
GLAVA 3 RAZMERE CIRKULACIJA

Vreme nije slučajan događaj. Svako vremensko dešavanje je rezultat razvoja neke od mnogih vrsta atmosferskih cirkulacija. U tom kontekstu, **cirkulacija** znači više ili manje organizovano kretanje vazduha. Takođe, koristiće se i reč **virtlog** sa značenjem u ovom smislu. Kretanja u datoj cirkulaciji ili virtlogu mogu biti, kako horizontalna, tako i vertikalna i/ili oba istovremeno. Pored toga, cirkulacije imaju vrlo različite dimenzije; razmera od veličine Zemlje do veličine šake i manje.

U ovoj glavi uvešćemo koncept razmera atmosferskih kretanja, kako bi time doprineli boljoj organizaciji naših studija o različitim vremenskim fenomenima. Ovde iznete ideje biće u nastavku ove glave direktno primenjene na ispitivanje dve važne cirkulacije, vrlo različitih dimenzija/razmera: opšte (generalne) cirkulacije i monsunske cirkulacije. Stečena znanja o ovim cirkulacijama tzv. velikih razmera obezbediće nam važnu podlogu za studije o cirkulacijama manjih razmera, koje su ugneždene u opštu i/ili monsunsku cirkulaciju.

Jedan od dobrih načina za proučavanje nekog sistema je da se on razdvoji na sastavne delove. U radu sa kompletnim sistemima, kao što su vazduhoplov ili atmosfera, složene kombinacije delova sistema postaju mnogo razumljivije, kada se svaki od delova posmatra pojedinačno. Time se stiče najbolji uvid u to; šta sistem radi, kako se sistem podešava u celinu, i kako interakcije delova sistema utiču na njegovo celokupno ponašanje.

Osmotreno stanje vremena u nekom određenom geografskom području daje često veoma komplikovanu sliku atmosfere, zato što mnogi vrlo različiti meteorološki procesi imaju svoj doprinos u posmatranoj vremenskoj slici. Jednostavnije rečeno, da bi se bolje razumele komplikovane slike atmosfere, namera je da se posmatraju razdvojeni, odnosno, pojedinačni procesi. Jedan od puteva da to učinimo jeste da ukupnu cirkulaciju atmosfere smatramo zbirom brojnih pojedinačnih cirkulacija. U ovom slučaju su pojedinačne cirkulacije delovi sistema. Izučavanjem karakteristika svakog od delova izolovano od ostalih, ukupna slika ponašanja atmosfere će postati mnogo razumljivija.

Razmere cirkulacija se odnose na veličinu i vreme trajanja (života) svake individualne

cirkulacije. U našem iskustvu mnoge maglovite predstave o tome već postoje. Na primer, vetar s mora se razvija tokom dana, dostiže maksimalnu snagu popodne i tokom noći nestane. Iz ovoga možemo videti da je njegovo trajanja oko pola dana. Njegove dimenzije su tipično od 20 km do 200 km preko obale od okeanske ka kopnenoj strani. Naveden razmer se može uzeti kao karakteristična prostorna dimenzija ove cirkulacije. Sumiranjem svega, možemo reći da vetar s mora ima "vremenske razmere" od oko 12 sati i "prostorne razmere" od 20 km do 200 km.

Druga cirkulacija, iz široke familije atmosferskih cirkulacija, koju smo do sada upoznali jeste prašinska tromba. Njen tipičan vremenski razmer je nekoliko minuta, a prostorni razmer (prečnik cirkulacije) je od 2 m do 30 m.

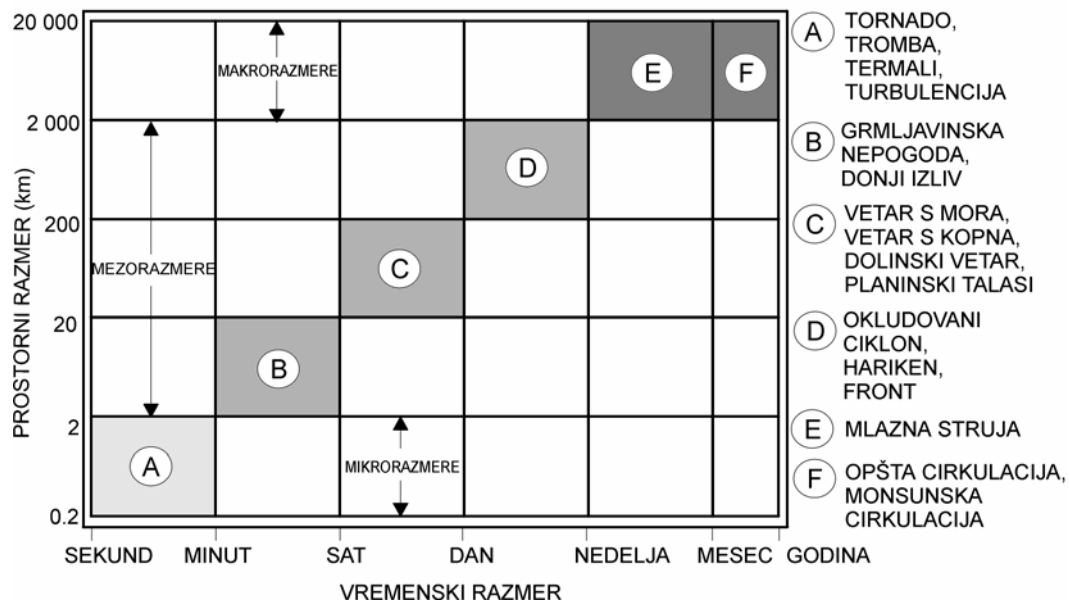
Na Slici 7.1 prikazan je dijagram približnih prostornih i vremenskih razmera brojnih atmosferskih cirkulacija. Dijagram je razdvojen na tri segmenta. Oni su označeni kao

- **mikrorazmer,**
- **mezorazmer** i
- **makrorazmer.**

Ovo su široko prihvaćeni meteorološki termini. Oni se često koriste u klasifikaciji atmosferskih cirkulacija. Mezorazmere označavaju cirkulacije čije su horizontalne dimenzije od 2 - 2 000 km, a trajanje im je od nekoliko minuta do nekoliko nedelja. Makrorazmere označavaju cirkulacije većih dimenzija (preko 2 000 km) i dužeg trajanja (više od nekoliko nedelja), a mikrorazmere su cirkulacije manjih dimenzija (ispod 2 km) i kraćeg trajanja (manje od nekoliko minuta).

