

Naoblaka

1. Uvjeti nastanka. Naoblaka nastaje u zraku zasićenom vodenom parom. Tri su osnovna uvjeta za nastanak oblaka:

- Dovoljna količina vodene pare
- Dovoljan broj kondenzacijskih jezgara
- Proces ohlađivanja česti zraka do rosišta

2. Količina naoblake. Općenito, naoblaka se može očekivati pri relativnoj vlažnosti sloja zraka od 70% i većoj (odnosno, rosišna razlika manja od 5°C). Pritom, na manjoj visini (niska naoblaka) obično je potrebna veća relativna vlažnost (80% i veća), dok je za pojavu prvih visokih oblaka obično dovoljna relativna vlažnost iznad 60%. Potrebna rosišna razlika, na manjim visinama, iznosi oko $1\text{-}3^{\circ}\text{C}$, a na većim $4\text{-}6^{\circ}\text{C}$.

3. Procesi koji omogućuju stvaranje oblaka. Naoblaka nastaje hlađenjem česti zraka do točke rosišta. Procesi koji to omogućuju su:

- Adijabatskim dizanjem zraka (najvažniji proces)
- Turbulentnim miješanjem česti različitih svojstava
- Ohlađivanjem podloge (nastaje magla i stratus)
- Isparavanjem kapljica kiše ispod podnice oblaka (fractostratus, fractocumulus)

Dizanje zraka [engl. *lift*] ima razne uzroke:

- konvekcija u nestabilnom sloju
- Dizanje zraka na plohi fronte
- divergencija zraka na visini
- konvergencija zraka uz tlo
- Pozitivna advekcija vrtložnosti (uzrokuje divergenciju na visini)
- Dinamika mlazne struje (lijevi izlazni i desni ulazni kvadrant)
- Topla prizemna advekcija
- Orogenetsko dizanje pri prijelazu preko planinske prepreke

4. Lokacija. Naoblaka će nastati tamo gdje su ispunjeni svi uvjeti (vidi točku 1). Konkretno; ukoliko je ispunjen uvjet o dovoljnoj količini vodene pare, tada su naoblaka i oborine najvjerojatniji u području uzlaznih zračnih struja, i to:

- Na prednjoj strani doline (visinske ciklone)
- Na prednjoj strani prizemne (barokline) ciklone
- U području pozitivne advekcije vrtložnosti
- U području uzlaznih kvadranta mlazne struje (lijevi izlazni i desni ulazni)
- U području konvergencije Q-vektora
- Omega jednadžba izravno pokazuje područja uzlaznih i silaznih struja (pažnja, zbog naravi jednadžbe, metoda može biti nepouzdana)

- U području izentropnog toka prema nižem zračnom pritisku
- Nad mjestima prizemne konvergencije vjetrova
- Ispred i u zoni frontalnog poremećaja
- Pri strujanju zraka preko planinske prepreke

5. Visina naoblake. Visina zavisi prvenstveno o vertikalnoj raspodjeli relativne vlažnosti (vidi točku 2). Za visinu podnice konvektivne naoblake, koriste se slijedeće metode:

- Metoda skew-t dijagrama. Potrebno je pronaći točku na skew-t dijagramu gdje se sijeku suha adijabata iz prizemne temperature i linija omjera miješanja iz prizemne temperature rosišta. Visina tako nađene točke odgovara visini LCL [engl. *lifted condensation level*], odnosno, visini baze cumulusnih oblaka. Dodatno, na visini baze oblaka rosišna razlika strmo opada, penjući se s manje visine na veću (vidljivo sa skew-t dijagrama kao naglo približavanje linije temperature i linije temperature rosišta). Vrh oblaka se može pretpostaviti naglim porastom rosišne razlike s visinom.
- Metoda prizemne rosišne razlike. Relacija $122 \cdot (T - T_d)$ daje približnu visinu baze cumulusnih oblaka.

6. Vrsta naoblake. Vrsta oblaka zavisiće o brzini uzlaznih struja zraka.

- U nestabilnoj atmosferi, iznad LFC [engl. *level of free convection*], uzlazne struje dat će cumuluse i cumulonimbuse. Također, izražene konvektivne struje ispod LFC ili u stabilnoj zračnoj masi (nad pregrijanom podlogom, pri prisilnom uzdizanju preko planinske prepreke, pri brzom napredovanju hladne fronte), dati će cumulusnu naoblaku. Slaba konvekcija u vlažnoj zračnoj masi dati će uz cumuluse sloj stratocumulusa ili altocumulusa. Također, umjereno snažna konvekcija ispod izražene inhibicije dat će stratocumuluse i altocumuluse.
- Altocumulus castellanus nastaje u sloju zraka na visini gdje postoje konvektivne struje - visoki sloj miješanja [engl. *elevated mixed layer, EML*].
- Sinoptičke uzlazne struje su najčešće rasprostranjene nad većim područjem, ali su vrlo spore, pa nastaje stratiformna naoblaka. Na periferiji uzlaznih gibanja nastaje cirrostratus i altostratus, a u području nešto obilnijeg dizanja zraka deblji altostratus i nimbostratus.
- Oborina ispod podnice oblaka isparava, povećava vlažnost prizemnog sloja, te ponekad rezultira nastajanjem fractostratusa i fractocumulusa.

