problema se mogu nezavisno pojaviti i zbog zabrana kontrole letenja (kašnjenje početka zasijavanja i prekid kontinuiteta), čije moguće štetne posljedice ne treba posebno obrazlagati. Budući da se očekuje porast zračnog prometa u sljedećim godinama, logično je očekivati brojnije probleme u djelovanju raketama u budućnosti i to pogotovo u blizinama zračnih luka. Uz to postoji problem djelovanja uz državne granice susjednih zemalja i iznad većih gradova. S druge strane preciznost mreže generatora nije zasada poznata (uz pretpostavku da rakete slijede svoje balistički propisane putanje, pa su one i preciznije), kao što je i nepoznata količina reagensa u oblaku, ali zbog toga je rukovanje s njima manje opasno i jednostavno i njihova upotreba omogućava višestruko korištenje.

11.3. MREŽA PRIZEMNIH GENERATORA

Pitanje difuzije u atmosferi je od najvećeg značaja prilikom oblikovanja mreže prizemnih generatora. Pri proračunu gustoće mreže prizemnih generatora kao referentne vrijednosti su uzete sljedeće:

- vjetar u nižim slojevima atmosfere je 5 m/s
- minimalno vrijeme rada generatora prije stvaranja ili nailaska nepogode na branjeno područje je 2 sata
- 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 oblaka 20 km
- pretpostavljena širina perjanice je 7 km na udaljenosti 20 km od izvora (prema eksperimentalnim podacima)
- promjer tipičnog Cu con je 4.5 km

Iz teorijskih i eksperimentalnih podataka, može se predložiti mreža prizemnih generatora dimenzija 9 x 9 km, i to orijentirana prema najčešćim smjerovima nailaska olujnih sistema (SW–NW). Mreža je strogo postavljena tako da su teorijski ostavljene minimalne dimenzije (odnosno vrijeme) za koje ne bi postojalo trenutno zasijavanje pa je i potencijalno nezasijana površina beznačajna. Uz sve pretpostavke o širenju reagensa, nezasijana površina između pojedinih generatora uz ovakvu gustoću mreže iznosi oko 35 km², a to je dvostruko manje od srednje površine uzlazne struje oblaka, što znači da je vrlo mala vjerojatnost da oblak ostane nezasijan. Utvrđeno je da generatori vrlo dobro rade na planinskom području (obronci brda), gdje prisilno uzlazno strujanje doprinosi donosu reagensa u željeno područje. Kombinacijom vremena rada, gustoće mreže i aktivnosti generatora može se dobiti optimalan broj generatora na branjenom području. Kod određivanja mikrolokacije generatorske postaje (GP), treba obratiti pažnju da GP bude na navjetrinskoj strani u podnožju orografske prepreke (zbog omogućavanja prisilne konvekcije), da podloga u neposrednoj okolini generatora bude što više glatka i da gustoća mreže bude što približnija teorijskoj gustoći.

11.4. DOZIRANJE, MOĆ ZASIJAVANJA, FAKTOR ZASIJANOSTI OLUJE

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. U literaturi se često koristi pojam moć zasijavanja koja predstavlja broj aktivnih jezgara zaleđivanja na sat i po kvadratnom kilometru na referentnoj temperaturi (najčešće – 10 °C). S obzirom na rezultate, vrijednost iz Francuske se može smatrati dovoljnom, tj. moć zasijavanja od 0.6x10¹³ j/hkm² mjereno na – 15 °C. Svaki rezultat iznad toga bi davao dodatnu sigurnost da je postignuta moć zasijavanja dovoljna za uspješno djelovanje.

