

Nakladnik  
**HINUS**  
Miramarska 13 b  
Zagreb  
tel. 615 41 96; tel./fax 611 55 18

Urednik  
Hrvoje Zmčić

Recenzenti

Prof.dr.sc. Nadežda Šinik  
Dr.sc. Vesna Jurčec

Lektura  
Ivančica Ćurić

ISBN 953-97716-5-X

CIP - katalogizacija u publikaciji Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Zagreb

UDK 551.5(075.8)

GELO, Branko

Opća i prometna meteorologija / Branko Gelo. – Zagreb : Školska knjiga, 1994.  
– sv. : ilustr., graf. prikazi : 24 cm

ISBN 953-0-30848-5 (cijelina) (Školska knjiga)

Dio 2. – Zagreb : HINUS 2000. – 520 str. – (Udžbenici Sveučilišta u Rijeci = Manualia  
Universitatis studiorum Fluminensis) : ilustr., graf. prikazi : 24 cm

Bibliografija iza svakog poglavlja i na: str. 497 – 501. – Kazalo.

ISBN 953-97716-5-X

400324010

Copyright © autor

Sva prava pridržana. Niti jedan dio ove knjige ne smije se umnožiti, pohraniti ili preneti u bilo kakvom obliku, fotokopiranjem, elektronski, mehanički, presnimavanjem ili nekim drugim načinom, bez prethodne pismene privole izdavača.

Dr.sc. Branko Gelo

# OPĆA I PROMETNA METEOROLOGIJA

## II. DIO

Zagreb 2000.

## SADRŽAJ PRVOG DIJELA OBJAVLJENOG 1994. godine

Predgovor.....	4
Jedinice i konstante.....	5
Simboli.....	8
<b>1. UVOD.....</b>	<b>14</b>
1.1. Povijesni razvitak meteorologije.....	14
1.2. Posebnosti meteoroloških istraživanja i podjela meteorologije.....	16
<b>2. POLOŽAJ ZEMLJE U SVEMIRU.....</b>	<b>19</b>
2.1. Sunce, Zemlja i Mjesec.....	19
2.2. Energijski izvori za Zemljinu površinu i atmosferu.....	21
2.3. Određivanje vremena i sumrak.....	23
<b>3. SASTAV I PODJELA ATMOSFERE.....</b>	<b>25</b>
3.1. Osnovno o atmosferi.....	25
3.2. Sastav zraka.....	25
3.3. Podjela atmosfere.....	29
3.3.1. Podjela atmosfere prema temperaturi.....	29
3.3.2. Podjela atmosfere prema električnoj vodljivosti.....	30
3.4. Međunarodna standardna atmosfera.....	33
<b>4. TOPLINSKA ENERGIJA ATMOSFERE.....</b>	<b>34</b>
4.1. Zračenje tijela.....	34
4.2. Sunčevo zračenje i atmosfera.....	38
4.3. Upijanje i raspršenje Sunčeva zračenja u atmosferi; albedo.....	39
4.4. Zračenje Zemljine površine i atmosfere.....	45
4.5. Toplinski obracun.....	46
<b>METEOROLOŠKI ELEMENTI</b>	
<b>5. TEMPERATURA ZRAKA.....</b>	<b>51</b>
5.1. Toplina i temperatura.....	51
5.2. Osnovne zakonitosti idealnog plina.....	54
5.3. Plinska jednadžba.....	55
5.4. Grijanje - hlađenje Zemljine površine i zraka.....	59
5.5. Dnevni i godišnji hod temperature zraka.....	67
5.6. Razlioba temperatura zraka na Zemljinoj površini.....	70
5.7. Promjena temperature zraka s visinom.....	72
<b>6. ATMOSFERSKI TLAK.....</b>	<b>75</b>
6.1. Osnovno o tlaku.....	75
6.2. Hidrostatika jednadžba.....	76
6.3. Polje tlaka.....	78
6.4. Geopotencijal i izobarne plohe.....	79

6.5. Dnevni i godišnji hod atmosferskog tlaka	85
6.6. Razdioba atmosferskog tlaka na Zemljinoj površini	88
<b>7. VLAŽA ZRAKA</b>	
7.1. Hidrološki ciklus	90
7.2. Isparavanje	90
7.3. Veličine koje određuju vlagu zraka	91
7.4. Dnevni i godišnji hod vlage zraka	94
7.5. Razdioba vlage zraka na Zemljinoj površini	97
7.6. Promjena vlage zraka s visinom	99
<b>8. ADIJABATSKI PROCESI</b>	
8.1. I. zakon termodinamike	101
8.2. Subadijabski i mokroadijabski proces	101
8.3. Stablnost zraka u atmosferi	103
<b>9. ZRAČNA STRUJANJA</b>	
9.1. Osnovno o zračnim strujanjima	114
9.2. Osnovne sile koje djeluju na čest zraka	114
9.3. Geostrofički vjehar	116
9.4. Gradjeniti vjehar	121
9.5. Termalni vjehar	124
9.6. Ujecaaj trenja i orografije na vjehar - promjena vjeha s visinom	129
<b>10. OBLACI</b>	
10.1. Ukapljivanje i deprecijacija u atmosferi	139
10.2. Nastajanje oblaka	139
10.3. Podjela oblaka	142
10.4. Naoblaka i podnica oblaka	143
10.5. Dnevni i godišnji hod naoblake i podnice oblaka	152
10.6. Razdioba naoblake na Zemljinoj površini	153
<b>11. OBORNE</b>	
11.1. Postanak oborina	158
11.2. Vrste oborina	158
11.3. Količina oborina i njezin dnevni i godišnji hod	161
11.4. Razdioba oborina na Zemljinoj površini	163
<b>12. MAGLA I VIDLJIVOST</b>	
12.1. Osnovno o magli	170
12.2. Postanak i vrste magle	170
12.3. Ujecaaj snijega na maglu	170
12.4. Čestine i razdioba magle te njezin dnevni i godišnji hod	175
12.5. Vidljivost	175
<b>13. METEORI</b>	
13.1. Postanak i razvoj ciklona	179
<b>14. UMJETNO DJELOVANJE NA VRIJEME</b>	
14.1. Prihozi - slike oblaka	185
14.2. Doba ciklona	193
<b>Literatura</b>	
Literatura	197
Kazalo	205
	207

# SADRŽAJ

Predgovor	15
Simboli	17
<b>VREMENSKA ANALIZA I PROGNOZA</b>	
15. TEMELJNE POSTAVKE SINOPTIČKE METODE	21
16. OPĆE ATMOSFERSKO KRUŽENJE	23
16.1. Osnovna razdioba tlaka na Zemljinoj površini	23
16.2. Razdioba vjeha na Zemljinoj površini i kruženje zraka	24
17. ZRAČNE MASE	34
17.1. Definicija i nastajanje zračnih masa	34
17.2. Podjela zračnih masa	34
17.3. Vrijeme u pojedinim zračnim masama	35
17.4. Premještanje te razvoji vremena u zračnim masama	37
18. ATMOSFERSKE FRONTE	38
18.1. Definicija i nastajanje fronte	41
18.2. Podjela fronte	41
18.2.1. Topla fronta	51
18.2.2. Hladna fronta	51
18.2.3. Okludirana fronta	54
18.2.4. Stacionarna fronta	58
18.2.5. Olujna pruga	61
18.2.6. Visinska fronta	61
18.3. Ujecaaj orografije na fronte	64
19. CIKLONE	65
19.1. Postanak i razvoj ciklona	69
19.2. Doba ciklona	69
19.3. Vrijeme u ciklonama	70
19.4. Putanje ciklona umjerenih širina	74
19.5. Postanak i razvoj ciklona u području	76
19.6. Zemljopisna razdioba ciklogenetičkih područja	77
	79

20. ANTICIKLONE..... 82

20.1. Osnovna svojstva anticiklone ..... 82

20.2. Podjela anticiklona i zemljopisna razdioba ..... 82

20.3. Vrijeme u anticiklonama..... 85

20.4. Odvajanje ciklona i anticiklona - aprečavanje..... 86

21. GIBANJA ZRAKA U ATMOSFERI ..... 89

21.1. Osnovno o vrstama gibanja zraka u atmosferi ..... 89

21.2. Dnevni i godišnji hod zračnih strujanja ..... 90

21.3. Tipovi strujanja uz Zemljinu površinu..... 91

21.4. Mjesni vjetrovi..... 93

21.4.1. Vjetrovi između kopna i mora ..... 93

21.4.2. Vjetrovi brda i doline..... 97

21.4.3. Fen..... 99

21.4.4. Mjesni vjetrovi u Hrvatskoj (bura, jugo, maestral, burin) ..... 100

21.5. Valna gibanja..... 107

21.5.1. Težinski valovi..... 109

21.5.2. Rossbyeovi valovi (dugi valovi) ..... 112

22. MLAZNA STRUJA..... 115

22.1. Definicija i opis mlazne struje ..... 115

22.2. Vrste, područja i položaj osi mlazne struje..... 115

22.3. Osobitosti polarne mlazne struje i veza s drugim pojavama u atmosferi 120

23. OLUJE ..... 128

23.1. Atmosferska stabilnost i uspravna gibanja zraka..... 128

23.2. Ustrojstvo olujnog oblaka..... 135

23.2.1. Jednočelijski olujni oblak ..... 137

23.2.2. Višćelijski olujni oblak ..... 137

23.2.3. Superceljijski olujni oblak ..... 138

23.3. Definicija i nastajanje oluja..... 140

23.4. Električna pražnjenja..... 143

23.5. Raspođjela i podjela oluja..... 145

23.6. Vrtložna gibanja zraka..... 150

23.6.1. Pijavica..... 150

23.6.2. Tomado..... 152

a) Vrijeme u tropskim područjima

24. TROPSKO VRIJEME..... 154

24.1. Dnevni i orografski učinci u tropima..... 154

24.2. Pasati - stalni vjetrovi..... 156

24.3. Unutartropski pojas konvergencije - tropska fronta..... 158

24.4. Monsunsko kruženje i područja - sezonski vjetrovi ..... 160

24.5. Tropski istočni valovi ..... 164

24.6. El Niño..... 165

25. CIKLONI ..... 167

25.1. Podjela, učestalost i područja djelovanja ciklona ..... 167

25.2. Ustrojstvo ciklona ..... 169

25.3. Postanak i razvoj ciklona ..... 175

25.4. Slabljenje i raspad ciklona ..... 176

25.5. Gibanje i staze ciklona..... 177

25.6. Životni ciklus ciklona..... 178

25.7. Područne razlike u klimi ciklona ..... 180

25.8. Popratne oceanske pojave..... 181

b) Vrijeme u polarnim područjima

26. ZNAČAJKE METEOROLOŠKIH ELEMENTATA, POJAVA I FRONTA 186

26.1. Značajke osnovnih meteoroloških elemenata ..... 186

26.2. Značajke meteoroloških pojava i fronta..... 187

27. KLIMATOLOŠKI PREGLED..... 190

27.1. Osnovno o klimatskim podjelama..... 190

27.2. Köppenova klimatska podjela..... 191

27.3. Razdioba vremenskih nepogoda na Zemlji..... 202

27.4. Promjene klime..... 207

28. TEMELJI VREMENSKE ANALIZE I PROGNOZE ..... 210

28.1. Prikupljanje meteoroloških podataka..... 210

28.2. Vrste meteoroloških karata..... 211

28.2.1. Unos podataka na meteorološke karte ..... 212

28.2.2. Analiza meteoroloških karata..... 218

28.3. Osnove vremenske prognoze..... 220

28.3.1. Sustav jednadžbi i principi rješavanja ..... 221

28.3.2. Osnovne postavke modela..... 224

28.4. Tumačenje vremenskih analiza i prognoza..... 226

28.4.1. Vremenske karte i dijagrami u meteorološkoj službi ..... 241

28.4.2. Korisnost vremenskih analiza i prognoza – upozorenja ..... 245

28.5. Ustrojstvo meteorološke službe ..... 246

UREDBAJI I METODEDE ZA ISPITIVANJE ATMOSFERE

29. POJAM, JEDINICE MOTRENJA, METODEDE I INSTRUMENTI ..... 249

29.1. Meteorološke postaje i motrenja..... 249

29.2. Prizemna meteorološka motrenja..... 253

29.2.1. Temperatura zraka.....	254
29.2.2. Vlažnost zraka.....	256
29.2.3. Tlak zraka.....	258
29.2.4. Prizemni vjetar.....	263
29.2.5. Naoblaka i visina podnice oblaka.....	265
29.2.6. Oborina.....	268
29.2.7. Vidljivost.....	270
29.2.8. Pojave.....	271
29.2.9. Sunčevo zračenje.....	272
29.2.10. Isparavanje.....	273
29.3. Visinska meteorološka mjerenja.....	274
29.3.1. Meteorološki baloni.....	274
29.3.2. Meteorološke sonde.....	275
29.3.3. Meteorološki zrakoplovi i rakete.....	276
29.4. Motrenja na morima i oceanima.....	277
29.4.1. Posebnosti motrenja meteoroloških elemenata.....	277
29.4.2. Morske struje.....	278
29.4.3. Morski valovi.....	279
29.5. Automatske meteorološke postaje.....	282
30. DALJINSKA MJERENJA.....	283
30.1. Meteorološki radari.....	283
30.1.1. Širenje radarskih valova.....	283
30.1.2. Mjerenja i tumačenje radarskih slika.....	283
30.2. Sodari i hidari, sferici.....	291
30.3. Meteorološki sateliti.....	293
30.3.1. Satelitska mjerenja.....	293
30.3.2. Satelitske postaje i raznjena podataka.....	295
30.3.3. Tumačenja satelitskih mjerenja.....	298
Prometna meteorologija	
31. METEOROLOŠKA GLEDIŠTA PROMETA KOPNOM, VODOM I ZRAKOM.....	307
ZRAKOPLOVNA METEOROLOGIJA	
32. DJELOVANJE METEOROLOŠKIH ELEMENATA I POJAVA NA ZRAKOPLOVSTVO.....	309
32.1. Temperatura i vlažnost zraka.....	310
32.2. Atmosferski tlak.....	311
32.3. Vjetar.....	311

32.4. Oblaci i oborine.....	313
32.5. Oluje.....	313
33. METEOROLOŠKE POJAVE OPASNE ZA ZRAKOPLOVSTVO.....	315
33.1. Vidljivost.....	315
33.1.1. Vodoravna vidljivost.....	315
33.1.2. Uspravna vidljivost.....	318
33.1.3. Kosa vidljivost.....	318
33.1.4. Letna vidljivost.....	318
33.2. Turbulencija.....	318
33.2.1. Definicija i jačina turbulencije.....	321
33.2.2. Nastajanje i vrste turbulencije.....	321
33.2.3. Opasnosti od turbulencije.....	322
33.3. Zaleđivanje.....	334
33.3.1. Definicija i jačina zaleđivanja.....	335
33.3.2. Nastajanje i vrste zaleđivanja.....	335
33.3.3. Zaleđivanje u oblacima i frontama.....	336
33.3.4. Zaštita od zaleđivanja.....	340
33.4. Vulkanski pepeo.....	348
34. METEOROLOŠKO OSIGURANJE ZRAKOPLOVSTVA.....	348
34.1. Ustrojstvo zrakoplovne meteorološke službe.....	350
34.2. Zrakoplovna meteorološka izvješća, prognoze i karte.....	350
34.2.1. Aerodromska motrenja i izvješća.....	352
34.2.2. Primjerenost i pouzdanost aerodromskih izvješća.....	353
34.2.3. Podaci meteoroloških radara i satelita.....	359
34.2.4. Zrakoplovna motrenja i izvješća.....	360
34.2.5. Aerodromske prognoze.....	360
34.2.6. SIGMET i AIRMET izvješće, aerodromska upozorenja i upozorenja o smicanju vjetra.....	362
34.2.7. Zrakoplovne meteorološke karte, simboli i kratice.....	365
34.2.8. Razmjena zrakoplovnih meteoroloških obavijesti.....	369
34.3. Meteorološka služba za letačko osoblje i operatore.....	372
34.4. Suradnja između MET, ATS i SAR jedinica.....	374
34.5. Meteorološke obavijesti u planiranju i izvođenju leta.....	375
34.6. Meteorologija kao čimbenik sigurnosti zračnog prometa.....	377
34.7. Vrijeme kao čimbenik dobrog poslovanja zračnog prometa.....	377
34.8. Meteorološko ekološka gledišta zračnog prometa.....	378
34.9. Meteorološki parametri pri projektiranju i održavanju zrakoplova i zrakoplovnih luka.....	379
	381



## POMORSKA METEOROLOGIJA I METEOROLOGIJA UNUTARNJIH VODA

35. METEOROLOŠKI ELEMENTI I POJAVE VAŽNI ZA POMORSKU I UNUTARNJU PLOVIDBU .....	384
35.1. Temperatura, vlažnost i atmosferski tlak .....	384
35.2. Vjetar i turbulencija .....	385
35.3. Oblaci i oborine .....	387
35.4. Vidljivost .....	387
35.5. Oluje .....	388
36. POJAVE OPASNE ZA POMORSTVO I UNUTARNJU PLOVIDBU .....	389
36.1. Morska razina .....	389
36.2. Morske struje .....	389
36.3. Valovi .....	393
36.3.1. Vjetrovni valovi i mrtvo more .....	396
36.3.2. Putanje valova .....	401
36.3.3. Utjecaj valova na plovidbu .....	402
36.4. Ostale oceanske pojave - dugi valovi .....	403
36.5. Zaledivanje .....	406
37. METEOROLOŠKO OSIGURANJE PLOVIDBE .....	411
37.1. Ustrojstvo pomorske meteorološke službe .....	411
37.2. Meteorološki bilteni - upozorenja, izvještaji, prognoze i karte za pomorstvo .....	413
37.2.1. Faksimili i NAVTEX .....	419
37.3. Meteorološka plovidba .....	420
37.3.1. Obavještanja o ciklonima .....	426
37.3.2. Plovidba u nevremenu - cikloni .....	427
37.4. Meteorologija kao čimbenik sigurnosti pomorskog prometa .....	432
37.5. Vrijeme kao čimbenik dobrog poslovanja pomorskog prometa .....	433
37.6. Meteorološko ekološko gledišta pomorskog prometa .....	433
37.7. Plovidba jezerima, rijekama i kanalima .....	434
37.8. Meteorološki parametri pri projektiranju i održavanju plovila i luka .....	435
<b>METEOROLOGIJA KOPNENOG PROMETA</b>	
38. METEOROLOŠKI ELEMENTI I POJAVE S OSVRTOM NA KOPNENI PROMET .....	438
38.1. Temperatura, vlažnost i atmosferski tlak .....	438
38.2. Vjetar i turbulencija .....	438

38.3. Oblaci i oborine .....	441
38.4. Vidljivost .....	441
38.5. Oluje .....	442
38.6. Zaledivanje i taloženje snijega .....	442
39. METEOROLOŠKO OSIGURANJE KOPNENOG PROMETA .....	445
39.1. Organizacija meteorološke službe .....	445
39.2. Meteorološka izvješća, upozorenja, prognoze i karte .....	446
39.3. Meteorološka voznja .....	447
39.4. Meteorologija kao čimbenik sigurnosti kopnenog prometa .....	448
39.5. Vrijeme kao čimbenik gospodarstva kopnenog prometa .....	449
39.6. Meteorološko ekološko gledišta kopnenog prometa .....	449
39.7. Meteorološki parametri pri projektiranju i održavanju vozila i prometnica .....	450
PRIL OZI - sažetak o vremenskim procesima .....	455
Literatura .....	497
Kazalo .....	503

# PREDGOVOR

Ova knjiga namijenjena je studentima i ostalim zainteresiranim osobama koje trebaju osnovna znanja iz meteorologije. Uz upoznavanje s općom meteorologijom, obrađena su pojedina poglavlja iz primijenjene meteorologije, poglavito iz prometne meteorologije.

Knjiga je podijeljena na dva dijela. Prvi dio upoznaje čitatelje s općom meteorologijom, gdje se uz pristupne spoznaje, povijesni razvitak i posebnosti meteorologije, položaj Zemlje u svemiru i energijske izvore za Zemljinu površinu i atmosferu, sastav i podjela atmosfere, obrađuju meteorološki elementi: temperatura, tlak i vlaga zraka, adijabatski procesi, zračna strujanja, oblaci, oborine, magla i vidljivost, meteori te umjetno djelovanje na vrijeme.

U drugom dijelu obrađuje se vremenska analiza i prognoza uz detaljnu prijetnju meteorologije u prometu.

Vremenska analiza i prognoza obrađuje temeljne postavke sinoptičke metode, opće atmosfersko kruženje, zračne mase i atmosferske fronte, ciklone i anticiklone, gibanja zraka u atmosferi uz mlazne struje, te oluje. Obraduje se vrijeme u tropskim područjima uz naznaku važnosti ciklona, zatim vrijeme u polarnim područjima, dok klimatološki pregled daje uvid u vrijeme na pojedinim dijelovima Zemljine površine. Konačno se daju temeljni vremenske analize i prognoze, zatim uređaji i metode za ispitivanje atmosfere uključivo i daljinska motrenja.

Prometna meteorologija daje meteorološka gledišta prometa kopnom, vodom i zrakom. U zrakoplovnoj meteorologiji dano je djelovanje meteoroloških elemenata i pojava na zrakoplovstvo, uz naglašavanje pojava opasnih za zrakoplovstvo. Pomorska meteorologija i meteorologija unutarnjih voda obrađuje meteorološke elemente i pojave važne ili opasne za pomorsku i unutarnju plovidbu. Meteorologija kopnenog prometa ukazuje na značaj meteoroloških elemenata i pojava na kopneni promet. Za svaku granu prometa dani su elementi meteorološkog osiguranja, dok su u prilogu dani pojedini sažeci o vremenskim procesima i razni tipovi meteoroloških karata.

Razina pisanja knjige odgovara višoj stručnoj spremi, primjenjuju se temeljne spoznaje iz više matematike i fizike. Oni koji ne posjeduju odgovarajuća

matematička znanja mogu uspješno pratiti ovo gradivo izostavljajući pojedine matematičke izraze. S druge strane, studenti kojima je meteorologija struka mogu naći pojedina njima zanimljiva poglavlja i primjenjivati ih u svom radu.

U knjizi se primjenjuje službeno stručno meteorološko nazivlje kao rezultat dosadašnjeg rada Povjerenstva za prihvaćanje meteorološkog nazivlja. To se odnosi na službene stručne nazive, a ponešto kao nadopuna rabi se i dopušteno nazivlje. Za pojedine važnije pojmove dani su izrazi na engleskom i njemačkom jeziku.

Knjiga počinje 15. poglavljem obzirom da je 1. dio završio 14. Stoga se u tekstu, kada se treba pozvati na dio teksta, sliku i slično iz 1. poglavlja, navodi primjerice: 1-8.2., slika 1-8.5.b i slično.

Za naslovnicu je korištena obradena satelitska karta ZAMG-a (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) iz Beča.

Zahvaljujem recenzentima dr.sc. Nadežda Šinik i dr.sc. Vesna Jurčec na primjedbama i sugestijama danim prilikom čitanja rukopisa, kako bi knjiga bila što bolja i pristupačnija čitateljima. Također, zahvaljujem i Božici Gelo na odgo-varajućim primjedbama i sugestijama te drugim kolegama koji su mi na bilo koji način pomogli pri pripremi rukopisa. Ujedno zahvaljujem Državnom hidrometeorološkom zavodu u Zagrebu i Ministarstvu znanosti i tehnologije, koji su dali potporu tiskanju knjige.

# SIMBOLI

- a ..... amplituda vala, m
- a, b ..... konstante (radarsko mjerenje)
- c ..... brzina širenja poremećaja (valnog), m s<sup>-1</sup>
- c<sub>g</sub> ..... brzina težinskih valova, m s<sup>-1</sup>
- c<sub>p</sub> ..... specifična toplina pri stalnom tlaku, J K<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>
- c<sub>t</sub> ..... temperaturni ispravač barometra, hPa
- c<sub>s</sub> ..... specifična toplina pri stalnom obujmu, J K<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>
- c<sub>z</sub> ..... brzina zvuka, m s<sup>-1</sup>
- c<sub>w</sub> ..... brzina Rossbyevih valova, m s<sup>-1</sup>
- d ..... promjer čestice u obujmu radarskog impulsa, μm, m
- d ..... udaljenost od izvora svjetlosti, m
- e ..... tlak vodene pare, hPa
- f ..... Coriolisov parametar, s<sup>-1</sup>
- g ..... sila teža, m s<sup>-2</sup>
- h ..... duljina radarskog impulsa, m
- h ..... visina (inverzije, živinog stupca), m
- h, h<sub>v</sub> ..... visina vala, m
- k ..... valni broj, m<sup>-1</sup>
- k<sub>1</sub> ..... koeficijent popunjenosti impulsnog obujma
- k<sub>2</sub> ..... koeficijent gušenja valova u sredstvu
- l ..... duljina bazena, m
- l ..... kutno razdvajanje radara, °
- l<sub>1</sub>, l<sub>2</sub> ..... put svjetlosti, m
- m ..... valni broj Rossbyevih valova, m<sup>-1</sup>
- n ..... os koordinatnog sustava (prirodnog)
- n ..... broj čestica u obujmu radarskog impulsa
- P ..... tlak zraka - statički tlak, hPa
- P<sub>1</sub> ..... tlak na kondenzacijskoj razini, hPa
- P<sub>2</sub> ..... tlak na Zemljinoj površini, hPa
- P<sub>mm</sub> ..... tlak zraka na srednjoj morskoj razini (atmosferski tlak), hPa
- P<sub>v</sub> ..... tlak zraka pri t<sub>v</sub> (na postaji), hPa
- P<sub>v</sub> ..... tlak na vrhu modela, hPa
- P<sub>0</sub> ..... tlak zraka pri 0 °C (na postaji), hPa
- q ..... specifična vlažnost



$q_n$ .....	sadržaj vodene tvari, $\text{kg m}^{-3}$
$r$ .....	udaljenost od središta, m
$r_{\text{min}}$ .....	dajinsko razdvajanje radara, m
$s$ .....	os koordinatnog sustava (prirodnog)
$t$ .....	srednja mjesečna temperatura, °C
$t$ .....	temperatura, °C
$t$ .....	temperatura suhog termometra, °C
$t$ .....	vrijeme, s
$t_p$ .....	propusnost atmosfere ( $t_a < 1$ )
$t_p$ .....	temperatura barometra, °C
$t_p$ .....	rosište, °C
$t_{\text{god}}$ .....	srednja godišnja temperatura, °C
$t_{\text{max}}$ .....	najviša srednja mjesečna temperatura, °C
$t_{\text{min}}$ .....	najniža srednja mjesečna temperatura, °C
$t_k$ .....	temperatura kopna, °C
$t_M$ .....	temperatura mora, °C
$t_1$ .....	vrijeme trajanja impulsa predajnika radara, $\mu\text{s}$ , s
$t_2$ .....	vrijeme rada prijemnika radara, ms, s
$t$ .....	temperatura mokrog termometra, °C
$u$ .....	komponenta vjetra u smjeru x-osi, $\text{m s}^{-1}$
$u$ .....	relativna vlažnost
$u_1$ .....	brzina inercijskih valova, $\text{m s}^{-1}$
$u_0$ .....	osnovna brzina, $\text{m s}^{-1}$
$v$ .....	brzina strujanja, $\text{m s}^{-1}$
$v$ .....	komponenta vjetra u smjeru y-osi, $\text{m s}^{-1}$
$v_0$ .....	komponenta geostrofičkog vjetra okomitog na frontu, $\text{m s}^{-1}$
$v_r$ .....	polunijerna komponenta brzine vjetra, $\text{m s}^{-1}$
$v_0$ .....	tangentna komponenta brzine vjetra, $\text{m s}^{-1}$
$w$ .....	komponenta vjetra u smjeru z-osi - uspravna brzina, $\text{m s}^{-1}$
$x$ .....	os koordinatnog sustava
$y$ .....	os koordinatnog sustava
$z$ .....	os koordinatnog sustava
$z_0$ .....	visina postaje, m
$z_1$ .....	razina svodenja tlaka, m
A.....	tropska kišna klima
$A_p$ .....	površina otkrivanja antene, $\text{m}^2$
$A_r$ .....	površina radarskog cilja, $\text{m}^2$
B.....	suha klima
BS.....	stepska polusuha klima
BW.....	pusinjska suha klima
C.....	brzina vala, $\text{m s}^{-1}$
C.....	radarska konstanta
C.....	umjereno topla kišna klima
$C_d$ .....	brzina dugog vala (plitko more), $\text{m s}^{-1}$
$C_k$ .....	brzina kratkog vala (duboko more), $\text{m s}^{-1}$

$C_0$ .....	Coriolisova sila, N
D.....	snježno - šumska klima
E.....	ledena klima
E.....	istočno strujanje
$E_s$ .....	jakost svjetlosti, lm
$E_k$ .....	kinetička energija, J
G.....	gradijentna sila (sila gradijenta tlaka zraka), N
H.....	dubina vode (mora), m
H.....	središte visokog tlaka
H.....	visina brda, m
I.....	jakost izvora svjetlosti, lm
$I_{ud}$ .....	vidni kontrast na udaljenosti d od objekta
$I_{ub}$ .....	vidni kontrast u blizini objekta
$ K ^2$ .....	radarsko obilježje neke tvari
L.....	središte niskog tlaka
L.....	valna duljina Rossbyevih valova, km, m
$P_p$ .....	jačina oborine (radar), $\text{mm h}^{-1}$
$P_r$ .....	snaga povratnog radarskog odjeka u prijemniku, pW, W
$P_r$ .....	srednja snaga povratnog radarskog odjeka, pW, W
$P_r$ .....	snaga predajnika radara, MW, W
Q.....	količina topline, J
R.....	plinska konstanta, $\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$
R.....	polunijer Zemlje, m
R.....	srednja godišnja oborina, cm
$R_r$ .....	Richardsonov broj
$R_{\text{max}}$ .....	najvlažniji mjesec, cm
$R_{\text{min}}$ .....	najsušiji mjesec, cm
R.....	efektivni polunijer Zemlje ( $\approx 4/3 R$ ), m
S.....	stalnost snjega vjetra, %
$S_{\text{stat}}$ .....	statička stalnost, K/100 m
$S_{\text{im}}$ .....	izvori i ponori plinova i ostalih kemijskih tvari
$S_n$ .....	izvori i ponori vodene tvari
T.....	period, s
T.....	temperatura, K
T.....	vektor trenja, N
$T_{10}$ .....	rosište, K
$T_1$ .....	najduži periodi valova, s
$T_1$ .....	najkraći periodi valova, s
$T_k$ .....	temperatura na kondenzacijskoj razini, K
$T_{\text{im}}$ .....	srednja temperatura zraka dviju zračnih masa, K
$T_{\text{vir}}$ .....	srednja virtualna temperatura, K
$T_1, T_2$ .....	temperatura u hladnom odnosno toplom zraku, K
U.....	srednja brzina zonalne struje, $\text{m s}^{-1}$
V.....	vektor vjetra, $\text{m s}^{-1}$
$V_{\text{im}}$ .....	obujam radarskog impulsa, $\text{km}^3, \text{m}^3$



- $V$ ..... brzina srednjeg vektora vjetera,  $m\ s^{-1}$
- $V_x, V_y$ ..... geostrofički vjeter u hladnom odnosno toplom zraku,  $m\ s^{-1}$
- $W$ ..... zapadno strujanje
- Z..... faktor odbijanja (refleksije) radara,  $mm^6\ m^{-3}$
- Z..... nadmorska visina Zemljine površine, m
- $\beta$ ..... hidrostatička stabilnost atmosfere ( $\partial\theta/\partial z$ ),  $K/100\ m$
- $\beta$ ..... Rossbyev parametar ( $\partial\theta/\partial z$ ),  $m^{-1}\ s^{-1}$
- $\gamma$ ..... atmosferski uspravni (vertikalni) temperaturni gradijent - temperatura stopa ( $-\partial T/\partial z$ ),  $K/100\ m$
- $\gamma_n$ ..... krivulja stanja nakon advekcije,  $K/100\ m$
- $\delta$ ..... suhoadijabatski temperaturni gradijent - suhoadijabatska stopa,  $K/100\ m$
- $\delta^*$ ..... mokradijabatski temperaturni gradijent - mokradijabatska stopa,  $K/100\ m$
- $\xi$ ..... relativna vrtložnost,  $10^{-3}\ s^{-1}$
- $\xi_n$ ..... apsolutna vrtložnost,  $10^{-3}\ s^{-1}$
- $\eta$ ..... radarsko odbijanje (refleksija),  $m^2$
- $\theta$ ..... nagib frontalne plohe, °
- $\lambda$ ..... valna duljina, m
- $\mu_m$ ..... sadržaj plinova,  $kg\ m^{-3}$
- $v$ ..... frekvencija (radar),  $s^{-1}$
- $\pi$ ..... Ludolfov broj (3.14152)
- $\rho$ ..... gustoća zraka,  $kg\ m^{-3}$
- $\sigma$ ..... kutna brzina,  $s^{-1}$
- $\sigma$ ..... os koordinatnog sustava
- $\sigma$ ..... površina plohe (ekvivalentna površina otkrivanja), dB,  $m^2$
- $\sigma$ ..... uspravna brzina ( $d\sigma/dt$ ),  $s^{-1}$
- $\varphi$ ..... uspravni kut snopa radara, °
- $\varphi$ ..... zemljopisna širina, °
- $\psi$ ..... širina dijagrama zračenja antene (vodoravni kut snopa radara), °
- $\Delta h$ ..... razlika visina (podnica), m
- $\Delta h$ ..... visina neravnina ravne površine, m
- $\Delta n$ ..... korak mreže, m
- $\Delta n$ ..... promjena vodoravne udaljenosti, m
- $\Delta p$ ..... promjena tlaka, hPa
- $\Delta t$ ..... vremenski korak, s
- $\Delta x$ ..... korak u smjeru x-osi, m
- $\Delta y$ ..... korak u smjeru y-osi, m
- $\Delta z$ ..... promjena visine, m
- $\Theta$ ..... potencijalna temperatura, K
- $\Theta_e$ ..... potencijalna ekvivalentna temperatura, K
- $\Theta_w$ ..... potencijalna mokra temperatura, K
- $\Phi$ ..... geopotencijal,  $m^2\ s^{-2}$
- $\Omega$ ..... vektor Zemljine vrtloge,  $s^{-1}$

# VREMENSKA ANALIZA I PROGNOZA

## 15. TEMELJNE POSTAVKE SINOPTIČKE METODE

Temeljni zadatak vremenske analize je da određeni broj odgovarajućih meteoroloških elemenata shvati i postupa s njima kao jednom cjelinom koja određuje vrijeme. Naziv "sinopsis" znači istodobno gledati, tj. označava istodobno uvažavanje svih glavnih čimbenika koji određuju vrijeme. Sinoptička meteorologija (analiza i prognoza) prikuplja podatke širom velikih područja i prikazuje ih na zemljopisnoj karti kao sliku vremena na spomenutom području. Nadalje, na temelju prikupljenih podataka uz pomoć zakona dinamičke meteorologije, klimatologije i drugih područja meteorologije, dobiva se vremenska prognoza za kraće ili duže razdoblje.

Strom svijeta su uspostavljene meteorološke postaje na kojima se obavljaju odgovarajuća meteorološka motrenja (meteorološko opažanje i mjerenje). Program rada nije isti za sve postaje, što ovisi o namjeni podataka. Svako motrenje obavlja se u određenim vremenskim terminima, po svjetskom vremenu, obično u 00, 03, 06, ... 21 UTC. Po obavljenom motrenju, postaje šalju svoja izvješća o motrenju vremena u šifriranom obliku sabirnim središtima telefontom, radiopostajom, teleprinterom, računalom ili drugim sredstvima. Sabirna središta (ima ih više razina) prosjeđuju izvješća središtima za vremensku analizu i prognozu. Meteorološki podaci se unose u na zemljopisne karte (na kojima su označene meteorološke postaje) u obliku brojeva i simbola, podaci se analiziraju te se dobiva pregled vremena nad tim područjem. Na taj način za razmjerno kratko vrijeme, zemlje članice Svjetske meteorološke organizacije (engleski: *World Meteorological Organization* - WMO; njemački: *Weltorganisation für Meteorologie*) imaju na raspolaganju potrebne meteorološke podatke za vremensku analizu i prognozu.

Postoje dvije osnovne vrste meteoroloških ili vremenskih tj. sinoptičkih karata, a to su prizemne i visinske karte. Već iz imena proizlazi da je zadatak na prizemnoj sinoptičkoj karti prikazati vremenske prilike uz Zemljinu površinu. Stoga se na takvoj karti prikazuju temperature, tlakovi, vlažnosti, vjetrovi, oblaci, obronice, vidljivosti, sadržanja i prošla vremena te druge pojave. Meteoroloških radiosondaznih postaja koja obavljaju mjerenja viših slojeva atmosfere (do oko 40 km) ima manje nego običnih prizemnih

meteoroloških postaja. Proces mjerenja je složeniji, a mjere se temperature, vlažnosti i vjetrovi na visinama koje odgovaraju određenim tlakovima. Naravno, sva ova mjerenja i dopunjavaju se i mjerenjima pomoću meteoroloških radara i satelita.

Za prikazivanje vremenskog stanja neophodno je primjenjivati što više meteoroloških elemenata i pojava jer je svaki element (i pojava) u neposrednoj svezi s drugim, ovaj s trećim i tako dalje te se lako može zatvoriti krug ovisnosti jednog elementa s drugima. To traži sagledavanje cjeline.

Sinoptička metoda kao način prikaza vremena primjenjuje se za cijelu Zemlju ili za njezin dio, zbog čega razlikujemo različite razmjere zemljopisnih - meteoroloških karata:

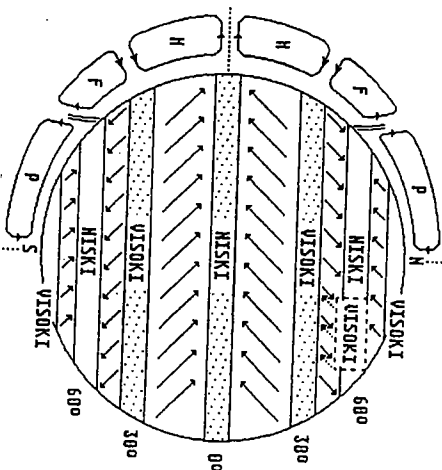
- karate krupnih (makro-) razmjera pokrivaju cijelu Zemlju ili velika područja, kao kontinente ili oceane odnosno njihove veće dijelove. Udaljenost postaja čiji se podaci koriste su nekoliko stotina do stotinu kilometara. Na taj način se prikazuju vremenski procesi krupnih razmjera.
- karate srednjih (mezo-) razmjera pokrivaju manje dijelove kontinenata ili oceana odnosno neka prostrana (regionalna) područja (npr. Sredozemlje), područja države ili njihove dijelove. Udaljenost postaja čiji se podaci koriste su stotinu do desetak kilometara. Na taj način se prikazuju vremenski procesi srednjih razmjera.
- karate sitnih (mikro-) razmjera pokrivaju male dijelove nekog područja, područja nekog mjesta ili njegove dijelove. Udaljenost postaja čiji se podaci koriste su kilometar do desetak metara. Na taj način se prikazuju vremenski procesi sitnih razmjera.

Sukladno prostornim mjerenjima primjenjuju se i vremenski termini.

## 16. OPĆE ATMOSFERSKO KRUŽENJE

### 16.1. Osnovna razdioba tlaka na Zemljinoj površini

Razdioba atmosferskog tlaka je temelj strujanjima zraka, dok tlak u normalnim uvjetima, ako se isključi dinamika, ovisi o temperaturi i vlažnosti zraka. Sve to ukazuje na tijesnu vezu svih meteoroloških elemenata i teško je govoriti o jednom elementu ne spominjući ostale. Stoga se ukupnost svih atmosferskih procesa u osnovnim crtama nemarno lako može sagledati u okviru općeg atmosferskog kruženja (OAK) ili planetarnog strujanja (engleski: *general circulation*, *global circulation*, *planetary circulation*; njemački: *globale Zirkulation*). Razdioba atmosferskog tlaka na morskoj razini tijekom siječnja i srpnja prikazana je na slikama 1-6-11. i 1-6-12. (1- prvi dio knjige). Ova razdioba se može bino pojednostaviti, sl. 16.1.



Slika 16.1. Idealizirana razdioba prizemnog tlaka i vjetrova na Zemlji. H-Hadleyeva (trop-ska), F-Ferrelova (umjerenih širina), P-polarna ćelija.