KONVEKCIJSKE OLUJE

Određeni sloj zraka može biti statički stabilan, ako se prisilno podignuta čest u veće visine sama nastoji vratiti u početni položaj, ili nestabilan, ako se podignuta čest nastavlja penjati pod djelovanjem vlastitoga uzgona. Nestabilnost u atmosferi nužan je uvjet nastanka konvektivnih oluja. Ovdje ćemo razmotriti razloge zbog kojih se atmosfera može destabilizirati i pritom raščlaniti nestabilnost u tri tipa:

- uvjetna nestabilnost
- latentna nestabilnost
- potencijalna (konvektivna) nestabilnost

Prije opisa svakog tipa, ukratko moramo objasniti stopu opadanja temperature dižuće česti s visinom. Označavamo ju sa Γ , a ona kaže koliko Celzijevih stupnjeva (Kelvina) se snizi temperatura česti pri promjeni visine za 1km. Za nezasićenu čest, ona iznosi okruglo 10 °C/km, preciznije 9,8 °C/km, dok je za zasićenu manja, zbog ukapljivanja vodene pare i oslobađanja latentne topline ukapljivanja pri dizanju česti – tada iznosi između 4 °C/km na malim i 7 °C/km na velikim visinama. γ je vertikalni gradijent temperature s visinom.

Prvi tip nestabilnosti je **uvjetna nestabilnost**. Zamislimo sloj zraka sa lineranim opadanjem temperature s visinom γ . Pretpostavimo zasićenu čest zraka u sredini toga sloja, temperature koja odgovara temperaturi okoline. Podignemo li tu čest unutar sloja na veću visinu, čest će se hladiti po pseudoadijabatskoj stopi Γ_s (~ 4 do 7 °C/km). Ako je $\Gamma_s > \gamma$, čest postaje hladnija od okoline (njezina stopa hlađenja je veća od stope opadanja temperature okoline s visinom). Zbog toga što postaje hladnija od okoline, nastaje negativan uzgon, te se ona nastoji vratiti u početan položaj. Da je čest pak bila nezasićena, ona bi se hladila po adijabatskoj stopi Γ_d (10 °C/1km), znači još brže, budući da se ne bi oslobađala latentna toplina pri ukapljivanju vodene pare. Zbog toga bi bila još teža pa bi se još brže vraćala u početni položaj. Situacija u opisanom sloju zraka, naziva se apsolutna stabilnost.

Ukoliko je $\Gamma_d > \gamma$, ali $\Gamma_s < \gamma$, kažemo da je sloj zraka uvjetno nestabilan. Uvjetno je nestabilan zato, jer njegova stabilnost ovisi o zasićenosti vodenom parom; ukoliko je zrak nezasićen, sloj će biti stabilan, no ukoliko je zasićen, sloj će postati nestabilan! Podižemo li zasićenu čest kroz takav sloj na veću visinu, zbog toga što je njezina stopa hlađenja Γ_s manja od stope opadanja temperature s visinom γ , ona će postajati sve toplija od okoline, pa će joj uzgon sve više rasti. Sloj zraka je tada nestabilan ako je u zasićenom stanju.

Ukoliko je zrak u sloju daleko od zasićenja (ima malu relativnu vlažnost), uvjetna nestabilnost sloja se još uvijek može osloboditi podizanjem vlažnije česti zraka ispod sloja, i dovođenjem u područje uvjetno nestabilnog sloja.

Svojstvo česti zraka da pseudoadijabatskim dizanjem na nekoj visini postane nestabilna (toplija od okoline), naziva se **latentna nestabilnost**. Visina na kojoj se to događa zove se razina slobodne konvekcije (Level of Free Convection – LFC) za tu čest zraka. Jednom kada čest u uvjetno nestabilnom sloju dosegne LFC, nastaviti će vertikalno ubrzanje zbog vlastitoga uzgona. Ubrzanje će se nastaviti sve dok postoji sila uzgona, tj. dok god je čest toplija od okoline kojom prolazi. U trenutku kada postane ponovo hladnija od okoline, kaže se da je dostigla Equilibrium Level (EL), visinu koja u pravilu odgovara vrhu konvektivnih oblaka. Kod jako razvijenih olujnih sustava, ova visina se nalazi na samom vrhu troposfere, ili čak u tropopauzi.

