

GLAVA 5 GRMLJAVINSKA NEPOGODA

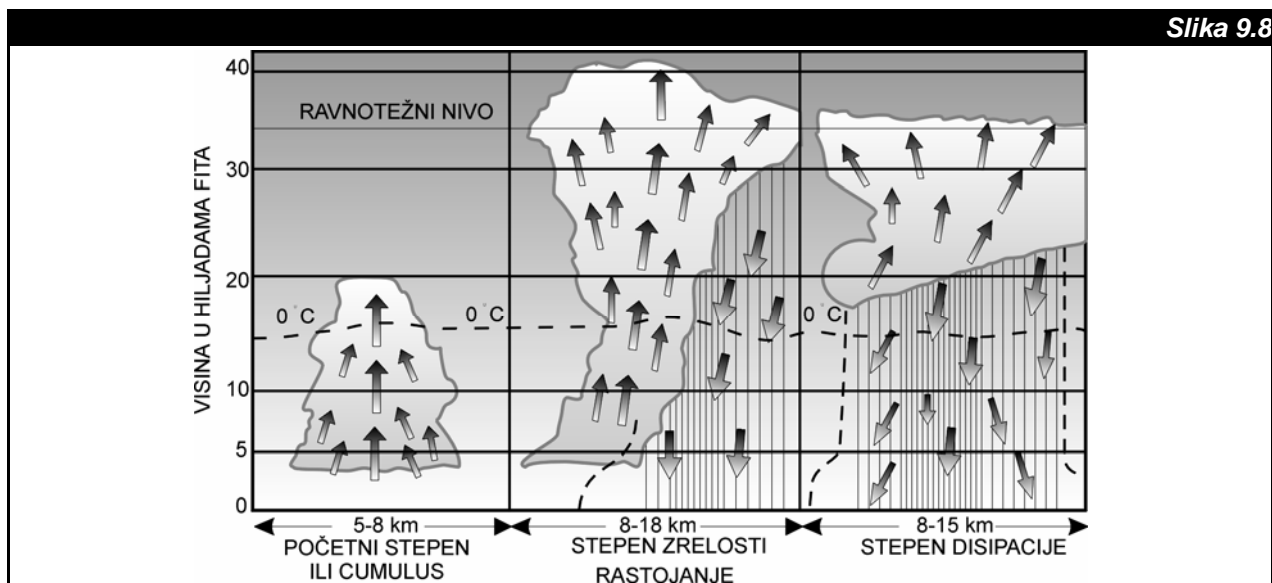
Osnovu za prizemna osmatranja **grmljavinske nepogode** čini sledeća definicija. *Grmljavinska nepogoda je mesto gde se produkuje oluja iz oblaka tipa Cumulonimbus, uvek udružena sa munjama i grmljenjem. Grmljavinska nepogoda skoro uvek stvara jake udare vetra, jaku kišu, ponekad grad i u nekim oblastima dovodi do česte pojave tornada. Obično kratko traje, retko više od dva sata u slučaju pojedinačne nepogode. Takođe, na osnovu letaćkih iskustava, poznato je da su grmljavinske nepogode karakteristične i po značajnoj turbulenciji, zaleđivanju i smicanju vetra.*

Tokom istraživanja u narednim odeljcima veza između rasta i strukture grmljavinskih nepogoda, posebno ćemo naglašavati odnose između vidljivih karakteristika grmljavinskih nepogoda i njihove strukture. U tom smislu, vrlo je važna sposobnost pilota da identifikuje grmljavinske nepogode već u trenutku kada oblačnost dostigne do oblaka tipa Cumulonimbus, bez obzira da li je prisutna ili ne evidencija o drugim manifestacijama ove cirkulacije i/ili je prisutna aktivnost drugih grmljavinskih nepogoda.