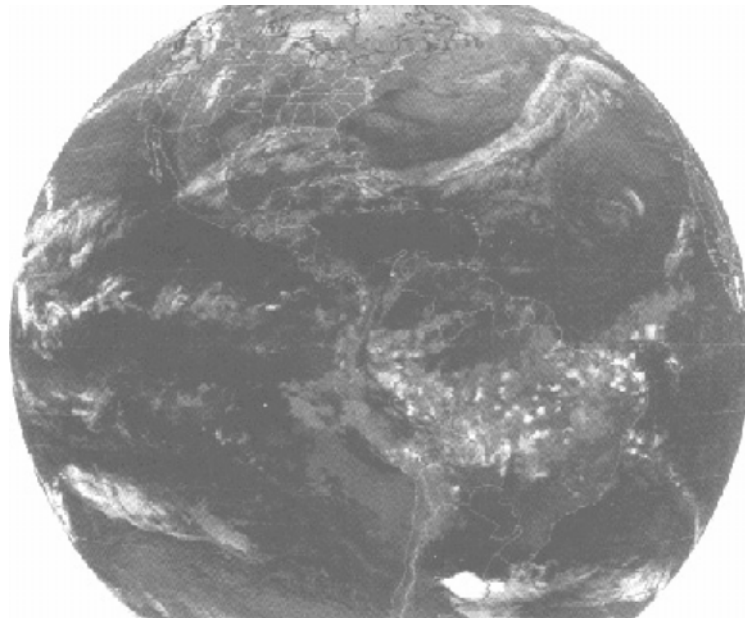
Posmatrani dijagram ne treba da posluži samo za nabranje i sumiranje atmosferskih cirkulacija. Takođe, on treba da pomogne i u kreiranju ideje o **ugneždenoj/ugrađenoj cirkulaciji**. U nekom određenom vremenu, nekoliko cirkulacija može biti prisutno u atmosferi. Tada su obavezno manje cirkulacije ugneždene/ugrađene u veće, često putujući zajedno sa njima. Dobar primer za to jesu cikloni mezorazmera, udruženi sa frontovima. Oni zajedno produkuju cirkulacije mikrorazmera, kao što su brojne grmljavinske nepogode, a ponekad se stvaraju i tornada. Koncept ugneždene cirkulacije treba da nam obezbedi uspešnu interpretaciju aktuelnog (stvarnog) i prognoziranog vremena, Slika 7.2.

Slika 7.1



Horizontalne dimenzije i trajanje odabranih atmosferskih cirkulacija. Precizni brojevi za prostorne i vremenske razmere se ne mogu dati za svaki fenomen, zato što variraju trajanja i dimenzije uzročnika ovih fenomena. Međutim, opseg mogućih razmera za svaku atmosfersku cirkulaciju je jasno ograničen.

Slika 7.2

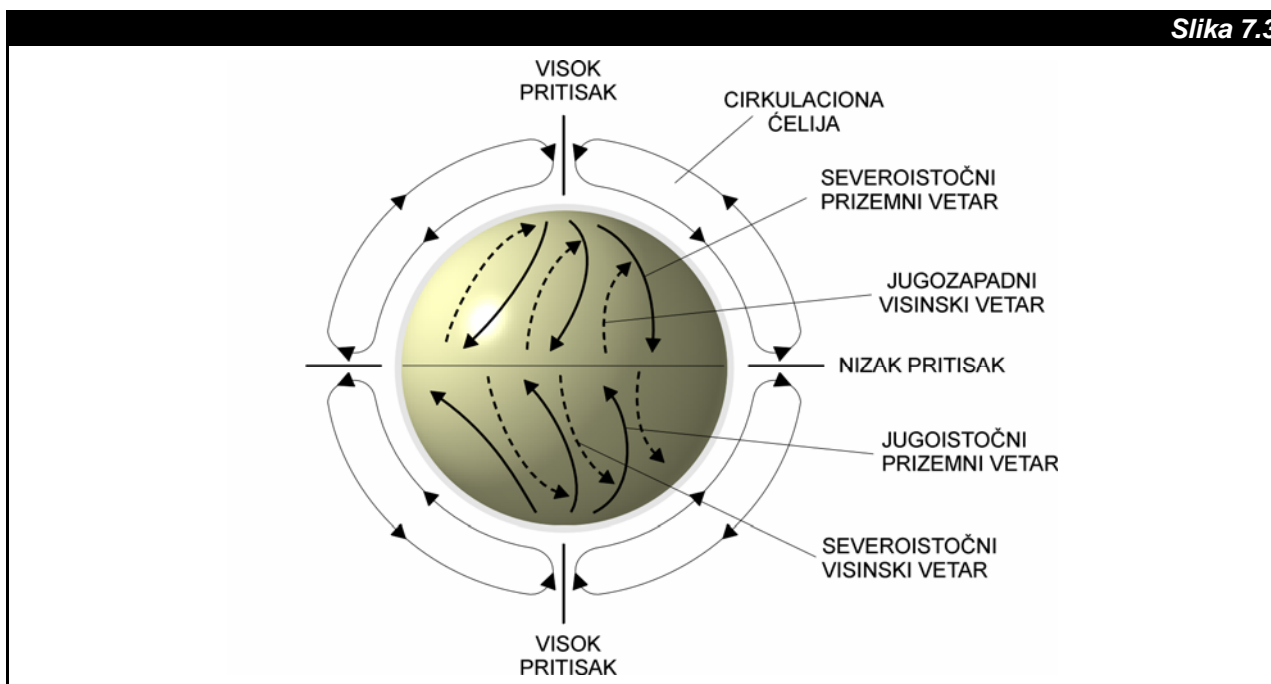


Slika atmosfere dobijena iz globalnog geostacionarnog satelita (Geostationary Operational Environment Satellite - GOES) prikazuje oblačne uzorke produkovane cirkulacijama različitih razmera, (prema: Lester F. P., 1995.).