Nad oceanima tijekom godine postoji više ili manje isti raspored tlaka zraka, dok se iznad kontinenata vrijednosti tlaka mijenjaju od hladnog dijela godine. Slika 16.1. u odnosu na slike 1-6-11. i 1-6-12. pokazuje bolju podudarnost za južnu poluku, nego za sjevernu, zbog razdiobe kopna i mora. Ova odstupanja su posebno izražena zimi na sjevernoj poluci kad iznad velikih kopnenih prostranstava (Sibir,  $\approx 60^\circ$  N) postoji prostorno polje visokog tlaka (1040 hPa), dok je ljeti niski tlak ispod 1000 hPa. Pojasovi niskog tlaka na  $60^\circ$  N imaju izražena središta niskog tlaka na zapadnim dijelovima Atlatskog odnosno Tihog oceana tj. iznad Islanda odnosno Aleuta ( $<1000$  hPa). Slično vrijedi za pojaseve visokog tlaka, npr. Azori ( $>1025$  hPa). Slika također pokazuje

pojednostavljeno prizemno strujanje zraka, od visokog prema niskom tlaku uz skretanje zbog Coriolisove sile.

## 16.2. Razdioba vjetera na Zemljinoj površini i kruženje zraka

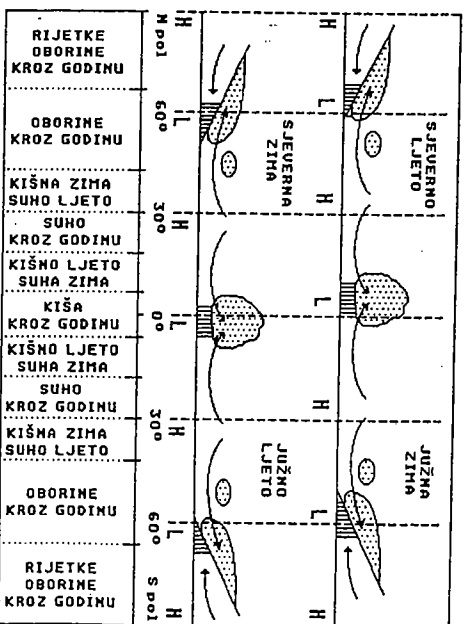
Temeljni uzrok kruženju zraka su razlike temperatura između dva područja. U našem slučaju to bi bila područja ekvatora i polova, što se treba očitovati u dizanju topljog zraka iznad ekvatora i spuštajući hladnog zraka iznad polova. Ipak ovaj pojednostavljeni oblik kruženja ima znatnih nedostataka. Dizanje velikih količina zraka u području niskih zemljopisnih širina koja pokrivaju tisuće i tisuće kvadratnih kilometra Zemljine površine trebalo bi temeljem zakona neprekidnosti dovesti do spuštanja iste količine zraka, no problem je da se to treba desiti nad dvjema točkama (polovima) neodređeno male površine možda veličine kvadratnog kilometra, što bi istodobno značilo veliku brzinu spuštanja zraka. Očito je da se ovaj tip kruženja zraka (Hadleyev model) ne može osvariti. Osim toga, u kruženju zraka postoje stalni uvjeti koji se ne mogu zanemariti. To su prije svega Zemljina vrtnja, razdioba kopna i mora, te utjecaj orografije i trenja. Kao rezultat, u prosjeku postoje tri velika meridijanska kruženja zraka – čelije (Hadleyeva, Ferrellova te polarna čelija) kao na slici 16.1.

Pod općim atmosferskim kruženjem (OAK) ili planetnim strujanjem podrazumijevamo ukupnost temeljnih oblika vodoravnih i uspravnih gibanja velikih masa zraka u gibanju, posebno u troposferi, jedan od najvažnijih neposrednih uzročnika vremena i klime. U planetnom strujanju ima mnogo pravilnosti, jer se ono nalazi pod snažnim utjecajem nekih stalnih čimbenika a to su: razlike u grijanju (od Sunca) ekvatorijalnih i polarnih krajeva, vrtnja Zemlje oko vlastite osi i njezino kruženje oko Sunca, položaj kontinenta na Zemlji i položaj visokih planinskih lanaca. Međutim, i drugi promjenjivi čimbenici kao što su isparavanje vode, vlaga u atmosferi, naoblaka, oborine, temperatura tla i površine oceana (ovisna o morskim strujama), ledene mase, topljenje leda i snijega uz smrzavanje vode te slično, djeluju također na strujanje i zato se svake godine ne ponavlja sasvim u istom obliku. OAK nije jednostavno već se sastoji od nekoliko pojasa i više većih ili manjih kružnih sustava, od kojih neki postoje stalno, a drugi samo u određeno doba godine sukladno s raspodjelom topline na Zemljinoj površini.

OAK može se promatrati na Zemljinoj površini ili na nekoj visini, a također i u uspravnoj ravnini, bilo uzduž meridijana ili paralela. Strujanja uzduž meridijana – meridijanska strujanja (*meridional flow*; *meridionale Strömung*) nisu tako jaka kao ona uzduž paralela – zonalna strujanja (*zonal flow*; *zonale Strömung*) prema početna pokretne ačka sile djeluje u meridijanskom pravcu. Zbog utjecaja mnogih čimbenika (u prvom redu vrtnje Zemlje) meridijansko strujanje se razbija te općenito prevladava zonalno strujanje. Najmanja su uspravna strujanja, čija srednja brzina ne prelazi  $0.3 \text{ cm s}^{-1}$  (izuzimaju se strujanja u atmosferskim poremećajima: ciklone i anticiklone  $\approx 10 \text{ cm s}^{-1}$ , približno cikloni, tornada i olujni oblaci  $\geq 30 \text{ m s}^{-1}$ ), što znači da je osnovno strujanje vodoravno.

Bitni elementi strujanja zraka uključujući i vremenske procese pri Zemljinoj površini sažeto su shematski prikazani na slikama 16.1 i 16.2.

U širem području ekvatora postoji ekvatorski pojas niskog atmosferskog tlaka ili ekvatorska dolina odnosno tu je unutartropski pojas konvergencije (točke 24.2. i 24.3.). To je područje visokih temperatura i vlažnosti zraka te postoji jako dizanje zraka uz jaki razvoj konveksijske naoblake iz koje padaju jaki pljuskovi. Tu prevladavaju tiši-ne ili su slabi promjenjivi vjetrovi.



Slika 16.2. Shematski prikaz vremena po zemljopisnim širinama

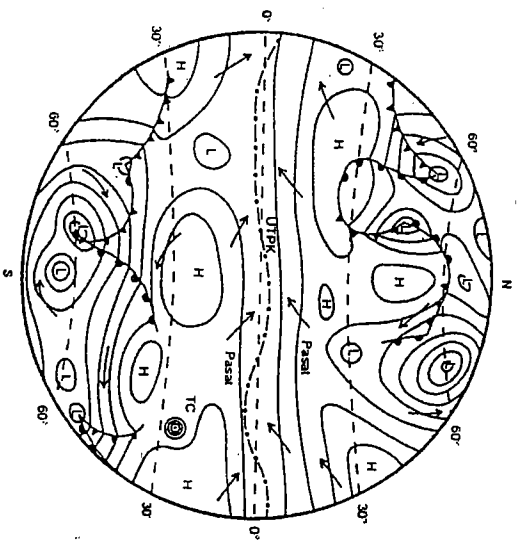
Suprotropska područja ( $\approx 30^\circ \text{ N}$  i  $\text{S}$ ) također imaju tišine ili su slabi promjenjivi vjetrovi, jer postoji suprotropski pojas visokog tlaka kao posljedica dinamičkih procesa tj. spuštanja zraka i adijabatskog zagrijavanja koji se sastoji od više odvojenih polja visokog tlaka (točka 20.2.). Nebo je vedro, temperature zraka su vrlo visoke, a oborina gotovo i nema (pustinje).

Između prethodna dva pojasa pušu stalni vjetrovi, pasati, postojani po smjeru (sjeveroistočni na sjevernoj polutki Zemlje, a jugoistočni na južnoj) i brzini (točka 24.2.). Prevladava vedro vrijeme ili slaba naoblaka uz manje količine oborina. Ponekad pasat prelazeći ekvator tvori pod uplivom Coriolisove sile ekvatorske zapadne vjetrove. Na nekim dijelovima Zemljine površine pojas pasata je izmijenjen postojanjem periodičkih sezonskih vjetrova, monsunna, koji pušu najizrazitije iznad Indije i Kine. U zimi je to suhi vjetar s kopna na more, a ljeti vlažni vjetar koji puše s mora na kopno donoseći konveksijsku naoblaku i oborine (točka 24.4.). Tropski istočni valovi (točka 24.5.) također se javljaju u tropskom području donoseći značajne vremenske poremećaje, dok su posebno opasne pojave cikloni (točka 25.).

U umjerenim zemljopisnim širinama (to je i područje Hrvatske) postoje prevladavajući zapadni vjetrovi (*westerlies*; *ständige Westwinde*) iako je stalnost vjetrova mala. U tom pojasu zrak obilazi Zemlju od zapada prema istoku, no to se ne odvija

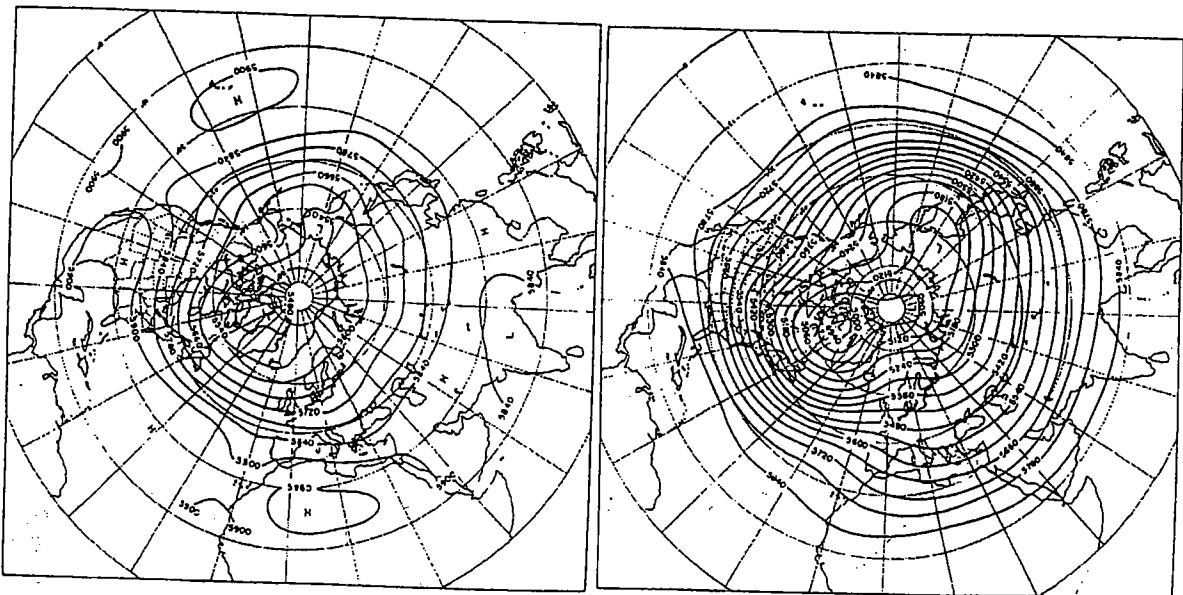
najkraćim putem, nego u obliku valovitog i vrtložnog strujanja. Ta vrtložna gibanja zraka su nizovi ciklona i anticiklona koje putuju od zapada prema istoku (točke 19. i 20.). U donjoj troposferi postoji uvijek mnogo takvih vrtloga, različite jačine, veličine i položaja. Oborina ima uglavnom u svim godišnjim dobima, a vezane su najčešće s frontama (točka 18.) kao granicom između zraka nižih i viših širina tvoreći polarni frontalni pojas. Pojas niskog tlaka na oko 60° N i S predstavlja niz središta niskog tlaka uvjetujući vrtložna strujanja te ovdje većinom nastaju obitelji ciklona. Sastavni dio općeg kruženja su Rossbyevi (dugi, planetni) valovi u srednjoj i gornjoj troposferi (točka 21.5.2.) koji uz ostalo određuju razvoj i premještanje ciklonskih obitelji.

U području polova uz gomišanje hladnog zraka u prizemlju, postoji spuštanje i adijabatsko grijanje zraka na manjim visinama (2-3 km) uz temperaturni inverzijski sloj (točka 26.1.). Zbog svega toga postoji visoki atmosferski tlak koji s nižim tlakom na manjim širinama (60°) dovodi do nastajanja polarnih istočnih vjetrova (*polar easterlies*; *polare Osrwinde*), koji na sjevernoj polutki skreću na sjeveristočni, a na južnoj na jugoistočni smjer. Zbog niskih temperatura zrak sadrži male količine vlage pa su oborine (snijeg) slabe.



Slika 16.3. Shematski prikaz strujanja i vremena na Zemljinoj površini, UTPK – unutar-tropski pojas konvergencije, TC - ciklon

Prikaz strujanja zraka na Zemljinoj površini u siječnju odnosno srpnju dan je na slici 24.1. Važno je istaći da se tijekom godine svi procesi premještanju za suncem (kasne ljeta, sl. 16.2. Shema općeg položaja baričkih sustava na obje polutke Zemljine površine s osnovnim strujanjem dana je na slici 16.3. Slika pokazuje područja visokog tlaka u suprotropskim krajevima s pasatima koji pušu prema ekvatoru tvoreći unutar-tropski pojas konvergencije (UTPK). Ujedno je naznačen položaj tropskog ciklona (TC). U umjerenim



Slika 16.4. Oblici izobarne plohe AT 500 hPa u siječnju i srpnju na sjevernoj polutki (Byers, 1974)

širinama posebno se ističu središta niskog tlaka (ciklone) s frontalnim sustavima, između kojih su područja ili grebeni visokog tlaka. Posebno treba obratiti pažnju na zrcalnu sliku oblika frontalnih sustava (hladne i tople fronte, točka 18.) na sjevernoj i južnoj polutki! Idući prema polovima tipično istočno polarno strujanje je na mnogim mjestima poremećeno ciklonalnim i frontalnim poremećajima.

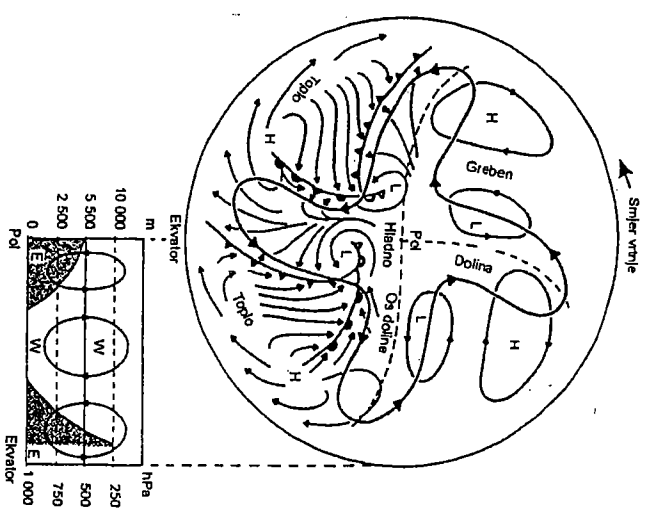
Na visinama, u srednjoj i višoj troposferi, strujanje dobiva drukčije oblike. Prema ekvatoru postoji visoki tlak, dok je iznad polova niski tlak, dakle suprotno od onog u prizemlju. To uvjetuje prevladavajuće zapadno strujanje, osim u blizini ekvatora gdje postoji istočno strujanje (*easterlies; Ostwinde*), sl. 16.4. Slika ukazuje na povećanu gustoću izohipsi, odnosno veće brzine vjetrova tijekom zime.

Oblaštjenje OAK mora se tražiti u raznimjenu toplinu između ekvatora i polova. Temperature zraka na raznim širinama Zemljine površine nastale isključivo zbog Sunčeva zračenja prikazane su u tablici 16.1. No mjerene temperature odstupaju od prije navedenih, što je uvjetovano OAK. Negativne temperature razlike od ekvatora do paralele 30° predstavljaju gubitak topline, koji se procesima OAK odvodi u više zemljopisne širine (pozitivne razlike na 40 - 90° zš.) te se tako visoke temperature u ekvatorskom području smanjuju, a niske u polarnim područjima povećavaju. Pritom se miješanje toplog i hladnog zraka odvija u ciklonalnim valovima te one u svom životnom ciklusu imaju ulogu izmjenivača topline. Tome se treba pridodati pojava jakih visinskih vjetrova – mlaznih struja.

Tablica 16.1. Značaj općeg atmosferskog kruženja na razdiobu temperatura (°C) na Zemljinoj površini

Zemljopisna širina (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Temperatura zbog zračenja Sunca	39	36	32	22	8	-6	-20	-32	-41	-44
Opažena temperatura	26	27	25	20	14	6	-1	-9	-18	-22
Temperaturna razlika	-13	-9	-7	-2	6	12	19	23	23	22

OAK se ne odvija uzduž meridijana, već do izražaja dolazi zonalno strujanje, stoga se javlja valni tip općeg kruženja. Za valni tip OAK su znakovite velike amplitude vodoravnih valova u srednjoj i gornjoj troposferi. U donjim dijelovima atmosfere prevladava ćeljsko kruženje (ciklone i anticiklone). Važno je istaknuti da se u prosjeku središta ciklona nalaze bliže polu, a središta anticiklona bliže ekvatoru, što vrijedi za obje polutke, sl. 16.5. Posljedica položaja ovih sustava je prosječno istočno zonalno strujanje (po svim zemljopisnim duljinama) blizu ekvatora i blizu polova, a zapadno u umjerenim širinama. Temeljna značajka valnog oblika OAK na nekim duljinama su jezici toplog zraka koji napreduju prema polu, a na drugim duljinama (iste paralele i iste razine) postoje jezici hladnog zraka koji napreduju prema ekvatoru. Tako se uspostavlja meridijanska razmjena topline i održava se toplinska ravnoteža u atmosferi. Istodobno se na toplom dijelu vala zrak diže, dok se na hladnom dijelu vala zrak spušta pri čemu se potencijalna energija pretvara u kinetičku. Pri tome je dizanje zraka praćeno hlađenjem na višim razinama, a spuštanje grijanjem na nižim razinama.



Slika 16.5. Valni tip općeg atmosferskog kruženja; strujnice toka na srednjim i višim razinama (debelo), uz Zemljinu površinu (tanko); dolje: uspravni presjek i shema kruženja, E - istočni, W - zapadni vjeter (Mintz, 1961)

Nastajanje valnog tipa OAK određeno je kritičnom vrijednošću meridijanskog gradijenta temperature (vodoravno  $\approx 6 \text{ }^\circ\text{C}/1000 \text{ km}$ ) ispod koje je strujanje dinamički stabno. Važno je istaći da zbog složenog oblika Zemljine površine i složenih procesa u atmosferi postoje poremećaji manjih amplitude svih valnih duljina. Postizanjem ove kritične vrijednosti, valovi određene valne duljine se sve više povećavaju te sve više prenose toplinu u više širine. Tako valni model kruženja, čiji su elementi Rossbejevi valovi u srednjoj i gornjoj troposferi (točka 21.5.2.), omogućuje meridijanski prijenos topline uz manji meridijanski temperaturni gradijent.

Po visini postoji više shema kruženja zraka u atmosferi, a temeljni oblik je prikazan na slici 16.1. OAK se sastoji iz tri ćelije: Hadleyeva (tropska) ili izravna, Ferrelova (umjerenih širina) ili neizravna, te polarna ili izravna ćelija. Izravno kruženje zraka u osnovi predstavlja dizanje toplog (lakšeg) zraka i spuštanje hladnog (težeg) zraka, dok je neizravno kruženje prisilno, pritom se hladni zrak diže, a topli spušta. Tipični primjeri su pri mlaznim strujama (točka 22.3.).

Iznad ekvatorskih područja zrak kao topli i vlažni se diže, hladi se adijabatski i uvjetuje nastajanje konvektivskih oblaka uz pljuskovite oborine. Na visini, ispod tropo-pauze struji prema većim širinama, a zbog uvjecaja Coriolisove sile skreće udesno (sjeverna polutka) odnosno ulijevo (južna polutka). Taj dio strujanja su protupasari. U sup-

tropskim područjima (oko 30° N i S) zrak se spušta. Taj zrak je iznad ekvatora izgubio dosta vlage te je siromašan s vodenom parom, što posebno dolazi do izražaja pri spuštanju i adijabatskom zagrijavanju. Zato su suprotropska područja izrazito suha, vedra i gotovo bez oborina, ali uz visoke dnevne temperature nastale adijabatskim zagrijavanjem te jakim Sunčevim zračenjem, dok su noći razmjerno hladne zbog jakog dugovalnog zračenja (zračvanje), koje ne nalazi na značajnija upijanja u atmosferi. Dio spuštajućeg zraka se vraća prema ekvatoru tvoreći pasate, a dio napreduje prema višim širinama te postaje dio strujanja umjerenih širina. Na taj način se između ekvatora i suprotropskih krajeva zatvara izravna Hadleyeva (tropska) ćelija, koja zauzima gotovo polovinu Zemljine površine.

Zračne mase iz suprotropskih krajeva napreduju u više širine uz izraženu zapadnu komponentu strujanja. Stoga u umjerenim širinama u troposferi na obje poluke postoje prevladavajući zapadni vjetrovi u okviru valnog tipa općeg kruženja. Približavajući se subpolarnom području niskog tlaka (60° N i S) suprotropski zrak se sukobljava s polarnim (južna poluka) strujanje nastoji prodirjeti u umjerenne (niže) širine. Ovim sukobljavanjem nastaje polarna fronta uz pripadne procese (ciklone i anticiklone), pri čemu se na tom dijelu valnog strujanja zrak diže, a na hladnom dijelu vala spušta. Dizanje zraka je praćeno adijabatskim hlađenjem zraka te stvaranjem odgovarajuće naoblake i oborina. U visini se dio zraka vraća prema suprotropskim područjima, a dio napreduje prema polovinu. Tako se u umjerenim širinama stvara, iako slabo izražena, neizravna Ferrellova ćelija (ćelija umjerenih širina).

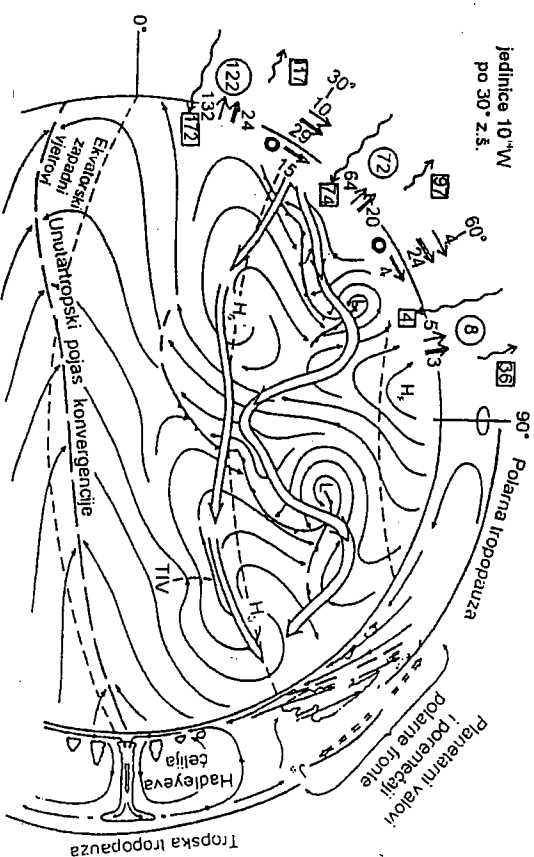
Na visini zrak umjerenih širina dolazi do polova gdje postoji spuštanje zraka uz adijabatsko zagrijavanje (temperaturna inverzija na visini 2-3 km), dok je ispod nagomilani hladni zrak. Od polova s višim tlakom zrak struji prema subpolarnom području niskog tlaka (60° N i S) tvoreći istočno polarno strujanje. Ovo strujanje dovodi hladni zrak u niže širine i pri dodiru s toplim suprotropskim zrakom uvjetuje nastajanje arktičke (antarktičke) odnosno polarne fronte. Tako se između polova i umjerenih širina zatvara izravna polarna ćelija.

Tropopauza nije postojana na svim širinama. U pravilu svaka ćelija ima svoju tropopauzu te postoje tropska, polarna i tropopauza umjerenih širina. Nadalje, tropopauze nisu na istim visinama (najviša iznad ekvatora, najniža iznad polova), a ponegdje su tropopauze slabo izražene ili postoje njeni prekidi te se kruženja zraka jače prenose u stratosferu. Ovoone se treba pridodati pojava jakih visinskih vjetrova - mlaznih struja.

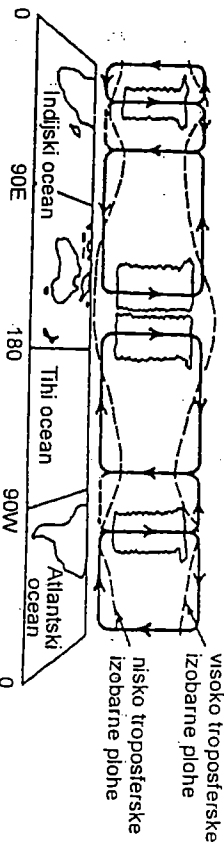
Troćeljsko kruženje u atmosferi predstavio je T. Bergeron (1928), a dopunili su C.G. Rossby (1947), E. Palmén (1952) i E.N. Lorenz (1967). Naravno, postoje i drugi prikazi, a jedan od njih je na slici 16.6. (Newton, 1992).

Na desnoj strani slike 16.6. u uspravnom presjeku iznad tropskih krajeva je Hadleyeva ćelija. Blizu pola su spuštanja zraka, dok su u umjerenim širinama kosa dizanja i spuštanja toplotnog i hladnog zraka u odnosu na polarnu frontu (PF), te mlazne struje koje meandriraju oko poluke.  $J_s$  i  $J_p$  označavaju suprotropsku i polarnu mlaznu struju, čije su projekcije označene duplom strelicom. Tropski istočni valovi su označeni s TIV. Lijevo su prikazane približne komponente proračuna toplinske energije po pojasu širine 30°, u označavaju komponente vodenog proračuna. Uokvirene brojke i valovite strelice pokazuju zračenje upijeno u Zemljinoj površini odnosno izgubljeno u atmosferi. Iznad polu-

ke kao cjeline ukupno zračenje je oko  $250 \cdot 10^{14}$  W. Prijenos energije sa Zemljine površine prema atmosferi (osim zračenja) je u obliku osjetne topline (debele strelice), kao i latentne topline (tanke strelice) zbog isparavanja vode s površine te kondenzacije i nastajanja oborina. U atmosferi ta latentna toplotina (zaokružene brojke) nadopunjuje 80% gubitka topline zračenjem. Za Zemljinu površinu i atmosferu, toplinski izvor nadmašuju ponore u tropskom pojasu te se višak prenosi prema polu na širine s toplinskim manjtim poremećajima, čije su zračne struje prema jugu toplije i bogatije vodenom parom označene s o) je posebno istaknut u suprotropskim širinama, gdje morske vjetrovne struje nose toplu vodu prema polovima na zapadnoj strani oceana.



Slika 16.6. Shema kruženja zraka u atmosferi (objašnjenje u tekstu) (Newton, 1992)

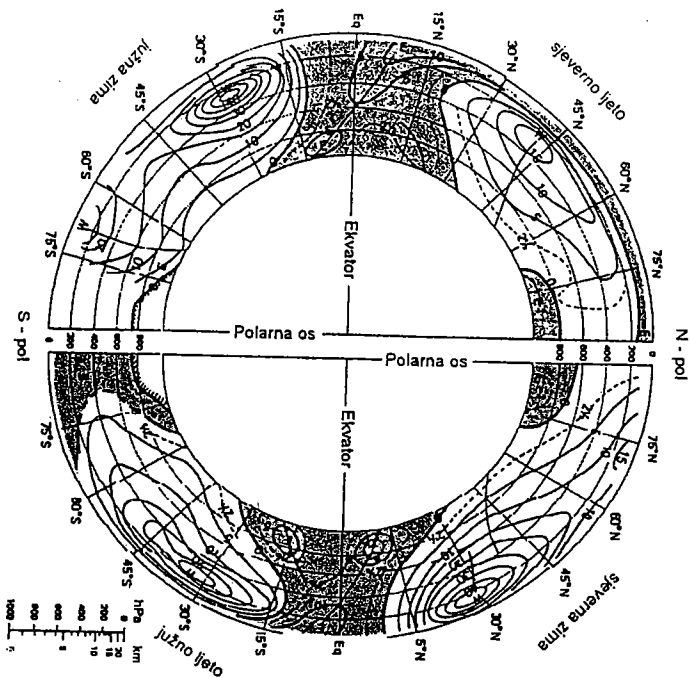


Slika 16.7. Shema kruženja zraka uzduž ekvatora (objašnjenje u tekstu)

Međutim, osim kruženja zraka uzduž ravnine meridijana, u uspravnom presjeku atmosfere postoji i kruženje zraka uzduž paralela, naročito izraženo u ekvatorskom području, sl. 16.7.

Ovaj tip strujanja, pojasno kruženje odnosno zonalna cirkulacija (*zonal circulation*; *zonale Zirkulation*) određen je razdiobom kopna i mora, te općenito iznad kopna (toplija podloga) postoji dizanje, a iznad mora je spuštanje zraka. Naravno, ova uspravna gibanja zraka se zatvaraju odgovarajućim vodoravnim strujanjima na manjim visinama i suprotnim smjerom na većim visinama, te i pripadne izobarne plohe imaju odgovarajuća ispuščenja odnosno udubljenja. Ovo kruženje zraka se sastoji iz više ćelija od kojih je najveća Tihooceansko - Indonezijska, tj. Walkerovo kruženje.

Sastavni dio općeg kruženja zraka u atmosferi su tokovi zraka kroz ravninu meridijana, koji pokazuju zapadne odnosno istočne komponente strujanja. Dobro se vide razlike između sjeverne i južne polutke, a posebno između zime i ljeta, sl. 16.8. Općenito prevladava zapadno strujanje, dok komponente istočnog strujanja postoje u širim područjima ekvatora i polova, te djelomice na velikim visinama u ljetno doba. Nadalje, uočava se pomak središta jezgri strujanja za oko 10° z.š. prema polu one polutke koja ima ljetno, zatim, u zimskim mjesecima su brzine strujanja dosta veće nego u ljetno doba.



Slitka 16.8. Srednji zapadni/istočni vjetrovi u troposferi ( $m\ s^{-1}$ ), područje istočnih vjetrova je sijenčano (Gedzelman, 1980)

U svakoj tekucini koja se grije javlja se izvjesno kruženje fluida. Laboratorijski pokusi u cilindričnoj posudi s tekutinom, koja se grije na obodima i hladi u središtu posude, te se sve zajedno vrti oko uspravne osi posude, pokazuju sličnosti strujanja sa strujanjem u atmosferi. Na taj način se predočuju izvori topline na ekvatoru i hlađenja na polovima u atmosferi uz vrtanju Zemlje. Ovisno o veličini posude i njenoj brzini vrtnje te ujetima grijanja/hlađenja, strujnice fluida pokazuju njegovo valno gibanje s nekoliko valova slično Rossbyevim valovima u atmosferi.

Zadnjih decenija (od Phillipsa, 1956; Mintza i Arakawe, 1964) izvode se numerička modeliranja OAK, tj. rješavaju se tzv. primitivne jednačbe (sustav temeljnih jednačbi u meteorologiji; točka 28.3.), primjenom moćnih elektronskih računala. Pomoću numeričkih modela mogu se oponašati stanja i promjene u atmosferi slično kao što se uzeti u obzir oblici Zemljine površine (reljef), kakvoća podloge (npr. kopno i more), temperature razlike, izvori vlage i slično.

Numeričko modeliranje je danas temelj mnogih oblika istraživanja u atmosferi uključujući klimatološka istraživanja iz dalje ili bliže prošlosti, zatim analize vremenskih stanja i prognoze vremena za razmjerno krata razdoblja (mjereno satima ili danima), a posebno su klimatološke prognoze za blisku ili dalju budućnost. No, o tome više u narednim poglavjima. Važno je istaći da potpunije saznanje vremenskih procesa u okviru OAK pruža odgovore na mnoge za sada nedovoljno poznate činjenice.

### Dopunska literatura

Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.  
 Houghton, D.D., 1985: Handbook of Applied Meteorology. John Wiley & Sons, New York, 1461.  
 Lorenz, E.N., 1967: The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere. WMO, Geneva.  
 Makjanić, B., 1967: Osnove meteorologije. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 243.  
 Matveev, L.T., 1984: Kurs obšei meteorologii. Gidrometeoizdat, Leningrad, 751.  
 Newton, C.W., 1992: Atmospheric Circulation Systems. Encyclopedia of Earth System Science. ed. W.A. Nierenberg. Academic press, San Diego. vol. 1, 145-156.



## 17. ZRAČNE MASE

### 17.1. Definicija i nastajanje zračnih masa

Fizikalna svojstva zraka kao što su temperatura, vlažnost, vidljivost i drugo ovise od više čimbenika. Analize vremenskih karata pokazuju da su iznad velikih područja fizikalna svojstva zraka i značajke vremena slične. Pokazuje se da su ove veličine u uskoj svezi s fizikalnim svojstvima Zemljine površine iznad koje se zrak nalazi. Nalazeći se u izravnom dodiru sa Zemljinom površinom, zrak prima određena svojstva, koja se prenose u više slojeve pri čemu se uspostavlja određena razdioba fizikalnih svojstava s visinom.

Pojam zračna masa (engleski: *air mass*; njemački: *Luftmasse*) označava veliku količinu zraka čija su fizikalna svojstva više ili manje ujednačena u vodoravnom smjeru. Za razliku od česti zraka, koje imaju mali obujam npr.  $1 \text{ cm}^3$ ,  $1 \text{ m}^3$  ili  $1000 \text{ m}^3$ , zračna masa ima mnogo veći obujam. Vodoravna prostiranja zračnih masa su obično od 500 km do 5000 km, zahvaćaju površinu i nekoliko miliona  $\text{km}^2$ , dok su uspravna protezanja između 1 i 20 km. Znači da se zračne mase u vodoravnom smjeru protežu iznad područja kontinentalnih (oceanskih) razmjera ili njihovih dijelova, a u uspravnom smjeru mogu zahvaćati cijeli troposferu.

Ujednačenost svojstava zračne mase može se odrediti iznosom građjenata meteoroloških elemenata. Vodoravne promjene temperature  $T$ , potencijalne temperature  $\Theta$ , potencijalne ekvivalentne  $\Theta_E$  i potencijalne mokre temperature  $\Theta_W$  (točke 1-8.2., 1-8.3.) u nekom smjeru  $n$  određuju zračnu masu uz uvjete:

$$0 < \frac{\partial T}{\partial n}, \frac{\partial \Theta}{\partial n}, \frac{\partial \Theta_E}{\partial n}, \frac{\partial \Theta_W}{\partial n} < 1 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ km} \quad (17(1))$$

Dvije zračne mase koje se nalaze u međusobno neposrednoj blizini na svojim granicama imaju mnogo izraženije građjenate:

$$1 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ km} < \frac{\partial T}{\partial n}, \frac{\partial \Theta}{\partial n}, \frac{\partial \Theta_E}{\partial n}, \frac{\partial \Theta_W}{\partial n} < 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km} \quad (17(2))$$

Velike količine zraka mogu imati slična fizikalna svojstva, ako su dugotrajno izložene približno istim uvjetima. To se u prirodi dešava kad se iznad nekog većeg zemljopisnog područja s jednolikom podlogom uspostavi takav tip kruženja pri čemu se ista količina zraka duže vremena (počevši od nekoliko dana ili tjedana) zadržava iznad takve podloge. Povoljni uvjeti za ovakav tip kruženja se javljaju u polupostojanim anticiklonama (točka 20.2.) gdje su zračne mase u miru ili slabo pokretne. Tako su zračne mase duže vremena izložene utjecaju podloge. Prostrana područja Zemlje, gdje su ovi uvjeti češće ispunjeni, a to su područja s ujednačenim svojstvima podloge, predstavljaju izvorišta za nastajanje zračnih masa (*source region*, *Quellgebiet*).

Osnovna svojstva zračnih masa ovise prvenstveno od kakvoće podloge izvorista gdje je zračna masa nastala. Tako, npr. ako je zračna masa nastala iznad morske površine sadržavat će u sebi veću količinu vlažnosti, a ako je nastala iznad kopna bit će suša. Ako je nastala iznad neke prostrane pustije bit će vrlo suha i imat će ograničenu vidljivost glede sadržaja većeg broja sitnih čestica prašine, itd. Debeli slojevi zraka (npr. kroz troposferu) ne moraju biti jedna zračna masa, jer zrak na razne visine može doći iz različitih područja.

Kad se zračna masa pokrene s izvorista, ne ulazeći u razloge zbog kojih je do toga došlo, ona se pretvara - transformira (mijenja svoja svojstva) prema svojstvima podloge iznad koje putuje i trajanju njezinog zadržavanja iznad tog područja, koja se razlikuju po fizikalnim svojstvima od izvorista. Te promjene su polagane i teku postupno. Veličina promjene tj. pretvorbe (transformacije) zračne mase (*air mass transformation*; *Luftmassentransformation*) ovisi o razlikama svojstava zračne mase i podloge. Također će promjene fizikalnih svojstava zračne mase ovisiti od tipa kruženja u atmosferi, odnosno mijšenja unutar zračne mase koje ubrzava njezinu pretvorbu. Pri proučavanju pretvorbe zračne mase ne analizira se što se zbiva u nekoj određenoj točki prostora, već kakve promjene doživljava čest zraka koja se giba zajedno sa zračnom masom. Pojedina fizikalna svojstva zračne mase se ne mijenjaju ili se slabo mijenjaju pri uspravnim gibanjima zraka i nemaju izraženi dnevni hod, što je pogodno prilikom praćenja pretvorbe zračne mase. Takva svojstva zraka su konzervativne veličine, kao npr. potencijalna temperatura i specifična vlažnost, zatim ekvivalentna potencijalna i potencijalna mokra temperatura. Zanimje veličine uključuju vlažnost zraka i ne mijenjaju se ni pri procesima ukapljivanja (kondenzacije) prilikom dizanja zraka, jedino se mijenjaju pri promjeni topline i vlažnosti, što se značajnije može javiti samo uz Zemljinu površinu. S druge strane, prizemna temperatura i relativna vlažnost zraka glede svoje izrazite promjenjivosti nisu dobre veličine koje bi određivale pojedinu zračnu masu.

Važno je istaći da je na izvoristu uspostavljena ravnoteža (temperatura, vlažnost) između zračne mase i podloge, dok se napuštanjem tog područja narušava ravnoteža. Stoga pretvorba zračne mase ustvari znači ponovno uspostavljanje ravnoteže između zračne mase i podloge. Uspostavljanje temperaturne ravnoteže obično se događa u prosjeku nakon tjedan dana po dolasku zračne mase na određeno područje.

Sadržaj i razdioba topline i vlažnosti u zračnoj masi dvije su osnovne značajke koje zračna masa dobiva tijekom svog nastanka na izvoristu. Iznad raznih dijelova Zemljine površine gdje zračne mase nastaju, toplina i vlažnost imaju izražene vrijednosti.

### 17.2. Podjela zračnih masa

Glede lakšeg proučavanja i praćenja razvika, zračne mase mogu se razvrstati na nekoliko načina: prema mjestu i kakvoći nastajanja na izvoristu.

Pojednostavljena slika zbijanja u atmosferi pokazuje da na visini tj. u srednjim i višim slojevima troposfere postoje u osnovi dvije zračne mase. Jedna je bliže ekvatoru, to je tropska zračna masa (visoki tlak), a druga bliže polovima je polarna zračna masa (niski tlak) koje dolaze u neposrednu blizinu u području umjerenih širina. Znato složenija slika je u nižim slojevima troposfere te temeljna podjela zračnih masa vrijedi za

najniže slojeve atmosfere, pri čemu se ista podjela primjenjuje i za više slojeve. Postoji nekoliko načina podjela zračnih masa:

a) prema zemljopisnom području postoje:

ekvatorske zračne mase (oznaka E) (*equatorial air mass; Äquatorialluft*) nastaju u područjima idući od ekvatora prema na rubu suprotorskog područja visokog tlaka i obuhvaćaju cijeli pojas oko ekvatora. Zrak je izrazio topao i vlažan i nema bitnih razlika da li je iznad kopna ili mora.

tropske zračne mase (T) (*tropical air mass; Tropikluft*) nastaju u suprotorskom području za kojeg su znakovite najviše vrijednosti atmosferskog tlaka i temperature zraka. Zračne mase iznad kopna su suhe i sadrže velike količine sime prašine za razliku od onih iznad oceana koje su bogate vodenom parom.

polarna zračne mase (P) (*polar air mass; Polarluft*) nastaju u umjerenim zemljopisnim širinama uglavnom između 50 i 70° N, bilo iznad kopna ili mora. U tom pojasu ima nekoliko područja povoljnija za nastajanje zračnih masa. To su prvenstveno Sibir i Kanada u zimskim mjesecima kad su pokriveni sa snježnim pokrivačem i izraženim visokim tlakom. Zrak je veoma hladan i suh. U istom pojasu nastaju i zračne mase iznad prostornih područja Atlanskog i Tihog oceana, koje su vlažne.

