

Lipovščak Bojan
Republički hidrometeorološki
zavod SR Hrvatske, ČOT

SAŽETAK: Prikazani su osnovni uvjeti potrebnici za stvaranje grmljavinskih oluja. Prikazana je struktura običnih i super staničnih oblaka vertikalnog razvoja. Dan je kratak prikaz radarskih obilježja grmljavinskih oblača, radarske detekcije munja i umjetnog djelovanja na munje.

U V O D

Razvojem moderne meteorologije, a posebno radarskih uređaja i radarske meteorologije postupno se povećava fundus informacija koje posjedujemo o oblacima vertikalnog razvoja, te se zaokružuje i upotpunjava slika jedne od najspektakularnijih prirodnih pojava. U ovom radu ukratko su sa stanovišta radarske meteorologije objašnjene neke osnovne činjenice vezane uz razvoj i rast kumulonimbusa. Moderni meteorološki radari ulaze u nasu meteorološku praksu postupno i za očekivati je više rezultata i prikaza pojedinih grmljavinskih situacija u narednom periodu.

1. NEOPHODNI UVJETI ZA STVARANJE GRMLJAVINSKIH OLUJA

Za stvaranje i nastanak grmljavinskih oluja u vidu kumulonimbusa (u dalnjem tekstu Cb) otlaka vertikalnog razvoja neophodni su sljedeći uvjeti:

- visoka koncentracija vlage u slobodnoj atmosferi,
- nestabilan zrak,
- vertikalno strujanje - dizanje zračnih masa.

Neki od procesa koji dovode do pojava uzlaznih strujanja su:

- konvergentno gibanje na velikoj skali,
- fronte i frontalne pljhe,
- orografske prepreke,
- nejednoliko zagrijavanje površine tla i pojava termičkih stupova,
- granice izmedju zračnih masa.

Fizikalno različiti uzroci nastanka uzlaznih strujanja u atmosferi dovode do pojave dva osnovna tipa grmljavinskog nevremena: nevreme nastalo u zračnoj masi i nevreme frontalnog tipa.

Sinoptičke karakteristike povoljne za stvaranje nevremena u zračnoj masi su bezgradijentno polje tlaka, velika koncentracija vlažnog nestabilnog zraka i jako grijanje tla. Nastankom vertikalnog strujanja dolazi do formiranja izoliranih oblačnih stanica.

Sinoptičke karakteristike povoljne za stvaranje nevremena frontalnog tipa su granice izmedju zračnih masa različitih termičkih svojstava koje se premjestaju, nastaju uzlazna strujanja velikih razmjera i dolazi do razvoja velikog broja oblačnih stanica lociranih u graničnom području izmedju zračnih masa.

2. STRUKTURA GRMLJAVINSKOG OBLAKA

Osnovna gradjevna struktura grmljavinskog oblaka je stanica. Stanica je kompaktna regija 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 (obične stanice) i stanice dugog životnog vijeka (super stanice). Pojava munje vezana je uz obije vrste oblačnih stanica. Grmljavinske oluje su najčešće sastavljene od kombinacija stanica koje se nalaze u različitim fazama razvoja.

Obična oblačna stanica je kratkoživuća tvorevina kod koje vertikalno uzlazno strujanje traje od 1/2 do 1 sat. Faze razvoja obične oblačne stanice su:

1. kumulusna faza : uzlazna struja postoji od tla do nekoliko tisuća metara iznad vidljivog vrha oblaka. Para kondenzira i dolazi do formiranja kapljica koje rastu, pod kraj kumulusne faze počinje silazna zračna struja ali oborina ne doseže do tla.
2. zrela faza : oborina doseže do tla, uzlazno i silazno strujanje su u kvaziravnoteži. Jezgra silazne struje nalazi se u stražnjem dijelu oblaka u odnosu na smjer gibanja i uzrokuje divergirajuće jezero hladnog zraka, čija prednja granica čini mikro hladnu frontu. Do formiranja novih stanica dolazi iznad mikro hladne fronte. U zreloj fazi oborina je najjača a tuča ukoliko se formirala doseže do tla.
3. faza raspadanja (disipacije) : silazno strujanje postaje dominantno i širi se cijelom stanicom koja slabiti i raspada se.

