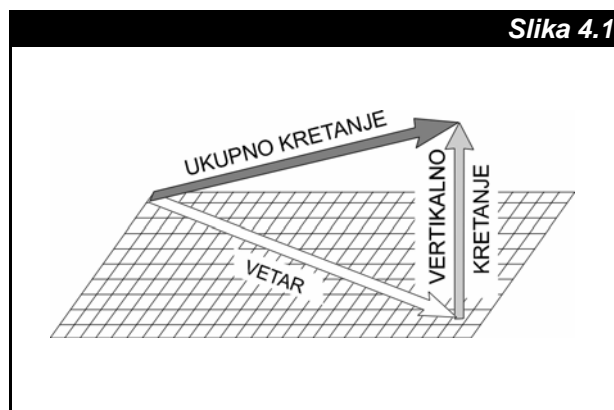


GLAVA 2 ENERGIJA VETRA

2.1. TERMINOLOGIJA O VETRU

Koncept trodimenzionalnog kretanja je za pilote mnogo lakše prihvatljiv pojam nego što je to za ljude koji uglavnom borave na tlu. Na primer, posle uzletanja (i tokom penjanja) piloti opažaju svoje kretanje promicanjem tla kao i povećanjem visine. Slično tome, kretanje vazduha od jednog na drugo mesto je istovremeno horizontalno i vertikalno.

Kao što piloti smatraju da je pogodno za opisivanje leta znati poziciju iznad tla i visinu vazduhoplova, tako i meteorolozi nalaze da je potrebno razdvojiti horizontalno i vertikalno kretanje vazduha. Praktičan razlog za ovo razdvajanje nalazi se u preovlađujućoj zastupljenosti horizontalnog u odnosu na vertikalno kretanje, izuzimajući neke turbulentne fenomene, konvektivne procese i planinske talase. Takođe, horizontalno kretanje je lakše za merenje od vertikalnog kretanja. Od sada će se ova dva kretanja razdvojeno razmatrati. Pod terminom **vetar**, ovde će se podrazumevati samo horizontalno kretanje vazduha, Slika 4.1. O vertikalnom kretanju vazduha diskutovaće se u narednoj glavi.



Ukupno kretanje vazduha je sastavljeno od horizontalnog kretanja (vetar) i vertikalnog kretanja

JEDINICE ZA MERENJE VETRA

Pre ove glave sretali smo samo meteorološke veličine za čije je kvantitativno opisivanje bio potreban samo jedan broj. To su bile, na primer: temperatura, pritisak ili gustina. Generalno, one se nazivaju **skalarne veličine**. Vetar je **vektorska veličina**, jer je za njegovo puno definisanje

potrebno znati više od jednog broja. Tačnije, vetar se opisuje sa dva broja.

Jednim brojem je potrebno zadati intenzitet ili **brzinu vetra**. Ovim brojem se iskazuje pređeni puta delića vazduha u jedinici vremena. Za brzinu vetra se u vazduhoplovstvu koriste sledeće jedinice:

- metri u sekundi (m/s),
- kilometri na sat (km/h) i
- morske ili nautičke milje na sat (nm/h), odnosno čvorovi (kt).

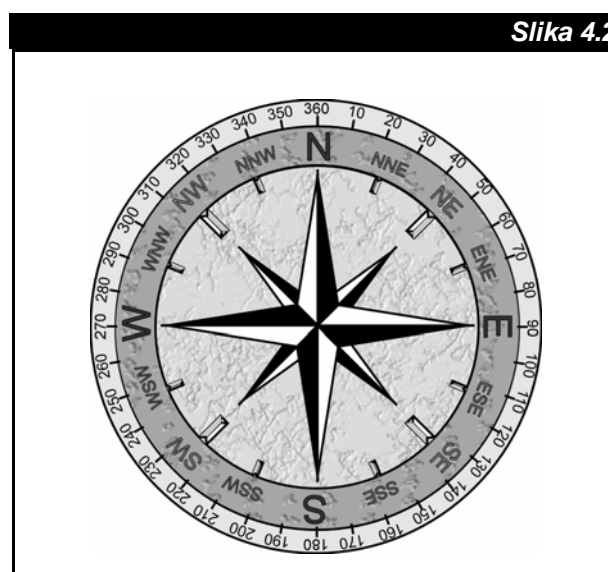
Neke karakteristične vrednosti vetra u svim navedenim jedinicama, koje ako se zapamte mogu pomoći u brzom pretvaranju jednih vrednosti u druge, date su u Tabela 4.1.

BRZINA VETRA		
m/s	km/h	nm/h ili kt
10	36	20
20	72	40
30	108	60

Neke karakteristične vrednosti brzine vetra.

Drugim brojem je potrebno odrediti pravac i smer kretanja delića vazduha, ili kako se to u meteorologiji kaže **pravac odakle vetar duva** ili samo **pravac vetra**. Za pravac vetra koriste se dve jedinice:

- **stepen** ($^{\circ}$), (vidi Dodatak 1) i
- **osam, odnosno, šesnaest strana Sveta** po kompasu u smeru kretanja kazaljke na satu od pravog (geografskog) Severnog pola (360°) ili kraće **strane Sveta**, Slika 4.2.



Pravac vetra se određuje stepenima ili sa osam/šesnaest strana Sveta po kompasu. Objašnjenje skraćenica dato je u Tabeli 4.2.

Tabela 4.2

STEPENI	PUN NAZIV	MEĐUNARODNI NAZIV	SKRAĆENI NAZIV
22.5	Sever-severoistok	North-North-East	NNE
45.0	Severoistok	North-East	NE
67.5	Istok-severoistok	East-North-East	ENE
90.0	Istok	East	E
112.5	Istok-jugoistok	East-South-East	ESE
135.0	Jugoistok	South-East	SE
157.5	Jug-jugoistok	South-South-East	SSE
180.0	Jug	South	S
202.5	Jug-jugozapad	South-South-West	SSW
225.0	Jugozapad	South-West	SW
247.5	Zapad-jugozapad	West-South-West	WSW
270.0	Zapad	West	W
292.5	Zapad-severozapad	West-NorthWest	WNW
315.5	Severozapad	North-West	NW
337.5	Sever-severozapad	North-North-West	NNW
360.0	Sever	North	N

Vrednosti u stepenima (prva kolona) i puni/međunarodni/skraćeni nazivi pravaca vetra u osam/šesnaest strana Sveta (druga, treća i četvrta kolona).

U Tabeli 4.2 date su strane Sveta u stepenima uz pun, međunarodni i skraćeni naziv. Osam karakterističnih pravaca vetra podudarnih sa osam strana Sveta mogu se saopštiti u obliku:

- "zapadni" vetar duva od zapada ka istoku ili iz pravca od 270° ili iz W pravca,
- "istočni" vetar duva od istoka ka zapadu ili iz pravca od 90° ili iz E pravca,
- "severni" vetar duva od severa ka jugu ili iz pravca od 360° ili iz N pravca,
- "južni" vetar duva od juga ka severu ili iz pravca od 180° ili iz S pravca,
- "severozapadni" vetar duva od severozapada ka jugoistoku ili iz pravca od 315° ili iz NW pravca,
- "severoistočni" vetar duva od severoistoka ka jugozapadu ili iz pravca od 45° ili iz NE pravca,
- "jugoistočni" vetar duva od jugoistoka ka severozapadu ili iz pravca od 135° ili iz SE pravca i
- "jugozapadni" vetar duva od jugozapada ka severoistoku ili iz pravca od 225° ili iz SW pravca.

NEKE DEFINICIJE O VETARU

Zbog vrlo velikog značaja koje vetar ima u vazduhoplovstvu, pored u prethodnom tekstu date generalne definicije o vetru, prihvaćene su i posebne definicije.

1. **Trenutni pravac i trenutna brzina (trenutni vetar)** su izmerene vrednosti pomenutih veličina u najkrećem vremenskom intervalu u kome merni instrument može da oseti promenu vetra.
2. **Srednji vetar (srednji pravac i srednja brzina)** se dobija računanjem srednje vrednosti trenutnog vetra preko nekog vremenskog intervala (npr. 10 minuta).
3. **Udar vetra ili rafal vetra** postoji samo kada trenutna brzina prevazilazi srednju brzinu za 10 kt (5 m/s) ili više.
4. **Varijabilan pravac** se javlja kada se ekstremni trenutni pravci razlikuju 60° i više, a srednja brzina je veća od 3 kt.
5. **Promenjiv (varijabilan) vetar** postoji kada je brzina manja od 3 kt.
6. **Tišina** je stanje atmosfere bez vetra.

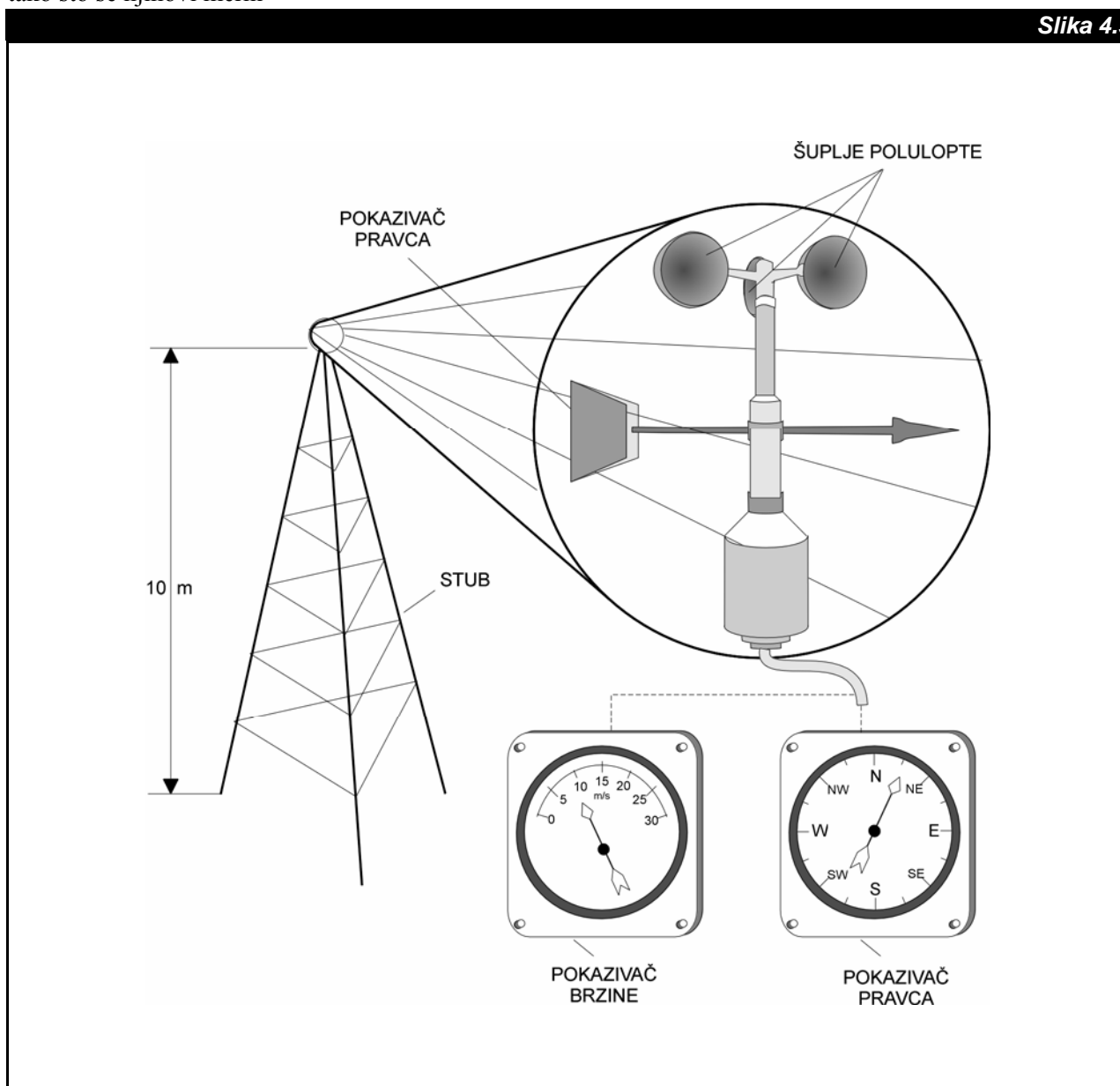
OSMATRANJE VETRA

Svakako da pored pritiska i temperature, vetar spada u najvažnije meteorološke veličine. Za njegovo tačno merenje koriste se veoma složeni tehnički uređaji; **anemometri**, ako samo pokazuju trenutne vrednosti pravca i brzine, i/ili **anemografi**, koji automatski i stalno beleže izmerene vrednosti vetra. Pomenuti instrumenti se uglavnom koristi za osmatranje **prizemnog vetra**, tako što se njihovi merni

delovi smeštaju na specijalne nosače (stubove) na visini 10 m od tla, Slika 4.3. Više detalja o ovom instrumentu ovde se neće davati, jer to ne dozvoljava njegova izuzetna tehnička složenost.