POČETNI STEPEN ILI CUMULUS

Kada su atmosferska vlaga i nestabilnost dovoljni, počinje razvoj obične grmljavinske nepogode. U **početnom stepenu (Cumulus)** važne promene se dešavaju u prirodi konvekcije. Pojavljuje se značajno povećanje razmera konvektivne cirkulacije. Veličina uspone struje u oblasti postaje veća, nego što je veličina bilo kog drugog individualnog termala iz okoline. Ova pojava se često vidi u polju oblaka tipa Cumulus. U takvom polju je rast pojedinih oblaka mnogo izrazitiji od ostalih, a njihova veličina počinje da dominira okolinom. U jednom trenutku okolinu ovih izrazito razvijajućih oblaka počće da napuštaju manji oblaci. To je znak da je otpočelo spuštanje u prepoznatljivoj velikorazmernoj nisonoj struji oko oblaka.

U početnom stepenu razvoja grmljavinske nepogode vazduh se početno diže kroz oblak. Ovaj stepen je grafički prikazan na levoj strani panela na Slici 9.8. Uspono širenje je mnogo veće u nekim delovima oblaka nego u drugim. Oblak uspono raste promenljivim uspehom stvarajući ispupčenja na mestima gde termali dostižu vrhove. Ova



Tri stepena životnog ciklusa pojedinačne ćelije obične grmljavinske nepogode su: Cumulus, zrelost i stepen disipacije.

OBIČNA GRMLJAVINSKA NEPOGODA

Životni ciklus pojedinačne ćelije obične grmljavinske nepogode čine tri stepena (faze) razvoja, sledećih naziva:

- početni stepen ili Cumulus,
- stepen zrelost ili zrelost i
- stepen disipacija ili disipacija.

Stepeni razvoja su šematski prikazani na Slici 9.8.

ispupčenja se mogu videti kao male tvrđave na vrhovima oblaka, Slika 9.9.



Slika 9.9

Cumulus oblaka tvrđave (TCU oblak) kao oblik razvoja grmljavinske nepogode u početnom stepenu, (prema: Lester F. P., 1995.).

Tokom početnog stepena, konvektivna cirkulacija rapidno raste u oblak tipa Cumulus Congestus ili oblak oblika tvrđave/TCU (vidi Glavu 6, Odeljak B). TCU oblak obično naraste do 20 000 ft u visinu i između 5 - 8 km u prečniku. Ovaj stepen razvoja cirkulacija dostigne za oko 15 minuta.

Ako oblak nastavlja da raste, pri kraju početnog stepena počinju da se razvijaju padavine. Često se padavine nastale u oblacima vertikalnog (konvektivnog) razvoja nazivaju **konvektivne padavine**. One pokreću nispone struju unutar oblaka. Smatra se da početno pojavljivanje nispone struje, dok još nije dostigla tlo, pripada početnom stepenu.

STEPEN ZRELOSTI

Stepen zrelosti je prikazan u središnjim delu panela na Slici 9.8. Ovaj stepen počinje kada nispone strujanje izazvano padavinama dostigne tlo. Munje i grmljenje počinju kada ćelija grmljavinske nepogode naraste na oko 8 - 18 km u prečniku.

U stepenu zrelosti ćelija grmljavinske nepogode je jako dobro organizovana. Relativno topla uspona struja i hladna nispone struja izazvana padavinama stoje jedna pored druge. Nispone struja dostiže veliku brzinu blizu baze oblaka. Istovremeno, uspona struja dostiže maksimalnu brzinu blizu ravnotežnog nivoa u visokim

delovima cirkulacije. Ovo je trenutak kada je oblak tipa Cumulus Congestus prerastao u oblak tipa Cumulonimbus.

Vrh cirkulacije u stepenu zrelosti često dostiže stratosferu i dobro se podudara sa vrhovima oblaka tipa Cumulonimbus. Vrhovi oblaka se lako identifikuje po karakterističnim oblicima. Zbog vrlo niskih temperatura na tim visinama, vrhovi oblaka se razvijaju u obliku oblaka tipa Cirrus (cirusna forma). Istovremeno, velika stabilnost stratosfere na visinama vrhova oblaka onemogućena vertikalna kretanja, pa se Cumulonimbus širi po horizontali, prerastajući na kraju u dobro poznati oblik nakovnja, Slika 9.10.



Slika 9.10

Oblak tipa Cumulonimbus ukazuje da je grmljavinska nepogoda dostigla najmanje stepen zrelosti, (prema: Lester F. P., 1995.).