3.1. CIRKULACIJE VELIKIH RAZMERA

U ovom odeljku ćemo dati objašnjenje o tome, kako globalni vetar zavisi od gradijenta temperature u pravcu Ekvator-polovi, rotacije Zemlje, rasporeda kopna i/ili mora i sezonskih promena u solarnoj radijaciji. Objašnjenja će biti u velikoj meri zasnovana na korišćenju prethodno datog koncepta o razmerama cirkulacija i nešto ranije stečenim znanjima o termičkoj cirkulaciji.

a saglasno našim ranijim raspravama o termičkoj cirkulaciji, uspostavljeni gradijenti temperature u pravcu Ekvator-polovi dovešće do stvaranja odgovarajućih gradijenata pritiska. Oblasti visokog pritiska pri tlu bile bi locirane preko hladnijih polova, a oblasti niskog pritiska bi se locirale oko toplog Ekvatora. Ovakav raspored pritiska doveo bi do kretanja prizemnog vazduha od polova ka Ekvatoru. Obrnuto bi se dešavalo na visini, gde bi se ekvatorijalni vazduh kretao prema polovima.



Sporo rotirajuća Zemlja ima samo po jednu cirkulacionu ćeliju na svakoj hemisferi. Na globusu je prizemni vetar prikazan punim strelicama, dok je isprekidanim strelicama dat visinski vetar. Zakrivljenost pravca vetra je posledica delovanja Koriolisove sile. Poprečni presek kroz cirkulacione ćelije daje vertikalnu strukturu vrtloga.

OPŠTA CIRKULACIJA

Pod **opštom cirkulacijom** se podrazumeva strujanje vazduha preko zemljinog globusa. Horizontalne razmere ove cirkulacije su približno 20 000 km, što znači da ona spada u makrorazmere. Vreme promene ove cirkulacije je godinu dana, pa zbog toga ona ima značaj i kao faktor klimatskih promena. Za godinu dana ova cirkulacija prođe pun krug svih sezonskih promena.

Da bi lakše razumeli opštu cirkulaciju, zgodno je da počnemo od uprošćenog modela ove pojave. Zahtevajmo idealizovanu Zemlju uravnate površine, bez kopna i/ili mora i bez trenja. Neka takva Zemlja rotira u uobičajenom pravcu (od zapada ka istoku), ali mnogo sporije nego realna Zemlja. U tom slučaju, kao što trebamo očekivati,

Svaki od ovih vertikalnih cirkulacionih sistema se naziva **cirkulaciona ćelija** ili prosto **ćelija**, Slika 7.3.

Uprošćena cirkulaciona ćelija, razvijena za sporu rotaciju, vrlo je slična termičkoj cirkulacionoj ćeliji (vetar s mora), uz neke važne razlike. Zbog toga, što su njene razmere mnogo veće, a vreme njenog trajanja mnogo duže, ćelija opšte cirkulacije je značajno modifikovana uticajem Koriolisove sile. Prizemni vetar na Severnoj hemisferi skreće u desnu stranu i postaje severoistočni. Na Južnoj hemisferi prizemni vetar skreće u levu stranu i postaje jugoistočni. Visinski vetar ima suprotne pravce.

Sada, pojačajmo rotaciju naše idealizovane Zemlje na normalnu brzinu od oko 24 sata po jednom obrtaju. Rezultujući cirkulacioni vetar postaće više uvrnut i zato mnogo realniji. U

narednim raspravama uglavnom ćemo posmatrati samo uzorke Severne hemisfere. Pri tome ćemo uvek moći, ukoliko to želimo i ukoliko to već nije učinjeno, da dobijemo događaje na Južnoj hemisferi predstavljanjem preko Ekvatora događaje na Severnoj hemisferi, kao odraz predmeta u ogledalu, jer je delovanje Koriolisove sile suprotno.

Tako, bržom rotacijom Zemlje se cirkulaciona ćelija na Severnoj hemisferi lomi na tri ćelije, Slika 7.4.

1. Nalazimo da se vazduh iznad Ekvatora (**ekvatorijalne ili tropske širine/predeli**) još uvek podiže do tropopauze. Posle toga povratnom strujom vazduh kreće ka severu, dostižući samo 30⁰N, odakle se nisponom strujom vraća prema tlu. Ova cirkulacija se naziva **Hadlijeva (Hadly) ćelija**, prema naučniku iz osamnaestog veka koji je prvi nagovestio ovakav model opšte cirkulacije.
2. U višim širinama (**polarne širine/predeli**) razvija se **polarna ćelija**. Ona je određena usponim kretanjem vazduha blizu 60⁰N i njegovim nisponim kretanjem iznad Severnog pola. Koriolisova sila skreće prizemni hladan vetar ka severoistoku, a visinski vetar ka jugozapadu.
3. U širinama između 30⁰N i 60⁰N (**srednje ili umerene širine/predeli**), brže rotirajući i jačigradijenti temperature, postavljeni u pravcu sever-jug, favorizuju razvoj vrtloga malih razmera. Ove, istočno krećuće vrtloge istražićemo tek u sledećoj glavi. Njihov uticaj na opštu cirkulaciju stvara srednji prizemni vetar jugozapadnog pravca u pojasu umerenih širina, dok je na visini, pa sve do tropopauze zapadni vetar. Ovi, pretežno jugozapadni i zapadni vetrovi definišu cirkulaciju srednjih širina nazvanu **Ferelova (Ferrel) ćelija**, prema naučniku koji je vršio rana istraživanja opšte cirkulacije.