Radiosondažnim merenjem se još uvek dobijaju najtačniji operativni podaci o **vetru na visini (visinski vetar)**. No, i pored toga, vetar se na visini osmatra još; praćenjem slobodnih balona (**pilot baloni**), upotrebom Doplerovog radara, avionskih navigacionih sistema i satelita.

Slika 4.3



Često korišćen sistem za osmatranje prizemnog vetra. Brzina se meri na vrhu stuba registrovanjem broja obrtaja osovine na koju su popreko postavljene šuplje polulopte koje pokreće vetar. Ispod njih se nalazi deo za merenje pravca vetra putem određivanja položaja pokazivača pravca koji se postavlja prema vetru. Izmerene vrednosti se prenose električnim putem do pokazivača brzine i pravca.

2.2. UZROK VETRA

U ovom odeljku potrebno je dati odgovor na pitanje:

- "Šta dovodi do stvaranja vetra?"

Koncizan odgovor na ovo pitanje nalazi se u **principima Njutnove (Newton) mehanike**. Kao što je poznato, ovi principi sumiraju celokupno iskustvo o uslovima kretanja tela (vazduha) i uzrocima koji izazivaju kretanje. Oni će za ovu priliku biti navedeni u dva stava.

1. Svaki delić vazduha ostaje u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja dokle god pod dejstvom neke sile ne bude prinuđen da promeni to svoje stanje.
2. Promena količine kretanja je srazmerna sili koja deluje na delić vazduha i vrši se u pravcu sile.

Ovim principima je u potpunosti određen pojam **sile**, koji u matematičkom obliku glasi

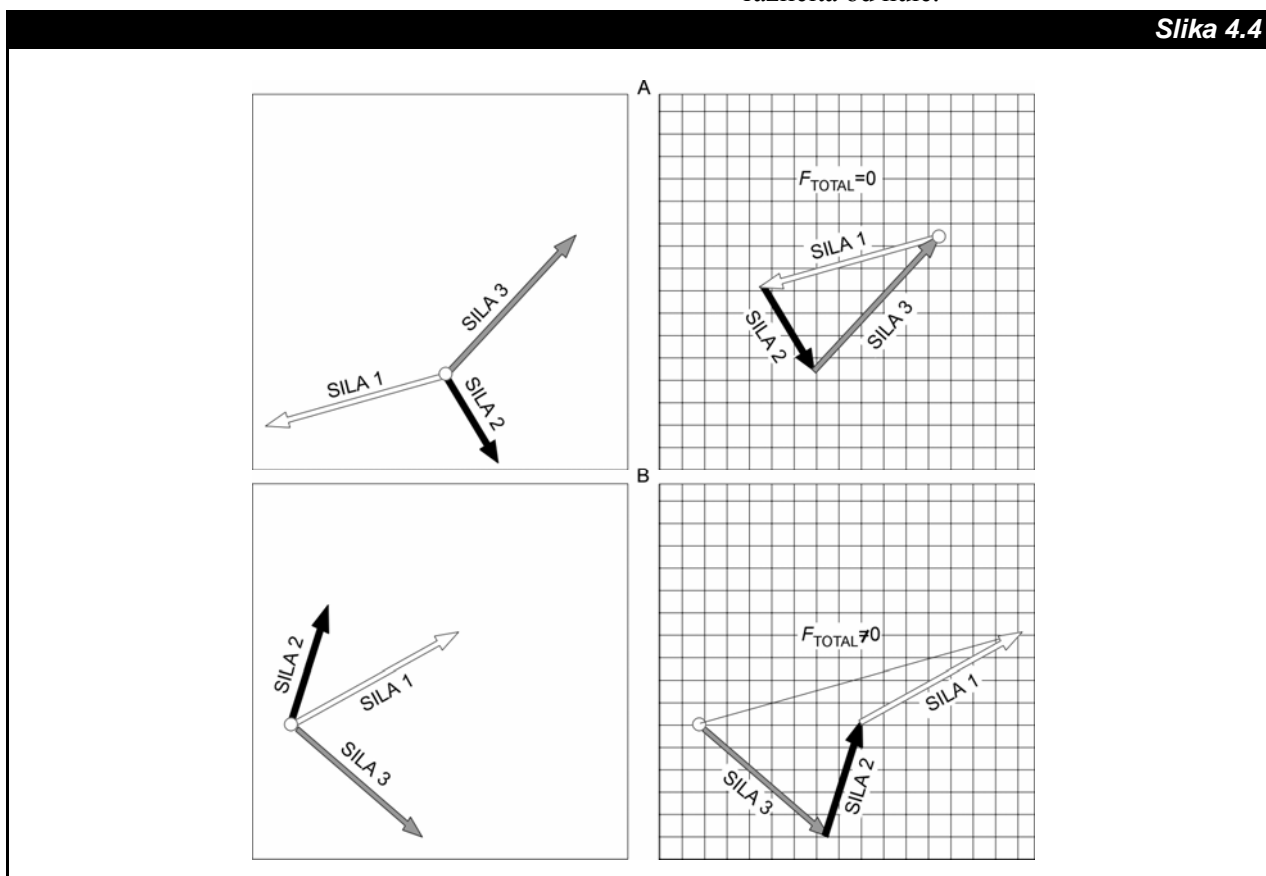
$$F = m \times a,$$

gde je F intenzitet/veličina/jačina sile koja deluje na vazduh mase m , dok je a **ubrzanje**, odnosno veličina koja govori koliko se u jedinici vremena menja brzina vazduha u pravcu delovanja sile. Takođe, saznajemo da je sila vektorska veličina.

Ukoliko na vazduh deluje više sila istovremeno važe poznata **paralelogram pravila** za dobijanje rezultantne sile. Za demonstraciju ovog pravila posmatrajmo Sliku 4.4. Ona prikazuje dejstvo tri sile na delić vazduha u horizontalnom pravcu u slučajevima kada je njihovo dejstvo:

- uravnoteženo (slučaj A), rezultantna sila je jednaka nuli i
- neuravnoteženo (slučaj B), rezultantna sila je različita od nule.

Slika 4.4



Na levoj strani su prikazana dva delića vazduha pod uticajem tri sile. Svaka od sila je prikazana u vektorskom obliku upotrebom strelice. Dužina strelice određuje jačinu sile, dok pravac i smer strelica određuje pravac, odnosno smer dejstva sile. Na desnoj strani su korišćenjem paralelogram pravila sile složene za dobijanje rezultantne sile. U slučaju A rezultantna sila (F_{TOTAL}) je jednaka nuli, dok je u slučaju B različita od nule.

Uvažavajući prethodno stečene informacije o sili, naše pitanje: "Šta dovodi do stvaranja vetra?", sada bi trebalo da se rastavi na dva pitanja:

- "Koje sile deluju na vazduh?" i
- "Šta uzrokuje nastanak tih sila?".

Sile koje koje direktno doprinose stvaranju vetra su:

1. Gradijentna sila pritiska,
2. Koriolisova (*Coriolis*) sila ili sila devijacije,
3. Sila trenja i
4. Centrifugalna sila.

U nastavku ovog odeljka biće podrobno objašnjeni uzroci i daće se opisi prethodno pobrojanih sila prema naznačenom redosledu, kako bi se dao odgovor i na drugo pitanje. Sve to će nam omogućiti da na kraju ovog odeljka, uz uzimanje u obzir i postojanja gravitacione sile, čije smo delovanje upoznali u odeljku o pritisku, steknemo pun pregled o svim izvornim silama koje deluju u atmosferi.

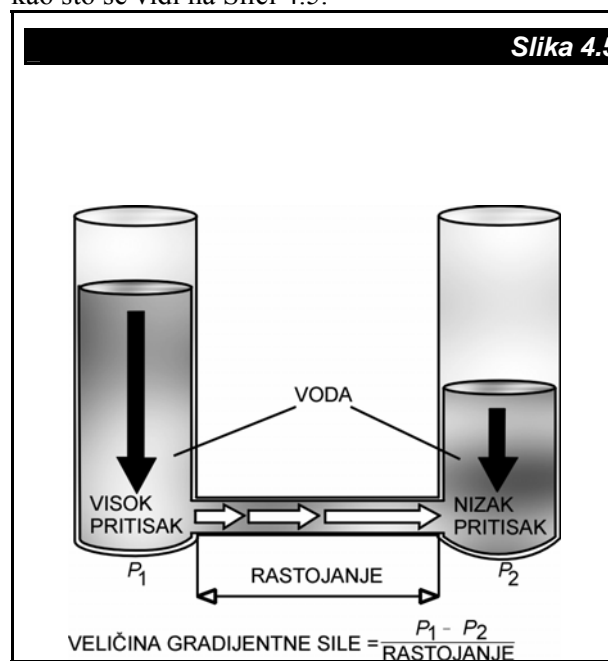
GRADIJENTNA SILA PRITISKA

Koncept "gradijenta" je bio prethodno uveden u vezi posmatranja raspodele temperature i pritiska. Podsetimo se, gradijent pritiska je uveden kao veličina koja daje razliku u pritisku između dve tačke podeljenu rastojanjem između tačaka. Međutim, posmatrano strogo matematički **gradijent pritiska** je vektorska veličina koja, slično vetru, ima pravac postavljen duž najbrže promene pritiska a smer ka smanjenju pritiska, dok mu je intenzitet jednak promeni pritiska na zadatom (jediničnom) rastojanju. Uočimo, kako prvobitna definicija gradijenta pritiska predstavlja samo intenzitet komponente vektora gradijenta pritiska u željenom pravcu.

Veza između gradijentna pritiska i kretanja vazduha se jasno vidi ako se ima u vidu da se vazduh uvek nalazi pod nekim pritiskom. Na primer, u normalno napumpanoj automobilskoj gumi pritisak je uvek veći unutra, nego što je to spolja. Tako, postoji razlika u pritisku sa jedne i druge strane gume. Na rastojanju koje je jednako debljini zida gume postoji gradijent pritiska. Što je guma više napumpana gradijent je veći. Ako se guma probuši, vazduh iz gume počinje da struji (kreće se nekim ubrzanjem) napolje. Istovremeno, što je gradijent preko zida gume veći, strujanje (ubrzanje) vazduha će biti veće. Strujanje će prestati kada se pritisci sa jedne i druge strane

gume izjednače, odnosno, kada gradijent pritiska postane jednak nuli. Sila koja dovodi do kretanja vazduha usled postojanja gradijenta pritiska naziva se **gradijentna sila pritiska (gradijentna sila)**. Može se uočiti da su položaji vektora gradijenta pritiska i vektor gradijentne sile podudarni.

Takođe, kao očigledan primer za stvaranje ove sile može nam poslužiti i neki drugi fluid (voda), kao što se vidi na Slici 4.5.



Gradijent pritiska postoji u cevi koja spaja dva rezervoara iste geometrije, jer razlika u visini (težini) vode u sudovima stvara različite pritiske. To dovodi do kretanja vode kroz cev iz levog u desni rezervoar. Ovo kretanje je posledica delovanja gradijentne sile pritiska.

Na sličan način se u atmosferi daje ubrzanje delićima vazduha od mesta visokog ka mestima niskog pritiska. Tada se kaže da deluje gradijentna sila pritiska. Pošto je vetar po definiciji samo horizontalno kretanje vazduha, stvoreno samo od sile koje deluju horizontalno, dovoljno je posmatrati samo **horizontalnu komponentu gradijentne sile pritiska (horizontalna gradijentna sila)**. Analogno ovoj, postoji i **vertikalna komponenta gradijentne sile pritiska (vertikalna gradijentna sila)** nastala opadanjem pritiska sa povećanjem visine.