Zračne mase koje nastaju u ovom pojasu često zalaze i u niže zemljopisne širine donoseći zahlađenje te od tuda pojeke naziv polarne zračne mase, koji očito nije najstreniji tako da se primjenjuje i naziv zračne mase umjerenih širina.

arktičke zračne mase (A) (*arctic air mass; Arktische Polarluft*) nastaju u područjima blizu Arktika, tj. iznad 70° sjeverne zemljopisne širine. Kako su ta područja pokrivena uglavnom ledom i snijegom predstavljaju istovodnu cjelinu. Pored toga ovo su i područja s povišenim tlakom i slabim vjetrovima. Ove zračne mase su vrlo hladne i siromašne vlagom.

Iako se navedena podjela odnosi na sjevernu polutku, slično vrijedi za južnu polutku s time da na južnoj postoje antarktičke zračne mase (*antarctic air mass; Antarktische Polarluft*).

b) prema kakvoći podloge postoje:

kopnene (kontinentalne) zračne mase (c) (*continental air mass; continental Luftmasse*), što i samo ime kaže, nastaju iznad kopna poprimajući svojstva koja vladaju na njegovoj površini. Kopno ne sadrži velike količine vlage, dapače na mnogim mjestima je izrazito suho. Slične značajke će poprimiti i zrak iznad kopna, stoga je općenito kopnena zračna masa suha.

morske (maritimne) zračne mase (m) (*maritime air mass; maritime Luftmasse*) nastaju iznad prostornih vodenih površina koja su izvor vodene pare. Stoga je općenito morska zračna masa vlažna.

Pretvorba svojstava jedne zračne mase u drugu nije jednoznačna. Kopnena zračna masa dolaskom nad vodu površinu mnogo lakše prihvata vodu paru, nego što je morska otpušta ukoliko dolazi nad kopno.

c) prema temperaturi podloge razlikuju se:

tople zračne mase (W) (*warm air mass; Warmluftmasse*) nastaju iznad područja s višim temperaturama i očito je da će općenito nastajati u nižim zemljopisnim širinama. Međutim, ovaj učinak topline posebno dolazi do izražaja kad

takva zračna masa napusti svoje izvoriste i dolazi nad područje koje ima nižu temperaturu od nadolazeće zračne mase. Prema tome, tople zračne mase donose porast temperatura jer su toplije od podloge.

hladne zračne mase (K) (*cold air mass; Kaltluftmasse*) nastaju iznad podloge s nižim temperaturama i stoga nastaju u višim zemljopisnim širinama. U ovom slučaju učinak hladnoće dolazi do izražaja kad takva zračna masa dolazi nad područje koje ima višu temperaturu. Stoga hladne zračne mase donose pad temperatura jer su hladnije od podloge.

d) prema stabilnosti zraka razlikuju se:

stabilne zračne mase (s) (*stable air mass; stabile Luftmasse*) su najčešće tople i suhe zračne mase. Naime, iznad hladne podloge tople zračne mase se hlade, javlja se sve veća stabilnost i u slučaju inverzije takva zračna masa je izrazito stabilna. Ovi učinci naročito dolaze do izražaja pri suhom zraku. Stoga se često kaže da je tipična topla zračna masa ujedno i stabilna.

nestabilne zračne mase (u) (*unstable air mass; labile Luftmasse*) su najčešće hladne i vlažne zračne mase. Iznad tople podloge hladne zračne mase se griju, javlja se smanjenje stabilnosti koje obično prelazi u nestabilnost (labilnost) kad temperatura zraka s visinom značajno pada. Ako je pritom zrak bogat vodenom parom pojava nestabilnosti je više izražena. Stoga je tipična hladna zračna masa nestabilna, osim na svom izvorištu gdje je stabilna.

Znakovito je naglasiti svezu temperature i vlažnosti zraka, jer porastom temperature zrak može poprimiti više vodene pare i postati nestabilan, ali istodobno zrak s visokom temperaturom poprima značajke tople zračne mase (stabilno). Očito je da treba nastupiti izvjestan odnos temperature i vlažnosti zraka u cilju definiranja stabilne ili nestabilne zračne mase. Proces razvika značajki stabilnosti i nestabilnosti zračnih masa je od velikog značaja, jer u velikoj mjeri određuje vremenske pojave u atmosferi.

### 17.3. Vrijeme u pojedinim zračnim masama

Ovisno da li je pojedina zračna masa nastala u nižim ili višim zemljopisnim širinama, nad kopnom ili morem ona poprima određene značajke: topla ili hladna, suha ili vlažna. Primjenjujući oznake za zračne mase može se lako obilježiti svojstvo pojedine zračne mase i pratiti njezine promjene kad napusti izvoriste. Često se zračne mase obilježavaju kao tople ili hladne s naznakama iz kojih zemljopisnih područja pojeću te da li sadrže vlagu kao:

Ec, WEm, WTc, WTm, WFc, WPM,  
KTc, KTM, KPc, KPm, KAc, KAm.

Potrebno je istaći da oznake tople ili hladno ne predstavljaju vrijednosti temperature zraka već razliku temperatura zraka u odnosu na podlogu. Stoga zrak iz polarnog područja s temperaturom npr. -5 °C predstavlja topli zrak kad dođe iznad područja s temperaturom npr. -10 °C. S druge strane, tropski zrak temperature 20 °C je hladni zrak ako dođe na područje s temperaturama 25 °C.

Spomenuto je da zračne mase mogu biti stabilne ili nestabilne (labilne), stoga će i značajke vremena biti različite. Topla zračna masa zapaža se redovito nad kopnom u hladno doba godine; značajno vrijeme je slojasta zatvorena naoblaka (stratusi) kadkad popraćena rosuljom ili stvaranjem advekcijских magla. Turbulencija u toploj zračnoj masi je mala pa su stoga i uspravne razmjene topline i vlažnosti male. Hladna nestabilna zračna masa pojavljuje se redovito nad kopnom u toplo doba godine, osobito pri prirodri- ma morske polarne i morske arktičke zračne mase. Tipično vrijeme u takvim zračnim masama su konvekcijски oblaci (većinom kumulonimbus), pljuskovite oborine, često i grmljavine. Osnovne značajke zračne mase (toplo, hladno) lako doživljavaju promjene tj. lako prelaze jedna u drugu i obrnuto. Dnevni hod meteoroloških elemenata je osobito velik.

Poznavanje razdiobe atmosferskog uspravnog temperaturnog gradijenta na širem području omogućava određivanje statičke stabilnosti  $S$  zračnih masa.

$$S = \delta - \gamma$$

17(3)

Naime, u indiferentnoj atmosferi, kada je  $\delta = \gamma$  stabilnost je jednaka nuli, a također nema ni promjene potencijalne temperature s visinom, izraz 1-8(11). U stabilnoj atmosferi ( $\delta > \gamma$ ) potencijalna temperatura se povećava, a u nestabilnoj ( $\delta < \gamma$ ) smanjuje s visinom. Zbog toga se često atmosferska stabilnost izražava pomoću uspravne promjene potencijalne temperature u atmosferi.

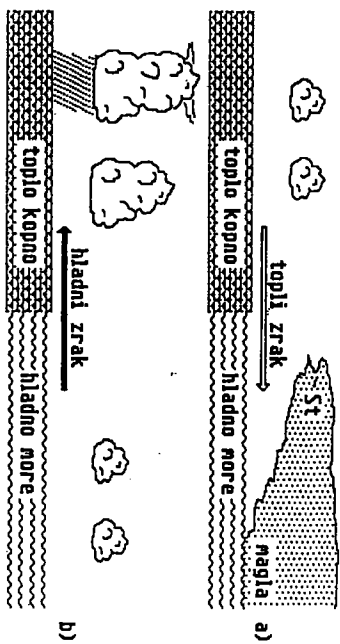
Poznavanje vodoravne razdiobe statičke stabilnosti značajno je u vremenskoj analizi i prognozi. Ako hladna zračna masa naiđe na planinsku (orografsku) prepreku u situaciji kad je atmosfera statički stabilna tada zračna masa ne može prelaziti preko prepreke već je može zaoblaziti. U slučaju statički nestabilne atmosfere nailazeći zrak se diže bez znatnog utroška energije i lako prelazi preko prepreke.

## 17.4. Premještanje te razvoju vremena u zračnim masama

Zračne mase se općenito mogu gibati raznim smjerovima i brzinama te dolaziti nad područje koje se u odnosu na njih više ili manje razlikuju po svojim termičkim ili vlažnim svojstvima. Takvo premještanje zračnih masa uvjetovat će određeni razvitak vremena unutar same zračne mase. Ove promjene su znatno izražene na obalnim područjima gdje s jedne strane, najčešće nad kopnom, postoji razmjerno suh zrak, a s druge strane iznad mora je izražena mogućnost za nastajanje vlažnog zraka. Naravno, temperaturni uvjeti kao toplo ili hladno kopno, odnosno more, mogu te razlike dodatno isaknuti. Međutim, novija saznanja manje uvažavaju značaj zračnih masa i njihove pretvorbe, jer se vremenski procesi razmatraju primjenom numeričkih modela.

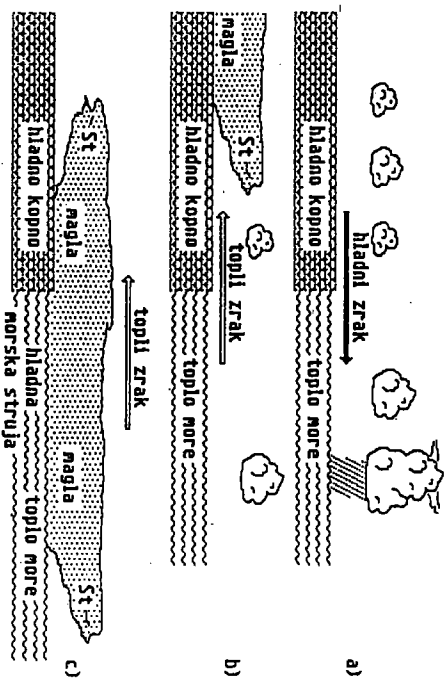
U slučaju toplog kopna i hladnijeg mora, što je češći slučaj u ljetnim mjesecima, postoje mogućnosti premještanja toplog zraka s kopna na more ili hladnog zraka s mora na kopno, što je vidljivo na sl. 17.1. Pri prijelazu toplog i ne previše vlažnog zraka s kopna nad hladnije more dolazi do hlađenja donjih slojeva zraka i djelomičnog obogaćenja zraka vodenom parom. Kako ovi uvjeti odgovaraju stabilnim vremenskim uvjetima dolazi do postupnog stvaranja niskih slojastih oblaka, najčešće stratokumulusa i stratusa,

odnosno magle, sl. 17.1. a). U drugom slučaju, kad hladan i vlažniji zrak s mora dolazi nad toplo kopno, donji slojevi zraka se griju, atmosfera postaje nestabilnija te se razvijaju grudasti oblaci, prvo kumulusi koji sve više jačaju dok ne postignu značajke kumulonimbusa iz kojih mogu pasti pljuskovite oborine, sl. 17.1. b).



Slika 17.1. Premještanje zračnih masa u priobalju (toplo kopno i hladno more)

U zimskim mjesecima je hladno kopno, dok je more razmjerno toplo. Strujanje hladnog i razmjerno suhog zraka s kopna na toplo more dovodi do grijanja i zbog pojačanog isparavanja obogaćenja s vodenom parom donjih slojeva zračne mase te postojanja atmosferske nestabilnosti uz razvitak kumulusa i kumulonimbusa iz kojih mogu padati pljuskovite oborine, sl. 17.2. a). Pri premještanju toplog i vlažnog zraka s mora na hladno kopno razvijaju se niski slojasti oblaci stratokumulusi i stratusi koji prelaze u maglu, često dugotrajnu, sl. 17.2. b).



Slika 17.2. Premještanje zračnih masa u priobalju (hladno kopno i toplo more)

Na mnogim mjestima uz morske obale teku hladne morske struje, koje predhodnu sliku mogu djelomice izmijeniti. Tada je otvoreno more toplo dok je uz obalu razmjerno hladno zbog djelovanja hladne morske struje. Takva područja u najnižim slojevima zraka su bogata vodenom parom i stoga je pojava prostranih magli, koje pokrivaju more i kopno vrlo česta, sl. 17.2. c).

Dopunska literatura

Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.  
Dunn, W., 1975: Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 518.  
England, J. i H. Ubricht, 1980: Flugmeteorologie. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 420.  
Higian, A.H., 1986: Fizika atmosfere. Gidrometeorizdat, Leningrad, 328.  
Makjanić, B., 1967: Osnove meteorologije. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 243.  
Marveev, L.T., 1984: Kurs obšei meteorologii. Gidrometeorizdat, Leningrad, 751.

18. ATMOSFERSKE FRONTE

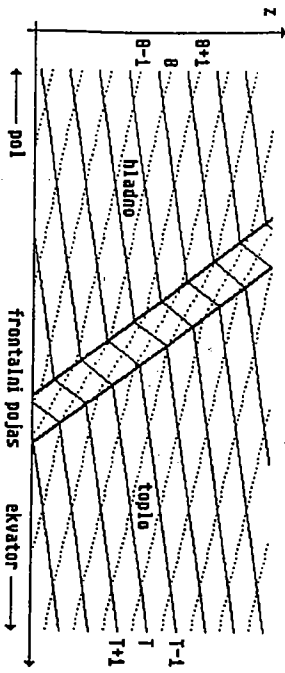
18.1. Definicija i nastajanje fronte

Već je na prvim meteorološkim kartama zapaženo da dvije različite zračne mase mogu biti u razmjernoj blizini i da postoji područje gdje se vrijednosti meteoroloških elemenata i pojava znatno mijenjaju. To je uočio Bjerknes 1918. te uveo pojam fronte u meteorologiju i opisao njezine osnovne značajke.

Zračna masa napuštanjem svog izvorišta može doći u blizinu neke druge zračne mase. Kako općenito postoje različitosti svojstava zračnih masa između njih će nastati područje u kojem svojstva jedne zračne mase prelaze u svojstva druge zračne mase. To znači da su dvije različite zračne mase obično odvojene prijelaznim područjem odnosno frontalnim pojansom (zonom) (engleski: *frontal zone*; njemački: *Frontalzone*), u kojem se fizikalna svojstva zraka srazmjerno brzo mijenjaju u vodoravnom smjeru. Može se pokazati da je ukupna promjena temperature, potencijalne temperature ili ekvivalentno potencijalne temperature u jednoj zračnoj masi približno istog reda veličine kao i veličina promjene tih elemenata kroz prijelazni odnosno frontalni pojas. Tipični frontalni pojas ima duljinu i više tisuća kilometara, u smjeru napredovanja širok je i preko 100 km, a po visini se može protezati kroz cijelu troposferu. Sužava li se frontalni pojas, razlike između zračnih masa postaju veće i frontalni pojas prelazi u frontalnu plohu te postoji frontogenetički proces ili kraće frontogeneza (*frontogenesis*; *frontogenese*). Kad se frontalni pojas širi, znači da se razlike svojstava između susjednih zračnih masa smanjuju pa se kaže da postoji frontolitički proces ili kraće frontoliza (*frontolysis*; *frontolysel*). Frontalna ploha nije geometrijska ploha nego ima debljinu više desetaka kilometara pa do nekoliko kilometara. Frontalna ploha je koso područje tj. granica protezanja frontalnog pojasa. Područje presjeka frontalnog pojasa (plohe) i Zemljine površine (odnosno projekcija donjeg dijela pojasa na Zemljinu površinu) zove se frontalna pruga, međutim, ukoliko ne treba ukazivati na širinu tog područja, posebno u slučaju krupnih razmjera, naziva se i frontalna crta ili linija ili još kraće fronta (*front*; *Front*).

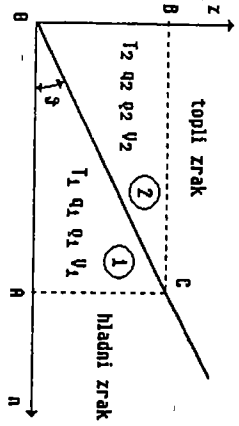
Jedna od najvažnijih razlika između zračnih masa su razlike u temperaturi i vlažnosti i s njima povezane razlike u gustoći zraka odnosno potencijalnoj energiji. Hladnija zračna masa bit će gušća i teža, pa će se javiti gradijent tlaka koji će težiti da stvori gibanje zraka u smislu smanjenja potencijalne energije. Najmanja potencijalna energija bit će kad je hladni zrak ispod toplog. Ravnoteža će se uspostaviti kad se hladni zrak postavi u obliku klina ispod toplog zraka. Nagib frontalne plohe je mali i iznosi 1:100. Takva frontalna ploha je mjesto jakih fizikalnih procesa. Promjene meteoroloških elemenata i pojava u svezi fronte nisu samo u uskom području fronte već i u području više stotina kilometara ispred i iza fronte. Tip i veličina promjena meteoroloških elemenata i pojava ovisi o temperaturnoj razlici, vlažnosti, stabilnosti i brzini gibanja zračnih masa, pa se govori o više vrsta atmosferskih fronta. Ovakvi odnosi toplog i hladnog zraka mogu se proširiti i na mnogo veće razmjere. Uvažavajući općenite činjenice da zrak idući prema ekvatoru postaje topliji, a prema polovima hladniji te da postoji granično područje između takovih velikih zračnih masa, shematizirani uspravni presjek ekvator - pol, tj. uspravni presjek kroz planetni frontalni pojas prikazan je na slici 18.1. Povećanjem

zemljopisne širine izotermne su na sve manjoj visini za razliku od čita iste potencijalne temperature - izentropa, koje povećavaju svoju visinu. Ipak te promjene visina izolinja su najizrazitije u frontalnom pojasu, gdje se plohe izoterma i izentropa presjecaju pod velikim kutom tvoreći veliki broj solenoida kao mjere o jakom gibanju zraka i veličini prisune energije. Solenoidi (izobarno-izosterni) su presjecišta ploha stalnog tlaka i ploha stalnog specifičnog obujma (to je baroklina atmosfere). Jaki baroklinitet uvjetuje postojanje velikih vodoravnih temperaturnih gradijenata i stroga jakih termalnih vjetrova (točka 1-9.5.).



Slika 18.1. Uspravni presjek kroz planetni frontalni pojas

Nagib frontalne plohe i razlioba temperature, vlažnosti, vjetera i drugih termodinamičkih značajki zračnih masa osobito se zapažaju na uspravnim presjecima atmosfere.



Slika 18.2. Uspravni presjek kroz frontalni pojas

Pojednostavljena slika takvog uspravnog presjeka je prikazana na slici 18.2. iz kojeg proizlazi nagib frontalne plohe  $\theta$  kao:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta z}{\Delta n} \quad 18(1)$$

Primjenom hidrostatičke jednadžbe 1-6(2) u točki C s obje strane frontalne plohe slijedi vrijednost tlaka u točkama A i B:

$$P_A = P_C + g \rho_1 \Delta z \quad P_B = P_0 - g \rho_2 \Delta z \quad 18(2)$$

Gradijent tlaka između točaka 0 i A (u hladnom zraku) te B i C (u toplom zraku) je:

$$\left( \frac{\Delta p}{\Delta n} \right)_1 = \frac{P_A - P_0}{AO} \quad \left( \frac{\Delta p}{\Delta n} \right)_2 = \frac{P_C - P_B}{CB} \quad 18(3)$$

Uvrštavajući 18(2) u 18(3) te međusobnim oduzimanjem slijedi:

$$g(\rho_1 - \rho_2) \frac{\Delta z}{\Delta n} = \left( \frac{\Delta p}{\Delta n} \right)_1 - \left( \frac{\Delta p}{\Delta n} \right)_2$$

Primjenom izraza za geostrofički vjetar 1-9(12), koji puše paralelno s frontalnom prugom obzirom na gradijent tlaka, te nakon sređivanja primjenom izraza 18(1) i plinske jednadžbe slijedi:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{f V_1 - V_2}{g T_2 - T_1} T_m \quad 18(4)$$

gdje su  $V_1$  i  $V_2$  geostrofički vjetar u hladnom odnosno toplom zraku čije su temperature  $T_1$  i  $T_2$ , a  $T_m$  je srednja temperatura zraka obju zračnih masa. Ovo je najjednostavniji izraz za nagib frontalne plohe, a potječe od Margulesa iz 1906. Bimo je istaci da taj izraz vrijedi u uvjetima geostrofičke i hidrostatičke ravnoteže (nema uspravnih gibanja), što znatno odstupa u stvarnosti. U području ekvatora, gdje je Coriolisov parametar jednak nuli, frontalna ploha nema nagiba. Izraz pokazuje da je nagib frontalne plohe to manji što je razlika temperatura veća, a razlika brzina vjetera manja. Za stalnu razliku brzina vjetera nagib će biti manji povećanjem temperaturnih razlika i obrnuto. Ipak, pri porastu razlika temperatura na frontalnoj plohi povećava se i razlika brzina vjetrova. Pokazalo se da promjena temperature od 1°C/100 km dovodi do promjene brzine vjetera na fronti za oko 3 m s<sup>-1</sup>. Ova promjena vjetera više doprinosi povećanju nagiba nego što promjena temperature doprinosi smanjenju nagiba. Stoga povećanje vodoravnog temperaturnog gradijenta kroz frontu dovodi do povećanja nagiba frontalne plohe. Frontalna ploha u stvarnosti čini mali kut sa Zemljinom površinom koji je uglavnom između 0,5 i 1,5°.

U odnosu na frontalnu plohu položaji zračnih masa djeluju kao da su u suprotnosti s padom temperature zraka s visinom. Naime, temperatura pada s visinom u svakoj masi, iako uz različit uspravni gradijent temperature, pa je srednja temperatura "toplije" mase, koja je na većoj visini, niža od srednje temperature "hladnije" mase koja je uz Zemljinu površinu. Ako se čest zraka iz gornje ("toplije") mase adijabatski dovede na razinu gdje je čest donje ("hladnije") mase, bit će čest gornje mase toplija od one iz donje mase. To

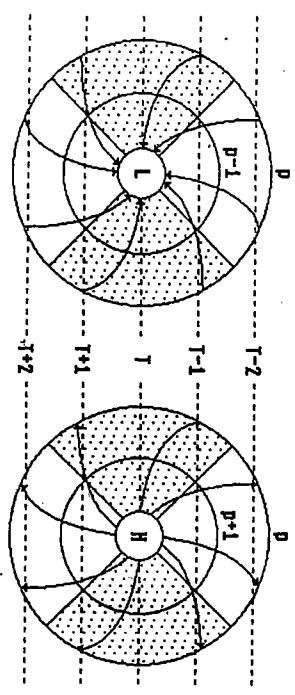
znaki da masa koja leži iznad frontalne plohe ima veću potencijalnu temperaturu; ona je potencijalno toplija od mase koja se nalazi ispod frontalne plohe.

Uvijeti postoje tri osnovne vrste frontogeneze odnosno frontolize: kinematika, dinamika i orogenska.

2) kinematički uvjeti nastaju kad se pri određenim tipovima strujanja ne podudaraju polja temperature sa strujnim poljem. Neki elementi strujnog polja su prikazani u točki 1-9.1., dok se općenito strujno polje može rastaviti na šest osnovnih oblika polja strujanja. To su translacija (prijestavljanje), rotacija (vrtanja), kontrakcija (stezanje), dilatacija (razvlačenje), konvergencija (zbližavanje) i divergencija (razilaženje). Kontrakcija i dilatacija objedinjuju proces deformacije (izobličenje), dok su konvergencija i divergencija procesi sa suprotnim predznakom. U linearnom strujnom polju navedene veličine su konstante. Svaka od ovih veličina može dovesti do procesa frontogeneze ili frontolize, no u prirodi većinom djeluju zajedno.

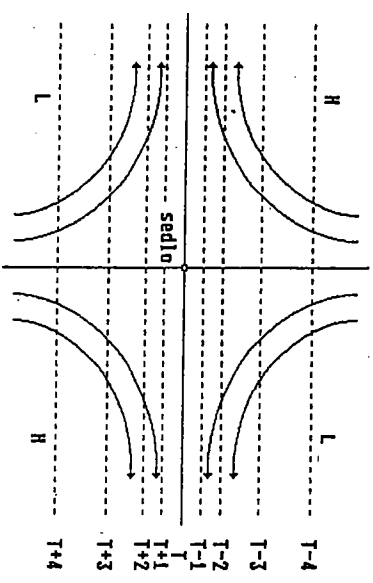
Translacija (prijestavljanje) → u nekom smjeru) odnosno advekcija postoji uz pravocrtne izobare (izohipse) s jednakim međusobnim razmakom. Tada se gradijenti (npr. temperature) ne mijenjaju, što znači nema frontogeneze ili frontolize.

Rotacija (vrtanja) sa stalnom kutnom brzinom uvjetuje okretanje npr. izotermi oko središta vrtinje, a kako se međusobna udaljenost česti zraka na visini ne mijenja ne može doći do frontogeneze ili frontolize. Međutim, u najnižim slojevima atmosfere česti zraka se zbog trenja ne gibaju uzduž izobara već ih sijeku pod nekim kutom. Ako polje tlaka s kružnim izobarama (ciklone ili anticiklone) siječe izotermu s orijentacijom zapad - istok, skretanje vjetera zbog trenja uvjetuje u zapadnom i istočnom kvadrantu polja tlaka frontogenezu, a u sjevernom i južnom frontolizu, slika 18.3.



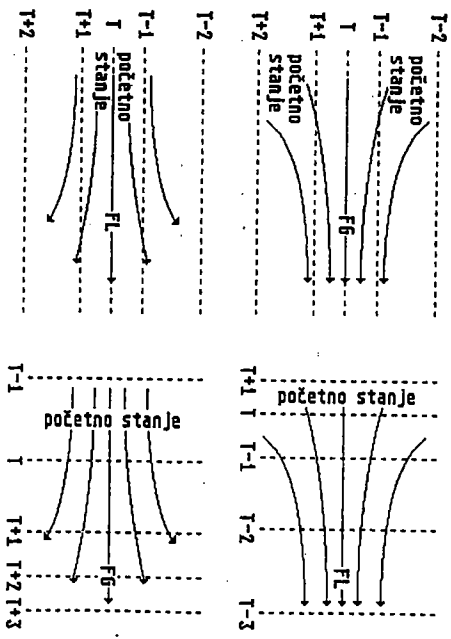
Slika 18.3. Frontogenetička (točkasto) i frontolitička područja u cikloni i anticikloni

Kontrakcija (stezanje) dovodi do frontogeneze, jer približava izotermu, za razliku od dilatacije (razvlačenja) koja daje frontolizu. Ovi procesi mogu djelovati zajedno tvoreći deformaciju (izobličenje) nekog obujma, kada se brzine obaju polja u svakoj točki vektorski zbrajaju pa strujnice rezultantnog gibanja daju istu sliku kao dva maksimuma i dva minimuma tlaka smještena ukrziž, u čijem središnjem dijelu postoji sedlo, slika 18.4. Ako su u polju deformacije izotermu paralelne s osi dilatacije, doći će do frontogeneze, dok izotermu paralelne s osi kontrakcije dovode do frontolize.



Slika 18.4. Deformacijsko polje, stvaranje frontogeneze i sedla

Općenito, izotermu nisu paralelne s osima deformacije. Tada je važan kut koji one čine s osi dilatacije. Za kut manji od 45° nastupa frontogeneza. Za kut veći od 45° najprije nastupa frontoliza, ali ako taj proces potraje duže vremena izotermu će zakretati sve više u položaj paralelan s osi dilatacije te će na kraju frontolitički proces preći u frontogenetički.

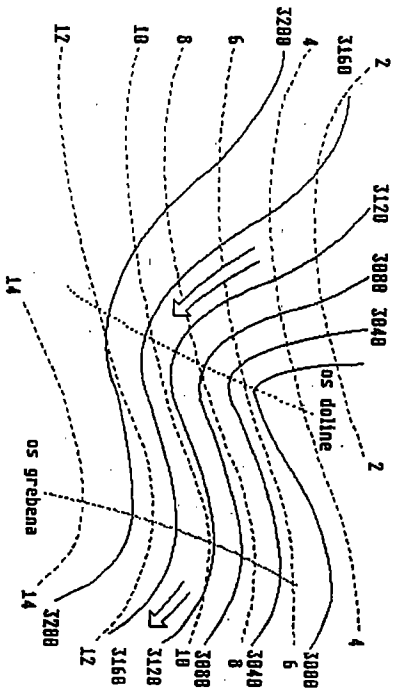


Slika 18.5. Konvergencija i divergencija u odnosu na orijentaciju izotermi te nastajanje frontogeneze (FG) odnosno frontolize (FL)

Konvergencija (zbližavanje) dovodi do zgušnjavanja strujnica i stoga pri malim kutovima advekcije dolazi do frontogeneze, a divergencija (razilaženje) daje razmakute strujnice i time frontolizu, što je vidljivo na slici 18.5. lijevo. Desna strana

slike, koja vrijedi za velike kutove između strujnica i izotermi, daje obrnute procese, tj. zgušnjavanje strujnica uz povećanu brzinu daje frontolizu, a razmaknute strujnice koje su pradeće smanjenjem brzine daju frontogenezu.

Obzirom da u prirodi procesi djeluju udruženo to su procesi frontogeneze ili frontolize znano složniji. Najčešći slučaj takovih procesa je valne prirode kojeg tvore dolina niskog i greben visokog atmosferskog tlaka, posebno u području kojeg tvore zemljopisnih širina. Na zadnjoj strani doline odnosno prednjoj strani grebena postoji izražena advekcija hladnog odnosno toplog zraka, dok su na prednjoj strani doline i zadnjoj strani grebena izohipse i izoterme skoro paralelne. Stoga u području osi doline dolazi do zblizavanja izotermi, a u području osi grebena do razilaženja. Tako je područje doline frontogenetičko, a grebena frontolitičko, slika 18.6.



Slika 18.6. Frontogeneza uzduž osi doline i frontoliza uzduž osi grebena; AT 700

b) 'dinamički uvjeti frontogeneze ili frontolize nastaju zbog razmjene topline s podlogom. Pritom je češća frontoliza. Tada unutar zračne mase može nastati područje niskog tlaka, gdje se kasnije mogu razviti fronte.

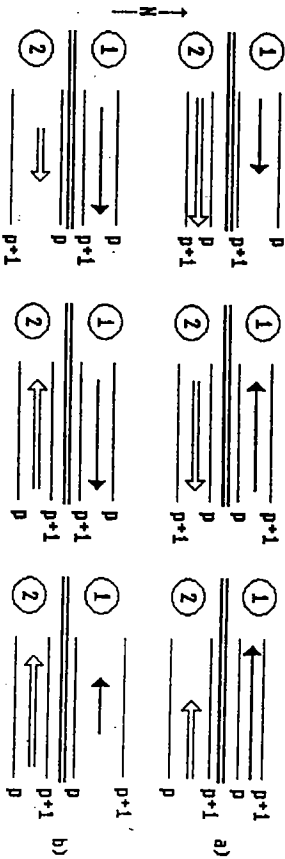
Nejednoliko zagrijavanje podloge (na velikim prostranstvima) može dovesti do nastajanja termičkog područja niskog tlaka nad toplijim predjelima (toplinske ciklone). Uz zagrijavanje tu djeluju i drugi čimbenici, ali je ujednoj zagrijavanja najznačajniji. To su npr. područja niskog atmosferskog tlaka za vrijeme ljetnog monsuna u južnoj Aziji. Kruženje u toplinskoj cikloni se odvija kao i u drugim ciklonama (točka 19.2), ali je naobak slabije izražena. Dapače, često postoje duga razdoblja vedrine naročito nad ravnim predjelima.

Druge vrste područja niskog tlaka nastaju zbog nestabilnosti u zračnoj masi, koje katkada nastaju u polarnoj zračnoj masi, kad ona prelazi preko tople podloge.

c) orogenski uvjeti nastaju djelovanjem planinske (orografske) prepreke uvjetujući promjene zračnog strujanja i tako mogu dovesti do procesa frontogeneze ili frontolize. Frontogeneza je obično kad frontalne plohe nailaze na ili prelaze orografsku prepreku, a frontoliza je obično u zavjetrni prepreke. Međutim, u zavjetrni brda

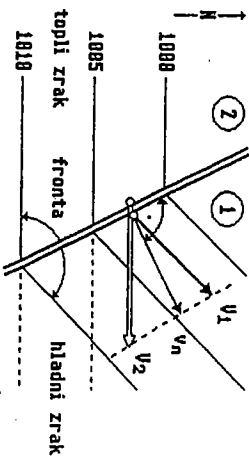
može doći do stvaranja orogenske ciklone u kojoj je uglavnom vedro zbog adijabatskog spuštanja zraka (fen).

Pri izvođenju izraza 18(4) pretpostavljene izobare su paralelne s frontalnom prugom tako da geostrofički vjetar puše paralelno s frontom. Uzima se da je topli zrak iznad hladnog, tj. nisu moguće kombinacije smjera i brzine vjetra koje bi dale takav nagib da najčešće strujanja u vodoravnoj ravni. Izraz "nemoguća" znači da se takvo strujanje ne može održati dulje vremena; ono može biti samo kratkotrajna prijelazna pojava. Polje vjetra u "mogućem" rasporedu posjeduje ciklonsku vrtložnost, dok u "nemogućem" rasporedu posjeduje anticiklonsku vrtložnost. Prema tome fronte su moguće samo uz ciklonsku vrtložnost vjetra.



Slika 18.7. Mogući (a) i nemogući (b) odnos vjetra u hladnom (1) i toplom (2) zraku na stacionarnoj fronti u vodoravnoj ravni

Jasno je da frontalna ploha uzduž koje bi puhali geostrofički vjetrovi ne bi mogla mijenjati svoj položaj. Kako se fronte u atmosferi gibaju, jer se i zračne mase gibaju, slijedi da i vjetar mora imati komponentu okomitu na frontu, pri čemu te komponente vjetra okomite na frontalnu plohu obje mase moraju biti jednake, jer bi inače ili nastao zrakoprazni prostor ili bi došlo do prekršaja zakona nepromičnosti. Slika 18.8. prikazuje jedan od mogućih slučajeva polja vjetra.



Slika 18.8. Jednakost komponentata vjetra okomitih na frontalnu plohu s obje strane fronte uz lom izobara i promijene vjetra

Na slici 18.8. izobare nisu paralelne s frontom. Ipak izobare na fronti ne mogu biti savijene kako god, već na određeni način. Neka je s lijeve strane toplija zračna masa i neka izobara na strani toplije mase nalaze na frontu kao na slici 18.8. Da nema fronte, npr. izobara 1005 hPa nastavljala bi se kako je naznačeno, crtkano. Međutim, u području "1" nalazi se hladan odnosno teži zrak pa je i na crtkanoj crti tlak veći od 1005 hPa. Stoga izobara 1005 hPa mora zaokrenuti prema nižem tlaku, a isto tako i ostale izobare. Zakret izobara na fronti je uvijek takav da nastane oblik izobara poznat pod nazivom dolina niskog tlaka ili kraće dolina. Jasno je, da zbog toga što izobare oštro mijenjaju smjer na fronti dolazi do skokovite (diskontinuirane) promjene gradijenta atmosferskog tlaka, jer je razmak izobara s obje strane fronte različit, slika 18.8. Zbog toga je i vjeter s obje strane fronte različit, ali uvijek je zadovoljen uvjet da su komponente vjetera okomite na frontu ( $V_n$ ) jednake u obje zračne mase.

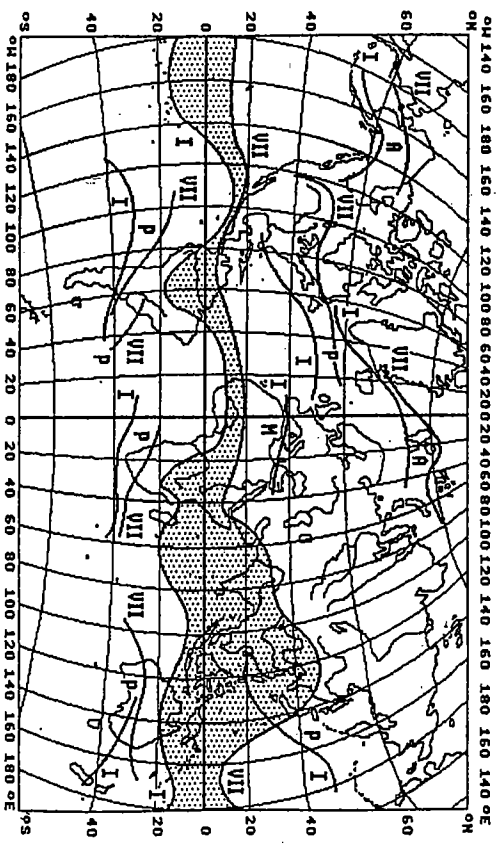
Sažeti prikaz svojstava fronte:

- fronte mogu nastati samo tamo gdje je ciklonska vrtložnost vjetera.
- fronte nastaju najčešće u dolinama niskog atmosferskog tlaka, premda su moguće svugdje gdje je ciklonska vrtložnost.
- izobare povučene kroz frontu na kojoj vjeter ima skok (diskontinuitet), moraju činiti kut manji od 180° na strani prema niskom tlaku.
- ako vjetrovi s obje strane frontalne plohe pušu njoj paralelno, frontalna ploha neće mijenjati položaj u prostoru, to je stacionarna (nepokretna) fronta.

Međutim, u slučaju da vjeter nije paralelan s frontalnom plohom, postoji komponenta vjetera okomitna na frontalnu plohu i fronta se mora gibati u smjeru i brzinom te komponente vjetera. Na taj način može se frontalna ploha smatrati zidom između zračnih struja koji se gibaju brzinom okomite komponente vjetera.

Osnovna razdioba zračnih masa u atmosferi je njihovo međudjelovanje ukazuje na postojanje raznih frontalnih sustava. Postoji više značajki fronti na temelju kojih ih se može razvrstati; prema mjestu nastajanja i kakovći fronte vezano s njenim gibanjem:

- a) prema zemljopisnom području postoje:
- Arktička fronta (*arctic front; Arktički front*) na sjevernoj polutki, odnosno na južnoj polutki postoji antarktička fronta (*antarctic front; Antarktički front*), zatim polarna (*polar front; Polarfront*) i unutartropska (ekvatorska) fronta (*interropical, equatorial front; intertropische Front*). Na arktičkoj fronti hladni arktički zrak graniči sa zračnim masama umjerenih širina (polarne zračne mase). Polarna fronta dijeli zračne mase umjerenih širina od suprotropskog pojasa (tropske zračne mase). Ova fronta je jedna od najvažnijih na Zemlji, jer dijeli hladniji zrak viših zemljopisnih širina od toplijeg zraka nižih širina. Stoga se granica među ovim planehim zračnim masama, pogotovo kad nema gibanja ili su zanemarljiva, naziva stacionarna planetna fronta, koja se proteže uglavnom zapad istok, i određuje nastajanje ciklona (točka 19.). Unutartropska fronta se nalazi između dviju tropskih zračnih masa pojedinih polutki, tj. između stalnih vjetrova pasata. Ove fronte se nazivaju i glavnom frontama, slika 18.9. Postoje i druge fronte vezane uz određeno zemljopisno područje, kao npr. Sredozemna fronta.



Slika 18.9. Glavne planetne fronte: arktička (A), polarna (P) fronta, njihov položaj u siječnju (D), sjpnju (VII), točkasto unutartropski pojas konvergencije

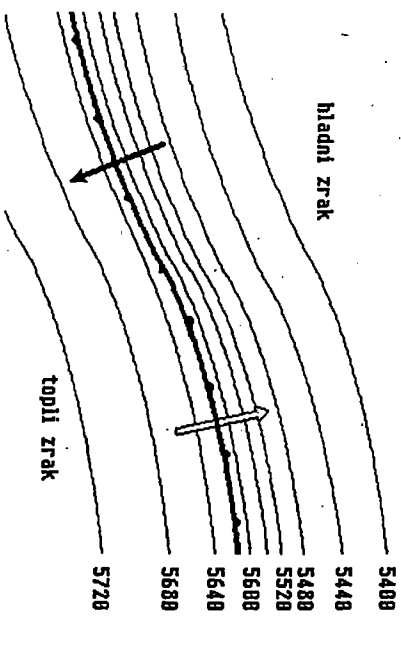
- b) prema temperaturnim svojstvima zračnih masa koje napreduju postoji termička podjela fronti, što je najčešće uporabna podjela fronti.

Fronta se kreće ako jedna zračna masa napreduje i zauzima mjesto druge zračne mase. Pri gibanju fronte moguće je da se fronta giba prema toplijem odnosno prema hladnijem zraku. Ako napreduje topla zračna masa govori se o toploj fronti, napreduje li hladna masa nastaje hladna fronta. Brzine gibanja toplih i hladnih fronti se razlikuju, obično su hladne fronte brže i stoga mogu dostići neku toplu frontu. U takvim situacijama, kad se sudaraju dvije fronte, nastaje okludirana fronta. Gledajući temperatura hladnih zračnih masa tople odnosno hladne fronte moguća su tri slučaja:

- ako je temperatura hladnog zraka iza hladne fronte viša od temperature hladnog zraka ispred tople fronte, onda se hladna fronta penje nad toplu frontu. To je topla okluzija.
- ako je temperatura hladnog zraka iza hladne fronte niža od temperature hladnog zraka ispred tople fronte, onda hladna fronta podilazi pod toplu frontu i izdiže je. To je hladna okluzija.
- ako su temperature hladnog zraka iza hladne i ispred tople fronte podjednake, onda se obje fronte izdižu i isčežavaju sa Zemljinje površine. To je neutralna okluzija.
- c) prema visini postoje:
- prizemna fronta, to je najčešći oblik fronti,
  - visinska fronta, kad frontalni pojas ne dosiže Zemljinu površinu.