Tri navedene cirkulacione ćelije stvaraju važne i dobro poznate karakteristike prizemnog vetra

prikazanog na prethodnoj slici. Ove ćelije obezbeđuju stalne

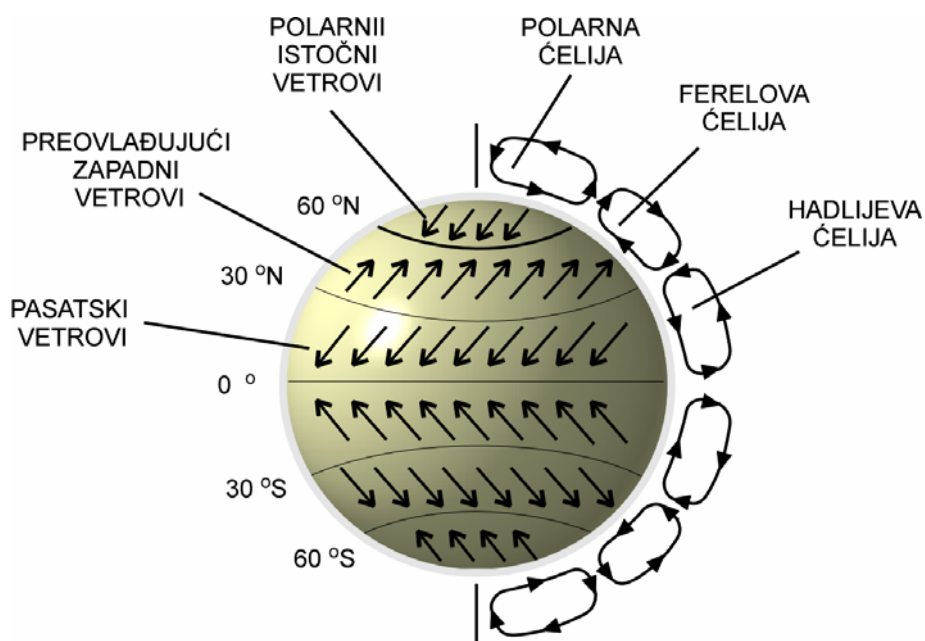
- severoistočne vetrove između Ekvatora i 30⁰N, poznate kao **trgovački vetrovi** ili **pasatski vetrovi (pasati)**,
- **preovlađujuće zapadne vetrove** između 30⁰N i 60⁰N i
- **polarne istočne vetrove** severno od 60⁰N.

Druge važne prizemne karakteristike opšte cirkulacije vezane su za raspodelu prizemnog pritiska, Slika 7.5. Oblast niskog pritiska se nalazi blizu Ekvatora i poznata je kao **oblast ekvatorijalne tišine**. Istovremeno, pošto se u toj oblasti sučeljavaju pasatski vetrovi obe hemisfere, čineći konvergenciju strujanja, ova oblast je poznata i pod nazivom **intertropska zona konvergencije (ITZK)**. Nestabilnost i velika vlaga su osobine vazduha u ITZK, čime se stvaraju jako podogni uslovi za formiranje grmljavinskih nepodoga.

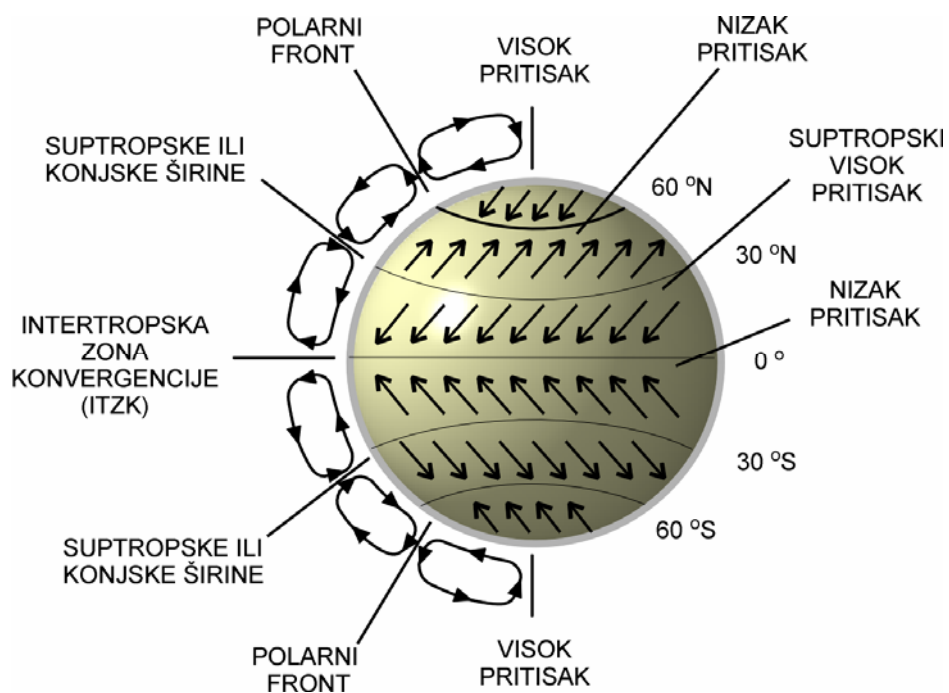
U regionima spuštavanja (nisponog kretanja) vazduha dolazi do divergencije prizemnog vetra, što odgovara oblastima **suptropskog visokog pritiska** blizu 30⁰N. Ove oblasti su poznate pod nazivom **suptropske ili konjske širine**. U njima je formiranje oblaka vrlo otežano a količina vlage je vrlo niska.

Blizu 60⁰ N vlada **nizak pritisak**, dok prizemni vetar konvergira, donoseći tople vazdušne mase iz tropskih i hladne mase iz polarnih regiona. Linija razdvajanja, ovih po mnogo čemu raznorodnih vazdušnih masa, ovde je locirana i naziva se **polarni front**. U ovom regionu vazduh je vrlo bogat vlagom i lako se stvaraju oblaci.

Na kraju, na polovima postoje sistemi visokog pritiska sa dve oblasti spuštajućeg vazduha i divergencijom vetra u prizemlju. Kao i u konjskim širinama, ovde je formiranje oblaka vrlo otežano, a količina vlage je vrlo niska. U prizemlju ostaje sneg, uprkos retkim i po intenzitetu malim količinama padavinama, zbog toga što je temperatura vazduha vrlo niska.