UZROCI GRADIJENTNE SILE

Horizontalna gradijenta sila je koreniti (inicijalni) uzrok vetra, dok Koriolisova sila, sila trenja i centrifugalna sila zahtevaju postojanje kretanja pre nego što počnu da deluju. Pošto je gradijenta sila suštinska za kretanje vazduha, važno je znati kako ona nastaje.

Parče obale je prikazano na Slici 4.6 u dve skice. Skica A daje prizemno stanje atmosfere jednog mirnog jutra neposredno pre izlaska Sunca kada je temperatura kopna jednaka temperaturi mora. Na bilo kojoj visini od MSL iznad kopna i iznad mora pritisak je isti. U toj situaciji ne postoji horizontalni gradijent pritiska, odnosno, nema kretanja vazduha preko obale od kopna prema moru ili obrnuto. Podizanjem Sunca počinje grejanje tla. Tom prilikom temperatura kopna brže raste od temperature mora, jer kopno ima manji toplotni kapacitet u poređenju sa vodom. Tako, zbog različitog zagrevanja vazduh iznad kopna postaje topliji nego iznad mora, što dovodi do stvaranja horizontalnog gradijenta temperature.

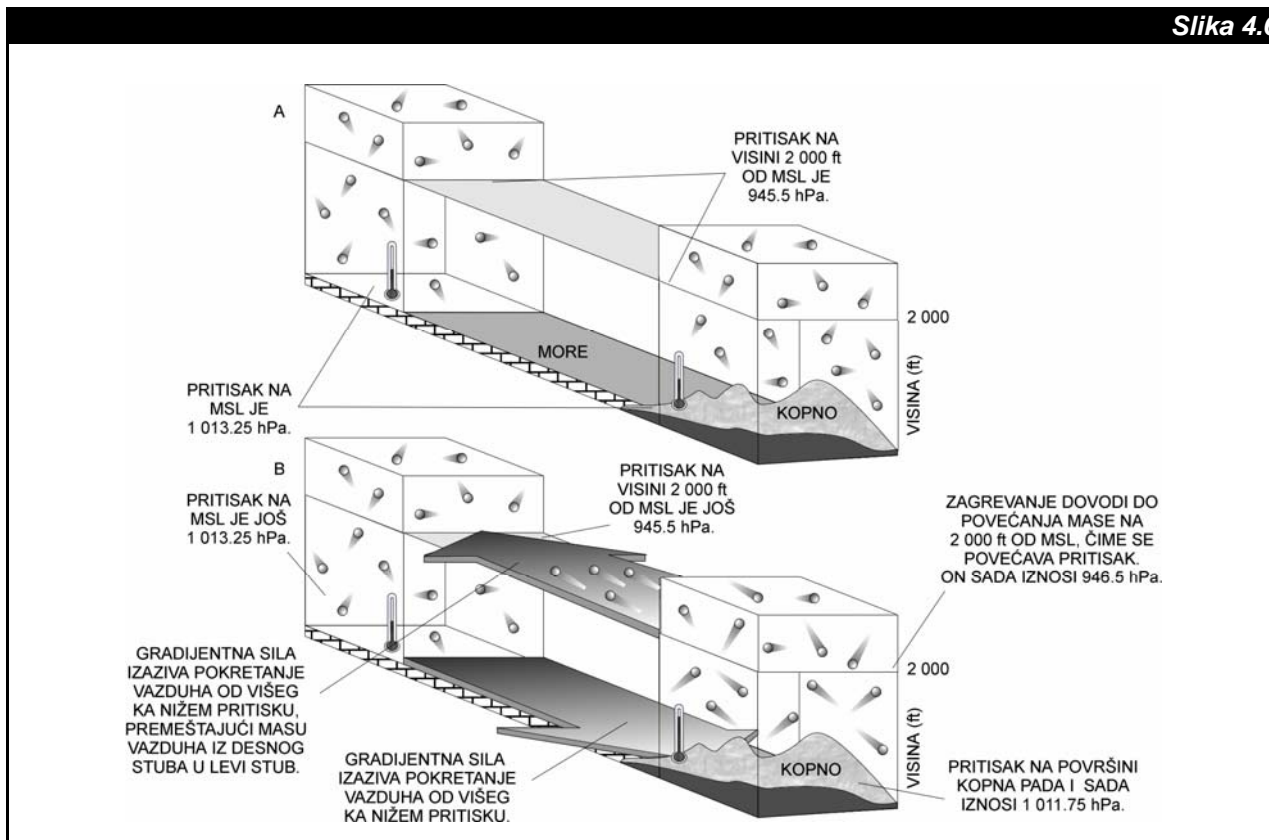
Toplije kopno zagreva okolni (gornji) vazduh provođenjem i konvekcijom. Rezultat toga je da

stub vazduha iznad kopna postaje ređi, zbog čega se podiže. Time se masa vazduha iznad kopna proširila na viši nivo, nego što se ekvivalentna masa proširila u hladnijem stubu vazduha iznad mora. Sve ovo stvara mnogo brže opadanje pritiska porastom visine u hladnom, nego u toplom vazduhu. Zbog toga se na visini (2 000 ft) uspostavlja takav horizontalni gradijent pritiska koji topliji vazduh iznad kopna počinje da pokreće ka nižem pritisku iznad mora (gornja strela), kao što se vidi na skici B Slike 4.6.

Dalje, čim je masa u toplijem stubu krenula u gornje delove, težina tog stuba (merena pri tlu) se smanjila, a površinski pritisak iznad kopna je počeo da pada. To je stvorilo drugi horizontalni gradijent pritiska između vazdušnih stubova pri tlu, tako da hladniji vazduh iznad mora počinje da se kreće ka nižem pritisku iznad kopna (donja strela).

Prethodnim razmatranjem je dobijen interesantan i koristan rezultat. Jednostavnim stvaranjem temperature razlike između dve lokacije, gde je vazduh u početku mirovao, dolazi do kretanja vazduha u istom pravcu i suprotnim smerovima na visini i u prizemlju.

Slika 4.6



Kretanje vazduha usled nastanka gradijenta pritiska zbog različitog zagrevanja vazduha. Obe skice prikazuju trodimenzionalni pogled kroz atmosferu poprečno na obalu. Gornja skica prikazuje slučaj kada je temperatura kopna i mora ista. Donja skica prikazuje rezultat nejednakog zagrevanja.

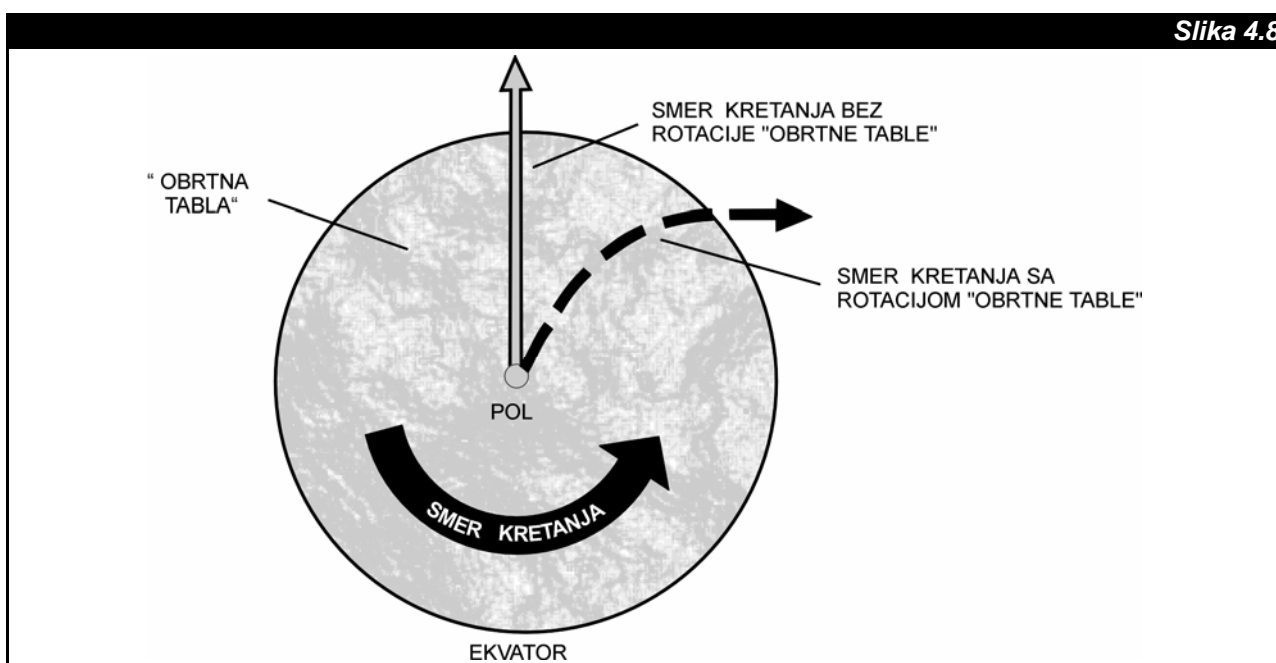
KORIOLISOVA SILA

Koriolisova sila nastaje kao posledica delovanja rotacije Zemlje na delić vazduh (tela) koje se kreće u odnosu na površinu Zemlje (**relativno kretanje**). Ona je dobila naziv prema naučniku (*Gaspard Coriolis*) koji je tokom devetnaestog veka dao opštu definiciju ove sile.

Kao što smo videli, obim Zemlje na Ekvatoru iznosi oko 40 000 km. Pošto se Zemlja obrne oko svoje ose za oko 24 sata, može se lako izračunati da je brzina kretanja neke tačke na Ekvatoru 1666.7 km/h. Za isto vreme tačke na polovima miruju. Tako, brzina perifernih tačaka na Zemlji zavisi od geografske širine. Zbog toga se u kretanju vazduha, pa i ostalih tela, pojavljuju određene deformacije. Ove deformacije se pripisuju delovanju Koriolisove sile.

miruje. Neka se taj put nalazi u pravcu i smeru pune strelice na Slici 4.8. U drugom slučaju učinimo isto, ali sada neka tabla rotira oko pola u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu (kao Zemlja). Iako smo se, kao i u prvom slučaju, trudili da najkraćim (pravolinijskim) putem dođemo do Ekvatora, naša putanja je postala zakrivljena, kao što to pokazuje isprekidana strelica na Slici 4.8.

Eksperimentom se još može ustanoviti da zakrivljenost isprekidane linije raste, kako usled porasta brzine obtanja table, tako i usled porasta brzine kretanja tela na tabli. Takođe, može se ustanoviti da suprotna rotacija stvara suprotnu zakrivljenost putanje u slučaju istog smera kretanja. Već je postalo jasno da se promenom smera kretanja po tabli, pri nepromenjenom smeru rotacije, menja i smer zakrivljenja.



Obrtna tabla u slučaju rotacije proizvodi isti tip deformacije u putanji kretanja tela kao i rotacija Zemlje. Deformacije se javljaju zbog zavisnosti perifernih brzina od poluprečnika obrtanja tela čijim se povećanjem brzina povećava.

OBRTNA TABLA

Kakvu deformaciju u relativnom kretanju vazduha u odnosu na rotaciju Zemlje izaziva postojanje različitih perifernih brzina, lepo može ilustrovati eksperiment sa **obrtnom tablom**, Slika 4.8.