Položaj nakovnja označava i pravac vetra na vrhu grmljavinske nepogode. Nakovanj se uvek prostire duž vetra, užim delom okrenutim niz vetar. Istovremeno, taj pravac se može smatrati i pravcem kretanja nepogode.

U vezi s prethodnim treba zapamtiti, da

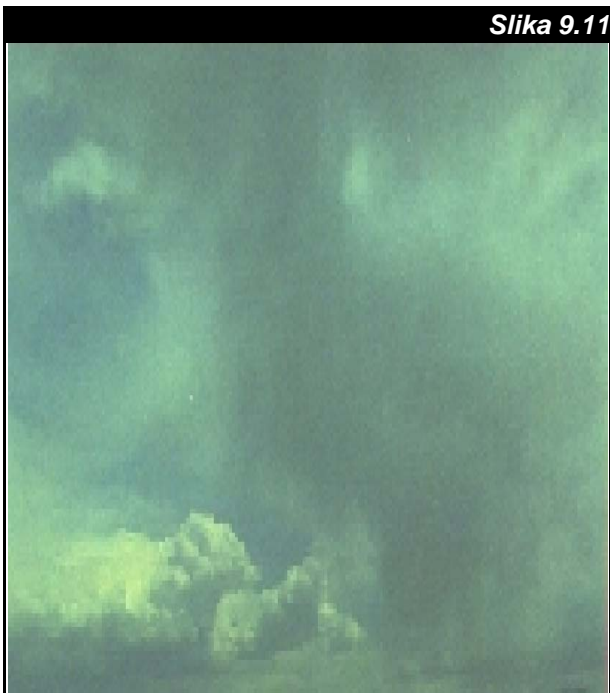
- *grmljavinska nepogoda dostiže najveći intenzitet tokom stepena zrelosti i*
- *početak padavina ispod baze oblaka ukazuje na razvoj nispone struje.*

Obično već početkom stepena zrelosti ćelija obične grmljavinske nepogode ukazuje na dolazak padavina i postojanje udara vetra pri tlu. Međutim, javljaju se i izuzeci. Za ovu priliku navedimo dva najčešća izuzetka.

1. Oblak tipa Cumulus može proizvoditi pljusak i pridruženo nispone strujanje, a da

ne dostigne stepen zrelosti. U tom slučaju, munje i grmljavine se ne pojavljuju.

2. Zbog male vlažnosti u prizemlju, kakva se često javlja u suvim regionima, a naročiti leti, stepen zrelosti može da se formira uz vrlo visok nivo kondenzacije. Tada, baza oblaka Cumulonimbus (grmljavinske nepogode) može biti na 10 000 ft od tla ili više. U ovakvim nepogodama visoke baze, munje i grmljenje se pojavljuju, ali padavine često ispare pre nego što dostignu tlo. U tom slučaju, osmotri se samo veo padavina između tla i baze oblaka, poznat kao **virga**, Slika 9.11. Ovakve kombinacije grmljavina i udara vetra u odsustvu padavina često prouzrokuju šumske požare. Takođe, uprkos slaboj kiši, udruženo nispono strujanje i udari vetra mogu proizvesti opasne vremenske pojave za letenje. O svemu ovome će više informacija biti saopšteno u Delu III.



Virga ukazuje na pojavu padavina iz oblaka tipa Cumulonimbus, koje nikada ne dostignu tlo, (prema: Lester F. P., 1995.). Nevidljiva nispona struja, često nastavlja da se kreće ispod virge, čak i do tla.

Ako su padavine koje produkuju nisponu struju ekstremno jake i kratkotrajne, nastala donja struja se klasifikuje kao **mikroizliv (microburst** - engleska kovanica predložena od naučnika T. Fujite, vidi Glavu 11). Postojanje ove pojava u oblasti poletanja i sletanja vazduhoplova dovodi do smicanje vetra, pa se zbog toga smatra izuzetno

opasnom vremenskom pojavom. Pored toga, ako padavine dostignu tlo, a može i bez toga, dolazi do odbijanja (hladne) donje struje od tla. Time se nispona struja izazvana padavinama uglavnom ravnomerno (radijalno) rasprostire u svim horizontalnim pravcima. To stvara dodatno smicanje vetra (udare vetra) daleko izvan ivica same ćelije grmljavinske nepogode. Zbog svega ovoga, ovi procesi će kao značajni izazivači opasnih vremenskih pojava biti posebno diskutovani u Delu III.