Super stanica je karakterizirana kvaziravnotežnom cirkulacijom u kojoj uzlazna i silazna strujanja koegzistiraju kroz vremenski period duži od jednog sata. Stadij super stanice produženo je stanje zrele faze obične oblačne stanice. Smjer premještanja super stanice je obično u desno od srednjeg troposferskog strujanja. Faze razvoja super stanice su :

1. faza rasta : prvih 5 do 10 minuta identična je s kumuluznom fazom obične oblačne stanice. Vrh pojačanog radarskog odraza je iznad jezgre uzlazne struje. Dolazi do razvoja nadstrešnice na desnoj strani oblaka (u odnosu na smjer gibanja) oko i iznad uzlazne struje. Ispod nadstrešnice javlja se zona slabe radarske odražajnosti (WER - weak echo region). Vrh oblaka se premješta u desno od pojačanog građijenta odražajnosti na najnižim razinama. Iz nadstrešnice može doći do padanja suhe tuče promjera do 2 cm.
2. zrela faza : oborina doseže do tla, uzlazno i silazno strujanje su u kvaziravnoteži. Nadstrešnica se počinje na desnom rubu spuštati prema tlu i dolazi do formiranja okružene zone slabe radarske odražajnosti (BWER - bounded weak echo region). Vrh oblaka premješta se nad konkavni dio BWER-a,

dolazi do formiranja rđarskog odraza u obliku kuke ili privjeska na stražnjoj desnoj strani nadstrešnice. Kvaziravnotežna cirkulacija uzlaznog i silaznog strujanja može potrajati do 5 sati.

3. faza raspadanja : dolazi do narušavanja BWER-a, koji se raspada a vrh oblaka pada na 3 do 7 km visine. Radarski odraz u obliku kuke ili privjeska se premešta ciklonalno prema NE i spaja s glavnom oblačnom masom. Faza raspadanja traje 20 do 30 minuta.

Navedene faze razvoja obične i super stанице nemoguće je u prirodi egzaktno utvrditi zbog složenosti i različitosti prirodnih procesa. Odredjene radarske karakteristike pomažu u točnom određivanju faza razvoja oblaka vertikalnog razvoja. Kod obične oblačne stанице prvi rđarski odraz javlja se na visini 3 do 6 km iznad tla, na visini izoterme -5 stupnjeva C, s maksimalnim intenzitetom 30 dBZ. Intenzitet raste do 45 ili 50 dBZ u zreloj fazi. Odraz može postati višestaničan, promjera najviše 5 do 10 km. Tuča, ukoliko se javlja povezana je s zrnom odražajnosti 50 dBZ, a promjer zrna može iznositi do 5 cm. Trajanje olujnog nevremena na tlu povezanog uz jednu stanicu je 15 do 30 minuta. Za izolirane jednostanične grmljavinske oluje karakteristično je slabo smicanje vjetra visinom. Pojava munja vezana je uz zrelu fazu stанице. Srednji broj pojave munja oblak - tlo je 1 do 5 u minutu, a svih munja (uključujući i oblak - oblak) 2 do 10 u minute. U fazi raspadanja obične oblačne stанице mogu se pojaviti i pozitivne munje oblak - tlo.

Super stаница se na radarskom ekranu pojavljuje kao jednostanična struktura eliptičnog oblika srednjeg promjera 20 do 50 km, srednje visine oko 12 km. U zreloj fazi karakteristična je pojava BWER-a na desnoj stražnjoj strani oblaka na visini 4 do 7 km iznad tla. Na PPI ekranu radara BWER se pojavljuje kao rupa ili kvazi okrugla zona slabe odražajnosti - manja ili jednaka 20 dBZ, okružena zonom jakе odražajnosti. Po visini BWER se proteže od 1/2 do 2/3 visine oblaka. S gornje strane ograničen je jakim gradijentom odražajnosti što se dobro uočava na RHI ekranu radara. Velika zrna tuče javljaju se ispod zone velikog gradijenta odražajnosti koji okružuje BWER. Sitna tuča i jak pljusak povezan je s zonom maksimalne odražajnosti. Trajanje olujnog nevremena na tlu povezanog uz super stanicu je 5 do 6 sati. Pojava munje vezana je uz zrelu fazu stанице, iako je zapažena i u fazi rasta prili-

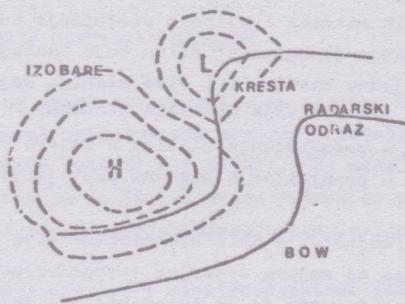
kom formiranja nadstrešnice. Srednji broj pojave munja oblak - tlo je 5 do 12 u minuti, a svih munja 10 do 40 u minuti. Pozitivne munje oblak - tlo javljaju se u zreloj fazi i fazi disipacije oblačne stанице.