Za trenutak pretpostavimo da se Zemlja može aproksimirati tablom kružnog oblika čija ivica predstavlja Ekvator, a centar pol. Pokušajmo sada, na primer, da pređemo najkraći put između pola i Ekvatora. U prvom slučaju učinimo to dok tabla

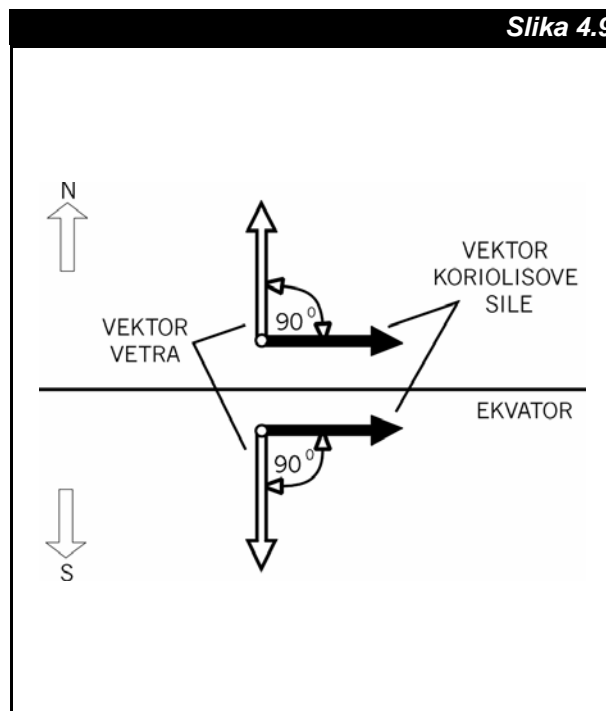
Uočene deformacije u kretanju po obrtnoj tabli u slučaju njene rotacije izaziva Koriolisova sila. Ona se često zbog toga još naziva i **sila devijacije**. Dejstvo ove sile se još može shvatiti i kao deformacija u kretanju tela koji prolazi preko različitih zona perifernih brzina. Tako, ako se kao u našem slučaju telo kreće smerovima Ekvator-pol ili pol-Ekvator, postoji povlačenje u desnu stranu u odnosu na smer vektora brzine. Povlačenje u suprotnu stranu se javlja u slučaju obrnute rotacije table.

OSOBI NE KORIOLISOVE SILE

Delovanje Koriolisove sile na Zemlji se dešava po istim principima kao i kod obrtne table. Međutim, zbog Zemljine složenije geometrije ovo delovanje je nešto složenije. Jako je važno da se znanja o Koriolisovoj sili pravilno primene na zbivanja u stvarnoj atmosferi. Zato ćemo sva naša dosadašnja znanja o ovoj sili sistematizovati u vidu nekoliko pravila. Njima će biti pridodate još neke važne činjenice, koje nisu mogle da se uoče tokom eksperimenta sa obrtnom tablom. Ove činjenice se mogu formulisati kroz sledeća pravila.

1. Koriolisova sila deluje samo na tela u pokretu. Na tela koja miruju ova sila ne deluje.
2. Koriolisova sila je upravo proporcionalna brzini tela. Ona linearno jača porastom brzine. Važi i obrnuto.
3. Intenzitet Koriolisove sile raste sa $\sin(\varphi)$, gde je φ geografska širina. Znači, porastom geografske širine njen intenzitet raste. Tako, Koriolisova sila na;
 - Ekvatoru je jednaka nuli ($\varphi = 0^\circ, \sin(0^\circ) = 0$),
 - Severnom polu i Južnom polu je najveća ($\varphi = 90^\circ, \sin(90^\circ) = 1$), dok, na primer,
 - severno i južno od Ekvatora na geografskim širinama ($\varphi = 30^\circ, \sin(30^\circ) = 1/2$) ima polovinu vrednosti sa polova.
4. Kao što pokazuje Slika 4.9 vektor Koriolisove sile je uvek normalan na vektor vetra, pa;
 - na Severnoj hemisferi deluje desno od smera kretanja, a
 - na Južnoj hemisferi deluje levo od smera kretanja.

Koriolisova sila ima značaja i u navigaciji. Slično, kao što se za termičku cirkulaciju velikih razmera mora uzeti u obzir i rotacija Zemlje, tako se u navigaciji za kretanja preko velikih rastojanja zahteva korekcija zbog uticaja Koriolisove sile. Tada putanja aviona mora biti korigovana nalevo na Severnoj hemisferi, odnosno nadesno na Južnoj hemisferi.



Delovanje vektora Koriolisove sile u odnosu na vektor vetra na Severnoj i Južnoj polulopti Zemlje.

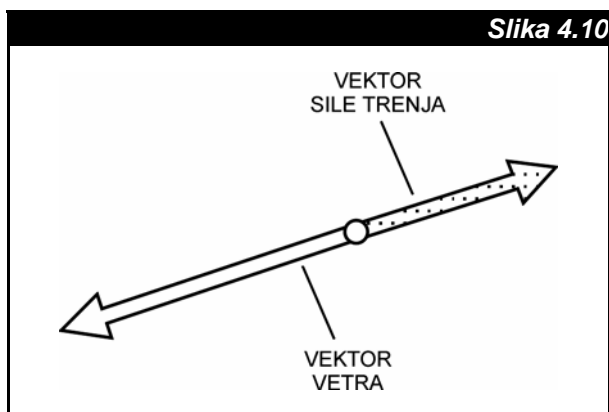
SILA TRENJA

Prema opštoj definiciji **sila trenja** predstavlja otpor relativnom kretanju dva tela kada se dodiruju. Tako, sila trenja u atmosferi može da se javlja kao:

- **površinsko (spoljašnje) trenje** nastalo usled dodira krećućeg vazduha i tla, ili
- **unutrašnje (viskozno) trenje** nastalo usled relativnog pomeranja jednih delića (slojeva) vazduha u odnosu na druge.

Prilikom kretanja prizemni vazduh nailazi na razne prepreke. Dolazeći sa njima u dodir predaje tlu deo svoje kinetičke energije. Tako se kinetička energija vazduha pretvara u kinetičku energiju predmeta na zemljinoj površini ili u toplotnu energiju tla i vazduha. Sva ova pretvaranja su u vezi sa silom površinskog trenja. Prvi značajan faktor određenja sile trenja jeste brzina kretanja vazduha. Ustanovljeno je da sila površinskog trenja postoji samo kada se vazduh kreće. Intenzitet ove sile raste usled porasta brzine vazduha. Pošto je delovanje trenja uvek usporavajuće, pretpostavka o dejstvu ove sile u istom pravcu i suprotnom smeru od vektora vetra izgleda dosta realistična, Slika 4.10.

Hrapavost podloge je drugi značajan faktor koji određuje silu površinskog trenja. Tako, što je

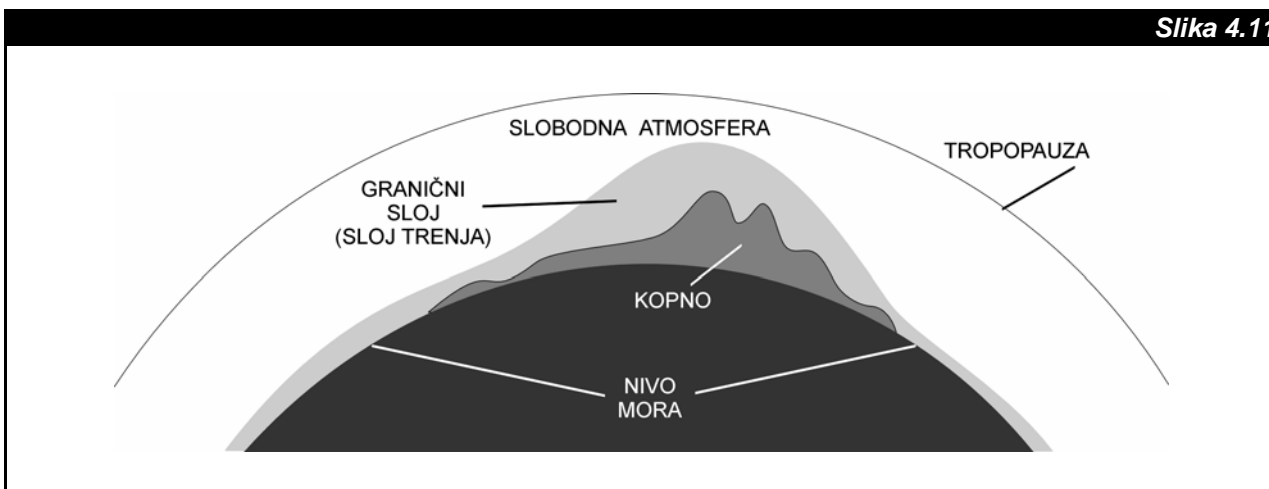


Položaj vektora sile površinskog trenja u odnosu na vektor vetra.

podloga hrapavija sila trenja se pojačava. Na primer, ova sila je veća iznad planinskih masiva nego iznad okeanskih (morskih) površina. Sila površinskog trenja opada porastom visine, tim brže što je zemljina podloga ravnija. Istovremeno, sloj atmosfere u kome se oseća njeno delovanje neuporedivo je deblji iznad planinskih masiva (npr. 6 500 - 10 000 ft), nego iznad okeana (npr. 160 - 350 ft). U meteorologiji je sloj atmosfere u kome se oseća uticaj sile spoljašnjeg trenja poznat pod nazivom **sloj trenja**, dok se atmosfera u kojoj sila trenja nema uticaja naziva **slobodna atmosfera**, Slika 4.11.

Smatra se da sila unutrašnjeg trenja dolazi od toplotnog kretanja molekula vazduha; kako zbog sudara čestica iz slojeva vazduha različite brzine, tako i u prelazu čestica iz jednog sloja u drugi. Tom prilikom se javljaju sile koje imaju za posledicu ubrzanje kretanja jednih čestica/slojeva i usporenje kretanja drugih čestica/slojeva vazduha. Povećanjem temperature povećava se toplotno kretanje čestica vazduha, što izaziva povećanje unutrašnjeg trenja. Kao što znamo, atmosfera od podloge prima najveći deo toplote i prizemni sloj atmosfere je najzagrejaniji. Zbog toga je u ovom sloju unutrašnja sila trenja vazduha veća nego u višim slojevima atmosfere.

Pored sile trenja, u prizemnom sloju atmosfere prisutni su i procesi intenzivnog transporta toplote, vodene pare, jezgara kondenzacije, raznih polutanata, itd. Pošto ovakvi procesi direktno ili indirektno imaju uzroke u interakciji između tla i atmosfere nazivaju se **prizemni procesi**. Sloj troposfere u kome se dešavaju prizemni procesi naziva se **granični sloj**, Slika 4.11. Za potrebe diskusija koje će se voditi u ovoj knjizi, smatraćemo da su granični sloj i sloj trenja podudarni. U takvom kontekstu će se pod slobodnom atmosferom smatrati i delovi atmosfere u kojima nema prizemnih procesa.

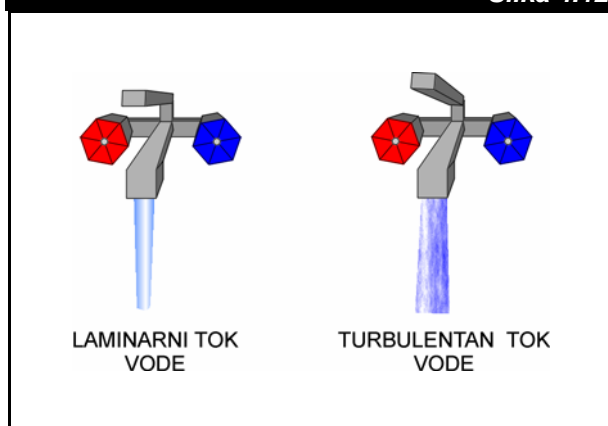


Vertikalni presek kroz atmosferu, sloj trenja (granični sloj) i slobodnu atmosferu.

TURBULENCIJA

Pre davanja nekih generalnih definicija, pokušajmo da uočimo dva bitno različita tipa strujanja fluida (vazduha). Učinimo to jednostavnim eksperimentom na sledeći način. Dozvolimo da voda ističe kroz vodovodnu slavinu, Slika 4.12.

Slika 4.12



Laminarni i turbulentni način isticanja vode iz slavine.

Ako smo tako otvorili slavinu, da je kretanje/isticanje vode dovoljno sporo u vidu mirnog providnog mlaza skoro nepromenjenog oblika, kaže se da je to **laminarno kretanje**. Suprotno, ako smo daljim otvaranjem slavine povećali preko određene granice brzinu kretanja/isticanja vode, dolazi do promene karaktera kretanja. Mlaz vode postaje neprovidan i vrlo nemiran zbog permanentne promene oblika. Za ovakvo isticanje se kaže da je **turbulentno kretanje**.