STEPEN DISIPACIJE

Tridesetak minuta ili tako nešto od stvaranja, pojedinačna ćelija obične grmljavinske nepogode dostiže **stepen disipacije**. Kao što je prikazano na desnoj strani panela na Slici 9.8, padavine i donja struja se šire kroz donje nivoe grmljavinske nepogode, presecajući usponu struju. Pošto se izvor energije za širenje grmljavinske nepogode nalazi u toploti i vlazi iz prizemnih slojeva, presecanje uspone struje dovodi do stišavanja nepogode. Padavine se bez izvora vlage smanjuju, a unutrašnjost grmljavinske nepogode dobija slojastu stratifikaciju uz postepeno raspadanje. Istovremeno, nakovanj često ostaje duže od ostalih delova jer je sastavljen od leda.

Korisno je znati da se osmatranjem samo nakovnja, ne može tačno odrediti stepen u razvoju grmljavinske nepogode, dok se ponekad, samo na osnovu nakovnja ne može odrediti ni prisustvo nepogode. Takođe, treba zapamtiti da je u stepenu disipacije dominantna nispona struja.

Mada je trajanje pojedinačne ćelije obične grmljavinske nepogode manje od jednog sata, neobično je da naš susret sa grmljavinskom nepogodom ponekad traje mnogo duže. Kako je to moguće? Objašnjenje se krije u činjenici, da se u takvim situacijama obavezno radi o susretu sa višestruko ćelijskom ili super ćelijskom grmljavinskom nepogodom, čije je trajanje duže, a efekti pokrivaju veće područje.

TORNADO I SRODNE CIRKULACIJE

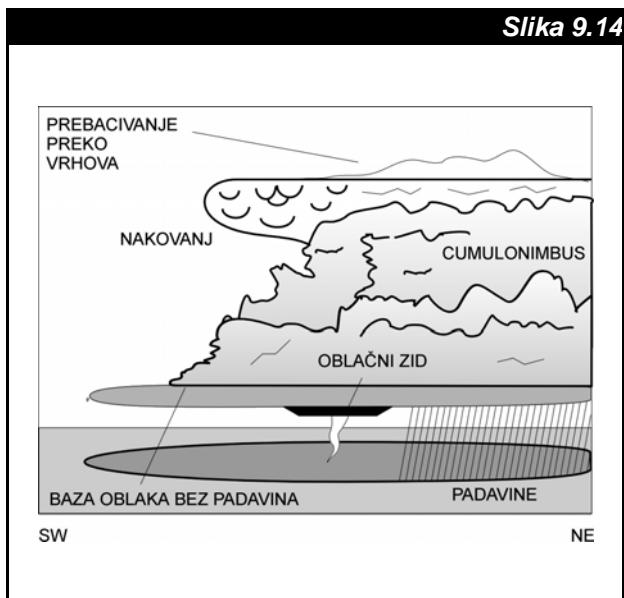
Tornado je žestoko rotirajući stub vazduha koji se stvara ispod oblaka tipa Cumulonimbus, Slika 9.14. Kao što je prethodno opisano, u okolini oblačnog zida super ćelije postoji unutrašnja cirkulacija koja svojom rotacijom pomaže stvaranje tornada, Slika 9.15 Tornado i njemu

slične pojave spadaju u ciklostrofski tip cirkulacije. Ovakve cirkulacije se javljaju u ciklonima u čijem je centru veoma snižen pritisak. Tornado koji ne dostiže tlo naziva se **levkast oblak**.



Tornado ispod baze oblaka tipa Cumulonimbus, (prema: Lester F. P., 1995.).

Tornado je pojava koja se prvenstveno javlja u Severnoj Americi u toku aprila, maja i juna meseca. Naziv potiče od španske reči koja označava jaku grmljavinsku nepogodu u tropskoj Africi. Intenzitet tornada široko varira, pri čemu brzina vetra može da prelazi 180 kt. Zanimljivo je da tornada stvaraju najveće brzine vetra na planeti Zemlji. Na primer, maksimalne vrednosti su procenjene na 460 km/h.