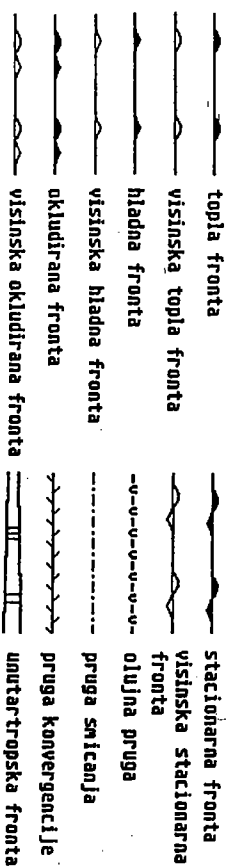


Skok u vodoravnom gradijentu temperature zraka u području fronte može se dobro prikazati srednjom temperaturnom sloja zraka. Karte relativne topografije, koje izražavaju debljinu sloja u geopotencijalnim metrima (gpm) istodobno prikazuju i srednju temperaturu sloja zraka, slika 18.10.



Slika 18.10. Položaj fronte prema izohipsama relativne topografije (RT 500/1000)

Na meteorološkim (sinoptičkim) kartama postoje razne oznake za označavanje frontalnih sustava ovisno o njihovim značajkama. Primjer takvog označavanja je dan na slici 18.11. Općenito, polukružići označavaju toplu frontu, trokutići hladnu, zajedno predstavljaju okludirane fronte; ispunjeni elementi označavaju sustave pri Zemljinoj površini, a prazni na visini. U odnosu na osnovnu crtu orijentacija elemenata predstavlja osnovni smjer napredovanja frontalnih sustava. Ako su oznake u bojama tada crvena koja predstavlja toplu frontu, plava hladnu, ljubičasta okludiranu itd. Kod unutartropske fronte razmak između crta odgovara širini pojasa.



Slika 18.11. Obilježavanje frontalnih sustava na meteorološkim kartama

## 18.2. Podjela fronti

Već je u osnovnim crtama istaknuta podjela atmosferskih fronti prema zemljopisnom području, zatim po napredovanju zračnih masa i njihovim termičkim svojstvima, te da li dopiru do Zemljine površine. Tu su još svojstva razgraničenja zračnih masa kao olujna pruga, pruga nestabilnosti, pruga smicanja i pruga zblizavanja (konvergencije) te posebno unutartropska fronta (ekvatorska fronta tj. unutartropski pojas konvergencije – zblizavanja), o kojoj u točki 24.3.

Pri prolazu fronte preko nekog područja (mjesto) naglo se mijenjaju uz temperaturu zraka i vjetar, i ostali meteorološki elementi i pojave kao npr. vlažnost i tlak zraka, naoblaka, vidljivost i drugo, a općenito nastaju i oborine. Kako fronte uvjetuju nagle promjene vremena i one su jedan od glavnih čimbenika u vremenskoj analizi i prognozi.

### 18.2.1. Topla fronta

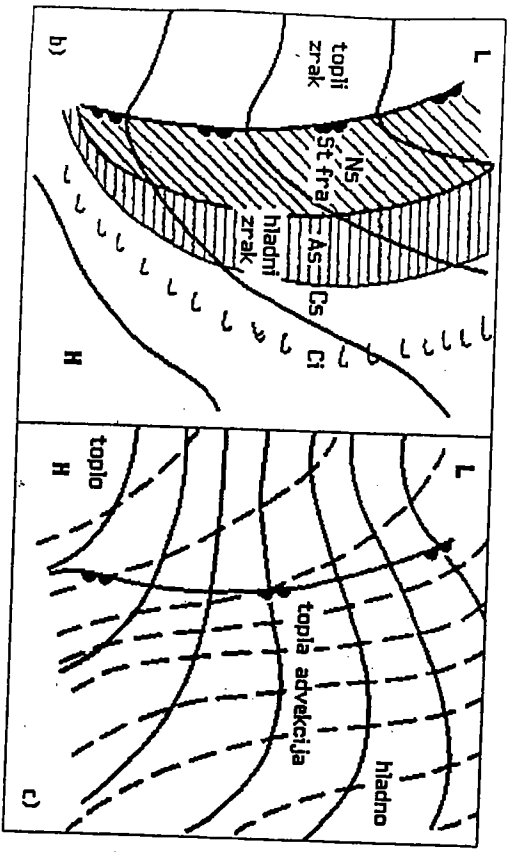
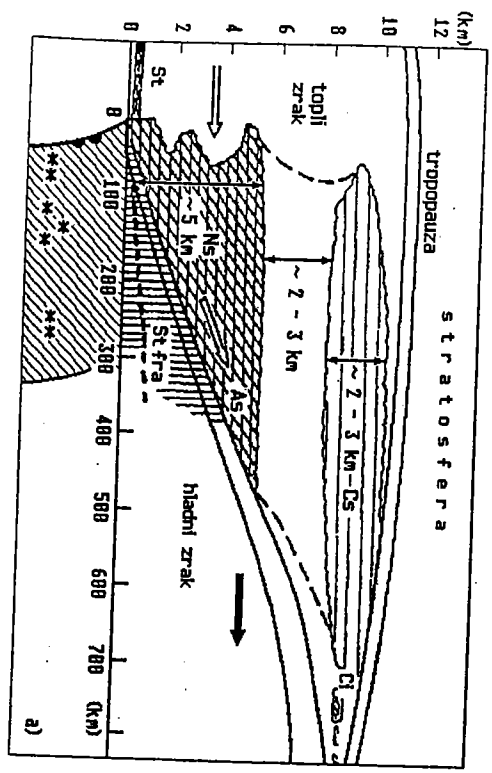
Topla fronta (*warm front*; *Warmfront*) nastaje kad topla zračna masa sustiže hladniju zračnu masu, dolazi s njom u dodir te je potiskuje. Tada topla zračna masa nadilazi iznad klina hladne zračne mase i na taj način je postupno potiskuje. Vlažan zrak se na graničnoj plohi u toplom zraku diže i adijabatski hladi, a vodena para se kondenzira stvarajući slojevit naoblaku. Na Zemljinoj površini u predfrontalnom području padaju slabe oborine koje postaju sve stalnije i jače prema frontalnom pojasu. Nagib frontalne plohe iznosi 0.5 do 1°. Na slici 18.12. prikazan je uspravni presjek tople fronte, prizemna karta s izobarama, naoblakom i oborinama te visinska karta s izohipsama i izotermama.

Promatranjem s jednog mjesta, približavanje tople fronte uočava se na horizontu pojavom cirusa na visinama 9 do 6 km, a na udaljenosti 1000 do 800 km ispred crte fronte. Ciruse slijedi sloj cirustratusa, koji općenito debljaju te daljnjim približavanjem tople fronte postupno prelaze u niži gušći sloj altostratusa (visine podnice 5 do 3 km i uspravne razvijenosti 1 do 3 km) koji se i nadalje zgušćuje. Podnica altostratusa se spušta te oblak prelazi u nimbostratus veće uspravne razvijenosti (3 do 6 km) iz kojeg padaju oborine. Širina područja oborina je 200 do 400 km ovisno o količini vodene pare u zračnim masama. Područje oborina ovisi i o godišnjem dobu. U zimi je područje oborina većinom šire nego ljeti. Ispod sloja nimbostratusa čija je podnica većinom rasstrigana, nalaze se često stratusi na visinama od nekoliko desetaka ili stotina metara. Ukoliko sloj stratusa nalegne na Zemljinu površinu isti prelazi u maglu (predfrontalna ili frontalna magla). Navedeno se uočava na slici 18.12. a) i b).

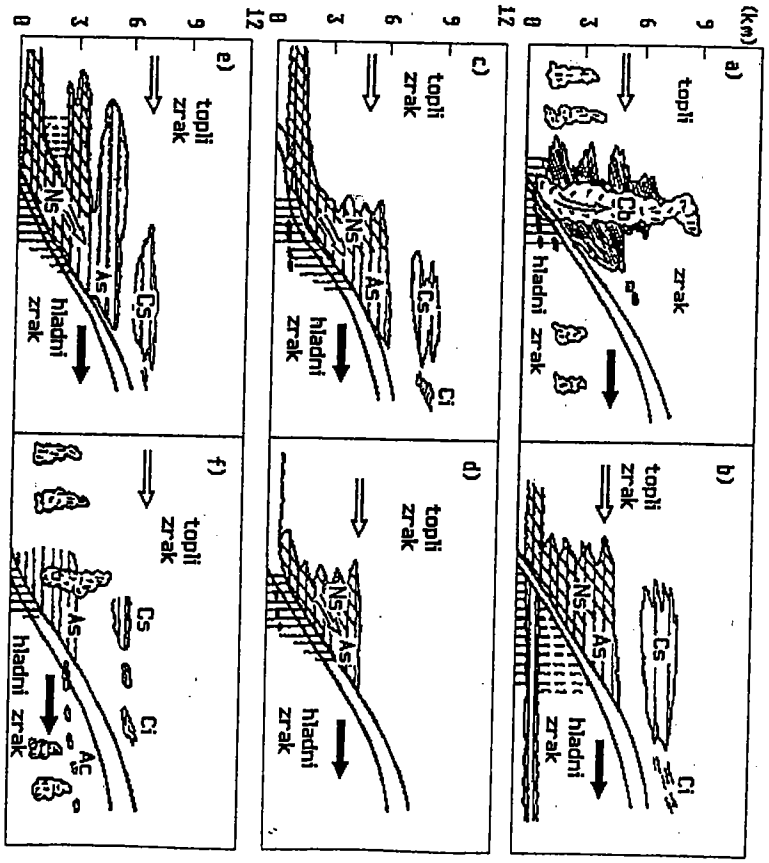
Na visinskim kartama nalazak tople fronte je određen advekcijom toplog zraka te je gradijent izotermi ili relativne topografije povećan ispred crte fronte. Na slici 18.12. c) su izotermne prikazane crtkano, a izohipse apsolutne topografije punom crtom. To se najbolje vidi na kartama AT 850.

Tople fronte su većinom stabilnog tipa sa slojevitom naoblakom (predhodni prikaz), međutim, ako je topla zračna masa nestabilna javljaju se oblaci uspravnog razvika (kumulus, kumulonimbus) pa su oborine u predfrontalnom području povremeno pojačane pljuskovima i praćene grmljavinom. To je topla fronta nestabilnog tipa, koja je češća

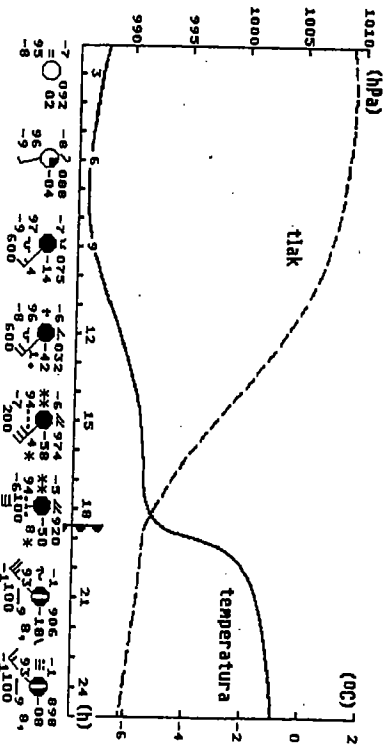
u ljetnim mjesecima, slika 18.13. a) i f). U pojedinim slučajevima kad je zrak siromašan vodenom parom neke vrste oblaka mogu izostati, slika 18.13.



Slika 18.12. Shema tople fronte; a) uspravni presjek, b) prizemna karta s izobarama, naoblakom i oborinama, c) visinska karta s izohipsama i izotermama (Zverev, 1968)



Slika 18.13. Sheme tipova toplih fronti uz pripadnu naoblaku i pojave (Zverev, 1968)



Slika 18.14. Promjene meteoroloških elemenata u točki pri prolazu tople fronte

Prolaz tople fronte iznad nekog mjesta pokazuje znakovite promjene meteoroloških elemenata i pojava, što je prikazano na slici 18.14. Atmosferski tlak u predfrontalnom području izrazito pada (barometarska tendencija iznosi nekoliko hPa/3 h), a nakon prelaska fronte uspori pad, prestane padati ili čak malo poraste. Prohlaskom fronte temperatura zraka poraste za nekoliko Celzijusovih stupnjeva, ponekad i za 10 °C. Vjetar u predfrontalnom području puše većinom iz južnog kvadranta, može dostizati brzine do 30 m s<sup>-1</sup>, a po prelasku fronte izrazito mijenja smjer i skreće na zapadni kvadrant. Ovisno o smjeru nalaska fronte, koji je općenito sa zapada, prije navedeni smjerovi vjetrova mogu i znatnije odstupati. Naoblaka je sve izraženija i mijenja se shodno prijašnjem opisu. Oborine od mogućih virga mogu preći u sipeće, no općenito jačaju i postaju najjače uoči nalaska fronte. Prohlaskom pruge fronte, koji traje do nekoliko sati, oborine slabe i prestaju te se djelomice razvedrava. Brzina premještanja tople fronte doseže, a rjeđe prelazi brzinu od 10 m s<sup>-1</sup>.

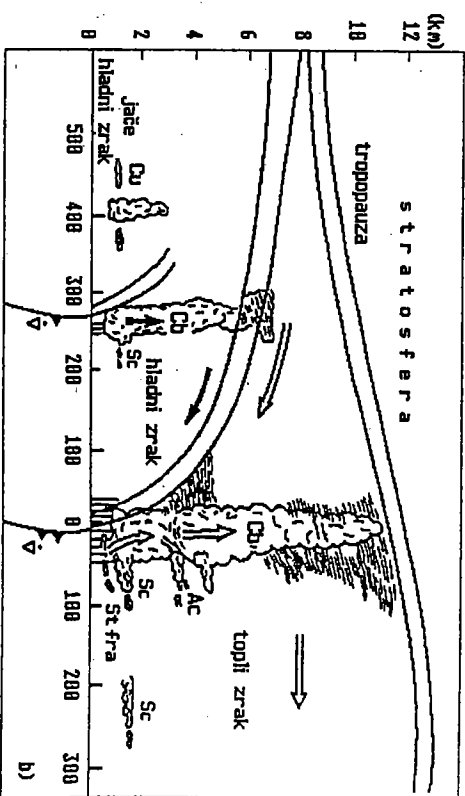
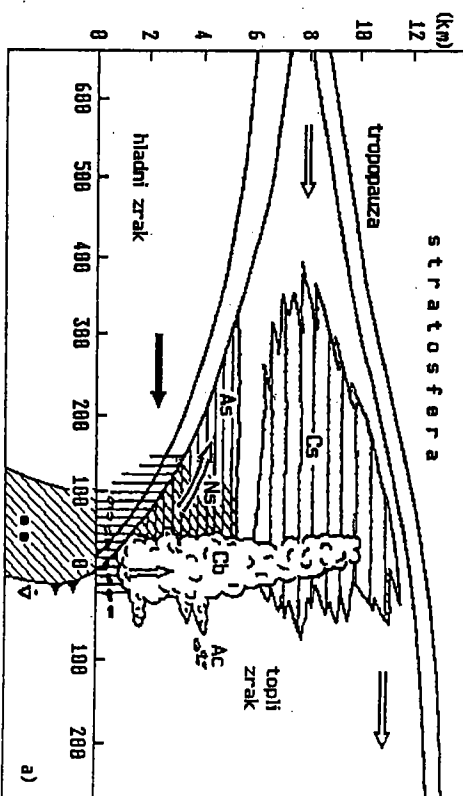
### 18.2.2. Hladna fronta

Hladna fronta (*cold front*; *Kaliforni*) nastaje kad hladna zračna masa susiže topliju zračnu masu, dolazi s njom u dodir te je poiskuje. Tada se hladna zračna masa podvlači u obliku klina ispod tople zračne mase i na taj način je postupno istiskuje. Zrak, a zajedno i vodena para se na graničnoj plohi u toplom zraku dižu, općenito jače nego u toploj fronti. Važni zrak se hladi, dok se vodena para ne počine kondenzirati stvarajući slojevit u odnosno grudastu naoblaku. Na Zemljinoj površini u frontalnom području često padaju pjiuskovite oborine. Nagib frontalne plohe je strmiji nego u toploj fronti i iznosi 1 do 1,5°.

Općenito, ovisno o brzini gibanja, postoje sporo pokretne ili usporene hladne fronte te brzo pokretne ili ubrzane hladne fronte.

Sporo pokretne ili hladne fronte I. vrste nastaju kad hladna zračna masa nadire i podvlači se pod topliju zračnu masu, koju istiskuje. Brzina premještanja hladne fronte I vrste doseže, a rjeđe prelazi brzinu od 10 m s<sup>-1</sup>, što se dešava najčešće u dobu razvoja ciklone blizu njezinog središta (točka 19.2.). Vlažan zrak se u i iznad graničnog pojasa u toplom zraku diže i hladi, te se vodena para kondenzira stvarajući slojevit u odnosno grudastu naoblaku, uglavnom iza crte fronte. Na Zemljinoj površini iza frontalne pruge padaju stane oborine iz slojastih oblaka, a pjiuskovite iz oblaka uspravnog razvika. Javlja se i gmiļavina. Na slici 18.15. a) prikazan je uspravni presjek hladne fronte I vrste.

Vrsta naoblake ovisi o količini vodene pare i atmosferske stabilnosti. U zmini je obično topao zrak stabilan, pa su oblaci slični oblacima tople fronte, ali u obrnutom redoslijedu. Širina oblačnog sloja je 300 do 500 km, a visoki oblaci često izostaju. Širina područja oborina je oko 100 km ovisno o količini vodene pare u zračnim masama i godišnjem dobu. U hladno doba je područje oborina većinom šire nego u toplo doba. U ljeto je topli zrak nestabilan, a razvija kumulonimbusa je izraženiji te dopiru do tropopauze.

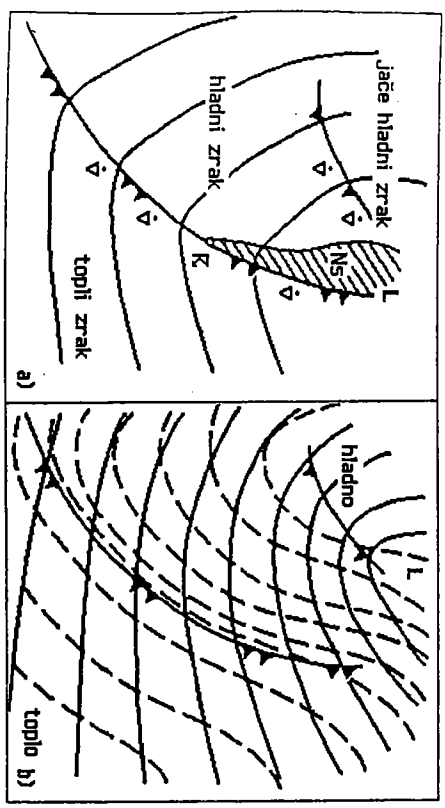


Slika 18.15. Shema hladne fronte, uspravni presjek; a) hladne fronte I vrste, b) hladne fronte II vrste (Zverev, 1968)

Brzo pokretne ili hladne fronte II. vrste nastaju kad hladna zračna masa brzo nadire i podvlači se pod topliju zračnu masu, koju naglo istiskuje. Brzina premještanja hladne fronte II vrste prelazi brzinu od 10 m s<sup>-1</sup>, ponekad doseže 130 m s<sup>-1</sup>, što se dešava najčešće u unutarnjim dijelovima ciklone (točka 19.). Zrak i vodena para se naglo dižu i hlade, a vodena para se kondenzira stvarajući grudaste oblake na ili ispred crte fronte. Oblačni susstav ima širinu 50 do 150 km, često s područjima kratkotrajnih razvedravanja ili slabo razvijenom naoblakom. Iz oblaka ispred fronte, koji su jako razvijeni, obzirom da

je glavni predstavnik kumulonimbus, padaju pijuskovite oborine praćene grmljavinom i jakim vjetrom. Širina područja oborina je do nekoliko desetaka kilometara. Kada su zračne mase s obiju strana fronte dovoljno vlažne i nestabilne širina zone oborina prelazi 100 km. U pozadini hladne fronte, uz izraženi prodor hladnog nestabilnog zraka, često se razvija znatna konvektivjska naoblaka praćena oborinama iz kumulusa i kumulonimbusa. To tvori sekundarnu (drugotnu) hladnu frontu. Na slici 18.15, b) prikazan je uspravni presjek hladne fronte II vrste, a na slici 18.16, a) prikazana je prizemna karta s izobarama, naoblakom i oborinama.

Na visinskim kartama nalazak hladne fronte je određen advekcijom hladnog zraka te je gradijent izotermni ili relativne topografije povećan iza frontalne pruge. Na slici 18.16, prikazana je prizemna karta s hladnom frontom, izobarama, naoblakom i oborinama, te visinska karta s izohipsama i izotermama, gdje su izotermne prikazane crtkano, a izohipse apsolutne topografije punom crtom. To se najbolje vidi na kartama AT 850.

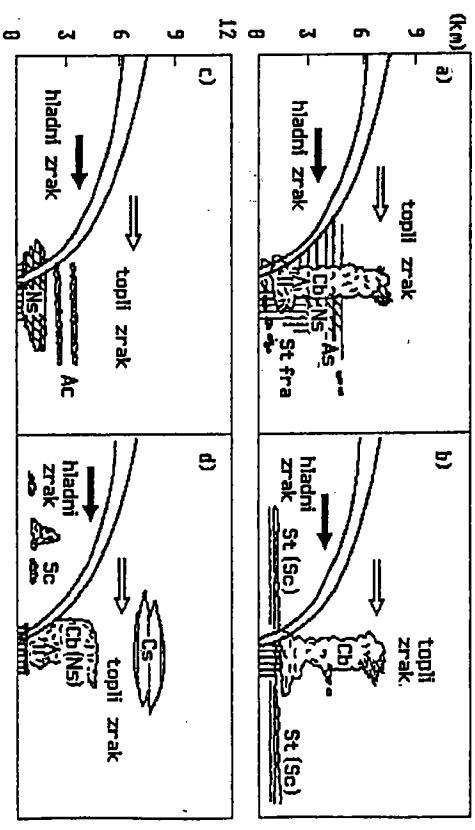


Slika 18.16. Shema hladne fronte; a) prizemna karta s izobarama, naoblakom i oborinama, b) visinska karta s izohipsama i izotermama (Zverev, 1968)

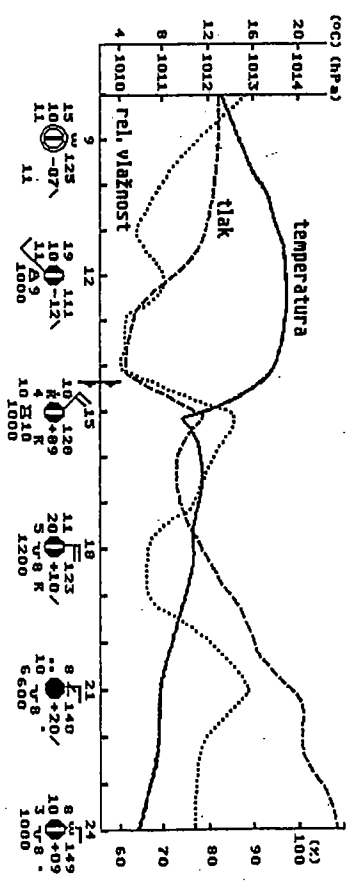
Slično kao kod tople fronte i ovdje se mogu pojaviti razni oblici hladne fronte što se vidi iz slike 18.17.

Prolaz hladne fronte iznad nekog mjesta, na sličan način kao kod tople fronte, pokazuje znakovite promjene meteoroloških elemenata i pojava, što je prikazano na slici 18.18. Atmosferski tlak se u predfrontalnom području lagano mijenja, dok izrazito raste iza frontalne pruge, pri čemu barometarska tendencija iznosi nekoliko hPa/3 h. Pritom je znakovit tzv. "grmljavinski nos", koji predstavlja kratkotrajni skok tlaka zraka (za 1 do 3 hPa u nekoliko desetaka minuta) glede prelaska kumulonimbusa i njegovih silaznih strujanja. Prolazkom hladne fronte temperatura zraka padne za nekoliko Celisusovih stupnjeva, često za 10 °C, a ponekad i znatno više. Vjetar u predfrontalnom području puše obično iz zapadnog kvadranta, po prelasku fronte izrazio mijenja smjer i skreće na sjeverni kvadrant. Vjetar može dostizati i prelaziti brzine od 30 m s<sup>-1</sup>. Međutim, hladne

fronte često zimi nailaze sa sjeveroistoka te su praćene hladnim sjeveroistočnim ili istočnim vjetrom. Naoblaka je u frontalnom području vrlo izražena i mijenja se shodno prijašnjem opisu. Oborine ovisno o vrsti fronte su jake i postižu svoju najveću jakost uz nailazak fronte. Prolazom frontalne pruge, koji traje do nekoliko sati, te nakon prestanka oborine uz djelomice razvedranje, nastupa bitno poboljšanje vidljivosti.



Slika 18.17. Sheme tipova hladnih fronti uz pripadnu naoblaku i pojave (Zverev, 1968)



Slika 18.18. Promjene meteoroloških elemenata u točki pri prolazu hladne fronte

18.2.3. Okludirana fronta

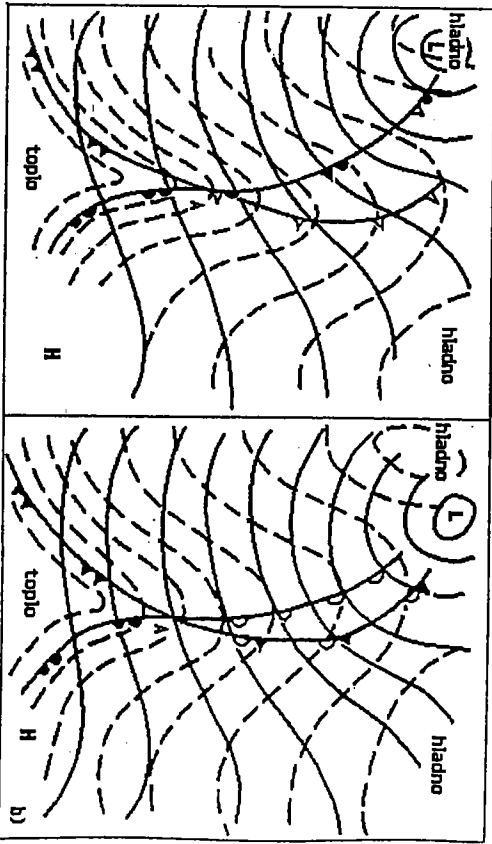
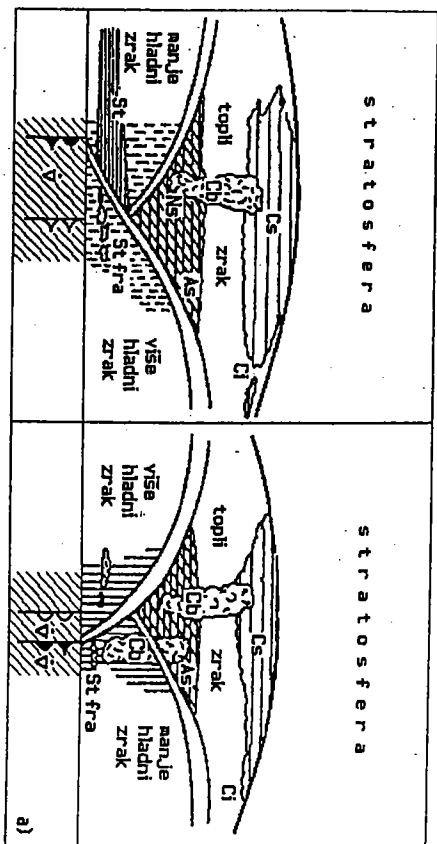
Okludirana fronta (*occluded front*; *Okklusion*) ujedinjuje značajke tople i hladne fronte, a pojavljuje se u završnom stupnju razvika ciklone (okludiranje ciklone, točka 19.2.). Naime, razne brzine gibanja atmosferskih fronta dovode do međusobnog susi-  
znanja. Pokazuje se da općenito hladna fronta kao brža može sustići toplu frontu, zato se u tom slučaju ne govori o susižanju jedne zračne mase od strane druge, već o susižanju, dodirivanju i prožimanju dviju fronti. Tada je najtoplija zračna masa potisnuta uvis, a u nižim atmosferskim slojevima stvara se fronta između dvije hladne zračne mase, od kojih je jedna ipak hladnija. Ovo spajanje fronti počinje uz središte ciklone te se širi prema njenim rubovima (točka 19.2.).

Razlikuju se dva tipa okludirane fronte: topla okluzija i hladna okluzija. Ako je hladan zrak iza hladne fronte koja je sustigla prethodnu toplu frontu manje hladan (topliji) od hladnog zraka ispred fronte stvara se topla okluzija. Hladna okluzija je kad je hladni zrak fronte koja je sustigla prethodnu hladniju od hladnog zraka prethodne fronte. Promjene meteoroloških elemenata i pojava koje prate okludiranu frontu imaju značajke fronti od kojih se sastoje, a dosta naglo se izmjenjuju, obično u početnom stupnju stvaranja okludirane fronte. Nakon potpunog dizanja toplog zraka okludirana fronta se rasplinjava, no u nekim slučajevima, ako postoji pritičanje hladnog zraka može se pretvoriti u osnovne fronte (topla okluzija u toplu frontu, a hladna okluzija u hladnu frontu).

Kod tople okluzije hladna fronta istiskuje od Zemljine površine topli zrak tople fronte, penjući se pritom na još hladniji zrak koji se prvobitno nalazio ispred tople fronte, slika 18.19. (lijevi stupac). Oblačni sustav dosta slični oblacima tople fronte, a područje oborina objedinjuje oborine tople i hladne fronte te je između okludirane fronte uz Zemljinu površinu i višinske hladne fronte može doizati širinu 300 do 500 km. Topla okluzija većinom nastaje uz zapadne obale kontinenata.

Hladna okluzija nastaje kada je hladan zrak iza hladne fronte hladniji od hladnog zraka ispred tople fronte. Tada hladna fronta istiskuje od Zemljine površine ne samo topao zrak tople fronte nego se ona kao klin podvlači ispod razmjerno manje hladnijeg zraka ispred tople fronte, slika 18.19. (desni stupac). Oblačni sustav ima dosta svojstava naoblake hladne fronte, a područje oborina i ovaj put je objedinjeno, te je od višinske tople fronte i hladne okluzije uz Zemljinu površinu i ima širinu 150 do 400 km. Okludirana fronta često je praćena i grmljavinom, a kumulusi i kumulonimbusi se pojavljuju i iza okludirane fronte. Hladna okluzija većinom nastaje uz istočne obale kontinenata.

Na visinskim kartama nailazak okludirane fronte je određen advekcijom toplog odnosno hladnog zraka te je gradijent izotermi ili relativne topografijske povećan ispred pruge tople odnosno iza pruge hladne fronte. Izotermne imaju oblik grebena tople zračne mase koji je obrubljen s toplom i hladnom frontom. Na slici 18.19. b) prikazana je uz naznaku prizemnih fronti (topla, hladna, okludirana fronta), visinska karta s izohipsama i izotermama, gdje su izotermne prikazane crtkano, a izohipse apsolutne topografijske punom crtom. Slično prethodnim prikazima to se najbolje vidi na kartama AT 850.

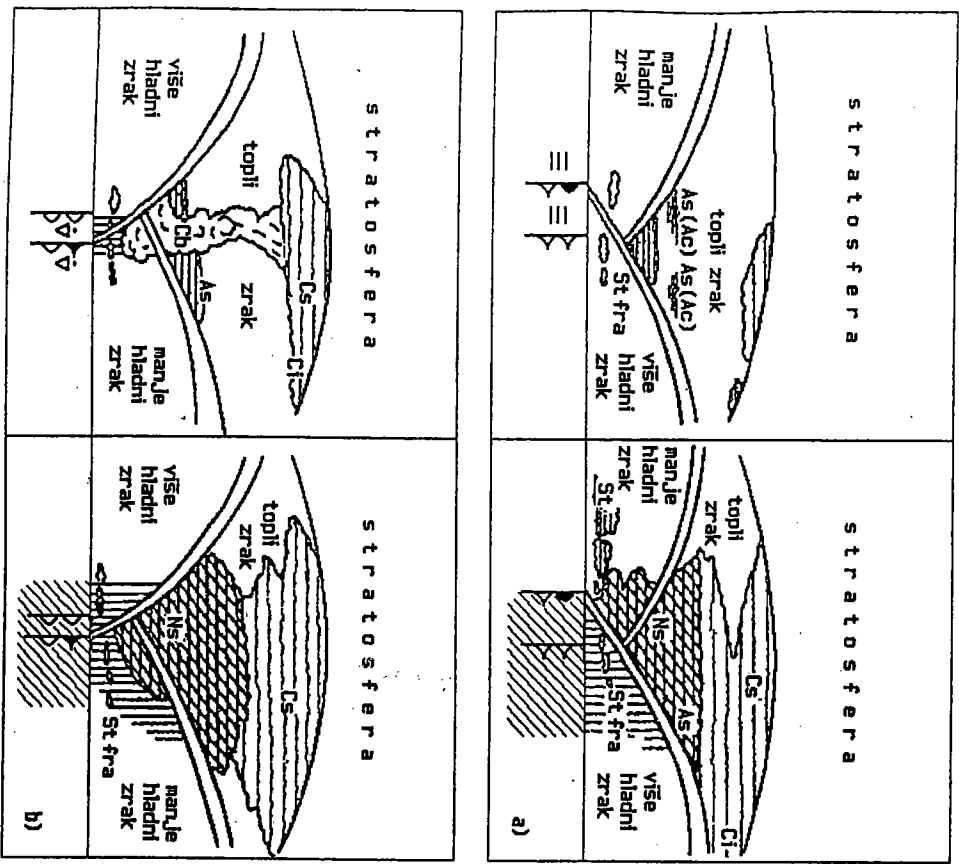


Slika 18.19. Shema okludirane fronte: (lijevi stupac topla okluzija, desni hladna), a) uspravni presjek, b) visinska karta s izohipsama i izotermama (Zverev, 1968)

Ovisno o vremenskim uvjetima, prvenstveno o količini vlažnosti, mogu se pojaviti razni oblici tople odnosno hladne okluzije, što se vidi iz slike 18.20.

Prolaz okludirane fronte iznad nekog mjesta, pokazuje slične promjene meteoroloških elemenata i pojava kao kod tople odnosno hladne fronte. Atmosferski tlak se u širem frontalnom području lagano ili znatno mijenja, najprije pada pa raste. U području grmljavina nastupaju izraženije promjene tlaka zraka glede prelaska kumulonimbusa i njegovih uspravnih strujanja. Prolaskom okludirane fronte temperatura zraka ne doživljava značajnije promjene, obično nekoliko Celsiusovih stupnjeva. Vjetar u predfrontal-

nom području puše obično iz jugozapadnog kvadranta, po prelasku fronte izrazio mijenja smjer i skreće na sjeverozapadni kvadrant. Vjeter može ponekad dostizati značajnije brzine, do 30 m s<sup>-1</sup>. Naoblaka je u frontalnom području dosta izražena (pretežno slojevita) i mijenja se shodno prijašnjem opisu. Oborine su dugotrajne i postižu svoju najveću jakost uz nalazak fronte. Nakon prolaza okludirane fronte, koji traje više sati, a ponekad i znatno duže, općenito nastupa slabljenje oborina i razvedravanje.



Slika 18.20. Sheme tipova okludiranih fronti uz pripadnu naoblaku i pojavu: a) topla okluzija, b) hladna okluzija (Zverev, 1968)

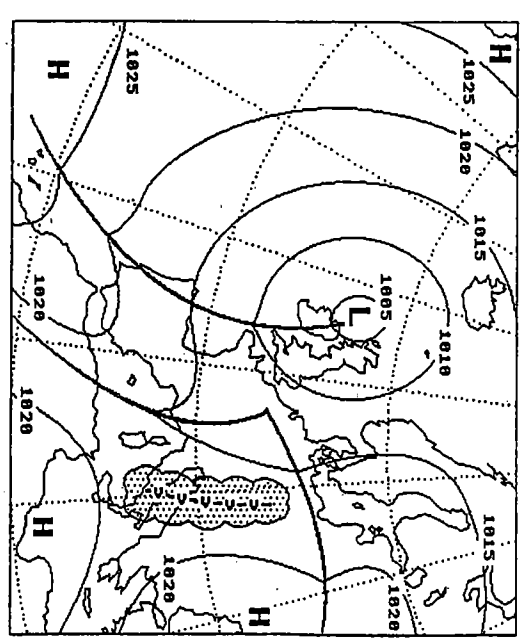
### 18.2.4. Stacionarna fronta

Stacionarna (nepokretna) fronta (*stationary front*; *Stationäre Front*) se često javlja u privedi bilo kao planetna fronta kada nema izrazitog prodora hladnog zraka prema manjim zemljopisnim širinama ili prodora toplog zraka prema višim širinama (slika 18.7.) odnosno kada topla, hladna ili okludirana fronti nema izraženu brzinu napredovanja. Tada vjeter s obje strane frontalne pruge puše paralelno s frontom, stoga frontalni pojas neće mijenjati svoj položaj u prostoru. Ipak vjeter može puhati prema fronti, ali tada okomite komponente vjetera moraju imati iste iznose. U tom slučaju postoji zblizavanje (konvergencija) strujanja i razvijaju se drugi oblici fronti.

Ukoliko hladni zrak na stacionarnoj fronti postaje sve izraženiji početi će se u najnižim slojevima ghati prema toplom zraku i fronta će poprimiti značajke hladne fronte. Slabi li hladna fronta preći će u stacionarnu ili pak u toplu frontu.

### 18.2.5. Olujna pruga

Olujna pruga ili pruga mala (*squall line*, *instability line*; *Bøenlinie*) je među najjačim olujama, jer može izazvati goleme štete. Općenito, olujna pruga je područje vrlo jakih nestabilnosti i oluja (gripljavina) koje se razvijaju u toplom isječku (sektoru) ciklone

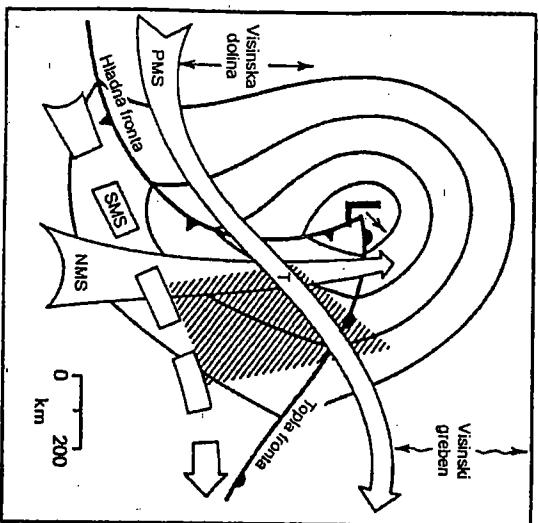


Slika 18.21. Shema položaja olujne pruge (Cb naoblaka - točkasto)

(o ciklonu u točki 19.). Olujna pruga, koja nastaje zbog termičkih i dinamičkih učinaka u zračnoj masi, ima širinu nekoliko desetaka kilometara, dužinu 100 do 500 km, a nalazi se obično 50 do 100 km, ponekad do 200 km ispred hladne fronte i pruža se s njom

približno paralelno, što je vidljivo na slici 18.21., a kako su im značajke dosta slične vrlo lako se može pogriješiti radi li se o hladnoj fronti ili olujnoj pruzi. Oblačni sustav dosiže i prelazi visinu 15 km.

Olujna pruga nastaje nailaskom brze hladne fronte koja u toplom isječku ciklone, gdje postoji vrlo jako zagrijavanje podloge, potakne dizanje nestabilnog i vlažnog zraka tj. postoji nestabilnost konvektivske prirode. Analizom slika dobivenih s radarskih pred-očnika zapaženo je da oluje koje nisu povezane s frontama teže da se poredaju kao crta koja se proteže u smjeru nailazećeg toplog i vlažnog zraka. Tada je u donjoj troposferi (1 - 3 km) advekcija toplog i vlažnog zraka (niska mlazna struja, 20 - 30  $m s^{-1}$ ; točka 22.), koji je prekriven debelim slojem zraka u kojem je advekcija hladnog i suhog zraka. Strujanja gornje i donje troposfere se razlikuju te je uzlazna struja nagnuta, stoga hidrometeor mogu iz nje ispasti, tj. nadvladati uzlazne struje. Srednje i visokotroposferski vjetrovi su jaki (maksimum mlazne struje, 35 - 65  $m s^{-1}$ ; točka 22.) i pridruženi su s odgovarajućim razilaženjem (divergencijom) iznad pojačanog dizanja, slika 18.22. Ovo je često povezano sa spuštanjem uz dobro razvijenu visinsku dolinu, gdje prevladavaju zapadni vjetrovi.