Saglasno prethodnom eksperimentu u vazduhu se može identifikovati

- **turbulentno kretanje vazduha (turbulencija)** ili neuređeno/haotično kretanje vazduha u kome postoje velike

fluktuacije u brzinama delića vazduha i

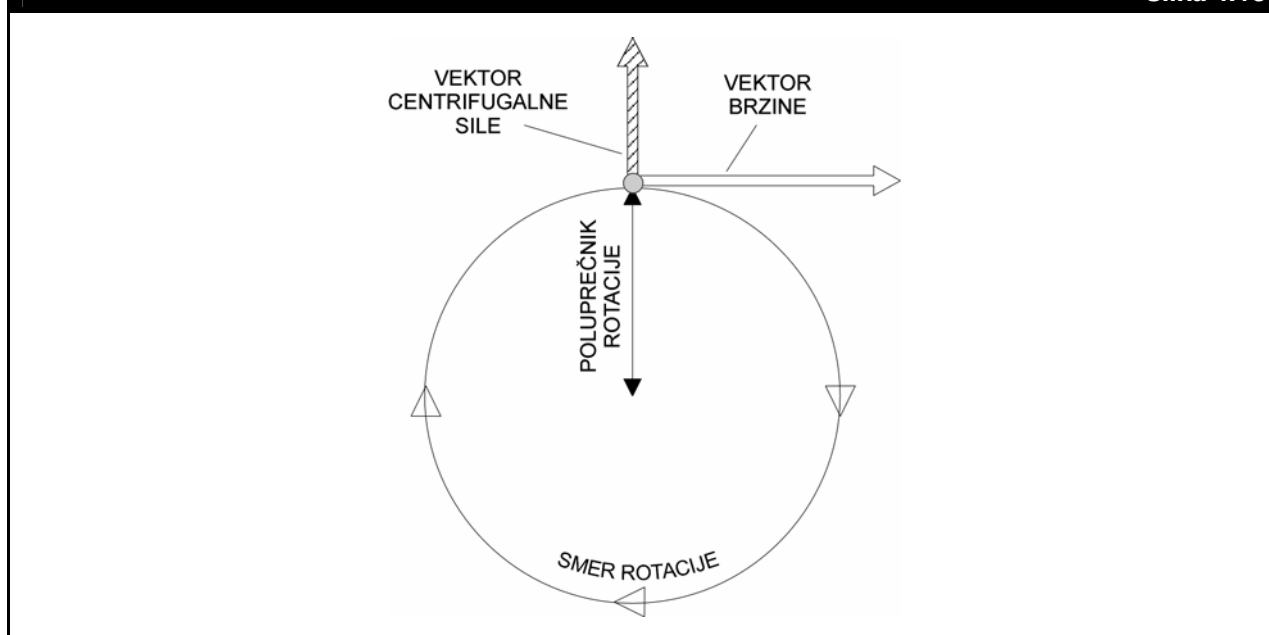
- **laminarno kretanje vazduha** ili uređeno kretanje gde se delići vazduha kreću približno istim brzinama.

Važni izazivači turbulencije su sile trenja. Ubuduće ćemo turbulenciju nastalu zbog mehaničkih razloga, delovanjem površinskog trenja nazivati **mehanička turbulencija**. Istovremeno, turbulenciju nastalu usled postojanja velike razlike u temperaturi zvaćemo **termička turbulencija**. Ponuđena klasifikacija turbulencije nije konačna. Ona je za ovu priliku iznuđena da bi se lakše pratila dalja izlaganja. Mnogo više detalja o turbulenciji, pre svega kao opasnoj vremenskoj pojavi, biće dato u Delu III.

CENTRIFUGALNA SILA

Centrifugalna sila se javlja kao posledica krivolinijskog kretanja delića vazduha. Ona zavisi od brzine tela i poluprečnika kruga rotacije. Centrifugalna sila raste, kako povećanjem kvadrata brzine, tako i smanjenjem poluprečniku kruga rotacije. Deluje u radijalnom pravcu, a usmerena je od centra rotacije. Tako, kada se u atmosferi pojavljuje krivolinijsko kretanje vazduha mora se uzeti u obzir delovanje centrifugalne sile, Slika 4.13.

Slika 4.13



Šematski prikaz centrifugalne sile prilikom kružnog kretanja.

2.3. MODELI VETRA

Vetar je uvek posledica dejstva istih sila. Međutim, one tokom delovanja menjaju međusobni odnos, čime daju vrlo promenjive doprinose ukupnom kretanju vazduha. Međutim, od svih odnosa ovih sila, neki odnosi su dominantniji od drugih. Kretanja koja nastaju iz dominantnih odnosa sila nazivaće se **modeli vetra**.

GEOSTROFSKI VETAR

Kad su razmere atmosferskih kretanja dovoljno velike, gradijenta sila pritiska i Koriolisova sila teže da uspostave međusobnu ravnotežu (balans). To znači, da kada se vazduh kreće preko rastojanja od stotinu i/ili više kilometara, Koriolisova sila i gradijenta sila pritiska teže da se izjednače po intenzitetu, dejstvujući u istom pravcu, ali u suprotnim smerovima. Proces koji dovodi do uspostavljanja ove ravnoteže poznat je kao **geostrofsko podešavanje**. Uspostavljena ravnoteža se naziva **geostrofska ravnoteža (balans)**, dok se ovako uspostavljeno kretanje vazduha zove **modeli geostrofskog vetra** ili **geostrofski vetar**. Ovo objašnjeno za vetar se može smatrati dobrom aproksimacijom za razumevanje osobina (stvarnog) vetra u slobodnoj atmosferi velikih razmera, pošto (stvarni) vetar skoro uvek duva u uslovima približne geostrofske ravnoteže. Inače, geostrofski vetar je jednak stvarnom vetru samo kada je geostrofski balans uspostavljen.

Radi objašnjenja procesa geostrofskog podešavanja zamislimo sledeći idealizovan primer. Neka na nekom mestu na Severnoj polulopti dolazi do pada pritiska. Zbog delovanja horizontalne gradijentne sile delići vazduha će dobijati ubrzanje i počće da se kreću prema mestu nižeg pritiska. Istovremeno, počće delovanje Koriolisove sile u desnu stranu, tako da krećući delići neće uspeti da ostvare započeto kretanje prema mestu nižeg pritiska. Kao što znamo, što je brže kretanje vazduha, to je jače skretanje udesno. Kada pravac kretanja postane normalan na pravac horizontalne gradijentne sile prestaće ubrzanje pod dejstvom gradijentne sile i prestaće porast Koriolisove sile. U tom trenutku došlo je do uspostavljanja geostrofske ravnoteže. Tako, geostrofski balans se može desiti samo kada vetar već duva.

Važno je znati da su u atmosferi uz proces geostrofskog podešavanja, istovremeno prisutni i procesi koji sprečavaju uspostavljanje geostrofske

ravnoteže, ili je narušavaju, ako je ona već uspostavljena. Na primer, u takve procese spadaju termička konvekcija i turbulencija nastala delovanjem sile površinskog trenja.

Kao što se zna, Koriolisova sila zavisi od brzine vetra i geografske širine. Teoretski posmatrano geostrofskog vetra sigurno nema samo na Ekvatoru, jer tamo ne može da se pojavi Koriolisova sila. Međutim, u praksi se smatra da u pojasu 15° severno i južno od Ekvatora ne postoji geostrofski vetar, jer je vrednost Koriolisove sile u ovom pojasu zanemarljivo mala. Na drugoj strani, smanjenje uticaja Koriolisove sile bliže Ekvatoru znači da je za određeni gradijent pritiska vetar jači bliže Ekvatoru, nego bliže polovima. Na primer, za isti gradijent pritiska u slobodnoj atmosferi, brzina vetra u oblasti Sredozemnog mora je veća nego iznad srednje Evrope.

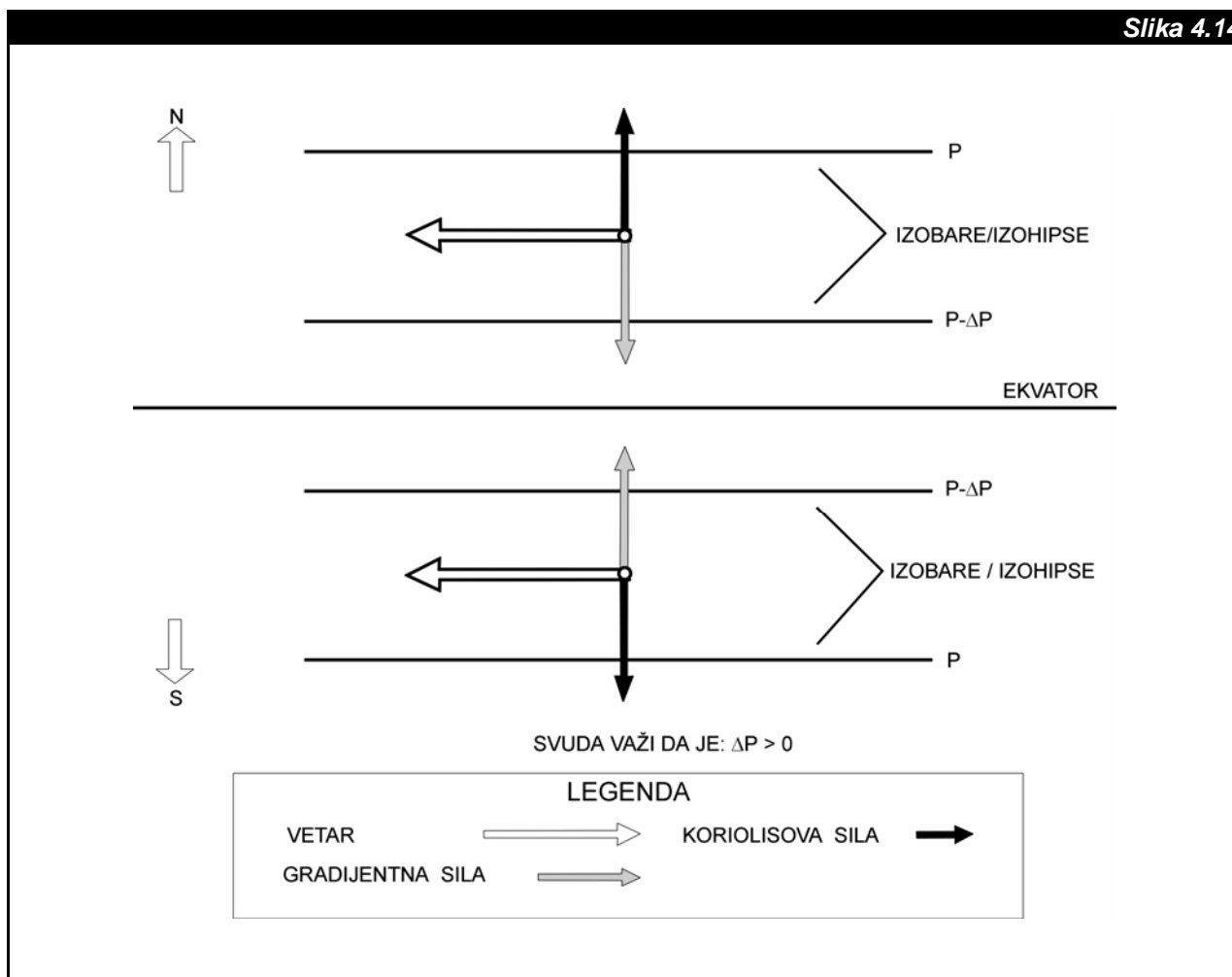
U kakvom su međusobnom položaju vektori vetra, gradijentne sile i Koriolisove sile u polju pritiska u odnosu na neki krećući delić vazduha na Severnoj i Južnoj hemisferi u slučaju kada je uspostavljena geostrofska ravnoteža, šematski je prikazano na Slici 4.14.

Osnovne karakteristike geostrofskog vetra mogu se sumirati u sledećim pravilima.

1. Strujanje vazduha (putanja delića) je uvek paralelno izobarama (izohipsama), tako da se na Severnoj hemisferi nizak pritisak nalazi sleva u odnosu na smer vetra, dok je na Južnoj hemisferi nizak pritisak na desnoj strani. Ovo pravilo je u meteorološkoj praksi i literaturi poznato kao Bejs-Balotov (*Buys-Ballot*) zakon: *ako vetar duva u leđa osmatrača, nizak vazdušni pritisak leži sleva na Severnoj hemisferi*. Navedeni zakon je dobio naziv prema jednom od naučnika (vidi Dodatak 4), koji je sredinom prošlog veka otkrio odnos između vetra i atmosferskog pritiska.
2. Brzina vetra se povećava usled povećavanja gradijenta pritiska.
3. Za isti gradijent pritiska u oblastima bližim Ekvatoru brzina vetra je veća nego iznad regiona bližih polovima.