Prizemni pogled na super čelijsku grmljavinsku nepogodu iz tačke X na Slici 9.13.

Tornado ima razmere od 90 m do 600 m u prečniku, mada su u ekstremnim slučajevima bili

osmotreni prečnici i od oko 1 800 m. Pošto se preovlađujući vremenski uslovi u kojima nastaje tornado na teritoriji Severne Amerike kreću od jugozapada prema severoistoku, to se i tornada kreću istim putevima. Njihova brzina kretanja iznosi oko 30 kt. Životni vek tornada je tipično oko nekoliko minuta, ali bili su dokumentovani slučajevi tornada koji su trajali i tri sata.

Tornadima velike snage, koji proizvode dosta štete, obično su pridružene i jake grmljavinske nepogode. Zbog razornog dejstva tornada, mesta na tlu koja on dodirne pretvaraju se u pravu pustoš. U njemu se javlja jaka uspona strujanja koja je u stanju da podigne iznad tla čitave manje zgrade, stvari i ljude u njima. U centru tornada su zabeleženi slučajevi pada pritiska od 60 hPa i više u odnosu na pritisak van tornada. Zbog toga, njegov prolazak često izaziva prskanje predmeta u kojima pritisak ne stigne dovoljno brzo da se izjednači, kao što je, na primer, pucanje staklenih boca ili izletanje čepova iz zatvorenih boca. Mnoge štete koje se pripisuju tornadu, uzrokovane su prisustvom jednog ili više **usisavajućih vrtloga**. To su mali (oko 10 m u prečniku), vrlo intenzivni levkovi koji rotoraju unutar velikog levka tornada.

Često se pojavljuju tornada iz manje snažnih grmljavinskih nepogoda, što je znak da su i oni slabiji. Tornado koji se pojavljuje iznad vodenih površina naziva se **vodena pijavica**, Slika 9.16. Vodena pijavica u proseku ima manju snagu od tornada iznad kopnenih površina. To je vrtlog koji se formira iznad tople vode blizu razvijajućih oblaka tipa Cumulus ili Cumulonimbus. Po pravilu vodene pijavice, pored toga što su slabog intenziteta, imaju osobine da kratko traju i sporo se kreću.

Tornadu slični vrtlozi poznati pod nazivom **gastnada** (*gustnadoes* američka kovanica napravljena po uzoru na *tornadoes*) ponekad se pojavljuju blizu udarnog fronta i ivica jakih nisonih struja izazvanih padavinama. Ove cirkulacije su sličnog intenziteta kao trombe, a izazivaju ih jaka horizontalna smicanja vetra i jake uspone struje.

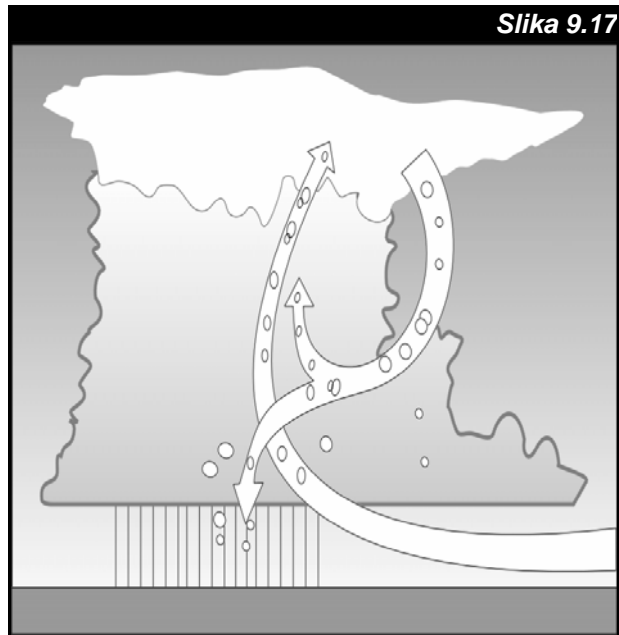
Hladni vazdušni levak je slab vrtlog koji se povremeno razvija uz pljusak kiše u slabijim grmljavinskim nepogodama. Ovaj vrtlog retko dostigne tlo.