3. RADARSKA OBILJEŽJA GRMLJAVINSKIH OBLAKA

Ne postoji jedno odredjeno radarsko obilježje koje direktno ukazuje na postojanje grmljavinskih procesa u oblacima vertikalnog razvoja. Niz radarskih parametara u kombinaciji s termodinamičkim svojstvima atmosfere ukazuje na vjerojatnost pojave grmljavinskih procesa. Radarska obilježja koja kod oblaka vertikalnog razvoja ukazuju na postojanje opasnih pojava (tornado, tuča, olujni vjetar na mahove, jači pljuskovi kiše, munje itd.) su:

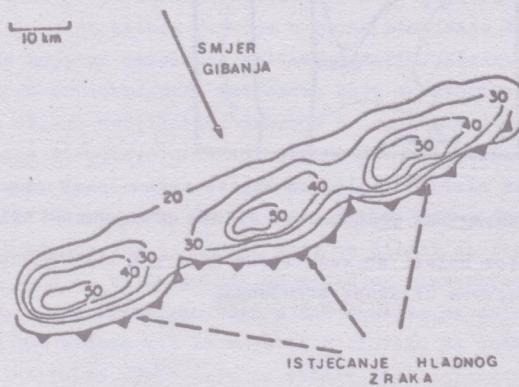
- poređak radarskih odraza,
- gibanje radarskih odraza u odnosu na troposfersko strujanje,
- konfiguracija - oblik radarskog odraza,
- vertikalna struktura odraza,
- reflektivnost odraza.

Obzirom na poređak radarskih odraza neophodno je razlikovati dva osnovna tipa koji u spremi s sinoptičkom situacijom ukazuju na porijeklo oblačnih stanica. Prvi tip karakteriziran je slučajnim rasporedom oblačnih stanica na većem području (domet radara do 400 km), koji odgovara razvoju Cb-a u zračnoj masi. Dimenzije stanica, njihov životni vijek i intenzitet odražajnosti ukazuju na postojanje opasnih pojava. Drugi tip karakteriziran je poretkom radarskih odraza u linije. Kriterij za raspoznavanje linija oblačnih čelija vertikalnog razvoja su odnos dužine i širine linije (5 : 1), minimalna dužina od 50 km, perzistentnost najmanje 15 minuta. Najsignifikantnije radarsko obilježje koje indicira olujno nevrijeme je linija radarskih odraza u obliku vala (slika 1.) u horizontalnoj ravnini. Do formiranja vala dolazi zbog različitih brzina premještanja odraza. Dio linije koji se premješta najsporije i formira oštar vrh vala naziva se kresta. Kresta je povezana s meso niskim tlakom, dio vala koji putuje najbrže a povezan je s meso visokim tlakom naziva se zadebljani odraz ili boW echo. Linija nestabiliteta je po definiciji svaka uska linija aktivnih Cb-a, gdje se pod aktivnošću smatra pojava munje, oborine u obliku pljuska kiše ili tuče, koja se ravnomjerno premješta brzinom 50 do 70 km/h



Slika 1. Shematski prikaz linije radarskih odraza u obliku vala.

bez pojave valnog gibanja. Linija nestabiliteta gradjena je od cobičnih oblačnih stanica ili od super stanica koje se nalaze u različitim fazama razvoja (slika 2.). Karakterističan je jak gradijent odažajnosti , izražena nadstrešnica i pomak vrha oblaka od središta prema prednjem rubu linije. Uzlazna struja se stvara na prednjem rubu odraza, a silazna struja dominira u oborinskoj zoni na stražnjoj strani linije nestabiliteta. Stanice koje čine liniju nestabiliteta kreću se u smjeru srednjeg troposferskog strujanja, ali gledano u cjelini kretanje linije je u desno zbog rasta i razvoja novih stanica na južnom kraju linije. Stanice na sjevernom kraju linije nestabiliteta



Slika 2. Shematski prikaz linije nestabiliteta.

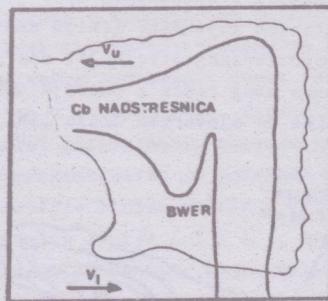
postupno se raspadaju.

Fremještanje oblačnih stanica i njihovo odstupanje od smjera srednjeg troposferskog strujanja je karakteristika koja ukazuje na opasne pojave povezane uz jednu stanicu ili više stanica koje čine liniju. Razlikujemo dva tipa premještanja oblačnih stanica:

- translacija - premještanje stanica u smjeru vjetra,
- propagacija - premještanje sistema nastajanjem i nestajanjem stanica.