Tri cirkulacione ćelije razvijene na svakoj hemisferi na uravnatoj, homogenoj normalno rotirajućoj Zemlji. Poprečni presek prikazuje vertikalnu strukturu cirkulacionih ćelija obe hemisfere na istočnoj strani globusa. Strelicama je prikazan pravac vetra u prizemlju. Vetar na Južnoj hemisferi se dobija predstavljanjem preko Ekvatora vetra Severne hemisfere kao odraz predmeta u ogledalu.



Raspored prizemnog pritiska pridružen trima cirkulacionim ćelijama.

3.2. MONSUNSKA CIRKULACIJA

Do sada je naša rasprava bila podešena za slučaj idealizovane opšte cirkulacije na idealizovanoj planeti. Realna slika je drugačija, zato što postoje okeani i kontinenti. Da bi razumeli kako se odvija stvarni (aktuelni) model cirkulacije vetra moraćemo da uvedemo diskusiju o monsunskoj cirkulaciji.

Monsunska cirkulacija ili prosto **monsun** je makrorazmerni model vetra koji trpi sezonsku promenu pravca. Prizemni vetar u **vlažnom monsunu** tokom leta duva od okeana ka kontinentu, dok **suvi monsun** duva suprotno, od kontinenta ka okean. Gruba mera za razmer monsuna je oko 10 000 km ili oko veličine kontinenata.

Da bi razumeli kako monsun radi, poslužićemo se drugom idealizovanom situacijom. U njoj ćemo u isto vreme ignorisati uticaj opšte cirkulacije i zahtevaćemo postojanje kontinenta idealizovanih kontura na Severnoj hemisferi, kao što to prikazuje Slika 7.6

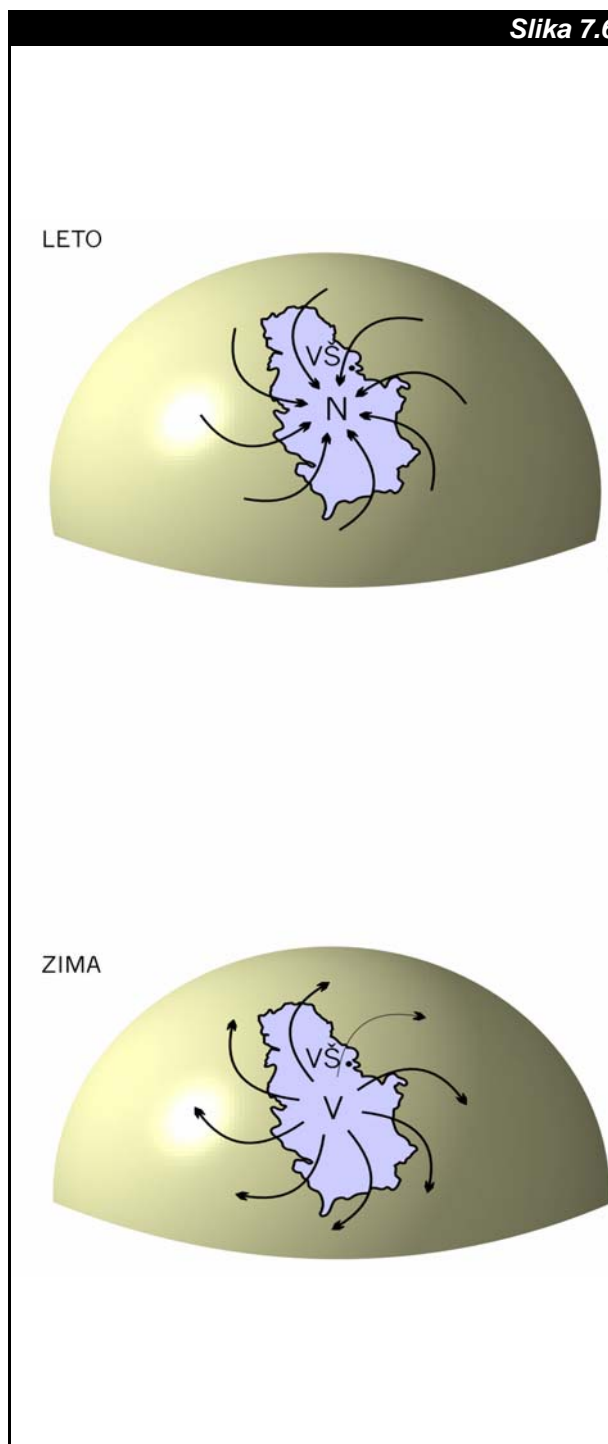
Monsun ima karakteristike termičke cirkulacije, ali obrnutih osobina tokom različitih godišnjih doba.

1. Tokom leta, kontinent je mnogo topliji nego okolni okean. Time se iznad kopna stvara nizak prizemni pritisak, tako da vlažni okeanski vetrovi prohuje unutrašnjošću kopna. Međutim, zato što su razmere cirkulacije velike, važna je i Koriolisova sila, a dodatkom i sile trenja, spirala vetra iznad kontinenta dobija smer kretanja obrnut od smera kretanja kazaljke na satu. Tako se iznad kopna stvara **ciklonska** (pozitivna) **cirkulacija**, vrlo poznata pod nazivom **letnji monsun**.
2. Tokom zime, slika postaje obrnuta. Kontinent je relativno hladniji od okolnog okeana. Visok vazdušni pritisak preovladava preko kopna, a hladan i suv prizemni vetar dobija spiralu kretanja kao kazaljka na satu. Time se iznad kontinenta stvara **anticiklonska** (negativna) **cirkulacija**, poznatija kao **zimski monsun**.

Ako želimo, možemo proveriti da je cirkulacija u oba slučaja na Južnoj hemisferi obrnuta.

Na stvarnoj Zemlji monsunska cirkulacija je ugnežđena u veću opštu cirkulaciju. Kontinenti su različitih veličina, oblika i smešteni su na raznim geografskim širinama. Zbog toga se monsuni izrazito javljaju samo u nekim geografskim

regionima (Jugoistočna Azija), a jedva se primećuju u drugim regionima (Evropa). U sledećem odeljku istražićemo na stvarnoj Zemlji zajedničke uticaje opšte cirkulacije i monsuna.