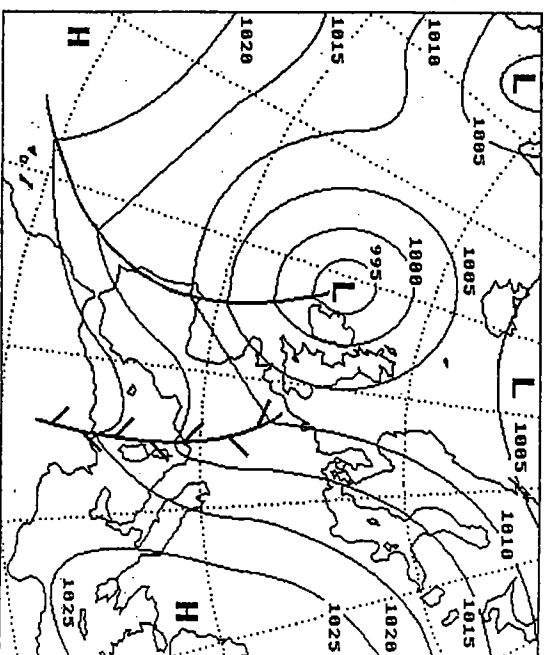


Slika 18.22. Razdioba zračnih masa i strujanja pri olujnoj pruzi polarna - PMS, suprotropska - SNS, niska mlazna struja - NMS, područje jakih oluja - prugasto, položaj pijavice/tornada - T (Barnes i Newton, 1982)

Uz prethodne uvjete konvekcija snažno izbija iznad širokog područja, ali često poprani vjeter ograničava njezinu širinu te popratne oluje, dok s druge strane pomaže njihovoj jakosti. Ovo je prisutno u predolujnoj okolici tankog sloja vrlo toplog suhog zraka odmah iznad vlažnog prizemnog sloja. Zbog toga je prizemni sloj pokriven s inverzijom i sva konvekcija je gušena dok se inverzija ne probije prizemnim grljanjem ili

veleraznijem advekcijom i oblicima uspravnih brzina. Oluje se nalaze samo u malom dijelu opće širokog područja u kojem je inverzija probijena ili vlažan zrak prolazi ispod ruba pokrivajućeg toplog suhog zraka. Vjeteri nastanka olujne pruge prikazani su na slici 18.22.

Šire područje koje pokriva olujna pruga predstavlja konvektivsku naoblaku jako uspravno razvijenuh, a vodoravno zblizjenih kumulonimbusa i kumulusa. Kako ima više vrsta kumulonimbusa ovisno o njihovoj razvijenosti (detaljnije u točki 23.), javljaju se oluje raznih jakosti, u ovom slučaju obično se javljaju "superfeljski" kumulonimbusi. Iz takvih kumulonimbusa često se javlja snažno vrložno strujanje - pijavica odnosno tornado. Oborine su u obliku jakih pljuskova, često praćene jakim tučom. Atmosferski tlak se značajno i kratkotrajno mijenja ovisno o uspravnim strujanjima, gdje uzlazna strujanja prelaze 35  $m s^{-1}$ . Tada i vjeter izrazio mijenja smjer i javljaju se snažni udari vjetera koji lako dostižu 30 m/s, pa čak ponegdje i 50  $m s^{-1}$ . Vidljivost u području oborina je vrlo loša, dok se bino poboljšava prolazom oluje. Trajanje ovakvih oluja je 6 do 12 h. Sve ovo uvjetuje da vremenski procesi uz olujne pruge spadaju među najjače i najopasnije. Za zrakoplovstvo, ali i druge grane prometa olujna pruga je jako opasna, jer se pojavljuje kao "neproboljni zid kumulonimbusa", sa svim učincima koje obilježava oluja, od jakih pljuskovitih oborina do snažnih udara vjetera, turbulencije, malopropada, jakih uzlaznih i silaznih strujanja itd. Olujne pruge povezane su sa srednjo razmjernim (mezorazmjernim) ustrojstvom atmosferskih fronti. Slični procesi i pojave osim u umjerenom pojasu nastaju uz određene razlike u tropskim područjima, gdje opće strujanje u atmosferi nije zapadno nego istočno smjera.



Slika 18.23. Shema položaja pruge konvergencije

Olujne pruge javljaju se u tople doba godine i u krajevima s povišenim temperaturnama i vlažnošću, kao u središnjoj Europi, jugozapadnoj Rusiji i Ukrajini, zapadnim dijelovima USA, zatim u Argentini, sjeverozapadnoj Indiji, zapadnoj Africi i drugdje. Ima ih i kod nas.

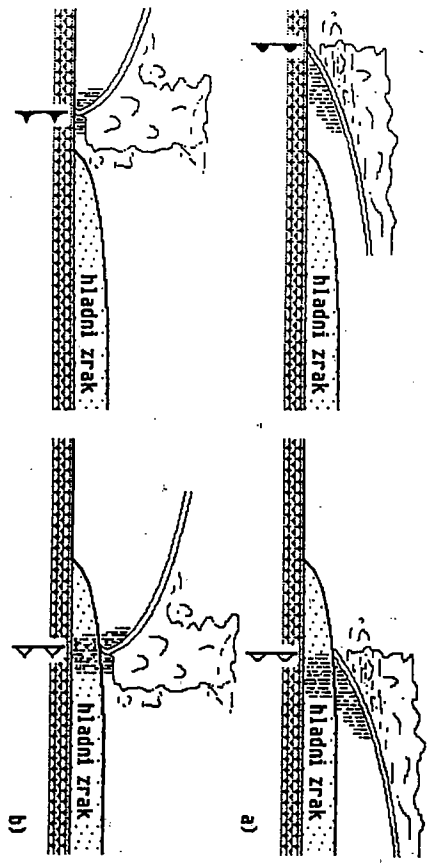
Iako su općenito nagle promijene vremena uvjetovane na granicama zračnih masa - frontama, one nastupaju i unutar zračne mase koja doživljava određene promijene. Tako uz olujnu prugu, postoje i drugi vremenski poremećaji uzduž neke crte - pruge. To su pruga nestabilnosti, pruga zblžavanja (konvergencije) i pruga smicanja, koje se često teško razlikuju od klasičnih fronti odnosno olujne pruge. U okviru ovakvih pruga ističu se samo pojedine značajke vremena. No ovi poremećaji se međusobno prožimaju.

Ako u nekom području postoji izražena nestabilnost i praćena je razvikom konvekcije i pripadajućih oblaka koji su poredani uzduž crte, govori se o prugi nestabilnosti.

Pruga zblžavanja (konvergencije) označava strujanja zraka prema nekoj crti koje uvjetuje dizanje zraka, slika 18.23. Prema količini vlažnosti zraka i jačini uzlazne struje ovisi tip naoblake. Pruga smicanja predstavlja dodirnu crtu (u vodoravnom i/ili uspravnom smjeru) između dva tipa strujanja, koja se razlikuju po smjeru i/ili brzini i uvjetuju dizanje ili spuštanje zraka.

### 18.2.6. Visinska fronta

Ponekad frontalni sustavi ne dopiru izravno do Zemljine površine, tada se može govoriti o visinskom pojasu (zon) ili kraće visinskoj fronti (*upper front; Höhenfront*). Visinska fronta većinom nastaje zbog razlika između uspravnih brzina pojedinih velikih količina zraka između kojih postoje izvjesne razlike. U tim slučajevima fronta nastaje na granici zračnih masa koje se nalaze na visini (točka 22.2.). Ipak, ponekad visinska fronta može doprijeti do Zemljine površine.



Slika 18.24. Visinska fronta: a) topla fronta, b) hladna fronta

Advekcijom toplog ili hladnog zraka na visini može nastati fronta na sličan način kao i uz Zemljinu površinu. To se uočava na uspravnim presjecima atmosfere ili na aerološkim dijagramima (emagram) gdje se javlja frontalni pojas u sloju debljine do nekoliko kilometara. Takve visinske fronte često prate srednji ili visoki oblaci, no mogu i izostati.

Visinska fronta izdignuta iznad Zemljine površine nastaje kad frontalni sustav nailazi na sloj izrazio hladnog zraka koji se nalazi uz Zemljinu površinu, slika 18.24. Tada za nailazeću frontu Zemljina površina odnosno gornji sloj izrazio hladnog zraka predstavlja površinu podloge. Jakost ovakvih visinskih fronti općenito nije velika, jer bi inače došlo do razbijanja sloja hladnog zraka te bi tada fronta doprijetla do Zemljine površine, čime ne bi bila visinska.

### 18.3. Utjecaj orografije na fronte

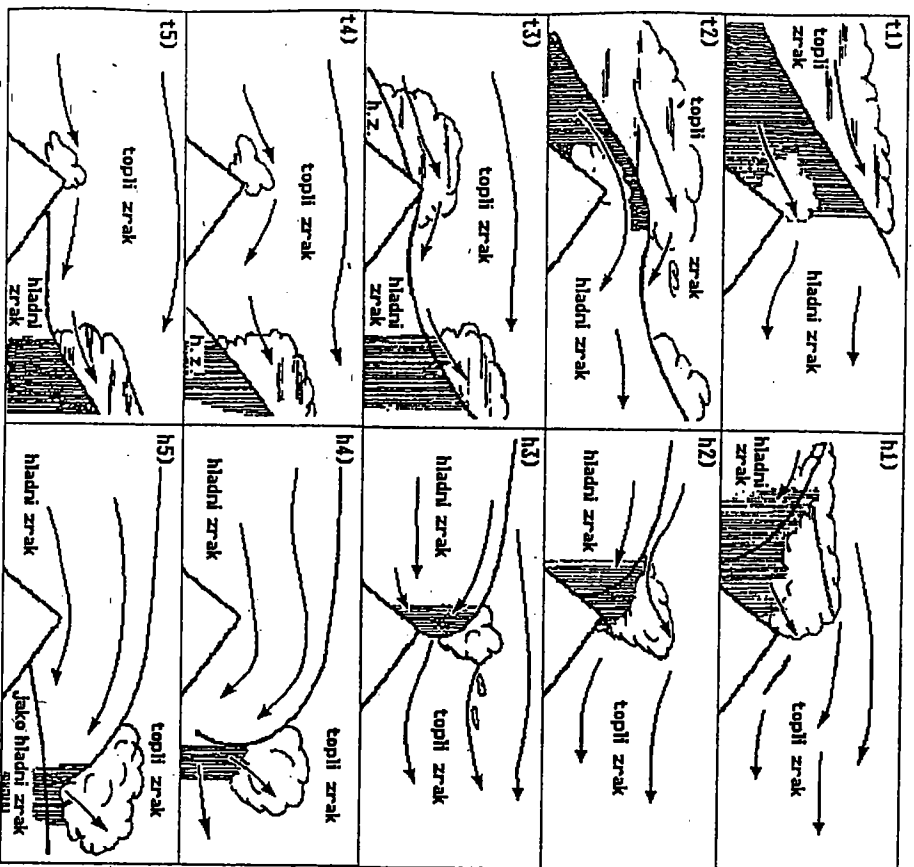
Svako pa i najmanje uzvišenje ili udubljenje na Zemljinoj površini izobličava polje strujanja, što ovisi o svojstvima polja strujanja te veličini i obliku planinske (orografske) prepreke. Glede nepravilnih oblika prepreka teško je analitički prikazati sve oblike i veličinu izobličenja polja strujanja. Ipak se mogu prikazati neki opći učinci gibanja zraka (točka 1-9.6.). Slična izobličenja se javljaju pri nailasku frontalnih ploha na orografsku prepreku. No i tada značajnu ulogu ima atmosferska stabilnost. U stabilnoj atmosferi na privjetrini orografske prepreke, zbog otežanosti dizanja i prelaska zračnih masa preko prepreke, postoji znatno nagonilavanje zraka (orogensko zaprećenje) uz povećanje atmosferskog tlaka (orogenska anticiklona). Ta područja većinom su srednjih razmjera. Tako zrak postupno obilazi orografsku prepreku.

Frontalni sustavi (topla, hladna fronta) razvijeni do velikih visina lagano prelaze preko nižih orografskih prepreka, a da pritom ne doživljavaju značajne promjene osim u svojim najnižim slojevima. Međutim, znatne promjene fizikalnih svojstava fronti uočavaju se uz veće orografske prepreke i niže razvijene frontalne sustave. Općenito frontalni sustavi, pogotovo hladne fronte, nailaskom na prepreku zastaju, zadržavaju se izvjesno vrijeme, vremenski procesi postaju sve izraženiji (frontogeneza) i nakon toga prelaze ili obilaze orografsku prepreku.

Tople fronte se razmijerno lako dižu i prelaze preko orografskih prepreka, zato što se topli zrak lakše diže od hladnog. Međutim, fenski učinak u zavjetrini brda uvjetuje slabljenje frontalne plohe (frontoliza), koja obično ponovno nastaje na izvjesnoj udaljenosti od brda, slika 18.25. Istodobno se u zavjetrini brda stvaraju orogenske ciklone (točka 19.5.) u kojima je uglavnom vedro zbog adijabatskog spuštanja zraka.

Hladne fronte, koje su niže od orografske prepreke, obilaze ih zbog nemogućnosti dizanja, ali ako su podjednake visina, nakon kraćeg zaustavljanja na privjetrini, nagonilavanja hladnog zraka koji je sve viši, hladna fronta može preći preko orografske prepreke, slika 18.25.





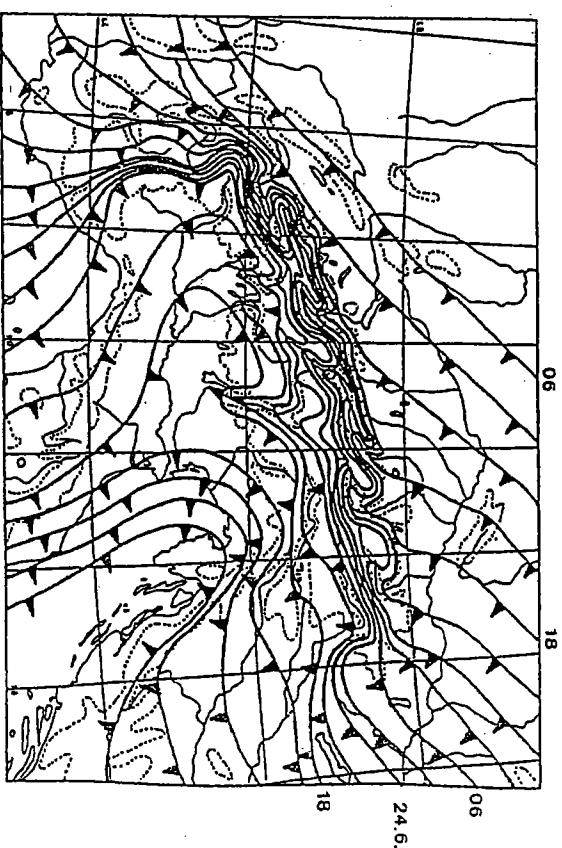
Slika 18.25. Prelaz frontalnih sustava preko planinske prepreke, tople fronte (t1 - 5), hladne fronte (h1 - h5) (Zverev, 1968)

Visoki planinski lanci obično zadržavaju frontalne sustave i prisiljavaju ih da obilaze oko njih, tako se frontalna ploha savija i obavija oko orografske prepreke, slika 18.26. Hladni zrak koji obilazi orografsku prepreku s njezinih objaju strana nakon ponovnog susreta općenito nema ista svojstva kao na početku, jer u ovisnosti svojstava podloge i drugih čimbenika jedan dio zračne mase može postati topliji ili hladniji, suhiji ili vlažniji od drugog dijela zračne mase. Stoga se pri tom ponovnom susretu granične plohe ponajbolje kao različite granične plohe, tvoreći neki novi frontalni sustav.

Prelaženje zraka preko orografske prepreke osim što doživljava izvijesna izobličenja, kao što je prikazano i na slici 1-9-18. uvjetuje stvaranje više ili manje stacionarnog

(postojanog) središta niskog atmosferskog tlaka, koji ovisno o prijećanju zraka različitih svojstava može sve više jačati dovodeći do stvaranja frontalnog sustava koji se sve više razvija i prelazi u val na fronti i ostale oblike razvoja ciklone (točka 19.2.), slika 19.9.

Izazev prelaženja preko orografske prepreke ili njezinog zaobljenja, može se govoriti i o prolazu frontalnih sustava "kroz" orografsku prepreku. Ovdje izraz "kroz" znači provlačenje većih količina zraka kroz planinske procepe i doline obzirom da planinski lanci nisu puni zid određene duljine i visine, već niz prepreka raznih duljina, visina i oblika. Stoga kad neka fronta dođe do orografske prepreke i tamo zastane, dijeleći zračnih masa prolaskom kroz prepreku mogu doći u zavjetrnu i tamo uvjetovati vremenske promjene.



Slika 18.26. Izobličenje frontalne plohe na planinskoj prepreci. Uzastopni položaji hladnih fronti svaka tri sata (23.6.1978. 06 UTC do 25.6.1978 06 UTC)

Prebacivanje hladnog zraka preko orografske prepreke može dovesti do pojave vjehtra, bure na zavjetrinskoj strani planine. To se često dešava u našem priobalnom području kad hladni zrak prodire u unutrašnji kopneni dio te se prebacuje preko Velebita, Biokova i drugih priobalnih planina (točka 21.4.4.). Za razliku od fena, bura se javlja neovisno dali na privjetrni postoje obronke ili ne. Kod bure je ustanovljeno postojanje prodora hladnog zraka sa sjevera uz izraženo usko strujanje vjehtra na visini, u prizemlju se stvaraju veliki gradijenti tlaka, a postoje temperaturne inverzije koje odvijaju strujanja nižih razina od onih na višim.

Dopunska literatura

Bluestein, H.B., 1992: Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Oxford University press, vol. I, II, New York, 423.

Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.

Holka, K.P. i H. Volkert, 1992: Fronts and the Alps: Findings from the Front Experiment 1987. Meteorol. Atmos. Phys. 48, 51-75.

Houghton, D.D., 1985: Handbook of Applied Meteorology. John Wiley & Sons, New York, 1461.

Maklanić, B., 1967: Osnove meteorologije. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 243.

Matveev, L.T., 1984: Kurs obšei meteorologii. Gidrometeoizdat, Leningrad, 751.

Peterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, I dio. McGraw-Hill, inc, New York, 428.

Zverev, A.S., 1968: Sinoptičeskaja meteorologija. Gidrometeoizdat, Leningrad, 774.

# 19. CIKLONE

## 19.1. Postanak i razvitak ciklone

Ciklona (engleski: *cyclone*; njemački: *Zyklone*) je golemi zračni vrtlog u kojem se zrak na sjevernoj polutki giba u smjeru suprotnom od kazaljki na satu, a na južnoj polutki u smjeru kazaljki na satu. U središtu ciklone nalazi se najmanja vrijednost tlaka, odnosno najmanja visina neke izobarne plohe. U središtu ciklone, u umjerenim zemljopisnim širinama uz Zemljinu površinu, atmosferski tlak je u rasponu od 950 do 1025 hPa te u prosjeku iznosi oko 1000 hPa. Izobare (izohipse) su slične elipsi, čiji promjer (ovisno o mezo ili makro razmjertima) iznosi 100 do preko 4000 km, a uspravno se ciklona može uz nagib prema zapadu protezati i kroz cijelu troposferu. Idući prema središtu ciklone postoji dizanje zraka. Vrijeme u cikloni je općenito spoj vremena tople, hladne i okludrane fronte što znači da je najopćenitije, pretežno oblačno s oborinama - ljeti pro hladno, a zimi razmjerno toplo.

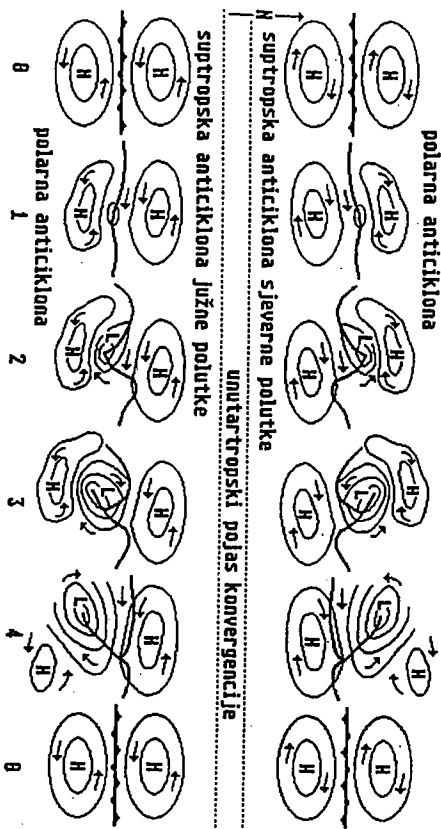
Opadanje atmosferskog tlaka u ciklonama je udruženo s dizanjem zraka. Ovo proizlazi iz različenja (divergencije) zraka u višim slojeva troposfere i povezano je s prijetecanjem zraka prema središtu ciklone koje se događa blizu Zemljine površine. To znači da je niski atmosferski tlak u ciklonama posljedica dizanja zraka, a prijetecanje zraka je posljedica smanjenja tlaka. Strujanje zraka pritom je opisano gradijentnim vjetrom (točka 1.9.4.).

Općenito postoji više mogućnosti postanka i razvitka ciklone. Stvaranje ciklona najčešće je vezano uz frontalne poremećaje. Međutim, ciklone se stvaraju i u područjima gdje se ne može utvrditi postojanje fronti (točka 19.5.), a razvitak ciklone odvija se i u debljem sloju troposfere, a ne samo u prizemlju.

Ciklona kao pojava bila je zapažena i opisana još sredinom 19. stoljeća (Fitz-Roy, 1863). Značajni doprinos u upoznavanju privode ciklone i teorije njezinog postanka vezan je uz bergensku meteorološku školu (J. Bjerknes, 1918), gdje su shvaćali ciklonu kao nestabilni val na planetnoj fronti, tj. poremećaj čija se amplituda vremenom povećava. Osnovna ideja je da na graničnoj površini između dva fluida (npr. zrak i voda) ili jedan s dvije različite gustoće svako malo mjesno poremećenje razina izaziva niz valova. Stablni val ne postiže veliku amplitudu i polako iščezava. Kod nestabilnog vala amplituda sve više raste, dok se val ne pretvori u vrtlog. To se javlja i kod valova na vodi gdje je jedan fluid zrak, a drugi voda. Period oscilacija valova u atmosferi je od 15 do 40 h, odnosno u prosjeku oko 24 h. Za neke vrste ciklone ne vrijedi predhodno tumačenje, već postoje druga tumačenja nastanka i razvitka ciklone (točka 19.5.).

Idući u više zemljopisne širine zrak je hladniji (tu je područje visokog atmosferskog tlaka oko pola), dok je topliji zrak prema nižim širinama (tu je područje suprotnog visokog tlaka). Stoga granica među ovim planetnim zračnim masama, pogotovo ako nema gibanja ili su zanemariva, predstavlja stacionarni ili kvazistacionarni planetni frontalni pojas (plohu, prugu), koji se proteže uglavnom zapad istok, silka 19.1.0. Tada su izobare (izohipse) obično paralelne s frontom. Ovakav slučaj stacionarne planetne fronte može se javiti, prema izrazu 18(4), kad se uspostavi ravnoteža između temperaturnih razlika i razlika vjetrova u zračnim masama s obje strane fronte i nagiba frontalne

plohe. Takvi uvjeti se teško ispunjavaju (Zemljina vrtnja, razdioba kopna i mora, tenje i orografija). Tako se na frontalnoj plohi stvaraju razni poremećaji pri kojima jezici toplog zraka teže prema višim širinama, a hladnog zraka prema nižim. Stoga se počinju stvarati valovi, slika 19.1/1, najprije razmjerno jednostavnog izgleda, a kasnije poprimaju vrlo složene oblike, što je prikazano na slici 19.1. i vrijedi za obje polutke. Tako nastali planetni valovi imaju valnu dužinu od nekoliko stotina do nekoliko tisuća kilometara. Valovi se premeću uzduž frontalne pruge u smjeru strujanja na visini te se u ovisnosti dinamike stabilnosti mijenja njihova amplituda.



Slika 19.1. Postanak i razvoj ciklone

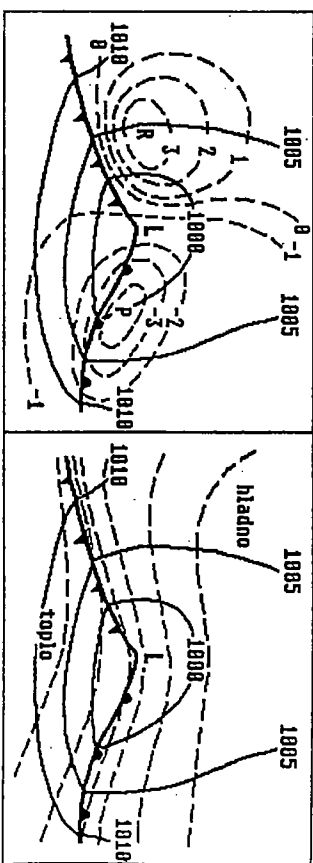
Valovi mogu biti stabilni ili nestabilni. Stabilni valovi na planetnoj fronti (obično valna dužina < 1000 km) uz stabilnu stratifikaciju zračnih masa obično podliježu smanjivanju amplituda te poslije izvjesnog vremena iščeznu. Najčešće su na arktičkoj fronti, gdje su obje zračne mase stabilne. S druge strane, nestabilni valovi (najčešće na polarnoj fronti) doživljavaju svoj razvitak. Ipak se ti valovi nakon kraćeg ili duljeg vremena (nekoliko tjedana) smiruju i ponovno se uspostavlja ravnotežno stanje što se vidi na slici 19.1. Razvojni oblici ovih valova odgovaraju razvoju ciklona frontalnog podrijetla te se govori o dobnima ciklona i pripadajućim vremenskim procesima.

## 19.2. Dobna ciklona

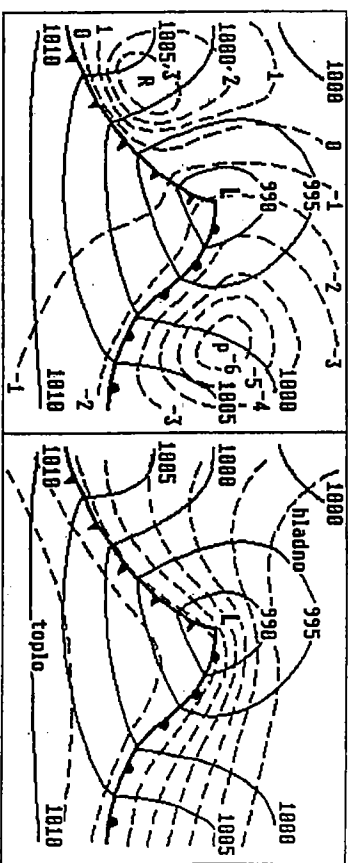
Ciklona ima svoj životni ciklus od nastajanja, postizanja najvećeg razvoja te do odumiranja, što odgovara dobnima (stadijima) ciklone. Za veće valne dužine planetnog vala (1000 - 3000 km) i veće nagibe planetnih frontalnih ploha val je obično nestabilan, pri čemu se amplituda vala povećava, a polje atmosferskog tlaka produbljuje. Prednji dio vala dobiva svojstva tople fronte ispred koje tlak zraka izrazito pada, jer nadolazi hladni

topli zrak, slika 19.2. Zadnji dio vala poprima svojstva hladne fronte iza koje tlak zraka raste zbog priliva hladnog zraka.

Poremećaj na planetnoj fronti koji nastaje u prizemnim atmosferskim slojevima postupno se razvija i proteže se na veće visine te se govori o valu na fronti (*wave depressor*; *Wellenstörung*) ili prvom dobu ciklone. Atmosferski tlak pada te izobare uz Zemljinu površinu u središnjim dijelovima ciklone poprimaju zatvorene oblike, a izohipse na AT i RT dobivaju valoviti oblik, slika 19.2. Frontalni oblici (topla i hladna fronta) su sve izraženiji uz razvitak pripadajuće haoblake, oborina i drugih pojava. Izalobare (arte iste promjene tlaka) dobivaju zatvorene oblike i javljaju se središta pada tlaka ispred tople fronte i središta rasta tlaka iza hladne fronte.



Slika 19.2. Prvo doba razvika ciklone - val na fronti; izobare - pune crte, izoterme (desno) i izalobare (lijevo) - crtkano, P - pad tlaka, R - rast tlaka zraka

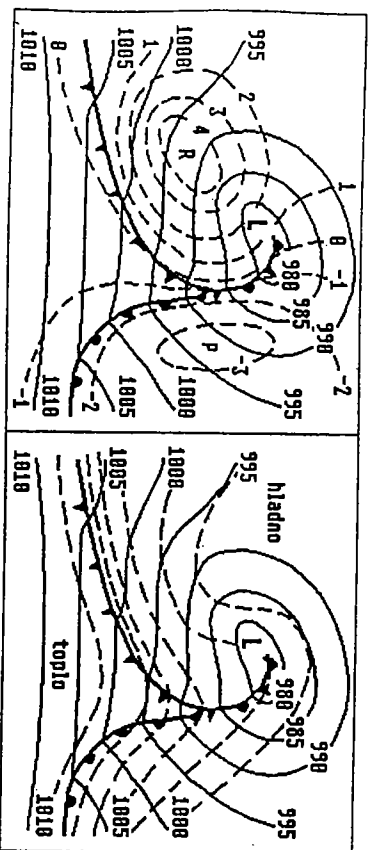


Slika 19.3. Drugo doba razvika ciklone - mlada ciklona; izobare - pune crte, izoterme (desno) i izalobare (lijevo) - crtkano, P - pad tlaka, R - rast tlaka zraka

Razvikom ciklone nakon približno 24 h nastupa mlada ciklona (*young cyclone*; *Idealcyklone*) tj. drugo doba ciklone. Tada se povećava amplituda vala na planetnoj fronti, ciklona se produbljuje (*deepening of a depressor*; *Vertiefung der Zyklone*) i razvija u visinu, slika 19.3. Bitna značajka ovog doba je dobro razvijeni topli isječak ili

sektor (*warm sector*, *Warmsektor*) tj. područje između tople i hladne fronte te dolina na kartama AT i RT iza hladne fronte. Zatvoreno ciklonsko kruženje zahvaća postupno sve veće područje i do 1000 km u promjeru. Središta pada odnosno rasta tlaka zraka su vrlo izražena, što naravno vrijedi za pad tlaka. Naoblaka, oborine i druge pojave u potpunosti odgovaraju onima uz odgovarajuće fronte.

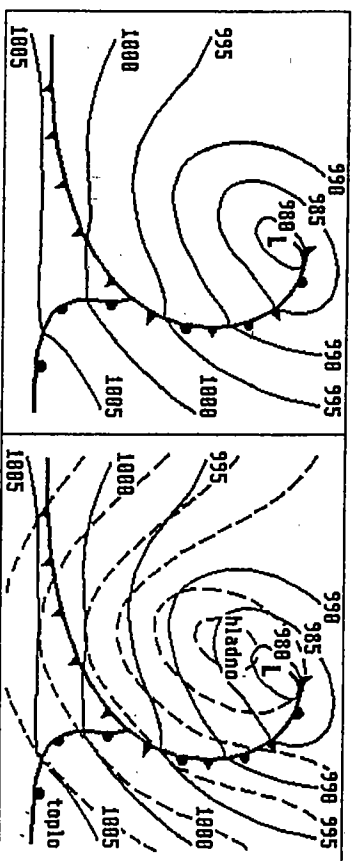
Najveća razvijenost ciklone je u okludiranju (*occlusion*; *okkludierende Zyklone*) ili trećem doba ciklone. Hladna fronta u ovom dobu počinje susuziti toplu frontu tvoreći okludiranu frontu. Točka dodira ovih fronti je točka okluzije. Ovo nastupa 12 do 24 h nakon doba mlade ciklone. Izohipse su na kartama AT u donjim slojevima troposfere zatvorene, što znači da se ciklonsko vrtložno gibanje sa Zemljine površine prenijelo na visinu, a iznad toga je još izražena dolina, slika 19.4. Središte zatvorenih izohipsa malo je pomaknuto prema strani hladnog zraka. Topli isječak se počinje sužavati, a područja najvećih gradijenata tlaka, temperature i vlažnosti zraka se premješaju iz središnjeg dijela ciklone prema njezinim rubovima. Središta pada odnosno rasta tlaka zraka su i dalje izražena, no to više vrijedi za rast tlaka. Naoblaka, oborine i druge pojave odgovaraju onima uz hladne i tople fronte te okludirane fronte.



Slika 19.4. Treće doba razvika ciklone - okludiranje; izobare - pune crte, izotermne (desno) i izalobare (lijevo) - crtkano, P - pad tlaka, R - rast tlaka zraka

**Okludirana ciklona (*occluded cyclone*; *okkludierte Zyklone*)** ili četvrto doba ciklone je završno doba razvika ciklone. Tada nestaje topli isječak i prizemna termička asimetrija, jer su potisnuti prema rubnim područjima ciklone, a sve veće područje pokriva hladna zračna masa, dok je topla zračna masa istisnuta uvis, slika 19.5. Središte ciklone se poklapa sa središtem hladnoće, te ciklona postaje termički simetrična. Zbog prodora hladnog zraka atmosferski tlak u središtu ciklone počinje rasti, kaže se da dolazi do popunjavanja ciklone (*filling up of a depression*; *Ausfüllen eines Tiefes*), a središte pada tlaka se premješta prema rubnim područjima ciklone. Končno, uz Zemljinu površinu ostaje vrtlog hladnog zraka, koji postupno slabi. Izotermne na visini skoro se poklapaju s izobarama, a smjer vjetra bitno se ne mijenja s visinom. Tada se može dogoditi, da na visini, zahvaćajući i donje slojeve stratosfere, postoji jako ciklonalno kruženje zraka skoro po kružnim izohipsama. Ovo kruženje, koje može potrajati i do dva tjedna, naziva

se i hladna kaplja (*cold low*; *Kaltlufttiefen*), jer predstavlja neku vrstu "kaplje" hladnog i vlažnog zraka. U cijelom prizemnom području atmosferski tlak raste. Naoblaka je uglavnom slojevita, oborine su slabe do umjerene, često i dugotrajne ako se hladna kaplja dugo zadržava. Hladna kaplja je visinsko područje niskog tlaka odvojeno od općeg strujanja na visini, što se objašnjava u točki 20.4.



Slika 19.5. Četvrto doba razvika ciklone - okludirana ciklona; izobare - pune crte, izotermne - crtkano

Ponekad se dešava da proces okludiranja ne počinje u središnjim dijelovima ciklone već idući prema rubovima ciklone. Tada je topli isječak presječen na dva dijela pri čemu je topli zrak u vrhu toplog sektora okružen hladnim zrakom. To je sektuzija.

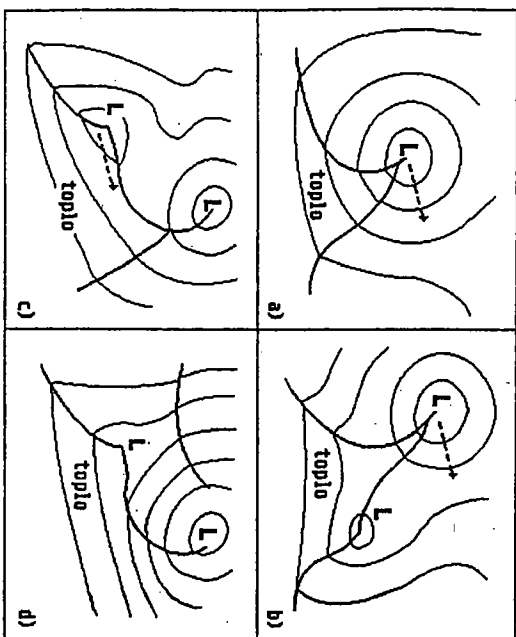
Kraj razvika ciklone odgovara završetku procesa okludirane ciklone. Kada se ciklona počne postupno popunjavati (tlak zraka raste na čitavom području) postupno prestaje oborina, oblačni sustav slabi i dolazi do njegovog raspada.

**Obnavljanje (regeneracija) ciklone** često se događa u cikloni koja je postigla svoje četvrto doba razvika i počela se popunjavati. Obnavljanje je u svezi s povećanjem termičke asimetrije ciklone, koja nastaje na više načina, a najčešće je povezana s naliaskom novih količina zraka, većinom hladnog, odnosno naliaskom nove fronte, slika 19.6. Javlja se izobiljenje frontalne plohe, najprije stvaranjem vala, a zatim i mlade ciklone. Tada atmosferski tlak počinje ponovno padati, gradijent tlaka raste i kruženje zraka se pojačava, a naoblaka i oborine su pojačane. Umjesto odumiranja ciklone počinje njezin ponovni razvika.

Prilježavanjem ciklone kontinentu iznad kojeg se nalazi znatno toplija ili hladnija zračna masa u odnosu na zračnu masu ciklone javlja se termička asimetrija koja pogoduje obnavljanju ciklone. To je primjer kada npr. ciklona s Atlantika dolazi do hladnog europskog kopna te hladan zrak s kopna postane dio kruženja ciklone koja jača ili kad ciklona u Sredozemlju zahvaća topli zrak iz Afrike.

Hladni zrak može doći u područje tople fronte te uvjetovati njeno izobiljenje stvarajući val te daljnji razvika ciklone, slika 19.6. b).

Obnavljanje može biti na dijelu hladne fronte ciklone koja se popunjava kada se razvije val koji prerasta u mladu ciklonu i giba se prema središtu popunjavajuće ciklone, slika 19.6. c).



Slika 19.6. Ciklona i razvrtak vala na fronti: - - -> smjer premještanja ciklone a) standardna ciklona; b) ciklona s valom na toploj fronti c) stacionarna ciklona s razvrtkom vala na hladnoj fronti d) ciklona s valom na hladnoj fronti uz nalazak hladne fronte

Dolaskom nove fronte u područje odumirajuće ciklone može nastupiti njezino obnavljanje, koje je izraženo što je hladna zračna masa iza nove fronte hladnija od zračne mase ciklone koja se popunjava, slika 19.6. d). U umjerenim širinama to se dešava prilikom dolaska hladnog arktičkog zraka u područje ciklone.

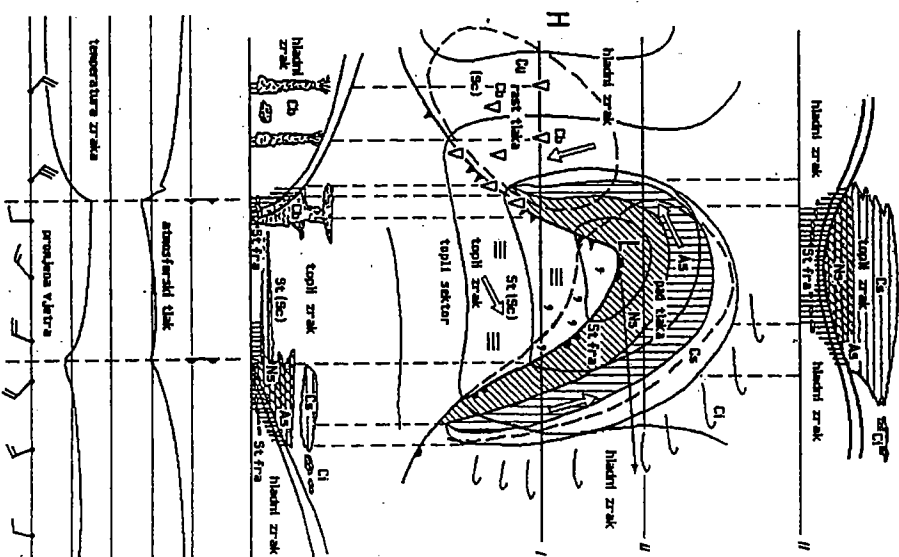
Postoji i mogućnost razvrtka nove ciklone u točki okluzije predhodne, gdje se razvija središte niskog atmosferskog tlaka.

### 19.3. Vrijeme u ciklonama

Najopćenitije, može se reći da je vrijeme u cikloni prožimanje vremena tople, hladne i okludirane fronte.

Na slici 19.7. predstavljena je shematski mlada ciklona s njoj pripadajućim zračnim masama, frontalnim sustavom, izobarama, izalobarama, naoblakom i oborinama. Srednja slika je projekcija ciklone na Zemljinu površini, gdje se uočavaju položaji tople i hladne fronte te topli isječak između njih. Izobare (puna crta) u središtu ciklone tvore centar niskog tlaka (L), lome se na frontama, a izalobare (crtkano) zatvaraju područja s rastom odnosno padom tlaka zraka. Područja pojedinih oblaka su obrubljena crtom i šrafitrana s oznakom roda oblaka. Odgovarajuće oznake su za oborine. Strjelice (široke i prazne) na pojedinim dijelovima slike ciklone označavaju opći smjer vjetera. Iz središta ciklone povučena je strjelica koja upućuje na smjer gibanja ciklone, a općenito je paralelna s izobarama unutar toplog isjeka.