Kod translatornog premještanja oblačnih stanica nije uobičajeno da smjer stanice odstupa od smjera srednjeg troposferskog strujanja. Ukoliko dodje do odstupanja onda je to super stаница koja rotira oko sebe i ponaša se kao valjak u struji fluida. Premještanje sistema propagacijom je uobičajeno kod linije nestabiliteta i ukazuje na razvoj novih oblačnih stanica.

Konfiguraciju radarskog odraza oblačne stanice valja promatrati u horizontalnoj ravni, PPI ekran radara i u vertikalnom presjeku, RHI ekran radara. U horizontalnom presjeku radarskog odraza oblaka vertikalnog razvoja karakteristična je pojava kuke ili privjeska na stržnjem desnom kraju odraza, u odnosu na smjer gibanja. Kod vertikalnog presjeka oblaka karakteristična je pojava nadstrešnice (slika 3.).



Slika 3. Shematski prikaz vertikalnog presjeka Cb oblaka.

Ispod nadstrešnice nalazi se zona slabe radarske odražajnosti koja se podudara s jezgrom uzlaznog strujanja.

4. MUNJE OSMOTRENE RADAROM

Poznato je da munja stvara sliku na zaslonu radara. ionizirani i zagrijani kanal izboja munje posjeduje dovoljnu refleksiju da prijemnik radara može detektirati signal. Kad kanal izboja munje reflektira radarsko zračenje na indikatorima radara se pokazuje slika uske zone odražajnosti 30 dBZ, koja korespondira udaljenosti i položaju kanala u prostoru.

U nekim slučajevima puls elektromagnetske energije nastao za vrijeme izboja munje sadrži dovoljnu količinu energije na frekvenciji radara da se na pokazivaču pojavi signal zvan "sferic". Kad radarski prijemnik detektira "sferic" njemu pridružena udaljenost na radarskom ekranu neće odgovarati stvarnoj udaljenosti pojave munje jer je pojava signala neovisna o vremenskoj konstanti radara. Azimut u kojem se pojavio "sferic" odgovara položaju pojave munje u prostoru.

Istraživanje munje pomoći radara nalazi se u fazi sporog razvoja ali može dovesti do novih saznanja o procesu elektrifikacije Cb-a.

5. UMJETNO DJELOVANJE NA MUNJE

Razvojem moderne meteorologije došlo se do spoznaje da se na određene vremenske procese može umjetno djelovati i skrenuti ih u željenom smjeru. U nizu zemalja provode se eksperimentalna djelovanja na vrijeme u svrhu povećanja količina oborine, obrane od tuče, rastjerivanja magle itd. Na teritoriju SAD izvršeni su pokušaji umjetnog djelovanja na oblake vertikalnog razvoja u svrhu smanjenja broja električnih pražnjenja koja su uzročnici velikih šumskih požara. Zasijavanje oblaka vršeno je avionima, piro patronama koje su ubacivane u zonu uzlazne struje oblaka vertikalnog razvoja i ispuštale reagens srebrni-jodid. Kristalna struktura srebrnog jodida je vrlo slična kristalnoj strukturi leda. Ubacivanjem velike količine kristala sličnih osobina kao kristali leda postiže se brz prelaz kapljica podhlađjene vode u krutu fazu. Pretpostavka je da pri tome ne dolazi do formiranja velite količine naboja, te da dolazi do rijedjeg električnog pražnjenja Cb oblaka. Eksperiment proveden u SAD ukazuje na smanjenje broja munja za cca 30% u dane kad se umjetno djelovalo na oblake.

Eksperimentalno djelovanje na oblake vertikalnog razvoja u svrhu spriječavanja stvaranja tuče vrši se na području SFRJ već petnaestak godišnjih.

dina, zasijavanjem oblaka srebrnim-jodidom pomoću raketa, međutim do danas nisu vršena ispitivanja utjecaja zasijavanja na broj i čestinu pojave munja.

6. LITERATURA

- Battan, L. J., 1973, Radar Observation of the Atmosphere, Chicago, 324pp.
- Breuer, G., 1979, Weather Modification, Cambridge, 178pp.
- Lipovščak, B., D. Skočir, B. Štajcar, 1982, Meteorološki radar WSR-74S naputak za primjenu, Zagreb, RHMZSRH 78pp.
- WMO, 1969, Artificial Modification of Clouds and Precipitation, Tech no. 105, Geneva.