Posljednji tip nestabilnosti je **potencijalna nestabilnost**. Još se naziva i konvektivnom nestabilnošću. Za objasniti taj tip nestabilnosti, valja upotrijebiti pojam ekvivalentne potencijalne temperature Θ_e . Ekvivalentna potencijalna temperatura je temperatura koju bi imala čest zraka kada bi se ukapljila sva vodena para koju ona sadrži, a oslobođena latentna energija iskoristila za grijanje česti. Čest zadržava svoju Θ_e ako je podignemo pseudoadijabatski do vrha atmosfere, te spustimo adijabatski do tla. Zamislimo sada stupac zraka koji dižemo pseudoadijabatski, sve dok ne postane zasićen po cijeloj svojoj visini. Ukoliko donji dio stupca prvi počne ukapljivanje, daljnje dizanje stupca dovesti će do njegove nagle destabilizacije, s obzirom da se donji dio (zasićen) hladi po pseudoadijabatskoj stopi Γ_s (sporije), a gornji, još uvijek nezasićeni, po adijabatskoj stopi Γ_d (brže). Zbog toga što se gornji dio stupca hladi brže od donjeg, dolazi do porasta vertikalnog gradijenta temperature u stupcu, pa on postaje jače nestabilan. Ovaj tip nestabilnosti zove se potencijalna, odnosno

konvektivna nestabilnost. Može se pokazati, kako će do nestabilnog stanja $\gamma > \Gamma_s$ doći onda, ako potencijalna temperatura slojeva Θ_e opada s visinom.

Podižemo li čest kroz slojeve zraka, te ona u jednom trenutku postane toplija od okoline, rekli smo da se takvo stanje (svojstvo) naziva latentna nestabilnost. Prođe li takva čest sve slojeve i njezina temperatura nigdje ne prijeđe temperaturu okoline, latentne nestabilnosti nema, međutim, čak i u tom slučaju, može postojati potencijalna nestabilnost, koja će se javiti ako umjesto jedne česti iz prizemlja, podižemo čitav stupac zraka, pod uvjetom da njegova ekvivalentna potencijalna temperatura Θ_e dovoljno opada s visinom! S obzirom da se ekvivalentna potencijalna temperatura "sastoji" iz temperature i količine vlage, do potencijalne nestabilnosti može doći i u slučaju da umjesto temperature, s visinom znatno opada vlažnost zraka (jako vlažan prizemni sloj, a suhi srednji i viši slojevi troposfere). Obratno, ukoliko je atmosfera latentno nestabilna, uvijek je istovremeno – i potencijalno nestabilna.

1. Uvjeti nastanka. Tri su osnovna uvjeta za nastanak konveksijske oluje. To su:

- Vlažan sloj zraka uz tlo, dovoljne debljine
- Nestabilnost atmosfere
- Početno uzlazno gibanje zračnih česti

2. Snaga. Snaga konveksijske oluje zavisi primarno od 2 čimbenika:

- Nestabilnosti (CAPE)
- Smicanja vjetra po visini

3. Lokacija. Uz homogena uvjete u slobodnoj atmosferi, vjerojatnost nastanka konvektivnih oluja je najveća u području najviše theta-e vrijednosti u prizemnom sloju. Uz homogena uvjete u prizemnom sloju, najveća vjerojatnost postojati će tamo gdje je najslabija inhibicija u slobodnoj atmosferi. Općenito, lokacija nastanka oluje zavisi o postojanju mehanizma koji stvara inicijalne uzlazne struje. Prema tome, pogodna mjesta nastanka konvektivnih oluja su:

- Linije konvergencije prizemnog vjetra
- Desni ulazni i lijevi izlazni kvadrant mlazne struje
- Prednja strana kratkih atmosferskih valova, područja pozitivne advekcije vrtložnosti
- Larkov trokut (od sjecišta hladne i tople fronte u izvantropskoj cikloni, do oko 200km unutar toplog sektora)
- Mjesto dodira niske mlazne struje i "jezera" hladnog zraka koje nastaje nakon odumiranja olujnog oblaka
- Topla i hladna fronta; u našim krajevima topla fronta rjeđe uzrokuje konveksijsku naoblaku
- Sjeveroistočno od središta prizemnog niskog tlaka; tu najčešće postoji povoljno smicanje po visini u baroklinih sustava
- Na obalnim crtama, ljeti, često nastaje konvergencija dnevnog vjetra s mora (kod nas maestral)
- Pri prelasku zračne struje preko orografske prepreke
- Područje visinske ciklone s hladnom jezgrom
- Unutar tropskih ciklona