Vodena pijavica ispod baze oblaka tipa Cumulonimbus, (prema: Međunarodnom atlasu oblaka, 1959.).

GRAD

Vodene kapi osmotrene u pljasku kiše iz konvektivnih oblaka su značajnih veličina. One su mnogo veće, nego, na primer, kapi koje padaju iz oblaka tipa Nimbostratus. Jedan od glavnih razloga za ovakav odnos njihovih veličinu leži u znatno jačem usponom kretanju u oblacima tipa Cumulus i Cumulonimbus, nego što je to u oblaku tipa Nimbostratus. Drugi produkt jakog usponog kretanja je grad. U Glavi 6 dat je pojednostavljen prikaz njegovog nastanka kroz opis procesa rasta grada. Pošto je ovaj proces moguć samo u oblacima tipa Cumulonimbus, pridružimo sada prethodnom opisu, kako grafički prikaz ovog procesa, tako i konture oblaka, Slika 9.17.



Strelice pokazuju tokove kretanja kristala leda u procesu rasta grada i konture Cb oblaka.

Važno je uočiti da se grad proteže po svim nivoima kroz grmljavinsku nepogodu, sve do 45 000 ft od tla. Takođe, vidi se da grada može biti čak i u prostoru van oblaka (desna strelica). Smatra se da grad prečnika zrna većeg od od 19.0 mm stvara opasnost za živote i imovinu na tlu i u vazduhu.

GRMLJAVINA

Grmljavina predstavlja pojavu ili skup pojava izazvanih električnim pražnjenjem u grmljavinskoj nepogodi. Električna pražnjenja mogu da se događaju u oblaku, između oblaka, između oblaka i podloge, a povremeno između oblaka i čistog vazduha. Grmljavinu čine dve manifestuje.

1. **Sevanje** ili bljesak svetlosti, što je poznato i pod nazivom **munja**.
2. **Grmljenje** je oštar zvuk sličan zvuku kotrljajućeg kamena.

Razgranato sevanje se naziva **rakljasto sevanje**, a pripadajuća pojava **rakljasta munja**. Munje koje se dešavaju unutar oblaka svetle difuzno, zbog čega se često opisuju kao **munje iza čaršava (zavese)**.

Električno pražnjenje nastaje stvaranjem razlike u električnom naponu od oko 1 000 000 V na rastojanju od 1 m. U prostoru gde se dogodi električno pražnjenje (**kanal pražnjenja**), vazduh se zagreje više od 27 000 °C. To dovodi do njegovog naglog širenje i stvaranja **udarnog talasa**. Ovaj talas se kreće brzinom zvuka (oko 305 m/s) od izvora ka

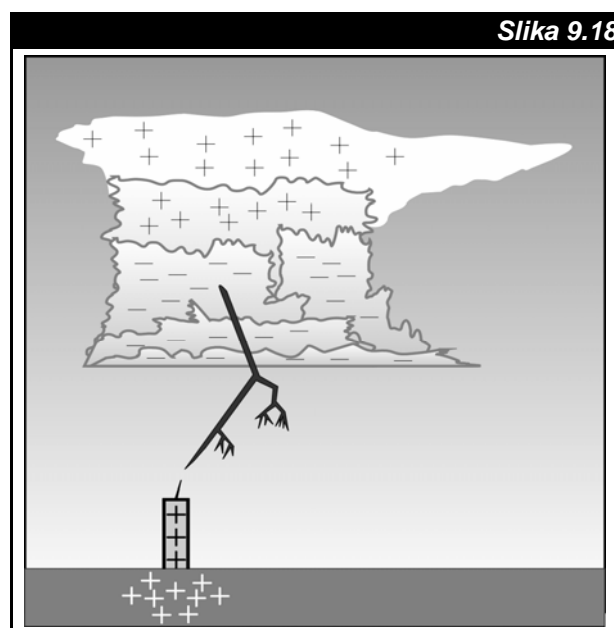
uhu posmatrača kao grmljenje, dok munja putuje brzinom svetlosti (300 000 km/s) do oka posmatrača. Tako, razlika u vremenu putovanja ove dve grmljavinske manifestacije postaje sve veća povećavanjem udaljenosti od grmljavinske nepogode. Na primer, kod vrlo udaljenih grmljavina, prođe i više od desetak sekundi, dok se nakon sevanja ne čuje i grmljenje.