Uzdruž crta I i II učinjen je uspravni presjek kroz ciklonu čije su projekcije prikazane na donjem odnosno gornjem dijelu slike. Uspravni presjek I. pokazuje tipičnu vremensku situaciju tople i hladne fronte već prije pokazane u točki 18. Slično je i za presjek II. samo što frontalni pojas ne siječe Zemljinu površinu. Glavni oblakni sloj nalazi se u toplom zraku, u hladnom mogu biti samo niski slojasti oblaci uz slabe do umjerenne oborine.

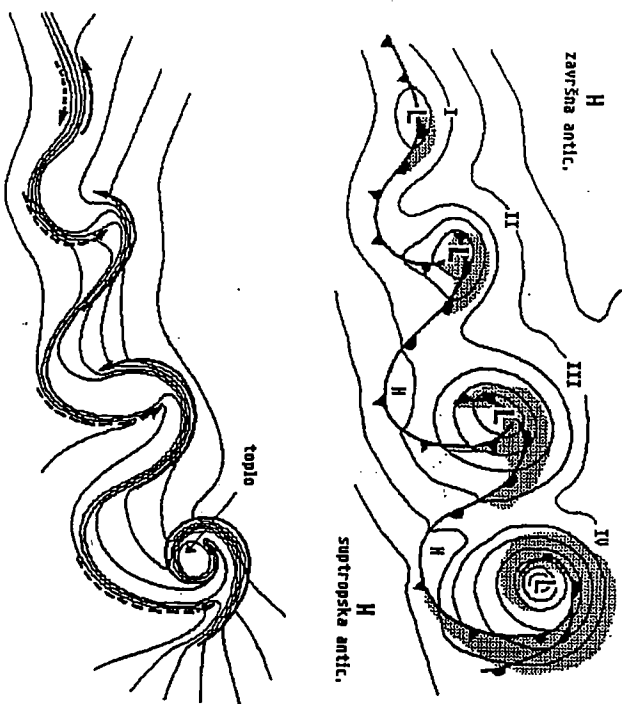


Slika 19.7. Vrijeme u cikloni; izobare - pune crte, izalobare - crtkano (Zverev, 1968)

Ispod presjeka I. prikazana je promjena temperature i tlaka zraka te smjera i brzine vjetera pri nalasku, prolazu i odlasku ciklone odnosno odgovarajućih frontalnih sustava.

## 19.4. Putanje ciklona umjerenih širina

Ciklona se rijetko pojavljuje pojedinačno, obično ih ima više. Naime, zadnji dio hladne fronte se postupno prodiranjem hladnog zraka premješta prema manjim zemljopisnim širinama. Obično se poslije nekog vremena razvija novi val na fronti, koji doživljava daljnji razvitak. Proces stvaranja novih poremećaja se nastavlja dalje na sve manjim zemljopisnim širinama (do suprotorskog pojasa), tako da se pojavljuje ciklonska obitelj (*Cyclone families; Zyklonenfamilie*), koju čine 3 do 5 ciklona. Unutar obitelji ciklona svaka naredna ciklona se pojavljuje za oko 5° zemljopisne širine na manjoj širini od prethodne i zaostaje u razvitku. Obitelj od četiri ciklone odnosno istodobno i četiri doba ciklone tj. val na fronti, mlada ciklona, okludiranje i okludirana ciklona, prikazani su na slici 19.8. Vrijeme prolaza jedne obitelji ciklona iznad nekog mjesta iznosi 5 do 7 dana.



Slika 19.8. Obitelj ciklona i doba (I - IV), međuciklonska i završna anticiklona: gore: fronte; izobare - pune crte; naoblaka - sjenčano dole; izotermne - pune crte; strujanje hladnog - pune strijelice, toplog zraka - crtkane (Shapiro i Keyser, 1990)

Ciklone se gibaju (S izvjesnim odstupanjima) od zapada prema istoku brzinom 5 do 10 m s<sup>-1</sup>, tj. manjom od pojedinih fronti unutar nje, a kako život ciklone traje jedan do dva tjedna, ona prevali put koji odgovara dijelovima ili čak cijelom kontinentu odnosno oceanu. U načelu duboke ciklone imaju manju brzinu gibanja od plitkih ciklona. Kod

mlade ciklone smjer gibanja odgovara približno smjeru protezanja izobara u toplom isječku, dok je kod okludirane ciklone gibanje znatno usporeno (kvazistacionarno).

Ciklone odnosno obitelji ciklona nakon nastajanja postupno napuštaju izvorište gibanja tj. se uzduž općeg strujanja na visini. Kako ta visinska strujanja mogu imati razne brzine strujanja, a isto mogu znatno meandrirati to i smjer i brzina gibanja ciklona može znatno kolebiti od slučaja do slučaja. U nekim slučajevima izgleda da ciklona dolazi s juga, a u drugima sa sjevera. Ova odstupanja gibanja mogu uvjetovati retrogradno (povratno) gibanje ciklona, tj. ciklona neko vrijeme napreduje u suprotnom smjeru od uobičajenog, tj. od istoka prema zapadu.

Priklom putovanja prema istoku ciklone ipak odabiru određene putanje ili staze kojima se češće gibaju nego nekim drugim područjem. Te putanje su određene fizickim razlozima: ciklona će se gibati onuda gdje su najpovoljniji uvjeti za održavanje niskog tlaka (zimi nad morem), zatim veliku ulogu ima razdioba kopna i mora te klimatske prilike pojedinih predjela. Postoje razni kartografski prikazi najčešćih putanja ciklona, među njima i ciklonske staze za Europu po Van Bebberu iz 1891. godine, koje su dopunjene novijim podacima, slika 19.11.

Kako se u toplo doba godine svi vremenski procesi preumještaju u više zemljopisne širine to i ciklone slijede ovo pravilo. Ljeti su ciklone u višim zemljopisnim širinama, rjeđe se spuštaju do 40°, dok su zimi u nižim širinama i dopiru do 30°.

## 19.5. Postanak i razvitak nefrontalne ciklone

Ciklogeneza, tj. nastajanje ciklone odvija se najčešće kao posljedica barokline nestabilnosti te je vezana uz frontalne poremećaje. Zatim, ciklone se stvaraju i u područjima gdje se ne može utvrditi postojanje fronti, javlja se u obliku toplinskih ciklona, orogeneretskih ciklona i zbog divergencije strujanja u srednjim ili višim slojevima troposfere.

a) Ciklogeneza postoji kao posljedica barokline nestabilnosti u atmosferi. Očito da je u planetnom frontalnom pojasu povećan broj solenoida, jer se izotermne i izentropne tu sijeku pod najvećim kutom (izobarno-izoterni solenoidi, točka 18.1.).

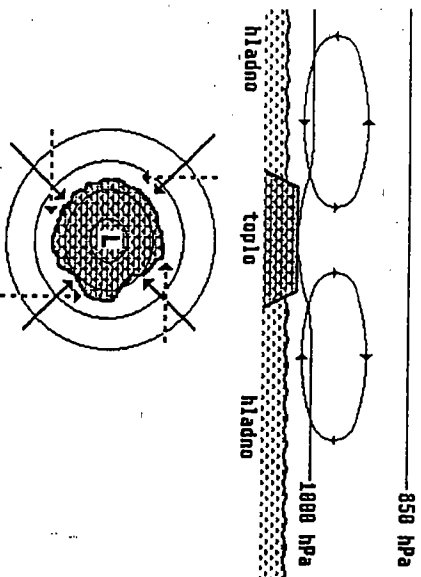
Preko barokline nestabilnosti objašnjava se valna priroda općeg atmosferskog kretanja (točka 16.). Sušina je da uz određeni meridijanski gradijent temperature u zonalnoj zračnoj struji (strujanje u smjeru zemljopisnih paralela) postoje valna poremećanja. Ako je valna duljina valova u zonalnoj struji vrlo velika ili vrlo mala, amplituda valova se ne povećava. Takvi valovi se pranještaju niz struju uz postupno smanjenje amplitude do potpunog iščezavanja. Za određene valne duljine (3000 do 5000 km) amplituda valova se često povećava, što znači da je strujanje nestabilno, tj. povećanjem amplitude valova nastupa jaka meridijanska razmjena topline uz smanjenje meridijanskog temperaturnog gradijenta.

U područjima ciklogeneze postoji povećanje kinetičke energije s poremećenjem strujanja od osnovnog zonalnog strujanja. Pokazuje se povećanje srednje kinetičke energije spuštanjem hladnog zraka, a dizanjem toplog, tj. kada se potencijalna energija sloja atmosfere smanjuje. To znači da je svako povećanje (ili smanjenje) srednje kinetičke energije praćeno smanjenjem (povećanjem) potencijalne i unutarnje ener-

gije, pri čemu sva pretvorena (transformirana) potencijalna i unutarnja energija prelazi u kinetičku energiju poremećaja, a ne u kinetičku energiju srednjeg gibanja. Ciklogeneza u nekom sloju atmosfere javlja se kada poremećaji na izotermama središnje izobarne plohe zaostaju u odnosu na poremećaje na izohipsama iste izobarne plohe.

- b) Ciklone mogu nastati kao rezultat jakog i prostranog prizemnog zagrijavanja, obično kopna. To su toplinske ciklone (*thermal depression; thermisches Tiefdruckgebiet*), slika 19.9. Najznatčajniji primjer za ovakve ciklone je područje niskog atmosferskog tlaka iznad Azije za vrijeme ljetnog monsunu. Te ciklone su često prostorno malo veće od područja uspravnog kruženja vjetera, dok mali sadržaj vlage u onemogućava jaču naoblaku. Često postoje razdoblja vedrina naročito nad ravnim područjem. Zatim, važnu ulogu ima oblik obale, topli zaljevi i drugo. Prostrane vodene površine unutar kontinenta u zimi kada nisu zaleđene, uvjetuju ciklogeničke procese (npr. Sredozemlje).

U ovu skupinu ciklona dolaze i ciklone srednjih ili sitnih razmjera koje nastaju iznad nekih područja s pojačanim grijanjem. Takav primjer su "toplinski otoci" iznad većih gradova u kojima je povišena temperatura u odnosu na okolicu za nekoliko Celsius-ovih stupnjeva.

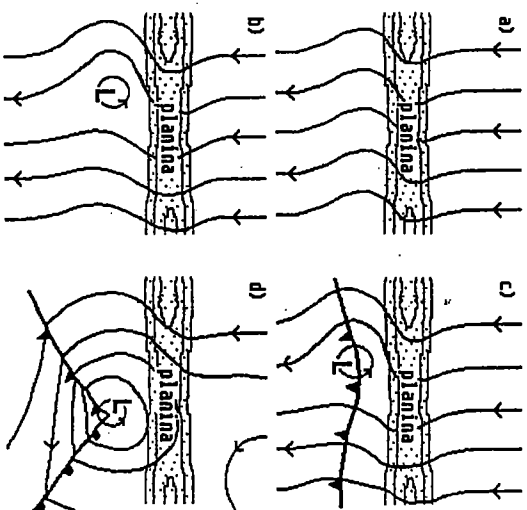


Slika 19.9. Nastajanje toplinske ciklone u uspravnom presjeku (topli otok, gore), vjeter prijetne (guma crta), poslijepodne (crtkano), (dolje)

- c) Nastajanje ciklona ovisi i o drugim čimbenicima. Pokazuje se da je povećano ciklonsko djelovanje u zavjetrini prostrana i izraženih orografskih prepreka. Tada se javljaju orogenske ili planinske ciklone (*orographic depression; orographische Depression*) u kojima je često vedro vrijeme zbog adijabatskog spuštanja, ali u drugim uvjetima, npr. zbog postojanja velikih vodenih površina i snažnog isparavanja javlja se oblačno i oborinsko vrijeme, slika 19.10. Ovaj slučaj je značajan u Sredozemlju, kad nailazak hladne fronte sa sjeverozapada preko i/ili oko Alpa uvjetuje nastajanje ciklone(a) u Genovskom zaljevu.

- d) Jaka divergentna strujanja viših slojeva troposfere mogu dovesti do pada atmosferskog tlaka na Zemljinoj površini. Ciklona se pojavljuje u prizemlju kao rasprostranjeno i lagano dizanje zraka. To smanjuje stabilnost zraka i ako je zrak vlažan javlja se prostrani razvitak naoblake i oborina.

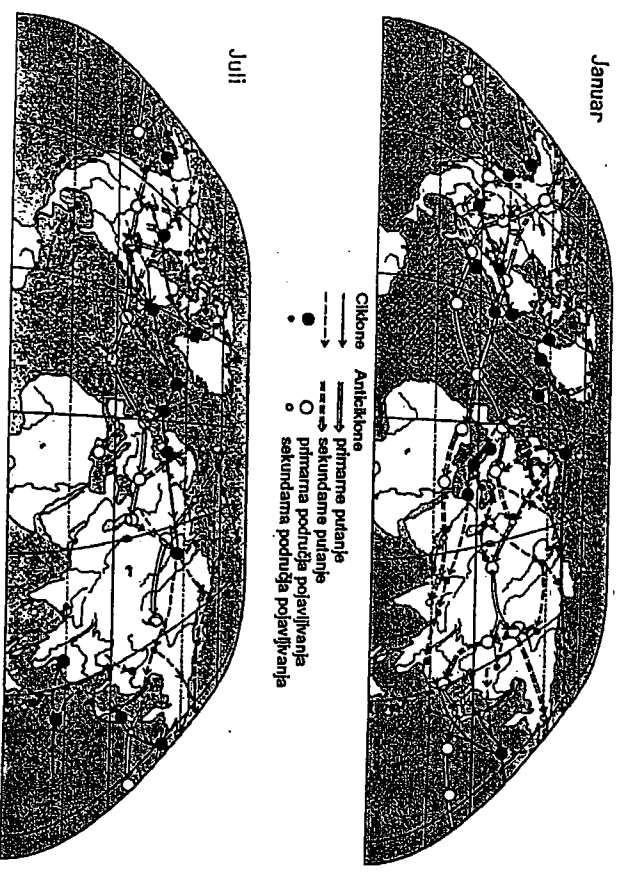
Mogućnosti ciklogeneze postoje i pri oslobađanju većih količina latentne topline koja se troši na dobivanje kinetičke energije potrebne ciklonu.



Slika 19.10. Nastajanje orogenske ciklone: a) nastajanje doline u zavjetrini, b) nastajanje središta niskog tlaka, c) iskrivljavanje prolaženja hladne fronte, d) nastajanje vata na fronti (McIntosh i Thom, 1973)

## 19.6. Zemljopisna razdioba ciklogeničkih područja

U području Sjevernog Atlantika i zapadne Europe nastajanje i gibanje ciklonskih obitelji je dosta pravilno, obzirom da u području Greenland - Labrador postoje ogromne količine hladnog zraka koji povremeno u velikim količinama prodire prema jugu. To je potpomognuto i tečenjem hladne Labradorске morskе struje. S druge strane topli i vlažni zrak nastaje iznad tople Golske struje koji prodire prema sjeveru. Slični uvjeti postoje iznad zapadnog dijela Sjevernog Pacifika (teče hladna Oya Shio i topla Kuro Shio morskа struja). Nastajanje ciklonskih obitelji iznad Sjeverne Amerike ili središnjih dijelova Euroazijskog kontinenta nije tako pravilno. Na slici 19.11. mogu se uočiti i područja jačeg ciklonskog, odnosno anticiklonskog razvoja.



Slika 19.11. Područja čestina i staza ciklona i anticiklona za siječanj i srpanj sjeverne poluke (Klein, 1957)

Nastajanje ciklonskih obitelji je u svezi s baroklinom nestabilnošću u zonalnoj struji tj. frontalnih pojasa u umjerenim zemljopisnim širinama. To je područje stvaranja glavnih frontalnih sustava, slika 18.9. Tzv. Rossbyevi valovi u srednoj troposferi odgovaraju osnovnom protezanju ciklonske obitelji, a manji valovi na visini pojedinim ciklonama u prizemlju. U zadnjem dijelu doline Rossbyevog vala postoje uvjeti za anticiklonski razvitak. Stoga se na tom mjestu u donjoj troposferi nalazi anticiklona, koja prekida obitelj ciklona. Više o tome u točkama: anticiklona (20.), Rossbyevi valovi (21.5.2.) i opće atmosfersko kruženje (16.).

Šire područje oko naše zemlje ima značajna ciklogenetska svojstva. Najviše pojava ciklogeneze je u području Ligurskog mora i iznad sjeverne Italije s najvećim razvojem u Genovskom zaljevu. Ujecač Alpa u ovim slučajevima je od presudne važnosti, jer je hladni zrak koji prodire sa sjevera tli sjeverozapada kanaliziran oblicima orografije i ulazi u zadnji dio ranije nastale ciklone, povećava baroklinost tj. daje impuls za produženje ciklonske aktivnosti. Zanim, značajno područje baroklinosti je Jadransko more s dva središta, sjeverni i južni Jadransko, te djelomične Panonska nizina. Udaljenija područja ciklogeneze, ali i sa slabijom ciklogenezom, su Tirensko more, Egejsko more i Vlaška nizina. U našu zemlju ciklone najčešće dolaze sa zapada i jugozapada, a manje sa sjeverozapada. Pritom je za nas značajan Genovski zaljev kao izvoršte ciklona (oko 60% svih ciklona).

Dopunska literatura

Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.  
 Defant, F. i H.T. Mörth, 1978: Compendium of Meteorology. Synoptic Meteorology. WMO, Geneva, 252.  
 Maklanić, B., 1967: Osnove meteorologije. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 243.  
 Matveev, L.T., 1984: Kurs obšei meteorologii. Gidrometeoizdat, Leningrad, 751.  
 McIntosh, D.H. i A.S. Thom, 1973: Essentials of Meteorology. Wykeham Publications, Ltd, London, 240.  
 Pettersen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, I dio. McGraw-Hill, inc, New York, 428.  
 Shapiro, M.A., i D. Keyser, 1990: Fronts, Jet Streams, and the Tropopause. Extratropical Cyclones: The E. Palmén Memorial Volume, C.W. Newton i E.O. Holopainen, Eds., Amer. Meteor. Soc., 167-191.  
 Zverev, A.S., 1968: Sinoptičeskaja meteorologija. Gidrometeoizdat, Leningrad, 774.



## 20. ANTICIKLONE

### 20.1. Osnovna svojstva anticiklone

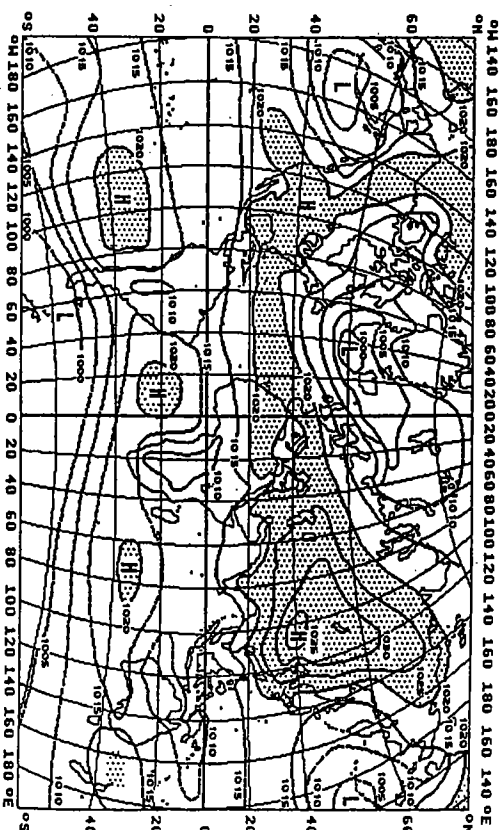
Anticiklona (engleski: *anticyclone*, *high*; njemački: *Antizyklone*) je golemi zračni vrtlog u kojem se zrak giba suprotno od onog u cikloni, tj. na sjevernoj polutki se giba u smjeru kazaljki na satu, a na južnoj polutki u smjeru suprotnom od kazaljki na satu. U središnju anticiklone naznači se najveća vrijednost tlaka zraka, odnosno najveća visina neke izobarne plohe. U središnju anticiklone, u umjerenim zemljopisnim širinama uz Zemljinu površinu, atmosferski tlak je u rasponu od 1000 do 1050 hPa (najviše do 1080 hPa) te u prosjeku iznosi oko 1025 hPa. Izobare (izohipse) slične elipsi, čiji promjer iznosi 100 do preko 4000 km, a uspravno se anticiklone tvorevine mogu naći i na visinama 15 do 20 km. Također, u središnju anticiklone postoji spuštanje zraka i širenje prema rubovima: to je supsidencija ili sjedanje (*subsidence*; *Absinken*) uz adijabatsko zagrijavanje u donjoj troposferi. Vrijeme u anticikloni ljeti je pretežno vedro i toplo, dok zimi, ovisno o količini vlažnosti u atmosferi (kopneni suhi zrak), može biti vedro i vrlo hladno, odnosno maglovito i manje hladno.

Razvrtak anticiklone kao sustava vremenskih procesa je mirniji u odnosu na ciklonu. U cikloni u nižim slojevima troposfere postoji zblizavanje (konvergencija) pa bi se moglo zaključiti da to dovodi do nastajanja područja visokog tlaka. U stvari upravo je obrnuto, a visoki tlak u prizemlju postoji u području iz kojeg se zrak razlazi, dakle u kojem je razilaženje (divergencija). Suština je da u cikloni na visini postoji snažnije dizanje zraka i razilaženje (divergencija) nego što je zblizavanje (konvergencija) u prizemlju. U anticikloni je obrnuto, tada na visini postoji snažnija konvergencija i spuštanje zraka nego što je divergencija u prizemlju. No povećani atmosferski tlak u anticikloni nije posljedica samo spuštanja nego i taloženja hladnog zraka.

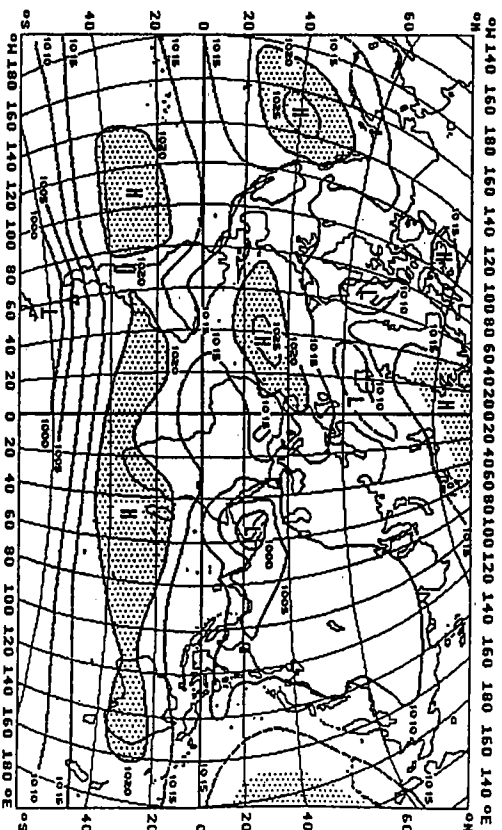
### 20.2. Podjela anticiklona i zemljopisna razdioba

Anticiklone općenito nastaju kao posljedica dinamičkih i statičkih procesa. Prve su suprotropska anticiklona, međuciklonska anticiklona i završna anticiklona (između ciklonskih obitelji). Druga je stacionarna (nepokretna) anticiklona. No anticiklone se dijele i na tople i hladne anticiklone. Topla anticiklona je suprotropska, a hladne su međuciklonska, završna anticiklone i nadasve stacionarna anticiklona, koja se naziva i hladna anticiklona. Po trajanju suprotropska anticiklona se ubraja u stalne, dok stacionarna (hladna) anticiklona postoji u zimsko doba godine, i vide se na srednjim mjesečnim ili godišnjim kartama, slika 20.1. i 20.2., a ostale su kraćeg trajanja i vide se na dnevnim kartama.

Suprotropske anticiklone (*subtropical anticyclone*, *subtropical high pressure belt*; *Subtropenhoch*) zauzimaju velike prostore i najveće su na Zemljinoj površini, prostiru se do velikih visina i gotovo su nepomične. Nalaze se u suprotropskim krajevima (25° do 35° sjeverne i južne zemljopisne širine), a njezini ogranci mogu povremeno zahvatiti i više zemljopisne širine, čak do 50°. Svaka polutka ima po jedan pojas visokog atmosferskog



Slika 20.1. Srednja razdioba atmosferskog tlaka u sjevernoj (hPa) suprotropske i stacionarne anticiklone naznačene su točkasto



Slika 20.2. Srednja razdioba atmosferskog tlaka u sjevernoj (hPa) suprotropske i stacionarne anticiklone naznačene su točkasto

taka koji se proteže oko cijele polutke, pri čemu pojedini dijelovi pojasa imaju izrazito povišene vrijednosti takta. Ove anticiklone su vidljive na kartama srednje razdiobe atmosfere, takta, neovisno o dobu dana ili godine, slika 20.1. i 20.2. Taj pojas visokog atmosferskog takta nastaje kao posljedica dinamičkih procesa tj. spuštanja zraka i sasitji se od više odvojenih poja visokog takta (najviše doseže 1050 hPa). U njenim mjesecima pojedine polutke područja visokog takta zraka su pomaknuta za nekoliko stupnjeva zemljopisne širine prema polovima i izraženija su iznad oceana, kad se ocean ponaša kao hladnija podloga. U zimi su na manjim širinama i izraženija su iznad kopna, koje je tada hladnija podloga. U visinu se anticiklone protežu kroz cijelu troposferu te zalaze u donje slojeve stratosfere tj. idu do visina 15 do 20 km.

Suprotnska anticiklona na mnogim mjestima Zemljine površine dobiva mjesna obilježja i imena. Nama blizu postoji Azorska anticiklona, jer ima svoj maksimum oko Azora, te kao greben visokog takta zahvaća i naše krajeve u koje dolazi sa zapada ili jugozapada, rjeđko i sa sjevera. Tada izobiljivši se nad planinama može izazvati buru u obalnom području (točka 21.4.4.).

Uloga suprotropske anticiklone je važna u mnogim pogledima. Značajno je izvoršte toplih zračnih masa koje napreduju u više zemljopisne širine, tvoreći kasnije s hladnim zrakom viših širina frontalne sustave. Istodobno suprotropska anticiklona je dio vremenskih procesa tropskih područja tvoreći ishodište stalnih vjetrova (pasata). Naime u njoj je vrlo izraženo spuštanje zraka (subsidenca), stoga je nebo vedro, temperature zraka su vrlo visoke, a protokne i više godina u pojedinim krajevima padnu oborine, stoga se na kopnu u području anticiklone nalaze sve svjetske pustinje.

Stacionarne (nepokretne) ili hladne anticiklone (*cold anticyclone, continental anticyclone, stationary high, Kältehoch, kontinentale Antizyklone*) nastaju pri tlu u najem sloju veoma hladnog zraka tj. nisu izazvane procesima u višoj troposferi ili u stratosferi. Ovakva područja visokog atmosferskog takta su dugotrajna i slabo pokretna (otuda i ime anticiklone), a najveće vrijednosti takta dostižu do 1080 hPa.

Polarna područja prekrivena snijegom i ledom pogoduju takvim anticiklonama stoga se one nalaze nad Greenlandom i Antarktikom. Tu dolazi do izraženog spuštanja zraka koji se vodovratno razlazi s ledene kape tih područja. Međutim, sloj hladnog zraka je plitak i nad njim na visini od nekoliko kilometara se nalazi razmjerno topli zrak. Zbog spuštanja zraka, premda ne tako jako kao kod suprotropske anticiklone, nastaju tzv. inverzije suspidencije (temperaturne inverzije zbog adijabatskog zagrijavanja sloja zraka koji se spušta prema tlu, tako da temperatura zraka u tom sloju raste s visinom). Slične hladne anticiklone zimi leže nad Sibrom i sjeverozapadnom Kanadom, slika 20.1. Ta su područja zimi pokrivena snijegom pa se zrak veoma jako hladi odozdo. I ove su anticiklone plitke, dosežu visine 2 do 3 km. Hladna Sibirska anticiklona često se giba prema zapadu, čak i zapadna Europa može doći pod njen utjecaj. Često zimi provodi hladnog zraka, koje je donijela Sibirska anticiklona, zahvaćaju naše krajeve sa sjeveroistoka i preko Dinarskih planina izazivaju vrlo jake i dugotrajne bure u našem obalnom području (točka 21.4.4.).

Međuciklonska anticiklona (*intercyclonic high, Zwischenhochs*) javlja se između dvije ciklone iste ciklonske obitelji i nalazi se u hladnoj masi zraka iza hladne fronte, pa ima značajke hladne anticiklone. Ponekad na meteorološkim kartama te anticiklone nemaju ni jednu zatvorenu izobaru i ne pokrivaju velika područja (nekoliko stotina kilometara), a često se javljaju u obliku grebena suprotropske anticiklone, a rjeđe stacionarne.

Dopiru do visina 2 do 3 km, rjeđe do većih visina. Ove anticiklone ne miruju već se glibaju kao ciklone u obitelji ciklona, slika 19.8.

Postoje i završne anticiklone (*polar-outbreak highs, senenabchliessende Antizyklone*) tj. anticiklone između ciklonska obitelji, a mogu se povezivati sa suprotropskom anticiklonom. Područja koja zauzima ova anticiklona su dosta velika, mogu pokrivati dijelove kontinenta ili oceana, dok se u vis proteže kroz veći dio troposfere, a uočava se iza ciklonskih obitelji, što je vidljivo na lijevoj strani slike 19.8. Početak nastajanja ove anticiklone povezan je s početkom nastajanja vala na planetnoj frontalnoj plohi, kada prednja strana vala prelazi u ciklonu, a zadnja u anticiklonu. Anticiklona se razvija povećanjem Rossbyevog vala (točka 21.5.2.) tj. s prodorom hladnog zraka prema nižim širinama, a giba se kao i hladan zrak na valu pa ima značajke hladne anticiklone. Razvrtak i premještanje anticiklone traje do spajanja sa suprotropskom anticiklonom. Postojanje ove anticiklone može biti više dana, ponekad i tjedana, kada znatno uvjetuje vremenske procese ne samo na svom području već i na susjedima, obzirom da prijeći razne prodore zraka.

Slično postojanju ciklogenetičkih područja postoje i anticiklogenetička područja, slika 19.11. Već je istaknuto da su velike vodene površine (oceani) u njenim mjesecima razmjerno hladne što daje prednost razvrtku anticiklona. S druge strane tu ulogu zimi preuzimaju kontinenti. Posebno, više zimi, uočava se povećanje anticiklona iznad planinskih masiva, naročito iznad Korđifjera. Također, zimi dolazi do spajanja suprotropske anticiklone sa stacionarnom anticiklonom.

Anticiklone, slično ciklonama, imaju dobe razvrtka, no oni nisu tako jasno izraženi te se govori samo o dobima mlade anticiklone, najvećeg razvrtka i raspdnja anticiklone.

### 20.3. Vrijeme u anticiklonama

Nepravilne promjene atmosferskog takta u prizemlju, koje se očituju izmjenama ciklona i anticiklona te njihovih vlastitih promjena, ne prenose se u istom obliku na veće visine uključujući i donje slojeve stratosfere. Na visinama većim od 5500 m (AT 500) tlak zraka se u svim godišnjim dobima povećava od polova prema ekvatoru, dok su gornji slojevi troposfere topliji na polovima nego na ekvatoru, slika 1-5, 10.

U pogledu razdiobe temperature zraka s visinom u cikloni i anticikloni, motrenja pokazuju da je u troposferi zrak u anticikloni topliji nego u cikloni, dok je u stratosferi obratno. Topli zrak u troposferi u anticikloni objašnjava se suspidencijom - spuštanjem zraka pri čemu dolazi do adijabatskog zagrijavanja. Međutim da bi u prizemlju bio tlak visok, mora se u anticikloni topla troposfera nadomjestiti hladnom stratosferom. Vodovratna gibanja u stratosferi, koja se javljaju s promjenama takta u prizemlju, dovode nad područje anticiklone zrak iz manjih zemljopisnih širina, koji je hladniji od zraka u višim širinama. Istodobno postoji priliv toplijeg zraka s viših širina nad područje ciklone.

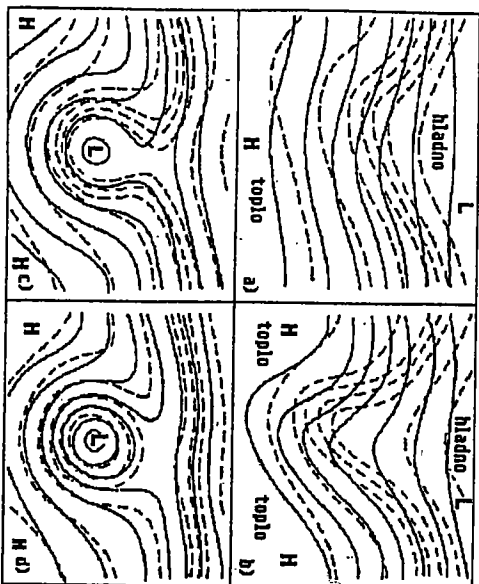
Značajke vremena u anticiklonama (osobito u međuciklonskim i završnim anticiklonama) zavise i od doba godine i količini vlage u zraku. U području spuštanja (suspidencije) u osnovi nema naoblake. Ipak ispod sloja spuštanja zraka (planetni granični sloj) mogu biti i odstupanja. Ljeti je vedro uz visoke temperature, no pri većoj količini vlažnosti mogu nastati razbacani stratokumulusi ili kumulusi. Zimi uz niske temperature, ako

je zrak vlačan, nastaju stratusi i stratokumulusi odnosno magle. Nebo je tada potpuno oblačno, što može potrajati danima, pa i tjednima. Uz slabe vjetrove, prije svega ako je to pokriveno snijegom, mogu pri tu nastati jake inverzije i vrlo niske temperature. Značajke vremena u anticiklonama zavise i od toga da li se promatrano mjesto nalazi blizu središta ili uz rub anticiklone. Na rubovima anticiklone pojavljuju se često vremenske prilike koje su svojstvene za područja susjednih ciklona.

Anticiklone, koje zauzimaju veliki prostor i čitavu troposferu, redovito postaju velika upravljačka središta za gibanje ciklona na svom rubu. Tako, npr. veoma izražena anticiklona u zapadnoj Europi može postati zapreka (zaprečno središte), koja kroz duže vrijeme onemogućuje prodor ciklona na europsko kopno.

## 20.4. Odvajanje ciklona i anticiklona - zaprečavanje

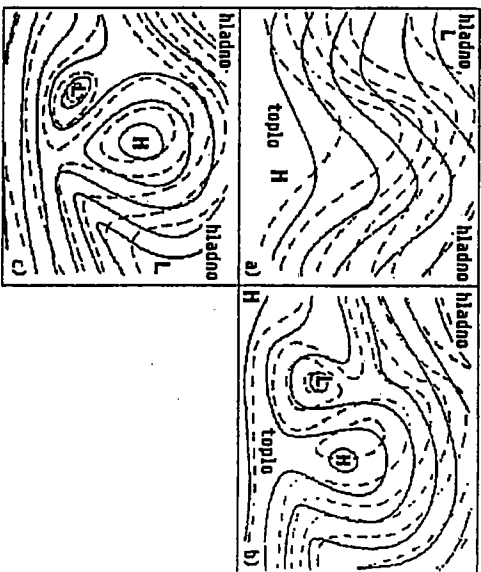
Kao posljedica velike barokline nestabilnosti i razvika vodoravnog vala s vrlo velikom amplitudom i jakim meridijanskim prijenosom topline i hladnoće nastaju na visini, naročito zimi, u slobodnoj atmosferi ciklone pa i anticiklone (točka 19.5.). Ovakav proces nastaje kada zonalna struja počinje meandrirati, tada dolazi do odvajanja pojedinih područja niskog / visokog tlaka zraka (*cut-off low / high; Steuerung von Tief / Hoch*). Ciklonski razvrtak na visini obično počinje u području već prije nastale visinske doline koja ima vrlo jaku ciklonsku vrtložnost, često i u području vrlo jakog ciklonskog smicanja lijevo od osi jake zonalne struje. Ubrzo po početku razvika ciklone na visini, taj proces se prenosi i na niže slojeve. Tada se područja obuhvaćena toplim zrakom na visini i hladnim zrakom u prizemlju šire. Ujedno se smanjuje potencijalna energija na račun kinetičke zbog uspravne razrijeđene zračnih masa.



Slika 20.3. Odvajanje ciklone, izohipse (pune crte), izotermne (crkano) (Peterssen, 1956)

Shematski prikaz odvajanja ciklone na visini i njezinog razvika prikazan je na slika 20.3. U početku iza doline u polju izohipse (npr. AT 500 hPa) pojavljuje se dolina u polju izotermi. Tada postoji hladna advekcija u zadnjem dijelu visinske doline, a topla dalje niz vjetar (prvo doba razvika), slika 20.3.a). Daljnja advekcija ujednatje porast amplitude visinske doline (drugo doba), slika 20.3.b). Nadalje, dolazi do spajanja toplog zraka na zapadu s toplim zrakom na istoku doline. Na mjestu spajanja nastaju grebeni visokog tlaka, koji odvajaju visinsku dolinu odvajajući izvjesnu količinu hladnog zraka prema jugu, ako se proces promatra na sjevernoj polutki, gdje nastaje zatvoreno ciklonsko krutljenje (treće doba), slika 20.3.c). Novo nastala ciklona je potpuno odvojena, ima veliku vrtložnost, a termički je gotovo potpuno simetrična. (Četvrto doba razvika), slika 20.3.d). Izohipse i izotermne sjeverno od središta ciklone ponovno se pružaju zonalno.

Proces odvajanja anticiklone shematski je prikazan na slici 20.4. te pokazuje sličnost s odvajanjem ciklone. Početno postoji topla advekcija na zadnjoj strani visinskog grebena tlaka. Uočava se postojanje pomaka u fazi između termičkog i tlačnog vala (prvo doba razvika), slika 20.4.a). Kako se greben tlaka obično giba malom brzinom, jaka advekcija toplog zraka utječe na širenje visinskog grebena prema sjeveru i sjeveroistoku tako da će poslije izvjesnog vremena imati oblik prikazan na slici 20.4.b), (drugo doba). Vremenom greben gubi valni oblik i dobiva oblik sličan grčkom slovu  $\Omega$ . Glavna značajka procesa koja se javlja u ovom (trećem) dobu razvika je dijeljenje zonalne struje, koja meandriira. Ovo dijeljenje se dešava nešto ispred  $\Omega$ -modela te glavni dio struje obilazi sjeverno oko grebena (promatrano na sjevernoj polutki), dok drugi dio struje obilazi južno od  $\Omega$ -modela, što vremenom dovodi do potpunog odvajanja visinske anticiklone, slika 20.4.c). Pri veoma jakom razviku ovog sustava često se na SW i SE stranama stvaraju vrlo oštre doline ili čak i odvojene ciklone.



Slika 20.4. Odvajanje anticiklone i  $\Omega$  stanje; izohipse (pune crte), izotermne (crkano) (Peterssen, 1956)

Odvajanjem visokog tlaka zraka i njegovim jačanjem nastaje u troposferi izvjesno stanje zastoja tj. *zaprečavanja (blocking anticyclone; blockierende Hoch)*.

Prije je spomenuto da se u umjerenom pojasu ciklone i anticiklone (meduciklonske) premještanju zonalno, zapad - istok, uz izvjesno, razmjerno malo, meridijansko pomicanje. Smjer premještanja ovih sustava se obično podudara sa smjerom termalnog vjeha (točka 1-9.5.) u srednjoj troposferi, te se može reći da s njima upravlja termalni vjehar na visini. Međutim, postoji uvjeti kada je odvojeno anticiklona u umjerenim i višim zemljopisnim širinama razvijena do većih visina, pa se prizemne ciklone, kao slabije razvijeni sustavi, gibaju oko ove odvojene anticiklone. U stvarni ciklone, kao prizemni sustavi, gibaju se u smjeru struje koja se grana na prizemni anticiklone i tđu prema sjeveru oko anticiklone ili drugom južnijom granom oko Ω-anticiklone, slika 20.4. To pokazuje da jako razvijena anticiklona u umjerenim i višim zemljopisnim širinama, koja je obično i malo pokretna, sprječava (zaustavlja) uobičajeno zonalno gibanje ciklona, pa se po tome i zove *zaprečna anticiklona*.

Ovakove značajne vremenske situacije u prosjeku traju 16 dana, ponekad i mjesec dana, a najčešće su u području zapadnih obala Europe i Sjeverne Amerike. Početak zaprečavanja je obično u svezi s jakom ciklogenezom na zapadu i razvikom hladne kopnene anticiklone na istoku u odnosu na položaj zaprečenja. Najčešće se javlja u travnju, a najmanje je ima u kolovozu i rujnu. Na području stacioniranja ovakove anticiklone postoji dugotrajno uglavnom bezoborinsko vrijeme i ovisno o godišnjem dobu pripadajuće ekstremne temperature. S druge strane, na zapadnim rubovima ove anticiklone, oko koje obilaze ciklonske obitelji, vrijeme je oblačno s dugotrajnim oborinama.