Sljedeći način je upotreba faktora zasijanosti oluje. Faktor se definira kao omjer umjetno stvorenih i prirodnih jezgara zaleđivanja. Budući da kod nas nismo u mogućnosti mjeriti broj jezgara zaleđivanja, uzimamo eksperimentalne podatke iz svijeta. Uglavnom, većina mjerenja najčešće daju vrijednost od 1 j/dm³. Mjerenja koncentracije pokazuju da je većina AgI jezgara aktivna na nivou kondenzacije oblaka. Faktor zasijanosti oluje u Francuskoj kreće se od 10 do 70, a u Italiji je između 100 i 500 što je za red veličine više nego u Francuskoj. Za naše predviđeno područje i gustoću mreže izračunat će se potrebna aktivnost generatora pomoću moći zasijavanja i faktora zasijanosti oluje. Aktivnost jednog generatora (j/h) jednaka je umnošku branjene površine (km²), moći zasijavanja (j/hkm²) i broja generatora. Ako uzmemo 50 generatora i površinu RC - Puntijarka (4000 km²), uz moć zasijavanja 0,6x10¹³ slijedi da je potrebna aktivnost generatora 4.8x10¹⁴ j/h mjereno na – 15 °C. S obzirom da je aktivnost 1%-tne otopine AgI na – 15 °C za red veličina viša nego na – 10 °C, za naše uvjete se uzima kao minimalna aktivnost generatora 5x10¹³ j/h pri – 10 °C. Ako ovo uzmemo kao minimum, vrijednost moći zasijavanja iz Italije, gdje je moć zasijavanja za red veličina veća, možemo uzeti kao maksimum, dobiva se maksimalna aktivnost za istu površinu i isti broj postaja od 1,3x10¹⁶ j/h mjereno pri – 10 °C. Sve ovo, i rezultati iz još nekih zemalja, navodi da bi kao zadovoljavajuća produktivnost koja bi uključila i rezervu za dodatnu sigurnost, zbog velikog broja nepoznanica u ovoj metodi bila 5x10¹⁴ j/h pri – 10 °C.

11.5. MOGUĆNOST VIŠESTRUKOG DJELOVANJA

Mreža prizemnih generatora osim u obrani od tuče u svijetu je vrlo često korištena u pokušajima povećanja količine oborine. Naime, pokazalo se da zasijavanje oblaka koji se ne

razvijaju do tučoopasnih, odnosno oborinskih, takvih su dimezija i svojstava koje su upravo povoljne 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 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, najčešće prirodno ne daju oborinu na tlu, što se u slučaju povećanja količine oborine može primijeniti kao vrlo jednostavan kriterij uspješnosti samog djelovanja. U našim krajevima ovu mogućnost ne treba zanemariti u kontinentalnim predjelima, a pogotovo ne u primorskim i brdskim. Osim zbog poljoprivrede, povećanje količine kiše (ali i snijega, kao zalihe vode) 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.

11.6. POŽELJNI ZAHTJEVI NA PRIZEMNI GENERATOR

Razmatranjem difuzije u nestabilnoj atmosferi predviđena je mreža generatora koja bi trebala u minimalnom vremenu (1 sat) dati moć zasijavanja oluje od barem 6×10^{13} , a poželjno i veću. Iz predviđenog maksimalnog koraka mreže (oko 9 km) slijedi da je za područje od oko 4000 km^2 potrebno oko 50 generatora, odnosno jedan generator na 80 km^2 . Iz toga proizlazi da je minimalna potrebna aktivnost generatora oko $5 \times 10^{14}\text{ j/h}$ na $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Postavljena 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 minuta, 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 minimalno vrijeme za djelovanje prije nailaska oluje. Osim ovih zahtjeva postoje i neki tehnički uvjeti na generator, a to su da bude lagan za rukovanje, energetski autonoman, te da podliježe sigurnosnim i ostalim zakonima o upotrebi u RH. Pojediniosti su opisane u "Naputku za rad s prizemnim generatorima".

12. ZAKLJUČAK

Sva dosadašnja saznanja ukazuju na to da je sam način izvođenja operacije djelovanja vrlo važan. Pravovremeno i mjesno točno zasijavanje je posebno kritično za uspješnu obranu od tuče.

Većina onoga što se zna o obrani od tuče, bilo o uspjehu ili neuspjehu, dobiveno je kroz studije, koje su upotrijebile podatke o pojavi tuče na tlu sa područja provođenja obrane od tuče, u periodu zasijavanja. Do sada je, o uspjesima zasijavanja, vrlo malo pokazano preko pažljivo dizajniranih studija fizikalnog ponašanja unutar oblaka. Znanstvena povezanost koja objašnjava obranu od tuče još uvijek nije dobro objašnjena no izračuni razlika u pojavi tuče na tlu uglavnom ukazuju na uspješnost zaštite i to u iznosu od 20 do 50% ovisno o načinu i mjestu provođenja.

Ovaj naputak nastao je kao spoj teorijskih i praktičkih znanstvenih saznanja iz područja obrane od tuče u svijetu i vlastitih višegodišnjih iskustava i saznanja stručnjaka koji rade u toj djelatnosti u Hrvatskoj. Obrana od tuče je relativno mlada djelatnost i kao takva svakim se danom oplemenjuje novim znanjima i iskustvima, tako da ovaj naputak treba shvatiti kao osnovu teorijskog znanja za djelatnike koji rade u operativi obrane od tuče. Ta znanja stalno treba nadopunjavati novim saznanjima proisteklim u svijetu i onima empirijskima proisteklim iz vlastitih analiza rada i djelovanja.