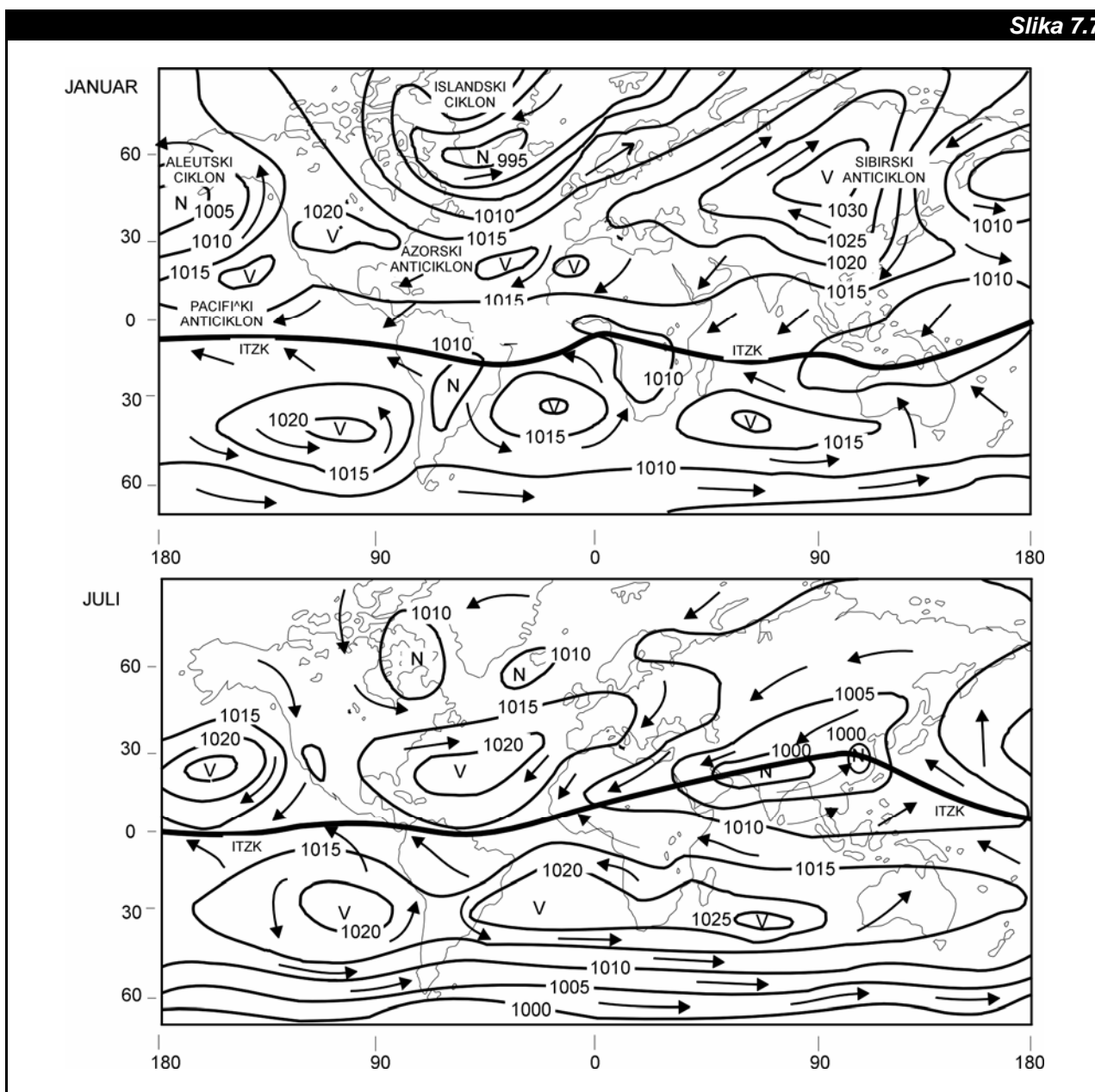
Letnja i zimska monsunska cirkulacija za idealizovan kontinent. Skice prikazuju prizemnu cirkulaciju uzrokovanu niskim prizemnim pritiskom iznad kontinenta tokom leta i visokim pritiskom tokom zime.

3.2 GLOBALNI CIRKULACIONI SISTEM

Sve globalne klimatološke karte vetra su zasnovane na osrednjenim mesečnim ili sezonskim vrednostima osmotrenog vetra za ceo Svet. Ovakvim osrednjavanjima eliminišu se cirkulacije malih razmera, a ostaje samo tzv. **globalni cirkulacioni sistem**. On se u ovom slučaju dobija kao kombinacija (superpozicija) opšte i monsunske cirkulacije.

CIRKULACIJA U PRIZEMLJU

Na Slici 7.7 prikazan je uzorak prizemne globalne raspodele srednjeg vetra za januar i juli mesec zajedno sa poljem prizemnog pritiska (prikazanog na Slici 3.14), kako bi se naglasio odnos ova dva polja. Za oba meseca je očekivana opšta cirkulacija jasna iznad okeana. Tu se mogu videti pasatski vetrovi, preovlađujući zapadni vetrovi, oblasti subtropskog visokog pritiska i ITZK. Ovo je posebno tačno na Južnoj hemisferi, jer postoji mnogo manje kopna, čime je smanjen uticaj monsunske cirkulacije.



Globalna cirkulacija u prizemlju za januar i juli. Pravac vetra je prikazan strelicama. Tanje linije su izobare prizemnog pritiska, a deblje linije daju položaj intertropske zone konvergencije (ITZK).

Vidimo da postoje jake sezonske varijacije u prikazanom globalnom cirkulacionom uzorku. U januaru su Isladnski i Aleutski cikloni, koji ukazuju na položaj polarnog fronta, sigurno snažniji, a može se reći i udaljeniji od juga, nego u julu. Takođe, stalna polja visokog pritiska (npr. Azorski i Pacifički anticikloni) u suptropskim širinama (**suptropski anticikloni**) su udaljeniji od juga u januaru, ali su tada i slabiji, nego u julu. Intertropska zona konvergencije u julu ima tendenciju da se kreće severnije u nekim delovima Sveta, dok se u januaru kreće ka jugu u tim istim delovima Sveta. Na primer, tokom jula ITZK je locirana severnije od Indije, dok je u januaru nešto južnije od Ekvatora.