### Dopunska literatura

- Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.  
 Defant, F. i H.T. Mörth, 1978: Compendium of Meteorology, Synoptic Meteorology. WMO, Geneva, 252.  
 Makjančić, B., 1967: Osnove meteorologije. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 243.  
 Matveev, L.T., 1984: Kurs obše meteorologii. Gidrometeorizdat, Leningrad, 751.  
 Peterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, I dio. McGraw-Hill, inc, New York, 428.  
 Zverev, A.S., 1968: Sinoptičeskaja meteorologija. Gidrometeorizdat, Leningrad, 774.

## 21. GIBANJA ZRAKA U ATMOSFERI

### 21.1. Osnovno o vrstama gibanja zraka u atmosferi

Nejednoliko zagrijavanje Zemljine površine uzrokom je raznih promjena atmosferskog tlaka, koji pak izazvao uvjetuje gibanja zraka (kruženja). Kruženje zraka nastoji prirodni putem izjednačiti te razlike, ali potpuna toplinska ravnoteža je nemoguća. Stoga je kruženje zraka u atmosferi neprekidni proces.

Kruženje zraka u atmosferi može se podijeliti na primarno - prvotno (opće ili planetno - os kruženja je vodoravna), sekundarno - drugotno, koje čine razni sustavi tlaka zraka (ciklone, anticiklone i sl. - os kruženja je uspravna) i tercijarno (regionalno, mjesno - os kruženja je vodoravna), koje zahvaća razmjerno mala područja. Posljedica pojedinih kruženja su vjetrovi: stalni ili planetni vjetrovi (pasati), sezonski (monsuni) i mjesni - lokalni vjetrovi.

Dio svakog sustava kruženja zraka većih ili manjih razmjera, osim vodoravnog strujanja - vjeha, su uspravna gibanja u obliku dizanja i spuštanja zraka (o tome više u točki 23.).

Mjesne (lokalne) vjetrove odnosno mjesno kruženje zraka mogu uzrokovati dnevne razlike atmosferskog tlaka nastale zbog nejednakog zagrijavanje Zemljine površine (kopno - more, brdo - dolina). Uzrok ovakovih kruženja zraka isključivo je toplinske prirode. Vjetrovi koji se tada javljaju pripadaju vrsti dnevnih periodičkih vjetrova. Jačina tih vjetrova se povećava s većim temperaturnim razlikama. No često se mjesno kruženje zraka nalazi unutar zračnih struja nekog sustava tlaka zraka. U takvim slučajevima vjehar nema mjesno obilježje.

Posveba vrsta mjesnih vjetrova su rotacijski ili vrtožni vjetrovi (pijavica i tornado - os kruženja je uspravna), koji se uglavnom javljaju u tropskom području, te će biti objašnjeni u poglavlju o olujama (točka 23.6.).

Stalni ili planetni vjetrovi (pasati) te sezonski vjetrovi (monsuni) javljaju se također u tropskom području, stoga će biti objašnjeni u poglavlju o vremenu u tropima (točka 24.).

Kao što postoje valovi na moru, postoje i valovi u atmosferi i oni su poseban oblik strujanja zraka u atmosferi. Postoji više vrsta valnih gibanja, no najznačajnija su valna gibanja s izraženom komponentom u uspravnoj ili vodoravnoj ravnini (točka 21.5.).

Zračno strujanje ili vjehar, kao posljedica gibanja fluida ima kinetičku energiju  $E_k$ :

$$E_k = \frac{\rho}{2} V^2 \quad 21(1)$$

gdje je  $V$  brzina vjeha. Kako kinetička energija raste s kvadratom njegove brzine, izlazi razornost vjeha pri velikim brzinama. Stoga se govori o vjehrenoj (eolnoj) energiji kad vjehar uvjetuje eroziju na Zemljinoj površini i na predmetima koji se nalaze u atmosferi (erozija vjeha).

Obzirom na izrazitu promjenljivost vjetera određuje se njegova stalnost. Stalnost smjera vjetera  $S$  može se odrediti prema:

$$S = \frac{Y_s}{Y} 100 (\%) \quad (21(2))$$

gdje je:  $Y_s$  brzina srednjeg vektora vjetera, a  $Y$  srednja brzina bez obzira na smjer vjetera. Stalnost 0% znači da svi smjerovi imaju istu čestinu, a stalnost 100 % obilježava vjeter uvijek istog smjera, pri čemu se brzina može mijenjati.

## 21.2. Dnevni i godišnji hod zračnih strujanja

Buduci da postoji dnevni i godišnji hod temperature zraka, zatim hod tlaka zraka, mora očito postojati više ili manje pravilan dnevni i godišnji hod vjetera (smjer i brzina). U ovoj analizi se isključuju kolebanja smjera i brzine vjetera u vrlo kratkim vremenskim razmacima.

U dnevnom hodu promjene smjera vjetera općenito su vrlo izražene, od umjerenog skretanja (Prati Sunce) do potpuno suprotnog smjera puhanja ovisno o dobu dana. Za vrijeme postojanih vremenskih situacija na više ili manje jednolikom i ravnom terenu, po izlasku Sunca i pojavi vjetera uočava se da isti "prati" Sunce, što znači da vjeter puše uglavnom od Sunca. Kako se tijekom dana Sunce prividno giba po nebeskom svodu od istoka do zapada to i vjeter mijenja svoj smjer. Ujutrno prevladava slabi istočni vjeter, oko podneva južni, a predvečer slabi zapadni vjeter. Naravno utjecaj godišnjih doba ima znatnu ulogu uz činjenice da su takove situacije izraženije u toplo doba godine.

Brzina vjetera se također mijenja te postoje razni dnevni hodovi, koji se mogu podijeliti na kopneni i morski tip. Kod kopnenog tipa najveće brzine su oko podneva, a najmanje noću, podudaraju se s dnevnom promjenom temperature. To vrijedi do visina oko 100 m (zimi nešto niže, 50 m). Iznad te visine dnevni hod je obratan; najjači je noću, a najslabiji danju. Džukci topli zrak prenosi kinetičku energiju prizemnih slojeva, koja je mala, jer je brzina vjetera u prizemlju zbog trenja mala. Nasuprot tome, silazne struje u prizemne slojeve donose povećanu kinetičku energiju, jer je brzina vjetera na visini veća, obzirom na slabiji utjecaj trenja. Stoga u najtoplijem dijelu dana s najvećom uspravnom raznjom zraka u prizemlju nastaju najveće, a u iznad ležećem sloju najmanje brzine vjetera. Tek u noćnim satima kada je konvekcija oslabila nastaje uobičajena promjena brzine vjetera s visinom. Ovakove situacije u pušnjaškim područjima, gdje je inozračja vrlo jaka, danju u prizemnom sloju mogu dovesti do vrlo jakih, čak olujnih, vjetrova. S druge strane, ovakove su situacije zimi slabo izražene. Morski tip dnevnog hoda brzine vjetera je obrnut; vjeter je jači noću, a slabiji danju. Nad prostiranim oceanima nema dnevnog hoda brzine vjetera. Poseban tip dnevnog hoda brzine može biti u jakih vjetrova. Znakovito ima dva para ekstrema (bura najjače puše oko 10 i 22 h, a najslabije oko 4 i 16 h). Za vrijeme poplune naoblake dnevni hod brzine vjetera je vrlo slab, skoro ga i nema.

U godišnjem hodu može djelovati više čimbenika, pri čemu atmosferski tlak više djeluje nego u dnevnom hodu. U višim predjelima (brda) brzine su nešto veće, a također

je i godišnji hod izraženiji. Hladni dio godine je vjetrovitiji od toplog. Objašnjenje je u termičkoj razlici između polarnih i ekvatorskih područja.

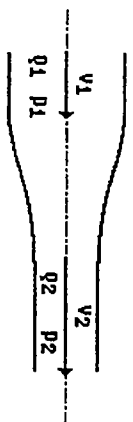
## 21.3. Tipovi strujanja uz Zemljinu površinu

U točki 1-9.6. naznačeni su osnovni oblici strujanja uz podlogu te promjene brzine i smjera vjetera s visinom. Očito je da ove promjene zračne struje opisuje laminarni i turbulentni tip strujanja, pri čemu Reynoldsov broj grubo razgraničava ta dva tipa strujanja. Analitički prikaz ovakvih strujanja je vrlo složen ili je nemoguć, stoga se strujanja manjih razmjera obično opisuju uz naznaku pojedinih svojstvenih strujnih veličina, dobivenih ili laboratorijskim mjerjenjima ili numeričkim modeliranjem.

Pri prijelazu zraka preko neke prepreke dolazi do zblizavanja strujnica, pa prema tome i do povećanja brzine vjetera, sukladno zakonu o održanju energije tj. njegovom izvedenom obliku, Bernoullievom zakonu:

$$p_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho_1 v_2^2}{2} \quad (21(3))$$

gdje je  $p$  statički tlak, dok je izraz  $\rho \cdot v^2/2$  dinamički tlak, pri čemu indeksi 1 i 2 označavaju veličine na ulazu odnosno izlazu nekog elementa zračne struje, slika 21.1.1. Zblizavanje strujnica se javlja i pri tzv. kanalnim utincima. Na mjestima zblizavanja strujnica i povećanja brzine struje, tlak mora padati, što je uzrok izobličenja struje i dobivanja valnog oblika struje (točka 21.5.).

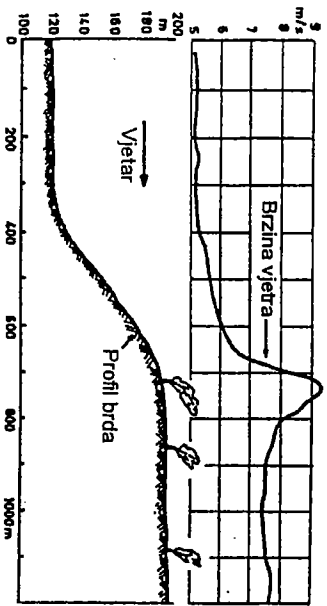
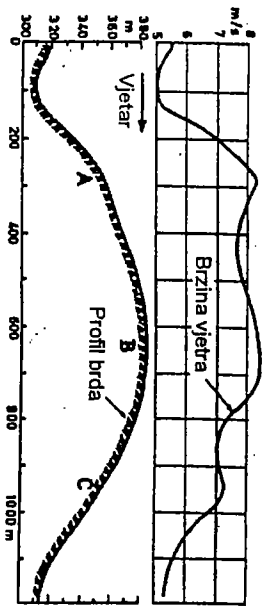


Slika 21.1.1. Prikaz Bernoullieva zakona

Na slici 21.2. prikazano je strujanje zraka preko dva profila brda, jedno ispućeno, a drugo ravno izdignuto u odnosu na okolicu.

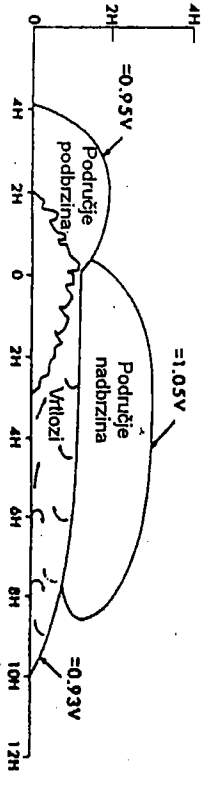
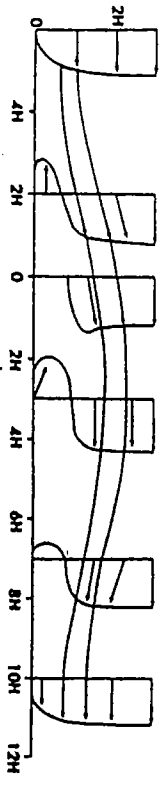
Gornja slika pokazuje profil brda relativne visine oko 70 m, iznad kojeg puše vjeter promjenljive brzine ( $5 - 8.5 \text{ m s}^{-1}$ ). S lijeve strane slike (otkuda nailazi vjeter) postoji manje udubljenje terena što se očituje u smanjenju brzine ( $5 \text{ m s}^{-1}$ ). Na privjetrini u točki A brdo ima lagano izbočenje što uvjetuje povećanje brzine vjetera (oko  $8.5 \text{ m s}^{-1}$ ). Slično vrijedi i za točku B. U zavjetrini brda u točki C brzina je također povećana, no to povećanje često je posljedica poniranja vjetera i izražene vrtložnosti i turbulencije.

Donja slika ima drukčiji profil brda. Sada postoji izdignuti ravni teren za 70 m. Nailaskom vjetera na privjetrnu, brzina od početnih  $5 \text{ m s}^{-1}$  raste do oko  $6.5 \text{ m s}^{-1}$ , zatim nastupa nagli porast brzine uvjetovan nagibom terena, koji može biti povećan gustim raslinjem. Postizanjem najveće brzine oko  $9.5 \text{ m s}^{-1}$  brzina vjetera se smanjuje ( $7.5 \text{ m s}^{-1}$ ) uz lagano kolebanje.



Slika 21.2. Brzina vjetra pri opstrujavanju malog brda (Eimern i Hackel, 1979)

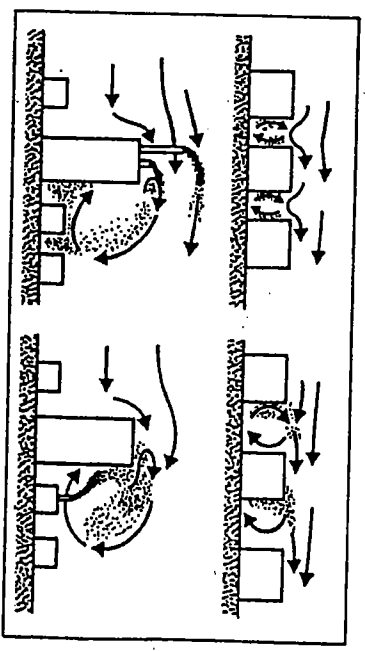
21.3. Promjene brzine vjetra u ovisnosti relativne visine prepreke prikazane su na slika



Slika 21.3. Relativna brzina vjetra pri opstrujavanju brda visine H (Tisu, 1988)

Gornja slika prikazuje strujanje zraka iznad profila brda relativne visine  $H$ . Profil se nalaze na raznim udaljenostima (mjereno visinom  $H$ ) ispred, na i iza prepreke. Uočava se da u najnižim slojevima postoji strujanje suprotnog smjera od nailazeće zračne struje, dok donji dio slike označava područja s povećanom odnosno smanjenom brzinom u odnosu na osnovnu struju. Iznad i iza vrha prepreke postoji područje povećanih brzina ( $1.05 V$ ), a ispred i iza prepreke je smanjenje brzina ( $0.95$  odnosno  $0.93 V$ ). Znakovito je prostrano zavjetrinsko područje smanjenih brzina do udaljenosti 7 visina prepreke, to je područje jake vrtložnosti. Ovi uvjeti zadovoljavaju uvjete za visine prepreke do 5 m uz osnovnu struju 5 do  $10 \text{ m s}^{-1}$ , odnosno za prepreke iznad 5 m brzina vjetra treba biti 10 do  $20 \text{ m s}^{-1}$ .

Razne prepreke uvjetuju razne oblike strujanja. Jedan takav primjer dan je na slici 21.4., gdje postoji strujanje zraka iznad i oko raznih oblika građevina. Strujnice uz osnovnu struju pokazuju dizanja i spuštanja zraka uz mnoštvo vrtložjenja, pa je teško predviđeti oblik strujnica.



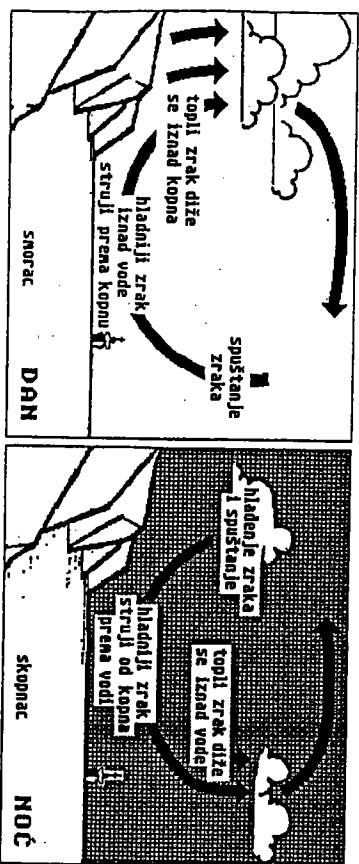
Slika 21.4. Strujanje zraka oko građevina (dim ukazuje na strujnice) (Oke, 1982)

### 21.4. Mjesni vjetrovi

#### 21.4.1. Vjetrovi između kopna i mora

Vjetrovi između kopna i mora, odnosno obalni vjetrovi javljaju se kada je lijepo i stabilno vrijeme. Prikaz tih vjetrova tijekom dana i noći dan je na slici 21.5. Primjećuje se da vjetar tijekom dana puše od mora prema kopnu, a tijekom noći obrnuto, tj. od kopna prema moru. Stoga se danji vjetar može nazvati smorac (*sea breeze*; *Seebriese*), a noćni skopnac ili kopnenjak (*land breeze*; *Landbrise*). Ove dnevne periodičke vjetrove, tj. mjesno obalno kruženje zraka, uzrokuju dnevne razlike atmosferskog tlaka nastale zbog nejednakog zagrijavanja Zemljine površine (kopno - more). Gradijent tlaka zraka

djeluje od hladnije prema toplijoj podlozi te dolazi do dizanja toplog zraka, koji se danju nalazi iznad kopna, a tijekom noći iznad mora. Očito je da se jačina vjetera povećava s većim temperaturnim razlikama kopna i vode.



Slika 21.5. Vjetrovi između kopna i mora

Ovo kruženje zraka se redovito javlja u tropskim i suprotropskim krajevima, no izraženo je i u umjerenom pojasu u toplo doba godine, kad su temperaturne razlike kopna i mora znane. U tropskim krajevima obalni vjetrovi su najvažnija klimatska značajka, te stalnost vjetera doseže 70%. Značaj lijepog i stabilnog vremena prikazuje količina naoblake s kojom je veže vjerojatnost pojave smorca u području Sredozemlja, tabl. 21.1. Primjećuje se da je za oblačna vremena mala mogućnost smorca.

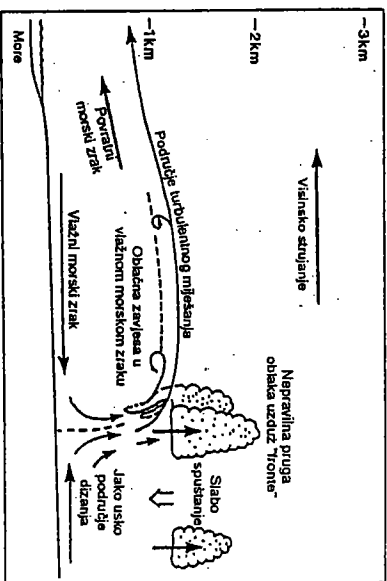
Tablica 21.1. Vjerojatnost pojave smorca u Sredozemlju

Naoblaka (%)	0 - 50	60 - 80	90 - 100
Vjerojatnost smorca (%)	50	39	27

Smorac ne dolazi izmenada, javlja se kao slab povjetarac koji počne puhati između 8 i 10 h. Puše jednolično, u ranim poslijepodnevnim satima (14 do 16 h) postiže svoju najveću brzinu 3 do 8 m s<sup>-1</sup> i prestaje puhati prije zalaza Sunca. U tropskom području iznad ravnog kopna smorac ulazi u unutrašnjost kopna do 100 km, a debljina sloja vjetera iznosi do 800 ili 1000 m. Na visini 1000 do 3000 m vjeter je suprotan. U umjerenom području vjeter prodire u unutrašnjost iznad ravnog kopna do 30 km, a debljina sloja vjetera doseže 500 m. Smorac povećava vlažnost zraka te se nad kopnom iznad pojedinih brda stvaraju manji konveksijski oblaci.

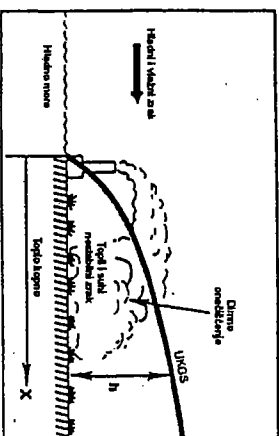
Skopnace počinje puhati nakon zalaza Sunca, između 20 i 21 h, a najjači je pred izlaz Sunca. Ima slična svojstva kao smorac samo u blažem obliku. Brzina, debljina sloja i područje puhanja vjetera su manji. Na otvoreno more dopire do 30 km. Iznad sloja skopnaca u visini puše slabi vjeter suprotnog smjera zatvarajući kruženje zraka. Smijena smorca i skopnaca za stabilna vremena je redovna, time što u međuvremenu nastupa tišina.

Dodir vlažnog morskog zraka i suhijeg toplog kopnenog zraka za vrijeme smorca omogućava razvitiak grudaste (kumuliformne) naoblake u donjim slojevima troposfere. Tada na izvjesnoj udaljenosti od obale postoji razvitiak mezofronte, slika 21.6.

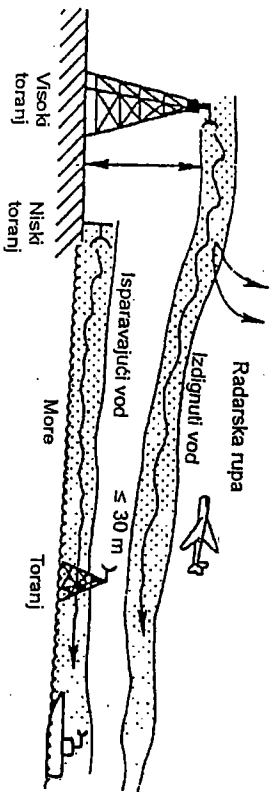


Slika 21.6. Presjek donje atmosfere za pojave smorca (WMO, 1993)

Pri strujanju vlažnog zraka s mora na kopno, izraženo je prizemno trenje te uz temperaturne razlike nastaje unutarnji konveksijski granični sloj čija je visina od desetak metara blže obali do stotinjak metara na udaljenosti nekoliko kilometara od obale. Ovaj sloj predstavlja termički izmijenjeni planetni granični sloj. Taj sloj je značajan pri onečišćenju zraka u priobalju ako postoje izvori onečišćenja, slika 21.7. Nadalje, taj sloj je vrlo važan za širenje radio odnosno radarskih valova, jer dolazi do njihovog jakog loma zbog jakih temperaturnih i vlažnostnih gradijenata, slika 21.8. Dobro širenje radio valova postoji u sloju (ili slojevima na raznim visinama) s povećanim isparavanjem vode te tvori tzv. "isparavajući vod", dok se izvan takvih slojeva radio valovi jako lome te je normalno širenje valova ograničeno ili čak onemogućeno. Stoga visina antena u takvim slučajevima ima važnu ulogu.



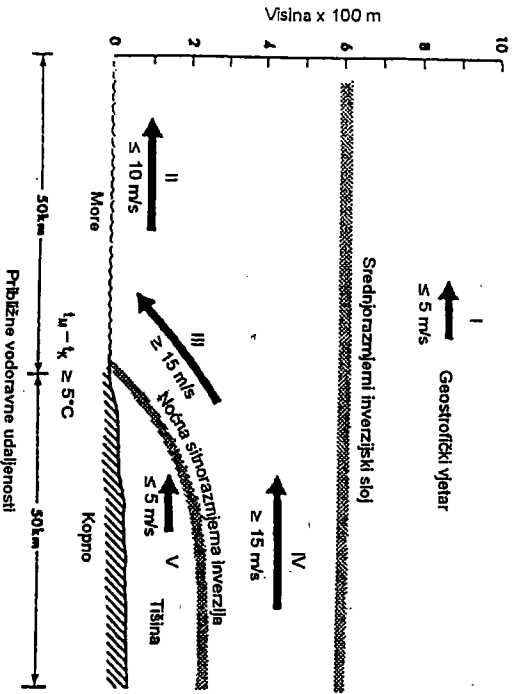
Slika 21.7. Shema unutarnjeg konveksijskog graničnog sloja (UVCS) i onečišćenje zraka za pojave smorca (Hsu, 1988)



Slika 21.8. Shema širenja radio valova u "isparavajućem vodu" (Hsu, 1988)

Slični uvjeti postoje iznad tople morske struje (npr. Goliške struje) kad vjetar puše s hladne morske vode. Tada nastaje prijelazni pojas koji tvori morsku termičku frontu manjih razmjera. U odnosu na prijašnji primjer, bitna razlika je postojanje vlažnog i toplog zraka u unutarnjem granitnom sloju, tj. iznad tople podloge.

U noćnim satima kad je kopno hladno, a more razmjerno toplo, skopnac na nekim mjestima može biti dosta snažan ( $> 15 \text{ m s}^{-1}$ ). To je vezano s noćnom stratoraznijernom inverzijom, slika 21.9. Uvjet je postojanje dvaju inverzijskih slojeva, jedan na većoj visini (više stotina metara) i drugi niži, na stotinjak metara. Vjetar od kopna prema moru koji puše između inverzijskih slojeva na pribalju jača pod utjecajem Venturijevog učinka i spuštajućeg vjetra. Takav vjetar se nalazi na visinama 100 - 600 m te od nekoliko kilometara ispred obale do 40 - 50 km u kopno, što dosta ovisi o mjesnim uvjetima. Iznad mora vjetar je na visini oko 100 m.



Slika 21.9. Shema pojačanog vjetra na manjim visinama, skopnaca (Hsu, 1988)

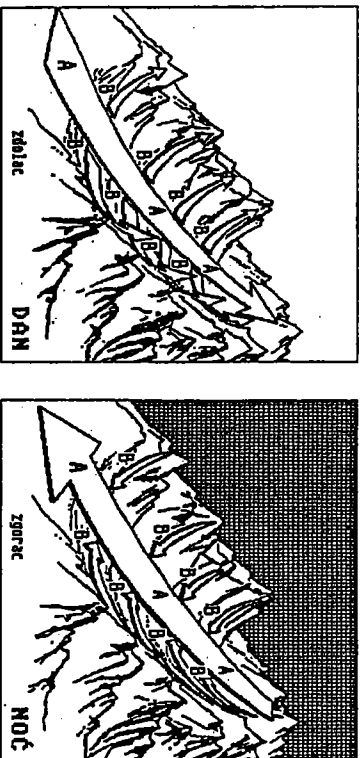
Svojevz obalnog kruženja zraka vrijeđe i za jezera te velike rijeke, samo što su učinci slabije izraženi. Obalno kruženje zraka iznad rijeke tijekom dnevnih sati uvjetuje razilaženje i spuštanje zraka iznad rijeke, dok je u noćnim satima zblizavanje i dizanje.

Opcenito, značajke "obalnog" kruženja vrijeđe za razne kakvoće podloge. Tako područja močvara i suhog tla pokazuju slična, ali slabija kruženja zraka. Nadalje, prostranstva šume i polja daju danju vjetar prema polju (šumski vjetar), a noću prema šumi. Postoji i kruženje zraka između grada i okolice. Kako se grad ponaša kao tzv. toplinski otok po danu postoji vjetar prema gradu, a po noći od grada.

Obalni vjetar rijetko se javlja u svom osnovnom obliku, već je pod utjecajem i drugih tipova strujanja zraka. Na primjer strujanja u području nekog otoka koji se nalazi blizu velike kopnene mase su općenito zbroj obalnog strujanja tog otoka i većeg obalnog strujanja kontinenta. Naravno, uz ove oblike strujanja postoje i mnogi drugi oblici (masestral, burin i drugi vjetrovi).

#### 21.4.2. Vjetrovi brda i doline

Vjetrovi između brda i doline, odnosno vjetrovi obronka javljaju se kad je tijepeo i stabilno vrijeme, slično kao i vjetrovi između kopna i mora, a prikazani su na slici 21.10. I u ovom slučaju postoje promjene vjetra tijekom dana i noći. Danju vjetar puše iz doline prema brdu, a noću s brda u dolinu. Stoga se danji vjetar može nazvati zdolac (*valley wind*; *Tal Wind*), a noćni zgorac (*mountain wind*; *Berg Wind*). I ovo mjesno, dnevno-periodičko i planinsko kruženje zraka, uzrokuje dnevne razlike tlaka zraka nastale zbog različitog zagrijavanje Zemljine površine (brdo - dolina). Gradient tlaka zraka djeluje od hladnije prema toplijoj podlozi te dolazi do dizanja toplog zraka, koji se danju nalazi iznad brda, a tijekom noći iznad doline. Jačina vjetra se povećava s većim temperaturnim razlikama.

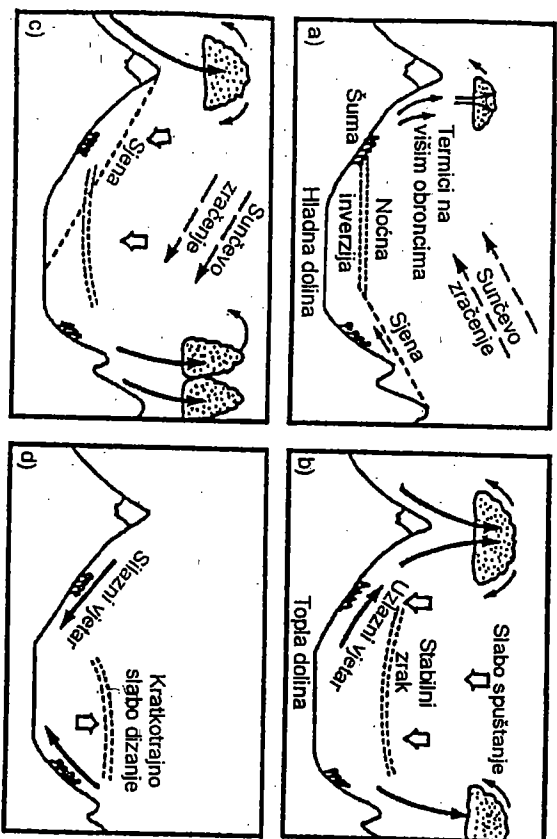


Slika 21.10. Vjetrovi između brda i doline

Vjetrovi između brda i dolina u odnosu na vjetrove između kopna i mora su slabiji obzirom da su temperaturne razlike općenito manje.



Vjetar zdolac se javlja kao zračno strujanje uz obronke brda u obliku slabog povjearca koji počinje puhati 2 do 3 h po izlazu Sunca, najprije na istočnim obroncima brda, a zatim i na južnim. Kasnije se danju javlja i na zapadnim obroncima. Tijekom poslijepodneva slabi najprije na istočnim, zatim i na ostalim stranim brda, te prestaje puhati prije zalaza Sunca, slika 21.11. a), b) i c). Na sjevernim obroncima se rjeđe javlja, pogotovo ako su strmiji. Zbir vjetrova zdolaca daje dohnski vjetar (na slika 21.10. lijevo, A). Zdolac je uzrokovan s raznim snijegovima zračenja Sunca i ujedno raznim jačinama zagrijavanja obronaka brda te doline. Zrak blizu obronaka danju je topliji od zraka na istoj visini, ali u slobodnoj atmosferi daleko od tla. Brzina zdolca je 2 do 5 m s<sup>-1</sup>, rijetko 7 do 10 m s<sup>-1</sup>, koje postiže u najtoplijim satima. Javlja se i uzlazna zračna struja blizu obronka koja može dosezati do nekoliko m s<sup>-1</sup>. Vjetar je to jači ako je atmosfera nestabilnija. Zdolac, obrznom da se diže, dovodi do kondenzacije vodene pare te se nad brdom stvaraju manji konveksijski oblaci. Podalje od obronka postoji spuštanje zraka. Visina na kojoj zrak počinje da struji prema središnjim dijelovima doline nalazi se na visini 500 do 1000 m. Iznad doline je silazno zračno strujanje.



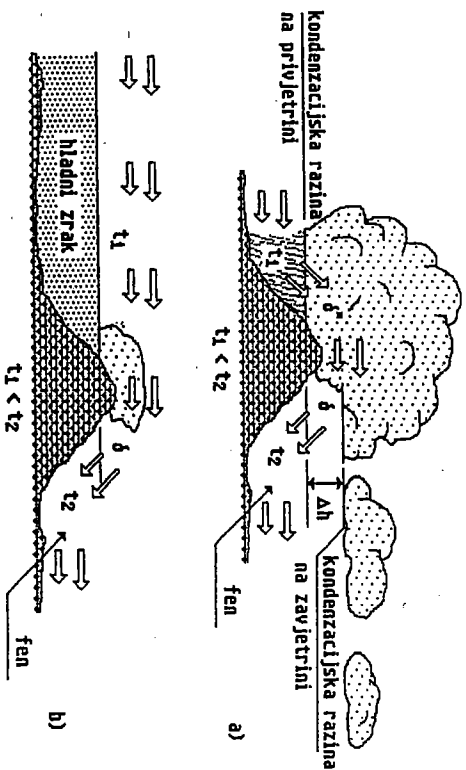
Slika 21.11. Vjetrovi između brda i doline a) jutro, b) podne, c) poslijepodne, d) noć

Vjetar zgorac, kao strujanje niz obronke, počinje puhati nakon zalaza Sunca, a najjači je pred izlaz Sunca, slika 21.11. d). Noću ohladeni zrak struji niz obronak i siljeva se u dolinu tvoreći gorski vjetar (na slika 21.10. desno, A), a na njegovo mjesto u visini dolazi topliji zrak iz slobodne atmosfere. U središnjim dijelovima doline, pogotovo ako je zadržana, postoji lagano dizanje zraka ( $\geq 0.5 \text{ m s}^{-1}$ ). Zgorac ima slična svojstva kao zdolac, no uz strme obronke i jako hladenje zraka brzina zgorca može nadmašiti brzinu zdolca. Smjena zdolca i zgorca za stabilna vremena je redovna, no u međuvremenu

nastupa tišina. U hladno doba godine vjetar zgorac dovodi u dolinu hladan zrak, gdje uz prisustvo vlage vrlo lako nastaje magla. Postoji i ledenjački vjetar (*glacier wind*, *Gletscher Wind*) uslijed razlika temperature zraka iznad ledenjaka i blize okolice. Puše od ledenjaka i jači je danju, a ovisno o veličini ledenjaka može doseći brzinu do 7 m s<sup>-1</sup>. No sloj vjetrova je deo tek nekoliko desetaka metara.

### 21.4.3. Fen

Fen (*Föhn*; *Föhn*) je topli i suhi vjetar koji se javlja na zavjetrini brda, a prikazan je na slici 21.12. Pri zračnim strujanjima preko brda na privjetrinskoj strani brda postoji dizanje zraka, stvaraju se oblaci iz kojih padaju oborine. Pri tome zrak gubi dio vlage i oslobađa se latentna toplina. Prijetaskom hrpa brda zrak se spušta i adijabatski zagrijava. Dolazi do rasplinjavanja naoblake te se u podnožju brda javlja fen. Zrak na podnožju zavjetrine je suši i topliji od zraka koji je bio na privjetrini. Topliji je zbog prije oslobodene latentne topline i zbog adijabatskog zagrijavanja, slika 21.12. a). To je pseudadijabatski proces (točka 1-8.2., slika 1-8.5. b).



Slika 21.12. Fen

Na slici 21.12. b) prikazan je fen kao izravno spuštanje zraka uz adijabatsko zagrijavanje. Kada je cijelo privjetrinsko područje ispunjeno hladnim zrakom, tj. postoji jaka temperaturna inverzija, koja se proteže do blizu vrha brda - prepreke, tada na privjetrini ne postoji izraženo dizanje zraka. Gornja granica hladnog zraka djeluje kao da je površina podloge iznad koje struji zrak. Naravno, ovo je moguće ako visinsko strujanje nije suviše jako kako nebi uvjetovalo razgradnju niskoletelog hladnog zraka. Prelaskom vrha brda struja zraka se spušta uz adijabatsko zagrijavanje.

21.14.7

Tipičan primjer pojave fena je u Alpama, koji je uvjetovan sinoptičkom situacijom. Tada je ciklona obično iznad sjeverozapadne ili srednje Europe, kada struja topliog i vlažnog zraka dolazi sa Sredozemlja. Južna strana Alpa ima oblakno i oborinsko vrijeme (kiša i/ili snijeg), a sa sjeverne strane je rasplinjavanje nabołake, često u obliku vrtuga paralelnim s planinom, dok neposredno iznad Alpa postoji "oblakna kapa" ili "fenski zid". Tada u podnožju Alpa puše fen, koji uvjetno poboljšava vidljivost, javlja se plavetnilo neba. Fen je češće zimi, što je određeno položajem ciklone, obično je tzv. južni fen (sjeverna strana Alpa); rjeđe je sjeverni fen (južna strana Alpa). U hladnom dijelu godine prije nastupa fena obično je vrlo hladno, postoji tzv. jezero hladnog zraka. Najbližeći fen taj hladni zrak naglo ukloni i nastupa jako zatopljenje, čak za 15 do 30 °C u roku od pola sata. U Južnoj Dakoti (1933.) pojava fena dovela je do zatopljenja od 37 °C za 18 h. Vlažnost zraka također naglo pada, ponekad od 100% padne na 10%. Fen se najčešće javlja u Alpama, traje nekoliko dana u proljeću (uzrokuje lavine i poplave zbog otapanja snijega, omogućava raniji početak vegetacije), a u jeseni (omogućava zrenje biljaka, grožđa). Javlja se također na Kavkazu, Grönlandu, u Sjevernoj Americi (*chinook*), Siciliji i drugim područjima koja imaju slične zemljopisno meteorološke značajke.

Glede povišenja temperature, iako je mala vlažnost zraka, fen uvjetuje vrijeme koje dosta negativno utječe na ljude i životinjski svijet, ali je pozitivno za biljni svijet. U ljudi se javlja izvjesna razdražljivost i nevoljkost u radu te u bolesnicima uvjetuje razne smetnje.

#### 21.4.4. Mjesni vjetrovi u Hrvatskoj

##### Bura

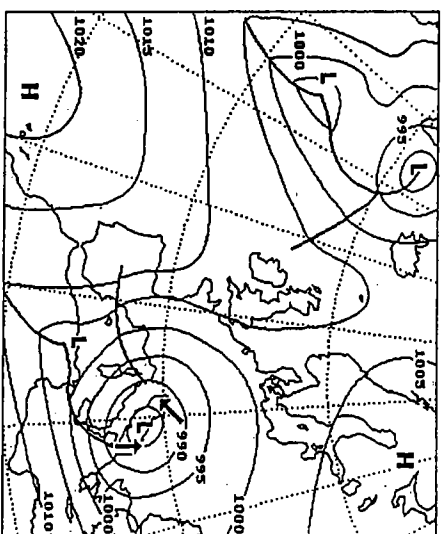
Bura (*bura*, *Bura*) je tipični vjeter Jadranskog primorja. Puše na obalama mora uz koje planinski lanci dijele općenito topliji zrak nad morem od hladnog zraka nad kopnom. Ovakovi uvjeti, kao na Jadrani, su malo gdje ispunjeni te i ime bura ulazi u vjetersku terminologiju. Bura je jaki, hladni i pretežno suhi vjeter, koji puše sa sjeverozapada i na udare. Brzine bure su 15, prelaze i 30 m s<sup>-1</sup>, dok udari vjetera poprimaju i vrijednosti 50 m s<sup>-1</sup>. 21.12.1998. izmjerena je na Masleničkom mostu kod Zadra mah bure od 69 m s<sup>-1</sup> (250 km h<sup>-1</sup>). Glede svoje dosta izražene promjene smjera u vrlo kratkim razdobljima, a naročito zbog promjene brzine, bura strva vrlo jaku turbulenciju u atmosferi, što dovodi do velikih teškoća u svim granama prometa, pa i u ostalim ljudskim djelatnostima. Udaljavajući se od istočne obale Jadrana prema pučini, bura je sve slabija i rjetko je olujna (brzina veća od 17,2 m s<sup>-1</sup> ≡ 8 Bf) na zapadnoj obali. Debljina sloja atmosfere u kojem se osjeća utjecaj bure (sloj bure) je obično 500 do 1500 m, a rjetko do 5 km. Tada je to sjeveroistočni vjeter kroz veći dio donje troposfere. Bura puše po nekoliko sati do nekoliko dana. Bura se javlja kroz cijelu godinu tako je učestalost bure u pojedinim godinama različita. Na istočnoj obali Jadrana učestalost bure opada od sjeverozapadnog prema jugoistočnom dijelu. Prevladava zimi kad s prekidima može potrajati do dva tjedna. Zimski vjeter u prosjeku je jači od ljetnog. Olujna bura traje najviše dva dana. Ljeti obično ne traje dulje od jednog dana, a ponekad samo nekoliko sati. Bura označava tipično stanje vremena na Jadrani, tako da se obično govori da je "vrijeme na buru".