Na kraju, podsetimo se da geostrofski balans ne može biti uspostavljen na razmerama kretanja gde se javljaju vetrovi s mora i kopna, planinski i dolinski vetrovi, grmljavinske nepogode, tornada itd. U takvim slučajevima gradijentna sila pritiska je mnogo veća od Koriolisove sile.

Slika 4.14



Pune tanke linije su izobare/izohipse. Strelice različitih šrafura pokazuju pravac, smer i intenzitet delovanja sila na delić vazduha dat u obliku kružića, dok nešrafirana strelica prikazuje vektor vetra. Geostrofski balans je u odnosu na prikazani delić vazduha uspostavljen kada su gradijentna sila pritiska i Koriolisova sila istog intenziteta i pravca, a suprotnog smera. U gornjem delu slike prikazana je situacija na Severnoj polulopti, dok donji deo slike prikazuje situaciju na Južnoj polulopti.

AGEOSTROFSKI VETAR

U stvarnoj atmosferi prethodno opisani model geostrofskog vetra uglavnom ne postoji. Delićima vazduha je svojstveno neuravnoteženo kretanje. Kod ovog kretanja rezultatna sila nije jednaka nuli, pa postoji ubrzanje krećućih delića vazduha. Razlika između stvarnog kretanja vazduha, koje je obično manje ili više neuravnoteženo, i geostrofskog vetra zove se **model ageostrofskog vetra** ili **ageostrofski vetar** ili **geostrofsko odstupanje**. Pošto je geostrofsko odstupanje najčešće relativno malo u odnosu na potencijalni geostrofski vetar, aproksimacija stvarnog vetra geostrofskim vetrom čini se prihvatljivom, jer

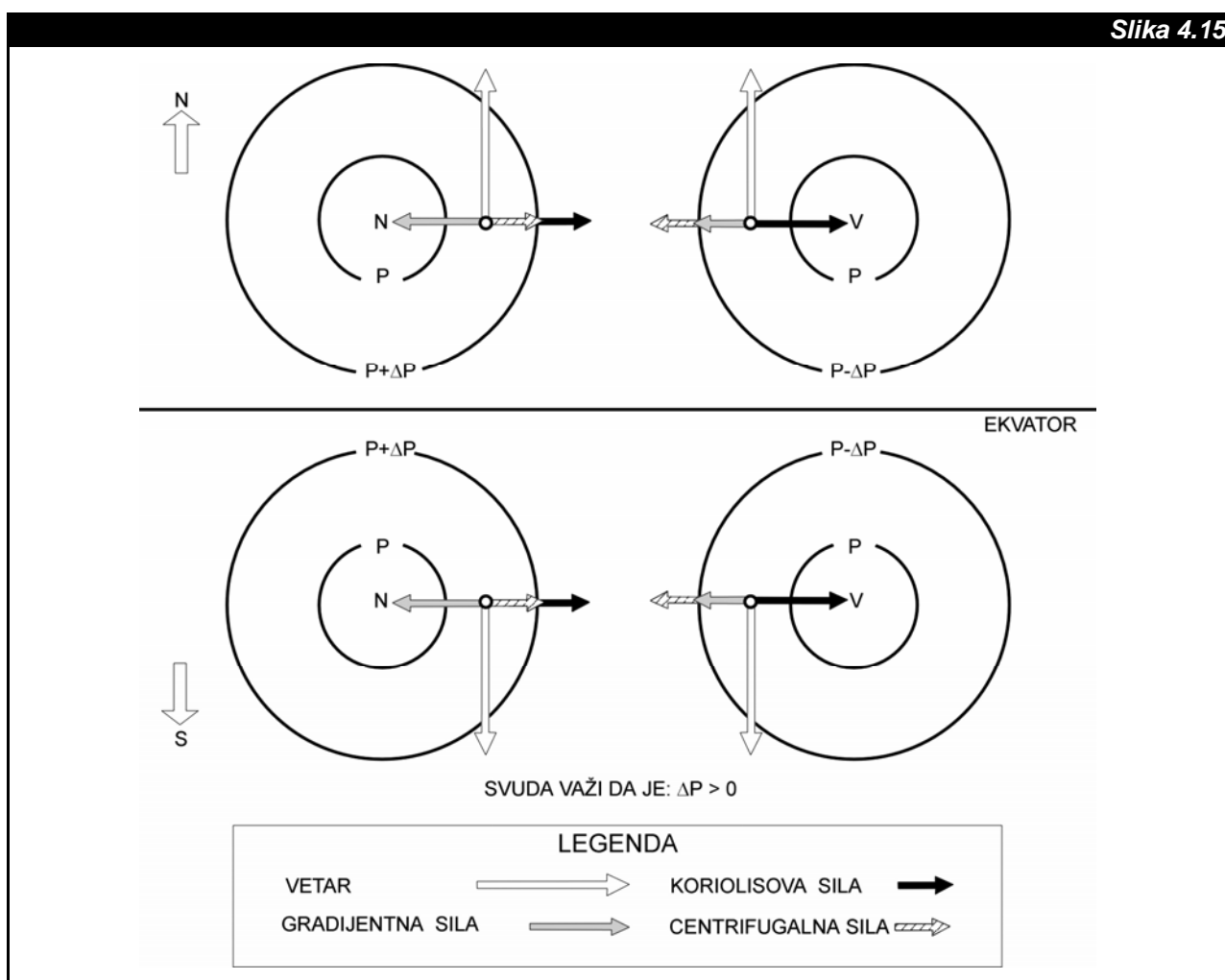
olakšava posmatranje atmosferskih kretanja, pogotovo za potrebe vazduhoplovstva.

GRADIJENTNI VETAR

Znamo da geostrofski vetar duva u slobodnoj atmosferi samo kada su izobare prave i paralelne. Međutim, mnogo češće izobare nisu prave. One mogu imati zakrivljenost u poljima niskog i visokog atmosferskog pritiska. Kao i u slučaju geostrofske ravnoteže, atmosfera u ovoj situaciji teži da uspostavi ravnotežu između sila koje deluju na krećući delić vazduha. Razlika u odnosu na geostrofsku ravnotežu je u tome, što sada, pored Koriolisove sile i gradijentne sile, postoji još i centrifugalna sila. Ovako uspostavljeno kretanje vazduha naziva se **model gradijentnog vetara** ili **gradijentni vetar**. Slično kao i kod geostrofskog

vetra, ponuđeno objašnjenje za vetar smatra se veoma dobrom aproksimacijom za razumevanje osobina stvarnog vetra u slobodnoj atmosferi velikih razmera za slučaj krivolinijskih izobara/izohipsi. Inače, gradijentni vetar je jednak stvarnom vetru samo kada je balans između sila uspostavljen.

U kakvom su međusobnom položaju vektor vetra, gradijentna, Koriolisova i centrifugalna sila u polju niskog i visokog atmosferskog pritiska u odnosu na neki krećući delić vazduha na Severnoj i Južnoj hemisferi, šematski je prikazano na Slici 4.15.



Pune tanke linije su izobare/izohipse. Strelice različitih šrafura pokazuju pravac, smer i intenzitet delovanja sila na delić vazduha dat u obliku kružića, dok nešrafirana strelica prikazuje vektor vetra. Ravnoteža sila je u odnosu na prikazani delić vazduha uspostavljena u:

- ciklonu, kada je zbir Koriolisove i centrifugalne sile suprotnog smera a jednakog intenziteta sa gradijentnom silom i
- anticiklonu, kada je zbir gradijentne i centrifugalne sile suprotnog smera a jednakog intenziteta sa Koriolisovom silom,

U gornjem delu slike prikazana je situacija na Severnoj polulopti, dok donji deo slike prikazuje situaciju na Južnoj polulopti.

Može se uočiti da strujanje vazduha u ciklonu i anticiklonu ima osobine pozitivne i negativne cirkulacije, redom. Za razliku od termičke cirkulacije, koja se pretežno događa u vertikalnoj ravni, ovde pomenuti tipovi cirkulacija se dešavaju u horizontalnoj ravni.

U umerenim širinama retko se događa da su izobare dovoljno zakrivljene pa da centrifugalna sila bude od velikog značaja. Zato se u praksi gradijentni vetar aproksimira geostrofskim vetrom, koji se kao što smo videli smatra dovoljno dobrom aproksimacijom za stvarni vetar. U ekstremnim slučajevima, kao što je blizu centra niskog ili visokog pritiska, gde postoji mali radijus zakrivljenosti izobara/izohipsi, mora se uzimati u obzir i dejstvo centrifugalne sile. Istovremeno, smanjenje uticaja Koriolisove sile blizu Ekvatora znači da je, za određeni gradijent pritiska, vetar jači bliže Ekvatoru, nego bliže polovima.

Strujanje vazduha u modelu gradijentnog vetra vrlo je slično onom koje postoji, na primer, u šolji čaja, kada se mešanjem čaj dovede u obrtno kretanje. Na osnovu iskustva znamo da površina čaja zauzme levkast oblik (nizak pritisak u centru šolje), i da kretanje u izvesnom periodu može biti stacionarno (ne menja se tokom vremena). To znači da su sile u ravnoteži. U ovom slučaju približna ravnoteža se ostvaruje samo između gradijentne sile, usmerene prema centru šolje, i centrifugalne sile, postavljene u istom pravcu, ali u suprotnom smeru. Izostanak delovanja Koriolisove sile posledica je malih dimenzija šolje. U našem slučaju njene dimenzije su takve da krećuće čestice čaja, uspostavljenim brzinama, prelaze vrlo mala rastojanja na kojima se delovanje Koriolisove sile može zanemariti. U hipotetičkom slučaju kada bi dimenzije šolje i razmere kretanja u njoj bile, na primer, nekoliko stotina kilometara ili veće, stacionarno kretanje čaja bilo bi identično prethodno opisanom gradijentnom vetru.

Na osnovu svega, karakteristike gradijentnog vetra mogu se sumirati u sledećim pravilima.

1. Kao što se vidi na Slici 4.15 strujanje vazduha je uvek duž izobara/izohipsi. Ono je na Severnoj hemisferi;

- u ciklonu, suprotno smeru kretanja kazaljke na satu, a
- u anticiklonu, u smeru kretanja kazaljke na satu.

Na Južnoj hemisferi strujanje vazduha je obrnuto;

- u ciklonu je u smeru kretanja kazaljke na satu, a
- u anticiklonu je u suprotnom smeru od kretanja kazaljke na satu.

Ova pravila u obliku Bejs-Balotovog zakona glase: *ako vetar duva u leđa osmatrača, nizak vazdušni pritisak leži sleva na Severnoj hemisferi.*

2. Brzina vetra se povećava usled povećavanja gradijenta pritiska.
3. Za određeni gradijent pritiska u oblastima bližim Ekvatoru brzina vetra je veća nego iznad regiona bližih polovima.

CIKLOSTROFSKI VETAR

U diskusiji iz prošlog odeljka o gradijentnom vetru najavljena je mogućnost kružnog kretanja vazduha u kome bi dejstvo Koriolisove sile bilo zanemareno ili eliminisano. Tako, na primer, u blizini centra rotirajućih oluja; **tornada**, **vodene pijavice**, **prašinske trombe**, itd. (vidi Glavu 9), koje se dešavaju na malim razmerama (od nekoliko metara do nekoliko stotina metara) Koriolisova sila je veoma mala, dok je radijus krugova izobara/izohipsi takođe mali, Slika 4.16.

U ovakvim situacijama do gradijentnog vetra dolazi težnjom da se uspostavi ravnoteža između suprotno delujućih sila; gradijente i centrifugalne. Takvo kretanje se naziva **model ciklostrofskog vetra** ili **ciklostrofski vetar**. Tako, ako se vratimo našoj šolji stacionarno rotirajućeg čaja, sada možemo reći da u njoj postoji kretanje koje je potpuno analogno ciklostrofskom vetru. Lako se uočava da rotirajuće oluje mogu postojati samo kada je u centru oluje smanjen pritisak. Potvrdu ovoga možemo naći u našem iskustvu, po kome, bilo kakvim mešanjem čaja njegova se površina ne može dovesti u kupast oblik (visok pritisak u centru šolje).