U oblastima blizu kontinenata uticaj monsun postaje evidentan. Ovde je to najjasnije vidljivo preko Jugoistočne Azije, čemu naročito pogoduje dobar položaj kopnene mase Azije na severu vrlo toplog okeana. Vidimo da u toku jula postoji izrazita ciklonska cirkulacija iznad kopna na kome je smešteno polje niskog pritiska. U januaru je obrnuto. Zbog toplijeg kontinenta i stvorenog polja visokog pritiska

postoji anticiklonska cirkulacija. Azijski monsun tako izopačujuće utiče na vetar, da strujanje preko Indijskog okeana tokom leta postaje jugozapadno, umesto da je severoistočno, što bi se očekivalo, ako bi se držali samo pravila opšte cirkulacije.

Takođe, monsunski vetrovi se razvijaju i preko Afrike, Australije i nekih delova Severne i Južne Amerike, specijalno u nižim geografskim širinama i obično su u vezi sa sezonskim premeštanjem ITZK. Njihova snaga zavisi od oblika i veličine kontinenta i temperature okolnog okeana.

3.3. OPŠTA CIRKULACIJA I KLIMATOLOGIJA

Klimatologija se bavi izučavanjem srednjih stanja atmosfere. Mada svrha ovog teksta nije da se bavi klimatologijom, naše razumevanje globalne cirkulacije zahteva izvesne klimatološke osnove. Klimatološke informacije ćemo nalaziti na brojnim mestima. Prvo, one će nam pomoći da bolje razumemo procese stvaranja vremena. Drugo, one će biti pomoć u učenju iz jednostavnih klimatoloških karata o srednjim vremenskim uslovima koji vladaju u oblastima naših destinacija. Na kraju, izvesno znanje klimatologije će nam pomoći da razumemo osnovne rezultate istraživanja klimatskih promena, od kojih u velikoj meri zavise i tokovi budućih čovekovih aktivnosti. U okviru sledećih pasusa, posmatraćemo neke kratke primere.

Naše znanje o globalnom vetru može vrlo uspešno da se iskoristi za objašnjenje nekih stvari, čak vrlo komplikovanih, kao što je nejednakost u raspodeli padavina po Svetu. Na primer, polarne i subtropske pustinje i ekvatorijalne zone velikih padavina mogu biti objašnjene na osnovu stečenih znanja o globalnoj cirkulaciji, Slika 7.11.

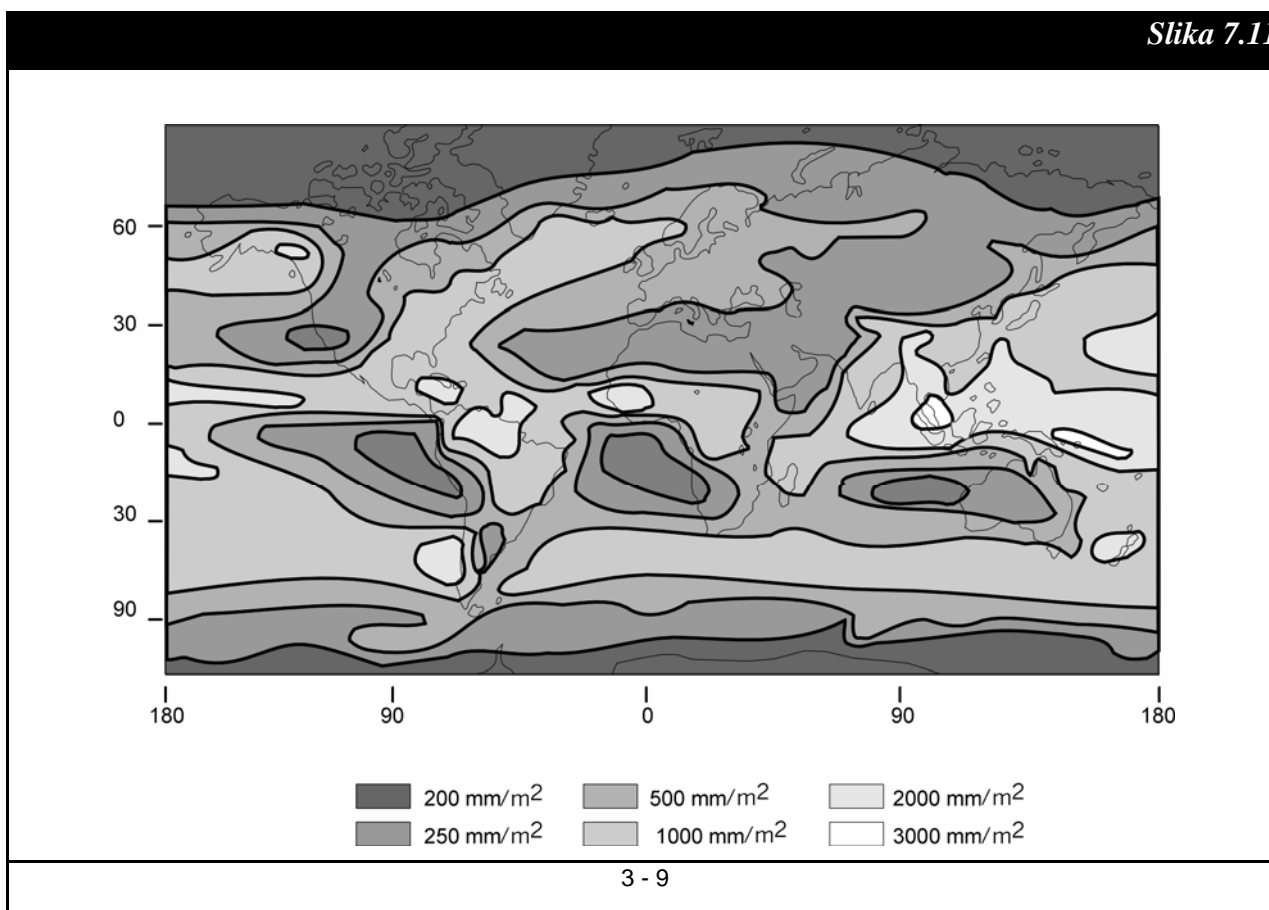
Visoke padavine blizu Ekvatora su rezultat velike količine tropske vlage, konvergencije vetra i

usponog kretanja vazduha u ITZK. U polarnim predelima i subtropskim širinama nalaze se oblasti niskih količina padavina, jer je preovlađujuće strujanje vazduha nispono (stabilna atmosfera). To smanjuje mogućnost kondenzacije, pogotovo iznad kopnenih predela (Severna Afrika), gde su i izvorišta vlage vrlo oskudna, dok je u polarnim predelima količina vlage mala, zbog vrlo niskih temperatura.