Da bi se dogodilo električno pražnjenje, pre toga je potrebno da se obavi razdvajanje različitog (pozitivnog i negativnog) naelektrisanja. Na primer, izgleda da do efikasnog razdvajanja može doći delovanjem gravitacije ili konvekcije na oblačne deliće (vodene kapi, kristali leda i grad) različitih dimenzija, na kojima su prethodno razvijena suprotna naelektrisanja. Ustanovljeni su brojni procesi koji mogu stvoriti elektricitet na oblačnim delićima, mada nije jasno koji je proces najvažniji. Na primer, delići mogu biti naelektrisani u sudaru toplijih dolazećih zrna grada i hladnijih kristala leda. Pri tome se u njihovom kontaktu stvaraju joni različitih naelektrisanja razmešteni po različitim vrstama oblačnih delića. Takođe, naelektrisanje se može stvarati i u procesu rasparčavanja i/ili zamrzavanja oblačnih delića. U nekim slučajevima, jako negativno naelektrisanje delića se postavlja u nižim delovima oblaka, a suprotno pozitivno naelektrisanje prelazi na vrhove oblaka. Ovakvu raspodelu naelektrisanja u oblaku potpomaže i pozitivno naelektrisanje podloge. Tom prilikom ona privlači suprotno naelektrisanje oblaka, Slika 9.18.

Kada razlika električnog napona između delića postane dovoljno velika (1 000 000 V po 1 m), događa se grmljavina. **Grmljavinski udar** ili **grom** je događaj u trenutku električnog pražnjenja. Pražnjenje počinje od nispono krećućeg nevidljivog **silaznog trasera**, pomoću kojeg se naelektrisanje prenosi, na primer, od baze oblaka do podloge. Blizu tla, silazni traser susreće nevidljivi **izlazni traser** koji prenosi suprotno (pozitivno) naelektrisanje. Kada se ova dva trasera spoje, kroz stvoreni jonizovani kanal vazduha (kanal pražnjenja) počinju električna pražnjenja. Prvo pražnjenje se događa blizu mesta spajanja suprotno naelektrisanih i krećućih trasera (grom). U prikazanom i opisanom slučaju to se dešava blizu tla. Pored toga, dešava se i jasan grmljavinski udar nazad, ka oblaku (**povratni udar**), trasom obeleženog pozitivnog naelektrisanja preko uspostavljenog kanala pražnjenja. Početno pražnjenje je često praćeno jakim takozvanim **vodećim munjama**, a nastavlja se povratnim udarima.

Grmljavinski udar između oblaka i podloge, kao jedan od najopasnijih oblika grmljavinskog pražnjenja, dosta zavisi od konfiguracije tla. Visoke tačke na površini Zemlje, kao što su; planinski vrhovi, visoke zgrade, visoko drveće, antene i tornjevi posebno su osetljivi na gromove. To je zbog toga, jer su pozitivno naelektrisani vrhovi delova tla bliži bazama oblaka, nego što su to niži delovi. Zato se u oblastima gde postoji visoka učestalost grmljavinskih nepogoda, mnogi objekti štite od gromova stavljanjem visokih provodnika iznad zgrada (tzv. gromobrani) povezanih sa podlogom, kako bi se glavina električnog pražnjenja obavila preko ovih provodnika, a ne kroz objekat.

Tipična grmljavinska nepogoda produkuje 3-4 sevanja u minuti, dok jake nepogode mogu proizvoditi i više munja. Mada postoji velika promenljivost u broju produkovanih gromova, trebalo bi znati da samo 10 - 25 % gromova otpada na grmljavinska pražnjenja između oblaka i podloge. Tako, mnoga pražnjenja se dešavaju unutar grmljavinske nepogode. O grmljavinskim udarima tokom leta, koji su definitivno opasne vremenske pojave, biće diskutovano u Delu III.



Naelektrisanje u konvektivnom oblaku. Na njegovoj gornjoj polovini smešteno je pozitivno, a na donjoj negativno naelektrisanje, dok je podloga naelektrisana pozitivno.