Za razliku od gradijentnog vetra, koji, na primer, u ciklonu na Severnoj hemisferi duva samo u smeru obrnutom od kretanja kazaljke na satu, ciklostrofski vetar u tornadima, vodenim pijavicama, prašinskim trombama itd., može da rotira u oba smera. U eksperimentu sa čajem, lako možemo ustanoviti da nezavisno od smera obrtnog kretanja površina čaja zauzima uvek samo levkast oblik.

Videli smo da za određeni gradijent pritiska gradijentni vetar mora jače da duva bliže Ekvatoru, nego bliže polovima, jer se dejstvo Koriolisove sile približavanjem Ekvatoru smanjuje. Zbog toga se uz jači vetar, koji duva duž krivih izobara, povećava dominantnost centrifugalne sile u tolikoj meri da se u oblastima blizu Ekvatora javlja vetar koji se najbolje aproksimira ciklostrofskim vetrom. Ovakva kretanja su poznata pod nazivom tropski cikloni.

Slika 4.16



Na fotografijama (prema: Lester F. P., 1995.) su prikazani prašinska tromba (gore) i tornado (dole). Ovakve cirkulacije imaju vetar koji teži ka ciklostrofskoj ravnoteži, jer je Koriolisova sila značajno manja od gradijentne sile, pa je kružno kretanje moguće u oba smera.

VETAR U SLOJU TRENJA

Za vreme strujanja vazduha u sloju trenja, na svaki njegov delić pored gradijentne i Koriolisove sile deluje još i sila površinskog trenja. Uticaj sile trenja na vetar u oblasti gde je strujanje vazduha neubrzano i pravolinijsko i gde su zbog toga izobare paralelne linije može se najbolje videti u

grafičkom prikazu **modela vetra u sloju trenja ili vetar u sloju trenja** na Slici 4.17.

Takođe, uočava se da je sada vektor brzine postavljen u pravcu koji je između pravca geostrofskog vetra i pravca najbržeg opadanja pritiska. Sila trenja dovodi do narušavanja geostrofske ravnoteže. Tek nestankom trenja, model vetra u sloju trenja prelazi u geostrofski vetar. Takođe se vidi, da što je sila trenja manja, odstupanje vektora brzine od pravca paralelnog izobarama je manje. Na drugoj strani, zbog opadanja sile trenja usled porasta visine, model vetra u sloju trenja se porastom visine približava geostrofskom modelu, kako po pravcu, tako i po brzini, da bi iznad sloja trenja prešao u geostrofski vetar.

Još neke tipične karakteristike vetra u sloju trenja u baričkom polju iskrivljenih izobara/izohipsi mogu se objasniti opisanom analogijom pomoću rotirajućeg čaja. Ako u čaju ima taloga, on se prilikom rotacije skuplja oko centra dna šolje. Pretpostavka da se gradijentna sila ne menja po visini čaja, dosta je blizu stvarnosti. Međutim, centrifugalna sila slabi što je delovanje bliže dnu šolje, zbog smanjenja brzine rotacije usled delovanja sile trenja. Tako, blizu dna se ne može ostvariti ravnoteža. Zato, čaj pri dnu, pored rotacionog kretanja, ima još i kretanje od periferije prema centru šolje, čime sa sobom nosi talog. Slično je i u atmosferi u prizemnom sloju. Tu je brzina vetra zbog trenja relativno manja, manja je zato i Koriolisova sila, pa ni približna ravnoteža ne može da se ostvari. Tako, u sloju trenja vazduh ima sistematsku tendenciju da se kreće u pravcu koji je između pravca geostrofskog vetra i pravca najbržeg opadanja pritiska.

Na osnovu svega, karakteristike vetra u sloju trenja mogu se sumirati u sledećim pravilima.

1. Kao što se vidi na Slici 4.17, strujanje vazduha je uvek preko izobara/izohipsi u smeru niskog vazdušnog pritiska, tako da se nizak pritisak nalazi polulevo u odnosu na smer vetra na Severnoj hemisferi, odnosno, poludesno na Južnoj hemisferi. U sloju trenja Bejs-Balotov zakon glasi: *ako vetar duva u leđa osmatrača, nizak vazdušni pritisak leži sleva malo ispred na Severnoj hemisferi.*
2. Porastom sile trenja povećava se odstupanje vektora brzine od pravca paralelnog izobarama.

Tabela 4.3

	Odstupanje pravca prizemnog vetra od vetra na 2 000 ft	Brzina vetra u prizemlju iskazana u procentima vetra na 2 000 ft	Oblačnost	Razlog
Iznad okeana Danju ili noći	15°	75 %	Vedro ili oblačno	Nema termičke turbulencije; mala mehanička turbulencija
Iznad kopna Danju	25°	65 %	Vedro	Velika termičke turbulencije
Iznad kopna Danju	30°	60 %	Oblačno	Smanjena termička turbulencija (manja insolacija)
Iznad kopna Noću	50°	50 %	Vedro ili oblačno	Nema termičke turbulencije

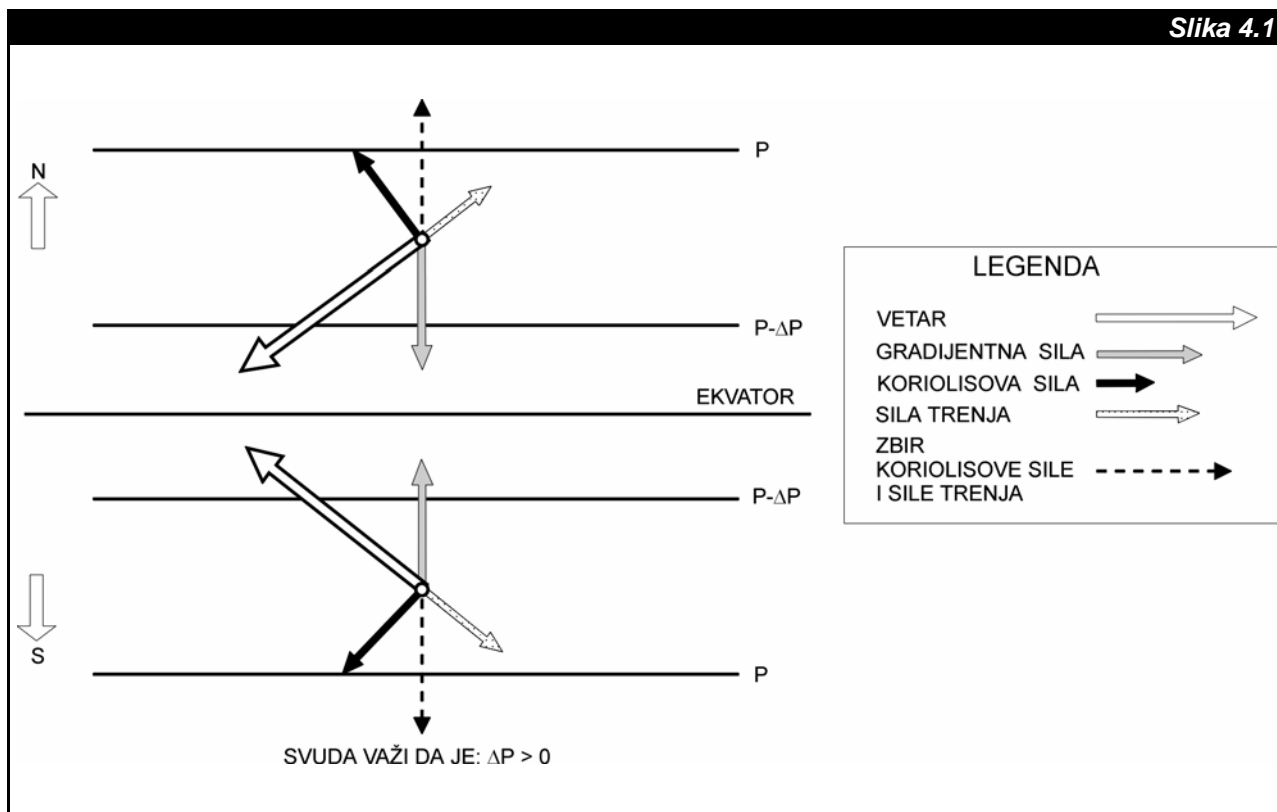
Tabelarno su prikazani svi važni uticaji (kopno, more, dan, noć, vedro i oblačno) na formiranje prizemnog vetra. U drugoj i trećoj koloni su prikazane vrednosti prizemnog vetra. Pravac je dat u stepenima odstupanja prizemnog vetra od vetra na visini, dok je brzina prizemnog vetra data u procentima vrednosti njegove brzine u odnosu na brzinu vetra na visini. Vetar na visini od 2 000 ft je uzet kao geostrofski vetar.

Iz svega prethodnog vidimo da su intenzitet sile trenja i visina sloja trenja odlučujući za formiranje modela vetra u sloju trenja. Ovim modelom se sigurno najbolje može predstavljati strujanje vazduha u prizemlju. Ako bismo određivali bezbedonosnu ulogu prizemnog vetra u vazduhoplovstvu u odnosu na druge atmosferske parametre, sigurno je da bi on dobio vrlo važan

značaj. Zato ćemo se u ovom delu još malo zadržati na problemu formiranja prizemnog vetra. U vezi sa zadatim, posmatrajmo nekoliko važnih uticaja na stvaranje sile trenja.

1. Iznad okeana delovanje sile trenja je manje nego iznad kopna, zbog veće glatкости okeanske površine, a i zbog smanjenih efekata dnevnog zagrevanja.

Slika 4.17



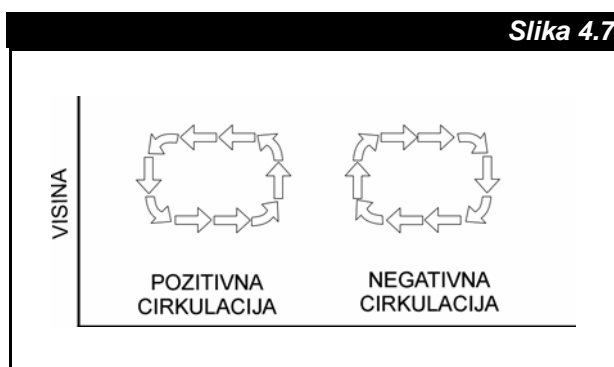
Pune tanke linije su izobare/izohipse. Strelice različitih šrafura i isprekidana strelica pokazuju pravac, smer i intenzitet delovanja sile na delić vazduha dat u obliku kružića, dok nešrafirana strelica prikazuje vektor vetra upravljen preko izobara pod uglom različitim od 180° . Rezultanta delujućih sile jednaka je nuli. U gornjem delu slike prikazana je situacija na Severnoj polulopti, dok donji deo slike prikazuje situaciju na Južnoj polulopti.

2. Solarnim zagrevanjem povećava se uticaj sile trenja, zbog toga što se pojavljuje termička turbulencija, čime se sila trenja pojačava a sloj trenja produbljuje, dok noćno hlađenje smanjuje delovanje sile trenja.
3. Povećavanjem srednje brzine prizemnog vetra povećava se sila trenja i debljina sloja trenja.

Za kvantitativnu ilustraciju prethodno navedenih tvrdnji neka nam posluže podaci navedeni u Tabeli 4.3. Prikazani podaci mogu poslužiti i kao praktična pomoć za preračunavanje vetra na jednom nivou (npr. prizemlje), ako je vetar poznat na nekom drugom nivou (npr. 2 000 ft iznad prizemlja). Za ilustraciju navedenog posmatrajmo jedan konkretan slučaj. Neka je iznad kopna danju (prva kolona treći red), po vedrom vremenu (četvrta kolona treći red), u uslovima velike termičke turbulencije (peta kolona treći red), izmeren prizemni vetar iz pravca 135° i brzine 15 kt. Sada, upotrebom podataka iz Tabele 4.3 (druga kolona treći red za pravac i treća kolona treći red za brzinu) i nakon izračunavanja dobijamo da vetar na visini od 2 000 ft ima pravac iz 160° , a brzinu od 23 kt.

TERMIČKA CIRKULACIJA

Generalno, kretanje vazduha u ravni (u dve dimenzije) čije su strujnice (putanje) zatvorene linije (u idealnom slučaju koncentrični krugovi) naziva se **cirkulacija**. Ona može biti; **pozitivna cirkulacija**, kada se vazduh kreće u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu ili **negativna cirkulacija**, kada je kretanje vazduha u smeru kretanja kazaljke na satu, Slika 4.7.