Primeri interakcije orografije i vetra opšte cirkulacije mogu se videti u zapadnim delovima Severne Amerike. Tamo se velike oblasti malih količina padavina nalaze na istočnim stranama Stenovitih planina. Ove planine se prostiru pravcem sever-jug u umerenim širinama. Pošto one stoje normalno da dominantno zapadno strujanje, niz njihove zavetrene (istočne) strane dolazi do spuštavanja i zagrevanja vazduha, dok na suprotnim (zapadnim) stranama, zbog usponog kretanja i hlađenja vazduha postoje pojačane padavine.

Primer ekstremnog doprinosa stvaranju padavina usled orografskog dizanja nalazimo preko južnih obronaka Himalaja. Tu se u kombinaciji vlažnog monsuna i orografije proizvode velike količine padavina. Mesto Čarapundi (*Cherrapunji*) u Indiji, koje je smešteno u pomenutoj oblasti, primi godišnje preko 2500 mm/m² padavina.

Slika 7.11



Srednja godišnja raspodela padavina po Svetu.

Razmeri kretanja o kojima ćemo diskutovati u kasnijim glavama imaju period manji od jedne godine. Međutim, vremenske promene se dešavaju i preko ovog perioda. Na primer, već smo uočili da neka godina obiluje padavina (**vlažna godina**), dok je sledeća godina deficitarna padavina (**suva godina**). Takođe, naučili smo da neka zima bude jako hladna (**hladna zima**), dok je druga toplija (**blaga** ili **topla zima**), itd. Ovakve "međugodišnje" varijacije više ne možemo objašnjavati samo opštom cirkulacijom atmosfere i kretanjima manjih razmera. Tu se moraju izimati u razmatranje i drugi procesi, kao što je promena temperature okeana (**El Ninjo - El Nino**) i fluktuacije u solarnoj radijaciji ili insolaciji.

Mogu se identifikovati i mnogo duže klimatske varijacije. One uključuju u razmatranje postepene promene nagiba ose rotacije Zemlje od 22.0° do 24.5° (sada iznosi 23.5°) u ciklusu koji traje 41 000 godina. Takođe, postoje i vrlo postepene promene u obliku orbite kojom Zemlja kruži oko Sunca. Ona varira od približno kružnog do elipsastog oblika u ciklusu od 100 000 godina. Ove promene imaju efekta na količine primljene energije od strane tla, pa utiču kako na dnevne, tako i na sezonske promene vremena. Poznato je da su astronomi ustanovili 14 vrsta kretanja Zemlje. Za svako od ovih kretanja, kao i u do sada prikazanim primerima, uvek je vezana i njegoa promena, uz obavezno nekakav uticaj i na klimu. Generalno, naučnici veruju da su fluktuacije u kretanju Zemlje (**astronomski faktori**) odgovorne za klimatske promene koje su se događale u poslednjih 2 000 000 godina. Trebalo bi znati da je srpski naučnik Milutin Milanković (1879. - 1958.) dao veliki udeo u objašnjenju uticaja astronomskih faktora na klimatske promene, a posebno u postavci teorije o nastanka i nestanka ledenih doba.

Na kraju, postoje razmere klimatskih promena izazvane ljudskom aktivnošću (**antropološki faktor**). Ljudi su tokom poslednja dva veka u procesu industrijalizacije i urbanizacije izlučili u atmosferu značajne količine polutanata. Na njihovo

prisustvo atmosfera je počela da reaguje menjajući prvobitne osobine. Tu se pre svega misli na probleme izazvane postojanjem ozonskih rupa i efekata staklene bašte.

Ozonska rupa (vidi Glavu 1, Odeljak C) je oblast u ozonskom sloju sa koncentracijom ozona ispod normalne vrednosti. Na površini Zemlje ispod mesta pojavljivanja ozonske rupe dolazi do pojačanog ultraljubišastog zračenja. To kod ljudi i mnogih životinjskih vrsta, u slučaju direktne izloženosti ovim zracima, može izazvati mnoge štetne posledice po normalan život i opstanak.

Efekat staklene bašte je fenomen zagrevanja donjih slojeva atmosfere zbog povećane koncentracije ugljen dioksida i drugih gasova. U poslednja dva veka veliki izvori ugljendioksida su bili iz produkata sagorevanja uglja i nafte. Prema nekim pokazateljima to je dovelo do porasta količine ovog gasa u atmosferi, iako ne za puni iznos proizvedene količine, pošto okeani imaju sposobnost njegove apsorpcije. Takođe, suficitu ovog i sličnih gasova doprinosi i smanjenje šumskih oblasti na Zemlji. Količina dugotalasnog zračenja Zemlje koja se apsorbuje u donjim slojevima atmosfere upravo je proporcionalna količini ugljendioksida i sličnih gasova u vazduhu. Tako, povećavanjem u atmosferi prisustva ovog i sličnih gasova ona postaje toplija, što dovodi do uspostavljanja novog temperaturnog (klimatskog) režima na Zemlji uz nejasne posledice za budućnost Sveta.

Uticaji antropološkog faktora na modifikaciju klime nisu za sada dobro poznati. U toku su numeričke/kompjuterske simulacije globalne klime, radi istraživanja dejstva ovde navedenih i drugih faktora.