4. Struktura. Kao i snaga oluje, struktura također prvenstveno zavisi o smicanju vjetra po visini. Pritom razlikujemo smicanje po brzini i smicanje po smjeru. Pri slabom smicanju nastaju jednoćelijske i slabe višecćelijske oluje. Pri snažnijem smicanju redovito nastaju višecćelijske oluje dugog životnog vijeka, dok superćelijske oluje, ponekad praćene tornadom, općenito nastaju u područjima jakog smicanja, i to ne samo po brzini već i po smjeru:

- Razlika vektora na 0 i 6km $< 10\text{m/s}$ -- jednoćelijske i slabe multićelijske oluje
- Razlika vektora na 0 i 6km od 10 do 25m/s -- uglavnom multićelijske oluje
- Razlika vektora na 0 i 6km $> 25\text{m/s}$ -- snažne multićelijske i superćelijske oluje, uz smicanje po smjeru rotirajuće superćelijske oluje (mezociklone)

5. tornado. Najpovoljniji uvjeti za pojavu tornada su kako slijede:

- Superćelijski olujni oblak; time i gorenavedeni uvjeti za njegov nastanak pogoduju nastanku tornada
- Vrlo velika vlažnost prizemnog sloja zraka
- Izraženo smicanje vjetra po smjeru u donjih 1-2 kilometra visine

6. Tuča. Veličina zrna tuče zavisi od:

- Brzine uzlaznih struja; veće brzine duže održavaju zrna u zraku pa ona time više rastu. Brzina zavisi o veličini i obliku CAPE površine na skew-t dijagramu. Najjače uzlazne struje nastaju u superćelijskim olujama - potrebno izraženo smicanje vjetra po visini
- Količini vode u tekućem stanju na temperaturi nižoj od 0°C. Ovakvo stanje može se očekivati pri visokoj temperaturi rosišta i omjeru miješanja
- Vremenskom trajanju oluje
- Povoljni uvjeti za tuču su pri izraženom CAPE-u na visini koja odgovara temperaturi između -10 i -20°C

7. Poplave. Iznimno velika količina oborine u mnogim područjima izaziva poplave. Povoljni uvjeti za ekstremne oborine su:

- Vrlo velika količina vodene pare u donjem sloju troposfere (visoka temperatura rosišta i omjer miješanja)
- Velika nestabilnost (CAPE)
- Dugotrajne oborine kao posljedica sporog kretanja olujnog sustava (slabo izražena zračna strujanja na visini)

8. Vjetar. Razoran vjetar (izuzevši tornada) najčešće nastaje ako su ispunjeni slijedeći uvjeti:

- Suh srednji sloj troposfere, pri čemu nastaje jako hlađenje silazne zračne struje zbog naglog isparavanja oborine u njoj. Pritom se znatno povećava njezina brzina
- Razlika ekvivalentne potencijalne energije između prizemnog sloja i na visini 500hPa veća od 20°C
- Velika brzina horizontalnog vjetra na 850hPa (niska mlazna struja)
- Snažan olujni sustav (velik CAPE i smicanje po visini)

9. Razno.

- Konvekcijske oluje rijetko nastaju pri $CINH > 200 \text{ J/kg}$. Ipak, određena inhibicija pogoduje snazi oluje jer omogućuje akumulaciju topline i vlage u najnižem sloju tijekom dnevnog zagrijavanja podloge
- Porast temperature rosišta prizemnog sloja "vrijedi" otprilike dvostruko više od porasta temperature. Drugim riječima, porast temperature rosišta od 2°C ima jednaku važnost kao porast temperature od 4°C
- Konvekcijske oluje su vrlo rijetke pri temperaturi zraka višoj od 12°C na 700hPa. Najčešće, visoka temperatura na 700hPa predstavlja izraženu inhibiciju.
- Konvekcijske oluje su rijetke pri prizemnoj temperaturi rosišta ispod 15°C i rosišnoj razlici većoj od 5°C
- Vjerojatnost nastanka oluje povećava se smanjenjem visine LCL i smanjenjem visine LFC, te smanjenjem razlike LCF-LCL
- Upotrebu indikatora stabilnosti (Lifted index, K-index, Showalter index, Totat totals index, ...) valja izbjegavati, jer njihova pouzdanost nije velika i znatno varira ovisno o geografskoj lokaciji. Praktično jedini univerzalno kvalitetan parametar je CAPE, i to dobiven sondažnim mjerenjem, dok prognostički iz modela najčešće ima velika odstupanja od stvarnih vrijednosti
- Pri upotrebi CAPE, valja voditi računa o načinu njegova izračuna (SBCAPE, MLCAPE, MUCAPE)
- Vektorska razlika brzine vjetra na cca 250hPa i gibanja oluje, obično određuje njezin tip; pri razlici iznad 30m/s uglavnom nastaju slabooborinska Cb naoblaka (LP supercell), dok pri razlici manjoj od 20m/s češće nastaje jakooborinska Cb naoblaka (HP supercell). Važnu ulogu pritom ima i količina vodene pare u prizemnom sloju.