Idealizovan prikaz pozitivne i negativne cirkulacije.

Saglasno prethodnoj definiciji, kretanje vazduha izazvano različitim zagrevanjem naziva se **termička cirkulacija**. Ona se pretežno odvija u

vertikalnoj ravni. Kao što vidimo svaka termička cirkulacija se može razložiti na horizontalne i vertikalne struje.

Primer termičke cirkulacije prikazan na Slici 4.6 poznat je kao **vetar s mora**. Takođe, postoji analogna termička cirkulacija u kojoj vetar duva od kopna ka moru. Takva cirkulacija se naziva **vetar s kopna**.

Termičke cirkulacije opisanog i pomenutog tipa javljaju se na razmerama čija su rastojanja od nekoloko desetina do oko stotinak kilometara. Na većim razmerama, takođe, postoje cirkulacije koje imaju svoje korene u različitom solarnom zagrevanju. Međutim, toplije i hladnije mase vazduha stvorene na ovaj način se često prenose veoma daleko od svojih izvora. U takvim slučajevima se u razmatranje moraju uzeti u obzir i efekti koje na cirkulaciju ima rotacija Zemlje. Kao što se može očekivati, dobijeni rezultati će biti mnogo kompleksniji, ali potpuno razumljivi, ako se primene principi Njutnove mehanike.

VETAR ZBOG VERTIKALNOG KRETANJA

U svim prethodnim slučajevima, gradijenta sila pritiska, Koriolisova sila, sila trenja i centrifugalna sila su bile dovoljne da objasne karakteristike vetra. Međutim, trebamo biti svesni da postoje i drugi uzroci koji mogu da stvore vetar ili modifikuju naše dosadašnje modele vetra.

Generalno, kada se neki delić vazduha kreće vertikalno, dolazi do stvaranja i/ili prenošenja toga kretanja i na horizontalno kretanje. Na primeru termičke cirkulacije smo mogli da vidimo kako vertikalno kretanje stvara vetar. Takvih primera u atmosferi ima dosta. Oni su uglavnom vezani za cirkulacije manjih razmera.

PROCENA VETRA POMOĆU IZO LINIJA

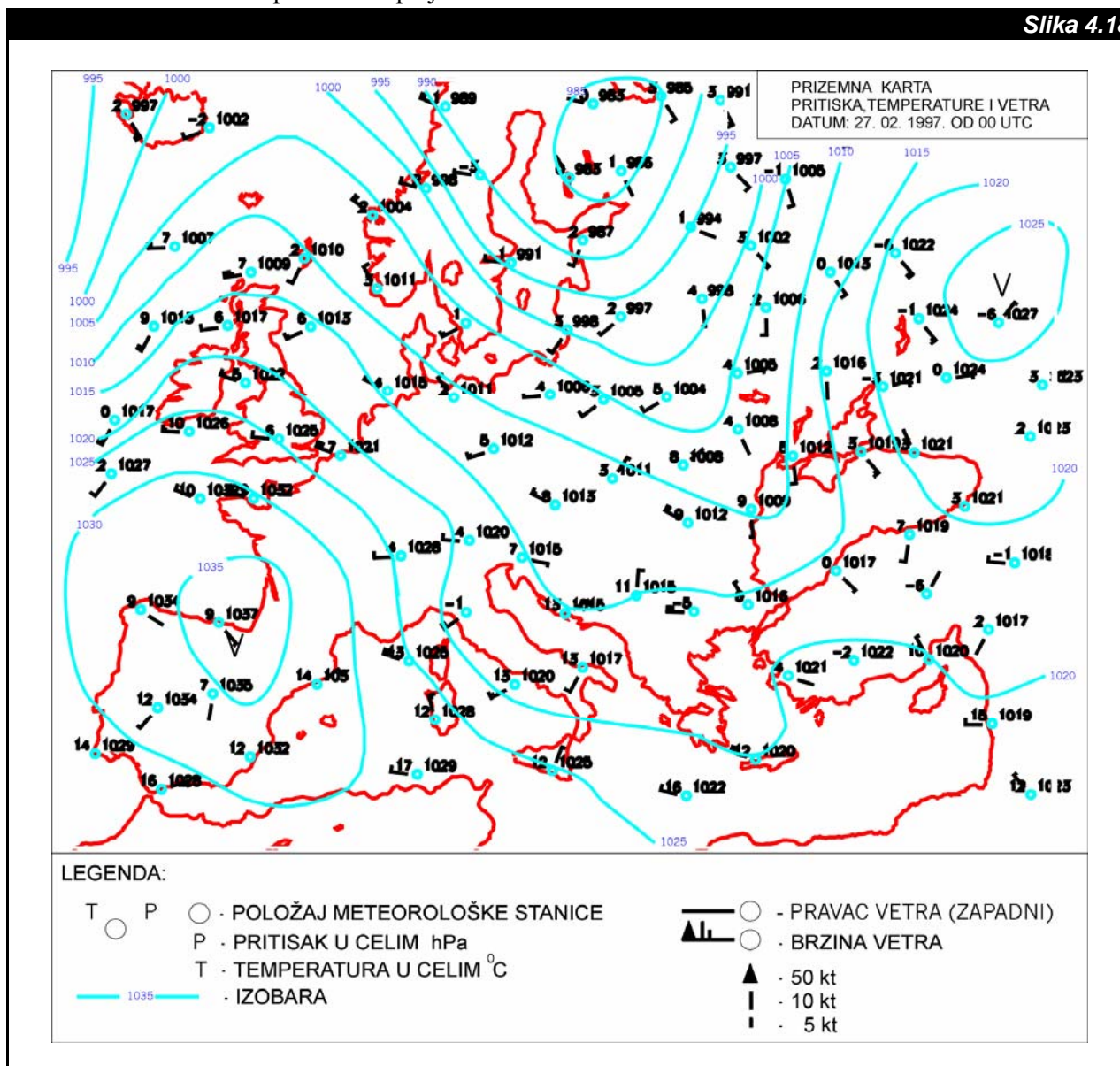
Geostrofski vetar i gradijentni vetar su dobar praktični alat za dobijanje stvarnog vetra iz meteoroloških karata velikih razmera. Ovaj alat dozvoljava procenu vetra iz polja pritiska, pošto se diskretni podaci o pritisku na meteorološkim stanicama mnogo lakše prevode u kontinuarne vrednosti (izobare i izohipse), nego što je to moguće sa podacima o vetru. To je zbog toga, jer je pritisak mnogo konzervativnija (inertnija) veličina, lakše i češće merljiv za kretanja velikih razmera, nego što je to podatak o vetru.

Uzorci osmotrenih prizemnih polja vetra i

atmosferskog pritiska prikazani su na meteorološkoj karti datoj na Slici 4.18. Na karti se vide karakteristike sledećih modela vetra:

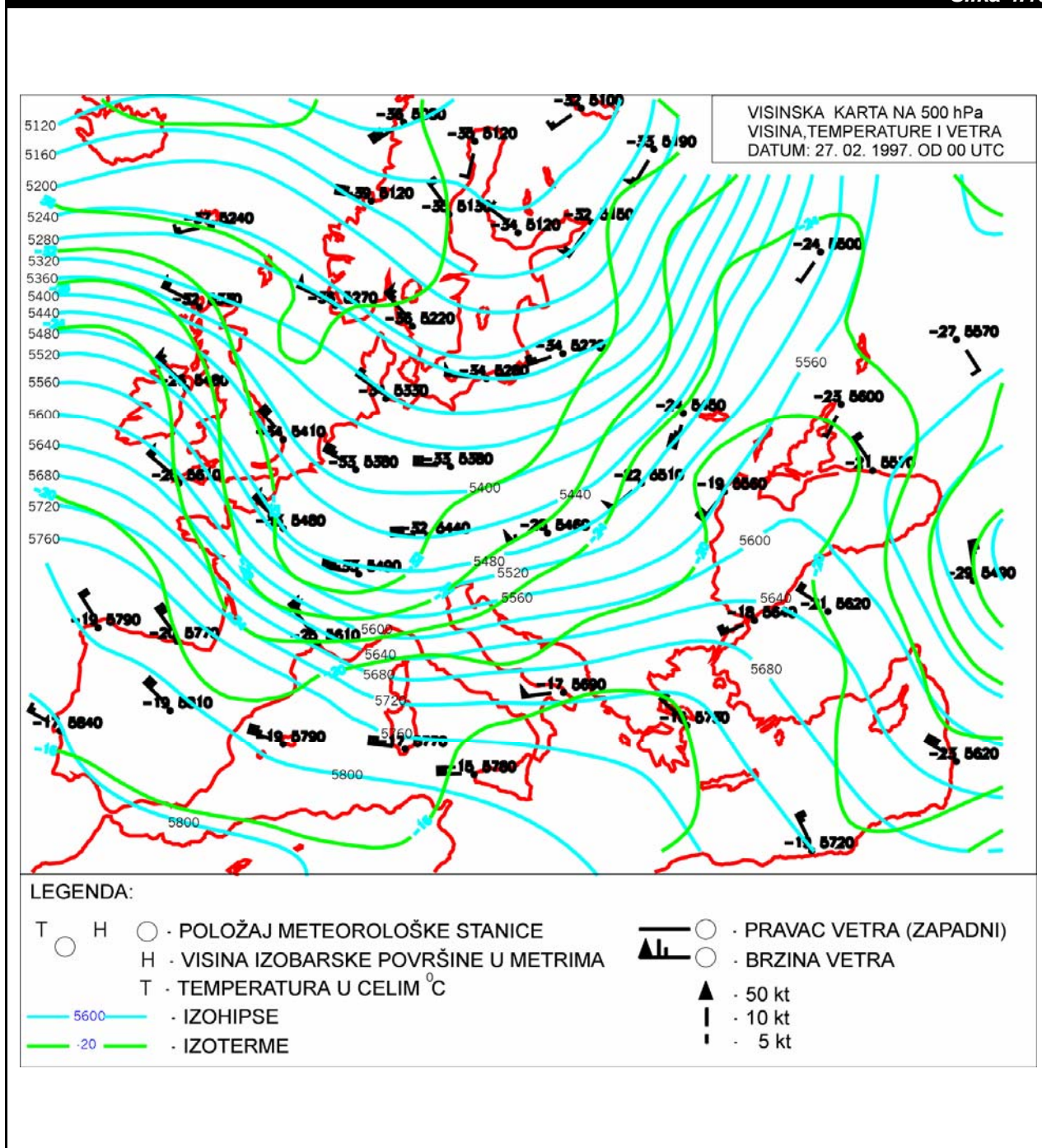
- geostrofskog vetra; jak vetar se pojavljuje u oblastima jakih gradijenata pritiska, a slab vetar se pojavljuje u oblasti slabih gradijenata pritiska,
- gradijentnog vetra; kretanje vazduha oko centra niskog pritiska je u smeru obrnutom od smera kretanja kazaljke na satu, a kretanje vazduha oko centra visokog pritiska je u smeru kretanja kazaljke na satu i
- vetra sa trenjem; smer vetra je prema niskom pritisku.

Slika 4.18



Karta prizemnih meteoroloških polja. Kružićima su označeni geografski položaji meteoroloških stanica, a brojevima oko njih su prikazane vrednosti polja.

Karta prikazuje analizirano polje pritiska pomoću izobara na svakih 5 hPa, osmotreno polje vetra, prema konvenciji datoj u legendi slike i osmotrenu temperaturu u celim stepenima Celzijusovim.



Karta visinskih meteoroloških polja na standardnoj izobarskoj površini od 500 hPa. Kružićima su označeni geografski položaji meteoroloških stanica, a brojevima oko njih su prikazane vrednosti polja.

Karta prikazuje analizirana polja: pritiska upotrebom izohipse na svakih 40 m i temperature, upotrebom izoterma na svakih 4 °C; i osmotreno polje vetra, prema konvenciji datoj u legendi slike.

Na Slici 4.19 dati su uzorci osmotrenih polja pritiska i vetra na visini od 500 hPa. Sada su geostrofski i gradijentni vetar još bolja aproksimacija osmotrenog vetra za

atmosferska kretanja velikih razmera, nego što se to videlo na prethodnoj slici, jer je na visini od 500 hPa zanemarljiv (ne postoji) uticaj sile trenja.