Oblik kopna ima gotovo odlučujući utjecaj na smjer i brzinu bure, pa može puhati od N do ENE. To su obično područja prijevaja i drage na planinskim lancima. Mjesta gdje puše bura su: Trškanski zaljev (Trst, Savutinja), Kvarner i Kvarnerić, Riječki zaljev (Martinska, Bakarski zaljev), Velebitski kanal (između otoka Krka, Prvica, Raba i Paga te obale, Senj, Senjska vrata, Karlobag), područje Šibenika i Splita (Kaštelanski zaljev, Solin), uvala Vrnja (između Omisa i Makarske), Dubrovnik, Bar i Drinski zaljev. Nešto slabija bura je oko ušća rijeke Krke, zatim Zujljanski zaljev (Pejčak), ušće Neretve i Boka Kotorska, dok razmjerno slabo puše na zapadnoj obali Istre, Zadarskom kanalu, zavjetrini Dugog otoka, Kornata i Miljeta te na obali između Cavata i Oštrog rta. U drugim stranim zemljama vjeter sa značajkama bure puše u južnoj Francuskoj, Novoro-sisku (Crno more), Novoj Zemlji, Češkoj, Meksiku, USA i drugdje.

Spuštajući se na more bura diže kratke, ali ne visoke valove (1 do 2,5 m). Vrhove valova rasprši u pjenu koju vjeter nosi kao prašinu (morski dim) i koja je ponekad tako gusta da osjetno smanji vidljivost. Udaljujući se od istočne obale visina valova razmjerno raste.

Bura kao vremenski proces djeluje pozitivno na ljude, ako se isključuje neposredni utjecaj djelovanja vjetera i nižih temperatura zimi. Ljudi postaju živahniji i orniji za rad. Isto se ne može primjeniti na životinjski, a naročito ne na biljni svijet. Primjer je koji ponekad i krzljavi rast stabala, dok su istočne obale otoka zbog posolice pretežno gole, bez vegetacije.

Na postanak bure utječe polje atmosferskog tlaka nad srednjom Europom i Jadranom odnosno Sredozemljem. Pri tome je važan osnovni smjer strujanja u donjoj troposferi određen položajem ciklone u Sredozemlju ili jačanjem grebena visokog tlaka zraka nad srednjom ili istočnom Europom prema našim krajevima, stoga se razlikuje ciklonska i anticiklonska bura.

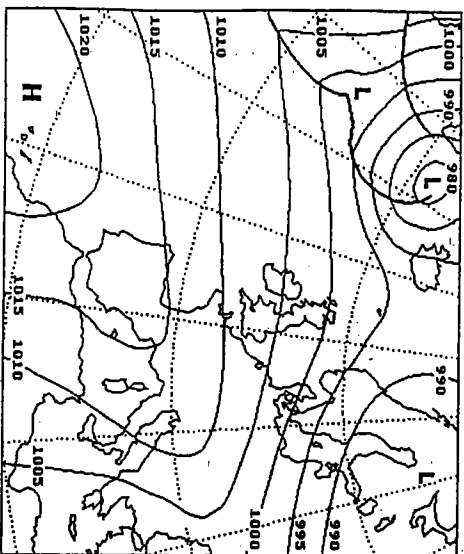


Slika 21.13. Bura na sjevernom i južno na Jadrani

Ciklonska bura nastaje kada ciklona iz Genovskog zaljeva krene prema istoku i spušta se uzduž Apeninskog poluotoka ili Jadrana dolazeći u srednji ili južni Jadran. Sjeverniji položaj ciklone donosi buru samo na sjevernom dijelu Jadrana. Što se ciklona nalazi južnije područje bure se proteže prema južnom dijelu Jadrana. Ciklona sa središtem u srednjem Jadranu daje poseban raspored vjetrova; na sjevernom Jadranu je bura, na južnom jugu, dok na srednjem Jadranu prevladavaju slabi promjenjivi vjetrovi, slika 21.13. Ciklonska bura javlja se učestalostu javljanja Genovske ciklone te se javlja u svja godišnja doba. Najčešća je zimi kad može potrajati i do tjeđan dana; puše i olujnom jačinom, ali ne traje dugo, najviše do dva dana.

Kao posljedica prodora hladnog zraka, ciklonska bura je vrlo jaki sjeveroistočni do istočni vjetar koji često dopire i preko zapadne obale Jadrana. Praćena je tmurnim, oblačnim i kišovitim vremenom, a zimi ponekad i mećavom s velikom hladnoćom.

Anticiklonska bura nastaje kada je anticiklona iznad srednje Europe ili zapadnije, čak nad Atlantikom, te greben visokog tlaka zaljeva naše krajeve. Tada prevladava lijepo, suho i vedro vrijeme. U zimi pod utjecajem Sibirске anticiklone ponekad dolazi do vrlo jakog prodora hladnog zraka sa sjeveroistoka i tako nastale bure su vrlo jake i dugo-trajne. Vrlo je hladno, što ponekad dovodi i do zaleđivanja mora. Anticiklonska bura nije osobna samo hladnijih godišnjih doba, javlja se i ljeti, ali temperatura ne pada tako nisko kao zimi.



Slika 21.14. Anticiklonska bura pod utjecajem grebena azorske anticiklone

Postoji i mjesna bura. Nastaje hlađenjem zraka nad krškim dolinama, koji se zatim preljeva niz obronke planina. Takva bura je nenadana i kratkotrajna.

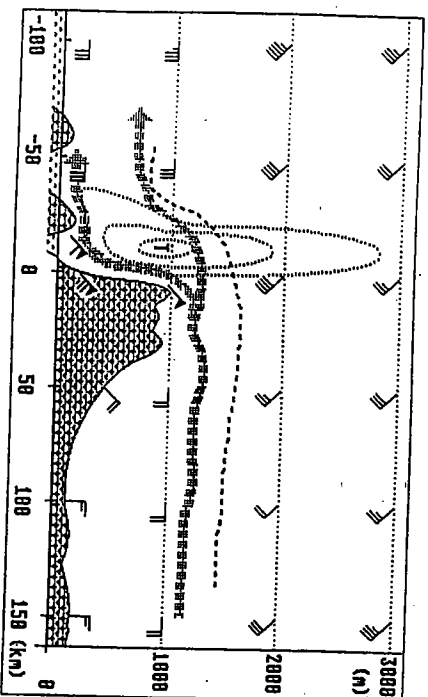
Početak bure nije vezan za neki određeni čas tijekom dana, a kad već počne to je za razna mjesta na obali različito. Daljnja značajka bure je da često počinje sasvim nenadano. Svojevrsni znaci za pojavu bure ovise o njezinom tipu. Za ciklonsku buru postoje neki predznaci. Predznaci bure su stvaranje oblaka na vrhovima planina, "oblačna kapa".

Tada se na zavjetrinskim stranama prema moru stvara tzv. "fenski zid", oblaci koji izgledaju kao da su priljeđi uz planinu. Fenski zid ukazuje da na privjetrinskoj strani planine, gdje postoji ulazno zračno strujanje, vlada ružno oborinsko vrijeme. Kada se pojedini oblaci otkinu i vjetrom nošeni rasplinu, a vrhove brda i planina pokriva oblačna kapa, tada se na otvorenom moru treba svakog trenutka očekivati nalet bure, dok uz obalu ona već puše. Ako kapa raste, znači da i bura jača. Bura redovito jača oko 9 h, a obično slabi između 11 i 13 h. Ako bura počne puhati za oblačna vremena, njezino slabljenje ili prestanak može se očekivati tek nakon razvedravanja koje počinje sa sjeveroistoka. Poslije snažne bure obično nastupa hladno vrijeme sa slabim ili umjerenim vjetrovima. Pri tome preko dana običava no nekoliko sati puhati sjeverozapadni vjetar, a noću umjereni vjetar s kopna. Za anticiklonske bure nema nekog posebnog nagovještaja. Ipak može postojati slaba oblačna kapa na najvišim planinskim vrhovima.

Objašnjenje postanka bure je dvojbano. Postoje stara tumačenja da bura nastaje kao posljedica gomilanja hladnog zraka u privjetrni Dinarskog masiva, tj. područja Gorskog kotara, Like i sličnih područja. Kada se hladni zrak iza Dinarskog masiva nagomila i dostigne dovoljnu visinu, on se počinje preljevati preko planinskih prijevoja na drugu stranu. Strujanje hladnog zraka kanalizira se u jedan smjer (sjeveroistočni), što je najkraći put do mora. Spušajući se niz planinske obronke, hladni zrak, osim što se adijabatski zagrijava te postaje sve topliji, dobiva kinetičku energiju i dospjeva u razmjerno toplo podnožje planina (obale mora). Kako se spuštajući zrak ipak nije dovoljno zagrijavao, ponasa se kao hladni vjetar, jer općenito u tim područjima postoje superadijabatski gradijent temperature.

Početkom 80-tih godina obavljana su susstavna prizemna i visinska meteorološka mjerenja (uključujući i zrakoplove) u cijlu izučavanje bure. Mjerenja i kasnije analize (teorije) ukazuju na drugu stranu prirode bure objašnjenjima hidrauličkog strujanja preko planina. Nužnost pojave bure je postojanje izražene hladne zračne struje u nižoj troposferi. Bura je općenito povezana s prodorima hladnog zraka sa sjevera, uz postojanje niske mlazne struje. U privjetrini postoji prizemna ili podignuta temperatura inverzija, a mogu biti i jedna do dvije visinske inverzije. Temperature inverzije odvijaju strujanja više i niže troposfere i omogućuju donjem fluidu da se ponasa prema hidrauličkim zakonima. Istodobno u višem sloju troposfere može biti strujanje drugog smjera i brzine, čak i suprotnog smjera. Zračna struja donje troposfere ima valovit oblik te u odgovarajućim uvjetima, određenim visinom i oblikom orografske prepreke te stratifikacijom atmosfere, dolazi do dijeljenja struje na dva ogranka (tzv. hidraulički skok). Jedan ogranak struje nastavlja dalje u približno istom smjeru, a drugi ogranak se povija prema dolje siljeđeći obronke planine. To je bura. Između prije spomenuta dva ogranka postoji neuređeno zračno strujanje ispunjeno brojnim turbulentnim vrtlozima. Kod olujne bure na obali se pojavljuju veliki gradjenti atmosferskog tlaka, uvjetovani karakterističnim poljem tlaka. Npr. razlika prizemnog atmosferskog tlaka između Zagreba i Senja (udaljenost oko 125 km) iznosi 5 do 7 hPa.

Shematski prikaz bure dan je na slici 21.15. Vjetar u pojedinoj točki prostora dan je sa smjerom okuda dolazi, a brzine vjetra su označene trokutem za 50 kt, dužjom crticom 10 kt i kraćom crticom 5 kt. Područje pojačane turbulencije označeno je s T.



Slika 21.15. Uspравни presjek profila bure

Na temelju trenutnih opažanja pojave bure na više anemometara<sup>\*</sup> na području aerodroma "Rijeka" (ne i anemograma, jer se na njima to ne može vidjeti), te određenih mezo numeričkih simulacija vjetra po autoru, nalazeći potvrdu u izvješćima pilota o turbulenciji, može se zaključiti da bura tvori mnoštvo vrtloga raznih dimenzija, većinom pri strujanju niz planinu. Osnovno strujanje niz planinu čini nosuću struju bure. Vrtlozi nastaju, s jedne strane, zbog nepravilnog strujanja zraka iznad grebena planine (različitost visina grebena) te na mnogobrojnim izbočenjima i udubljenjima na obroncima planine, i s druge strane, zbog postojećeg stanja atmosfere kad stabilni valni tip strujanja prelazi u vrtložni. Nastajanje, razvoj i raspadanje ovih vrtloga je razmjerno kratko, te se ra (udar) sljedi kad se smjerovi strujanja dvaju dodirnih (susjednih) vrtloga podudaraju, ne slabljenje vjetra (zatišje) je pri suprotnosti strujanja dvaju dodirnih vrtloga. Uz promjenjivost vjetrova. Stoga je bura proces srednjih (mezo-) razmjera, potaknut zbijanjima na krupnim (makro-) razmjerima, dok su promjenjivosti bure sitnih (mikro-) razmjera, što znači da je bura uzrokovana međudjelovanjem procesa makro, mezo i mikro razmjera te u pojedinih slučajevima neka od ovih komponentata može prevladavati.

<sup>\*</sup> Istodobno očitani podaci o smjeru i brzini vjetra na pokazivačima dvaju anemometara međusobno udaljenih oko 2 km pokazuju velike razlike u brzini vjeta. Dok jedan anemometar pokazuje brzinu oko 2-4 m s<sup>-1</sup>, drugi pokazuje 15-20 m s<sup>-1</sup>. Smjerovi vjetrova se također razlikuju te jedan anemometar pokazuje npr. istočni vjeter, a drugi jugozapadni. Vremenska promjenjivost brzine i smjera vjetra je također vrlo velika, brzina od npr. 3 m s<sup>-1</sup> za približno 5-10 s promijeni se na 20 m s<sup>-1</sup> ili obrnuto. Slično vrijedi za smjer vjetra koji se tijekom 5-10 s promijeni za 180°. Ove promjene se na standardnim anemografima ne mogu očitati, zbog prikaza premlate vremenske koordinatice na anemogramu.

### Jugo

Jugo (jugo; Jugo) je tipični vjeter Jadranskog mora, uvjetovan općim južnim strujanjem nastalim zbog Sredozemne ciklone (Genova) ili na Jadraru, a samo ponekad kao dio strujanja vjetra široko (*scirocco*, *Schirocco*) koji puše na širem prostoru Sredozemlja, dolazeći iz Afrike. Nad otvorenim morem, na Jadraru, jugo obično puše iz južnog kvadranta, dok sve bliže obali zbog utjecaja orografije i trenja skreće na jugoistočni kvadrant. To je topli i vlažni vjeter, koji se javlja uz obalno i kišovito vrijeme. Puše nekoliko dana ujednačenom brzinom oko 10 m s<sup>-1</sup>. Rijetko ostaje kao slab vjeter, ali često bude olujni vjeter dostizajući i 30 m s<sup>-1</sup>. Izraženiji je na otvorenom moru, dok prema kopnu slab. Jugo se javlja u svim godišnjim dobima, premda je znakovitiji za hladno doba godine te je zimski vjeter jači od ljetnog. Po učestalosti jugo je češći na južnom Jadraru, gdje i jače puše. Na južnom Jadraru najčešće je od jeseni do kraja zime, dok je na sjevernom Jadraru najčešće od kraja zime do početka ljeta. Zimi obično traje po jedan dana, no ponekad s kraćim prekidima može potrajati do tri tjedna. Ljeti traje do tri dana. Obzirom na navedena svojstva vjetra jugo se obilježava kao tipično stanje vremena na Jadraru, tako da se obično govori da je "vrijeme na jugo".

Jugo je jako u onim obalnim područjima gdje je more otvorenije ili gdje vjeter puše uzduž kanala. Takva područja su: Tjškanski zaljev, Kvarner i Kvarnerić, vanjski kanali između otoka sjeverne Dalmacije, Lastovski i Mljetški kanal te otvoreno more južno od Dubrovnika.

Nalazak juga se može uočiti prema nekim predznacima. Dnevni mjesni vjetrovi između kopna i mora postupno slabe i prestaju, jer dolazi do novog oblika zračnog strujanja. Uočava se postupan pad atmosferskog tlaka, porast temperature i vlažnosti zraka, a prisutna je tišina ili su slabiji promjenjivi povjetarci uz mutan i magloviti obzor. Južni dio neba se sve više zastire niskim oblacima, koji se kasnije, kada je vjeter već dosta razvijen, nagonjavaju oko vrhova planina (na otocima i uz obalu), potom se i ostali dio neba prekrije gustim i niskim oblacima. Vidljivost je djelomično ograničena. Kiša je umjerenca do jaka ili pljuskovita, tako da postoje velike količine oborina na obalom pojasu. Javljaju se i konvektivski oblaci s grmljavinom. Jugo se razvija tek nakon jedan do dva dana puhanja, jer nikada ne dolazi iznenada. Olujnu jačinu (> 17.2 m s<sup>-1</sup> ≡ 8 Bf) dostiže obično tijekom trećeg dana puhanja.

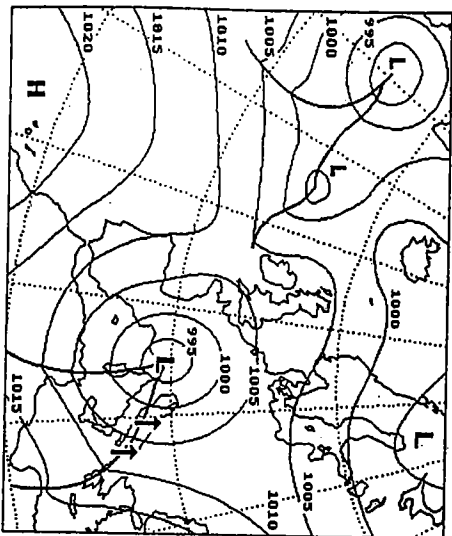
Jačanjem vjetra more se sve više razvija, često mu prethodi mrtvo more s jugoistočnim Dugotrajnim i jakim puhanjem jugo stvara visoke valove, mnogo veće od bure premda im brzine mogu biti podjednake. Visina valova uz jugo može biti 3 do 5 m pa i znatno više. Uz jugo dolazi i do pojačanja uobitajanih morskih struja (1 m s<sup>-1</sup>), te izdizanja morske razine na istočnom dijelu Jadrana (50 cm).

Glede povišenja temperature, a pogotovo vlažnosti zraka, jugo uvjetuje sparno vrijeme, što dosta negativno utječe na ljude i životinjski svijet, ali je pozitivno za biljni svijet. U juđi se javlja izvjesna razdražljivost i nevoljnost u radu.

Jugo nastaje kao posljedica određenog položaja i gibanja središta i prostiranja područja ciklone odnosno anticiklone. Stoga i jugo, kao i bura, ima svoj ciklonski i anticiklonski oblik, mada je najčešće ciklonskog podrijetla.

Ciklonsko jugo nastaje čim se neka ciklona približi Jadraru ili se u Genovskom zaljevu odnosno u sjevernom Jadraru stvori ciklona, što je vidljivo na slici 21.16. Od

jakosti, oblika i staze gibanja ciklone ovisi kakvo će se jugo razviti na Jadransu. Najčešće je to umjereni do olujno jaki jugoistočni vjeter. Ponekad puše na udare. Značajka ovog vjetera su gusta i niska naoblaka s povremeno vrlo jakim kišama i uzburkanim morem. Naime, iznad sjevernih dijelova Afrike puše vjeter iz unutrašnjosti kontinenta prema moru i zato je suni i topli vjeter koji nosi pustinjsku prašinu. Iznad Sredozemnog mora zrak prima mnogo vlage i k. nana dolazi kao topao i vlažan. Često takav vlažni zrak sadrži pustinjsku prašinu i daje žučkastu ili crvenkastu kišu (obojena ili blata kiša). Srednji Jadran (Vis) je obično granica između ciklonskog juga i ciklonske bure, ako ciklona prolazi južnije. Ako je staza gibanja ciklone sjevernije (staza ciklone odgovara gibanju središnja niskog tlaka ciklone), tada obično nad cijelim Jadransom puše jugo.



Slika 21.16. Jugo (opći vremenski uvjeti)

Ako jugo jenjava i ne zamjenjuje ga neki drugi vjeter, a istodobno na južnom Jadransu vjeter još uvijek puše, tada nastaje tzv. "trulo jugo". Tišina prati mrtvo more, a ostaju sve osobine juga. Temperatura zraka malo poraste i zrak je sparniji, kiša pada, ali nema razvedravanja.

Anticiklonsko jugo nastaje pod utjecajem visokog atmosferskog tlaka nad istočnim dijelom Sredozemlja i djelovanjem duboke i dugo stacionirane ciklone na sjevernom dijelu Europe. Javlja se naročito u proljeće i jesen. Nebo je uglavnom vedro. Poslije jednodnevnog puhanja u sjevernom Jadransu naoblaka raste. Oborina nema ili mjestimice pada slaba kiša. Atmosfera je često mutna zbog povećanja broja čestica prašine donesene iz sjevernoafričkih pustinja.

### Maestral

U ljetnim mjesecima iznad oceana postoji izražena anticiklona (Azorska anticiklona), dok nad Prednjom Azijom postoji sniženo polje tlaka, koji uvjetuju iznad šireg

područja Jadrana visinsko sjeverozapadno strujanje zraka, tzv. etezija. Etezija utječe i na niže slojeve troposfere, tako i na smorac koji puše prema kopnu, te postoji njegovo jačanje pa se takav vjeter naziva maestral (*maestro; Mistrad*). Maestral se tijekom dana javlja od polovice travnja do sredine listopada na istočnoj obali Jadrana. Puše prema kopnu sa zapada do sjeverozapada pomalo se okrećući za Suncem, brzinom 5 do 8 m s<sup>-1</sup>, a prema južnom Jadransu je jači i može doseći i preći 15 m s<sup>-1</sup>. Ostala svojstva su kao kod smorca, tako da se često zamjenjuje s njim. Najslabiji maestral je ili ga uopće nema dan dva prije nastupa juga ili kišovitog vremena.

Na obalama Albanije smorac puše s jugozapada. Na zapadnoj obali Jadrana danju puše istočni ili jugoistočni vjeter s mora. Ovaj vjeter je obično najjači oko 16 h, a često nastavlja noću.

### Burin

Od polovice svibnja do kraja kolovoza na obje obale Jadrana nakon zalaza Sunca pušu lagani povjeterci s kopna na more. Na istočnoj obali pušu sa sjeveroistoka, a na zapadnoj s jugozapada. Obično traju cijelu noć do izlaska Sunca. Kod nas ga zovu burin. Najjači je pred izlazak Sunca, a ponekad se zbog svoje jačine može zamijeniti s burjom. Smjer burina je NNE do ENE, prema južnim područjima istočnih obala Jadrana je pretežno istočni, dok je na zapadnoj obali Jadrana jugozapadni. Slabiji je od maestrala, rijetko prelazi 12 m s<sup>-1</sup>. Burin dopire do 30 km na pučinu, a debljina sloja vjetera dolazi do 300 m. Burin je ustvari kombinacija vjetera s kopna na more (skopnac) i vjetera s brda prema dolini (zgorac).

## 21.5. Valna gibanja

Valna gibanja su poseban oblik strujanja zraka u atmosferi. Postoji više vrsta valnih gibanja, no najznačajnija su valna gibanja s izraženom komponentom u uspravnoj ili vodoravnoj ravnini. Kako svako valno gibanje ima svoja fizikalna svojstva kao: valna dužina, amplituda, brzina, perioda i drugo, tako se i valovi u atmosferi bitno razlikuju po svojin svojstvima. Npr. postoje valovi malih valnih dužina od nekoliko desetaka metara pa do nekoliko tisuća kilometara.

Rješavanjem tzv. primitivnih jednadžbi, koje se detaljnije objašnjavaju u točki osnove vremenske prognoze (točka 28.3.) te sustav jednadžbi i principi rješavanja (28.3.1.), dobiva se uz ostalo i nekoliko tipova gibanja, među kojima postoje i valna gibanja. Rješenja daju tri osnovne skupine valova, to su:

- longitudinalni (zvučni ili kompresijski)
- uspravno-transverzalni (težinski) i
- vodoravno-transverzalni (inercijski, Rossbyevi) valovi.

a) zvučni (kompresijski, longitudinalni) valovi (*sound waves, acoustic waves; Schallwellen, akustische Wellen*) imaju putanje - pomake česti zraka na crtama paralelnim smjeru širenja vala i predstavljaju širenje zvuka u atmosferi, čija brzina izno-

si oko 340 m s<sup>-1</sup> ili 1 Ma (jedinica za brzinu zvuka). Brzina zvuka c<sub>z</sub> ovisi o gustoći zraka, tj. o tlaku i temperaturi zraka te se može lako izračunati, a rezultati su vidljivi u tablici 1-3.5.

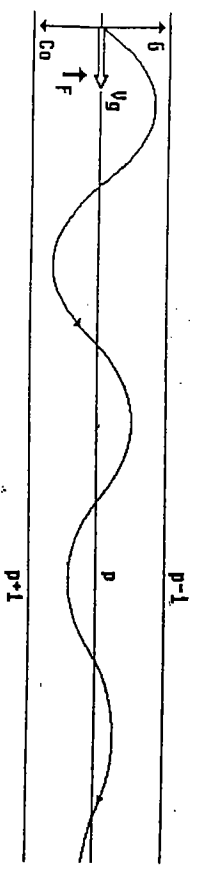
$$c_z = \pm \sqrt{\frac{c_p}{c_v} RT} \quad (21(4))$$

Zvučni valovi u odnosu na izvor šire se u svim smjerovima. Mehanizam širenja ovih valova je u adijabatskom povećanju i smanjenju tlaka. Uvođenjem hidrostatičke aproksimacije, tj. gdje nema vremenske promjene uspravne brzine (dw/dt = 0), ovi valovi se isključuju iz jednadžbi gibanja. Zvučni valovi ne šire se isključivo pravocrtno već postoji zakrivljenost njihovih putanja ili se javlja njihovo odbijanje. Lom valova ovisi o promjeni gustoće tj. temperature zraka. Smatra se da zvučni valovi nisu značajni u meteorologiji.

b) inercijski valovi (*inertia waves*, *Trägheitswellen*) su jedan oblik vodoravno-transverzalnih valova kad se česti zraka gibaju lijevo - desno, a val se širi vodoravno. Ovi valovi se mogu prikazati kao gibanje česti zraka u bezgradijentnom polju tlaka čija je brzina u<sub>i</sub>:

$$u_i = u_0 \cos(f \cdot t) \quad (21(5))$$

gdje je u<sub>0</sub> neka osnovna brzina, a t vrijeme. Očito je da ovdje važnu ulogu ima Coriolisov parametar f, jer je perioda takvog gibanja 2π/f, koja u našim širinama iznosi oko 17 h. Ako je čest zraka kratkotrajnim djelovanjem neke vanjske sile izbačena iz geostrofičke ravnoteže (geostrofičko gibanje), ona će kolebati (oscilirati) oko valno gibanje se gušći, dok se konačno ponovno ne uspostavi geostrofička ravnoteža, slika 21.17. Osim narušavanja geostrofičkog gibanja pokazuje se da periode manjih ciklonskih valova odgovaraju inercijskih valovima.



Slika 21.17. Inercijski valovi

c) težinski (gravitacijski, uspravno-transverzalni) valovi (*gravitational waves*, *Schwerwellen*, *Gravitationswellen*) su gibanja česti zraka gore - dolje, a val se širi vodoravno. Nastaju na granici između dva fluida raznih gustoća. Težinski i gravita-

cijski valovi su silni, težinski nastaju pod djelovanjem sile teže i centrifugalne sile zbog Zemljine vrtnje, a kod gravitacijskih valova se isključuje centrifugalna sila. Djelovanjem vanjske sile granica između fluida se izobličuje, a zbog težnje uspostavljanju hidrostatičke ravnoteže, nastaje vodoravno širenje vala. U plitkoj vodi dubine H brzina valova c<sub>g</sub> je:

$$c_g = \pm \sqrt{gH} \quad (21(6))$$

Valovi na moru imaju svojstva težinskih valova, ako im je valna duljina velika u odnosu na dubinu mora. Na otvorenom moru takva svojstva pokazuju valovi izazvani tektonskim poremećajima (tsunami valovi), čija brzina može biti oko 200 m s<sup>-1</sup>. U atmosferi brzina težinskih valova je između 10 i 100 m s<sup>-1</sup>, a djelovanjem vjetra i do 150 m s<sup>-1</sup>. Više o ovim valovima u točki 21.5.1.

d) Rossbyevi (dugi, planetni) valovi (*Rossby waves*, *long waves*, *planetary waves*, *Rossby-Wellen*, *lange Welle*, *Langwelle*, *planetare Wellen*) su drugi oblik vodoravno-transverzalnih valova kad se česti zraka gibaju lijevo - desno (uglavnom sjever - jug), a val se širi vodoravno općenito napredujući prema istoku. Ovi valovi su važni u meteorologiji, a njihova brzina c<sub>R</sub> je dana s:

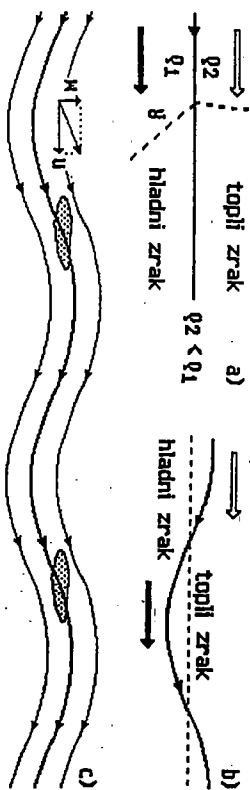
$$c_R = U - \frac{\beta}{m^2}; \quad \beta = \frac{\partial f}{\partial y}; \quad m = \frac{2\pi}{L} \quad (21(7))$$

gdje je U srednja brzina zonalne struje, β Rossbyev parametar, tj promjena Coriolisovog parametra sa zemljopisnom širinom, m valni broj, L valna duljina. Ovi valovi se gibaju na zapad u odnosu na srednji zonalni vjeter. Kakvo će biti gibanje u odnosu na Zemljinu površinu ovisi o valnom broju. U atmosferi se to gibanje očituje prema istoku brzinom do 5 m s<sup>-1</sup>, stoga se zovu i kvazistacionarni valovi, a zbog njihove velike valne duljine, oko 5000 km nazivaju se i dugi valovi. Više o ovim valovima u točki 21.5.2.

### 21.5.1. Težinski valovi

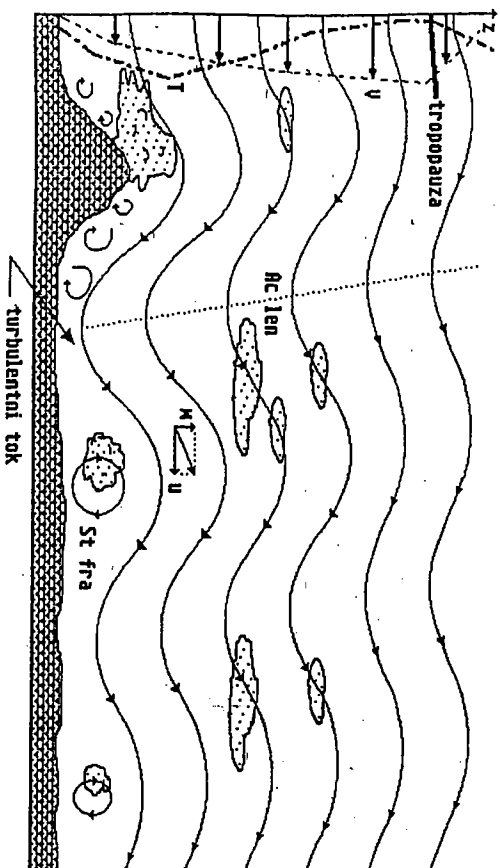
Težinski (gravitacijski) valovi koji nastaju na granici između dviju masa zraka raznih gustoća uočavaju se na više načina. Na visini, gdje je granica temperature inverzije, postoji i promjena gustoće zraka te se javljaju valovi, slika 21.18. Uz valove u struji važnog zraka mogu nastati i odgovarajući oblaci. Tipičan primjer su oblaci vrste i podvrste lenticularis i undulatus (Cc, Cs, Ac, As, Sc, St). Osim inverzije, uzročnik ovakvih valova može biti uspravni gradijent brzine vjetra.

Težinski valovi postoje i pri zračnom strujanju preko orografske prepreke, te se zovu orogenetski (*orographic wave*, *orographische Welle*) (planinski) valovi. Obzirom da se javljaju u zavjetrini brda zovu se i zavjetrinski valovi (*lee waves*, *Leewellen*). Kako se ovi valovi gibaju istom brzinom, ali suprotnim smjerom nailazeće zračne struje, zovu se i stojni valovi (*standing waves*, *stehende Wellen*), jer ne mijenjaju svoj položaj u prostoru. Zovu se i stacionarni valovi.



Slika 21.18. Težinski valovi: a) početno stanje, b) pojava valnog gibanja, c) valno gibanje i pojava oblaka

Kad vodoravna zračna struja brzine obično veće od  $10 \text{ m s}^{-1}$  naiđe na planinski lanac i prelazi ga izoblikavajući se u obliku vala, nastavlja gibanje u valnom obliku i poslije prelaza preko prepreke. Stoga, u zavjetrini orografske prepreke postoje valovi s dosta velikom amplitudom. Udaljavanjem od prepreke amplituda valova se smanjuje do potpunog smirivanja strujanja te broj valova niz struju može biti do 10, što ovisi o više čimbenika. Postoji i izraženo uspravno prostiranje ovih valova, koji u posebnim uvjetima mogu dopirati do vrlo velikih visina, čak i preko 20 km. Amplituda, duljina valova, kao i udaljenost prostiranja veće su za veće i više orografske prepreke, veće brzine vjetera i jaču atmosfersku stabilnost. Prikaz ovih valova dan je na slici 21.17.



Slika 21.19. Orogenski valovi - strujnice (promjena visinom: vjeter  $V$ , temperatura  $T$ )

Postanak orogenskih valova se objašnjava kosim dizanjem zraka na privjetrini brda, gdje se adijabatski hladi i postaje hladniji od okolne atmosfere. Iznad i iza vrha

grebena brda zbog djelovanja sile uzgona, rashlađeni zrak se koso spušta i pritom zagrijava. Zbog inercije se spušta niže nego što bi trebalo, a prestankom spuštavanja ponovno se diže i tako nastaje valno gibanje, koje se postupno smiruje. Zato takvi valovi mogu postojati samo u stabilnoj atmosferi. Nadalje, količina vlažnosti bitna je za nastajanje oblaka - Ac lenticularis i St fraktus (fenski zid, rotor). Stoga je za postojanje valova potrebna dovoljno duga i visoka prepreka povoljnog oblika, povoljan oblik terena iza prepreke, zatim dovoljno visoka i pokretna zračna masa izražene stabilnosti.

Valna duljina iznosi 4 do 15 km, a ponekad može biti i 50 km, naravno uz jako stabilnu atmosferu. Valna duljina raste s brzinom vjetera. Valna duljina prvog vala je obično manja od sljedećeg. Amplituda vala doseže i 2 km, ovisi o brzini i uspravnoj razdobi vjetera i temperature, te obliku i visini brda. Ona se povećava s visinom do određene razine. Najveća amplituda je obično u sloju najvećeg termičkog stabiliteta, pogotovo u području inverzije (gornja granica) ili izotermije. Područje tropopauze zato pokazuje povećanje svojstava valovitosti. Brijegovi odnosno doline valova ne leže jedni pored drugih već su s visinom iskošeni suprotno smjeru vjetera.

Zavjetrinski valovi imaju velike uspravne brzine do  $\pm 10 \text{ m s}^{-1}$ , ponekad su i veće (izmjerene su i  $25\text{--}40 \text{ m s}^{-1}$ ), a najveće su na crti infleksije. Vrlo često ih koriste zračni jedrilčari za postizanje velikih visina. Obično su najveće uspravne brzine na visinama oko 500 m iznad vrha grebena planine. Uz dovoljnu vlažnost zraka u uzlaznim strujama postoje lenticularis oblaci, koji osim ukazivanje na valna strujanja pokazuju i područja moguće jake turbulencije. Lenticularis (lečasti) oblaci daju povrdnu postojanja težinskih valova. Uzlazno strujanje uvjetuje kondenzaciju samo ako ima dovoljno vlage, te ovi oblaci nastaju unutar stabilnih slojeva u grebenima stojnih valova. Zrak struji kroz njih, oblaci nastaju na gornjoj granici uzlazne struje i raspadaju se u silaznom strujanju. Imaju tipični oblik leče, ponekad slične na poklopljeni tanjur. Lečasti oblaci mogu se pojaviti na raznim visinama, obično se pojavljuju na visinama do nekoliko tisuća metara iznad planinskih grebena, ali se također mogu vidjeti i na visinama tropopauze i iznad.

Da bi postojalo valno gibanje u atmosferi moraju postojati odgovarajući uvjeti kao:

- donji slojevi atmosfere moraju biti stabilni, jer se stabilnost s visinom smanjuje. Stabilno područje mora biti barem do visine vrha grebena brda.
- brzina vjetera na visini vrha grebena mora prelaziti kritičnu vrijednost, koja je 8 do  $13 \text{ m s}^{-1}$ , a ovisi o visini brda. Veće brdo traži i veće brzine, tako brdo visine oko 1000 m ima kritičnu brzinu oko  $8 \text{ m s}^{-1}$ . To je nužno, ali ne i dovoljno.
- vjeter u privjetrini mora dolaziti što okomitije na brdo, ne ukošenije od  $30^\circ$ . U privjetrini u još neporemećenoj struji, vjeter u donjem sloju ispod visine grebena mora imati jedan maksimum. To je nužno, ali ne i dovoljno.

Postoje i drugi čimbenici koji na razne načine djeluju na orogenske valove.

Oblik brda ima važnu ulogu. Iako brda daju impuls pojavi valova, ponekad nepovoljni oblici brda u zavjetrini guše nastale valove, a ponekad ako valovi imaju oblike slične oblicima brda dolazi do pojave rezonancije valova i njihovog pojačanog razvika.

Uz porast vjetera s visinom i postojanja jakog visinskog zračnog strujanja (mlazna struja) javlja se snažno i uspravno prostiranje područje jako razvijenih valova.

Zavjetrinski valovi imaju često dnevni i godišnji hod. Iznad kopna u noći zbog hlađenja raste stabilnost donjih slojeva atmosfere te valni učinci jačaju, dok po danu slabe,

zbog prizemnog grijanja i narušavanja stabilizeta. Zimi su zbog stabilnije atmosfere val-  
na strujanja izraženija nego u ljetu. Ipak najpovoljniji uvjeti su obično u proljeće i jesen.  
Nalazak fronte uvijek na valove. Hladna fronta ima negativan učinak, jer je njezina  
pozadina nestabilna i javlja se turbulencija, dok je topli isječak ciklone zbog stabilnosti  
povoljan za valove.

Prizemni sloj zraka je područje izraženog turbulentnog strujanja, koje počinje na  
privjetrni brda, dok je mnogo jače u zavjetrini brda. Turbulentni tokovi mogu se pojaviti  
i na visinama, koje su višestruko veće od visine brda. Često manja brda mogu izazvati  
jaka turbulentna gibanja na velikim visinama, čak do visine 20 km. U zavjetrini paralel-  
no s brdom pružaju se neuredni turbulentni i više ili manje nepokretni vrtlozi - rotori,  
promjera 600-1000 m (područja jake turbulencije, točka 33.2.2), koji su u vlačnom zraku  
vidljivi kao oblačni valjci tj. valjkasti ili rotorni oblaci (*rotor cloud*, *Rotorwolke*). Ovi  
oblaci izgledaju u obliku raščupanog kumulusa ili stratokumulusa te pokazuju vrtnju oko  
vodoravne osi. Rotori leže ispod grebena strujanja, a iznad njih su oblaci lenticularni.  
Niz struju postoje drugi nizovi rotora. Najjači rotor leži ispod prvog grebena strujanja  
preko planine. Postoji i odvajanje vrtloga od njihova mjesta nastanka koje se događa  
svakih 10 minuta. Što su obronci brda strmiji to je izraženija pojava vrtloga.

### 21.5.2. Rossbyevi valovi (dugi valovi)

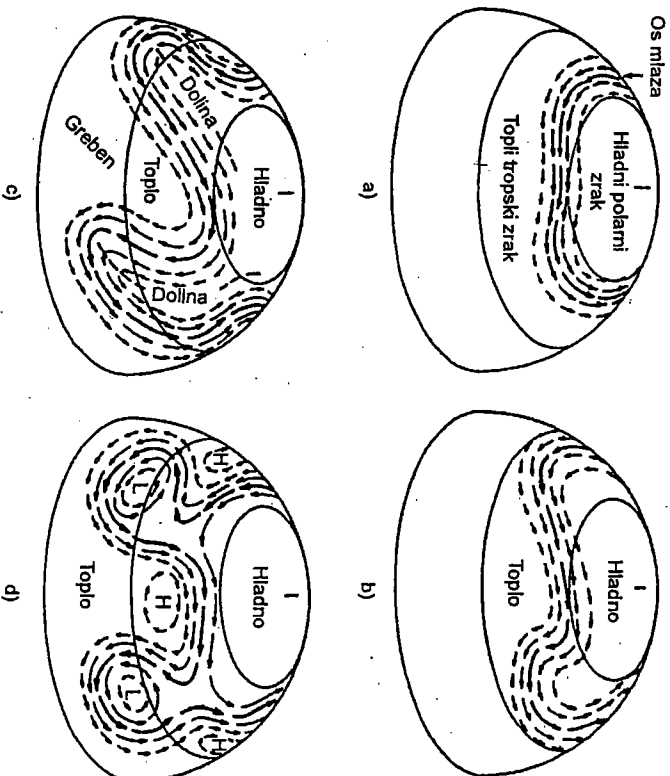
Rossbyevi valovi ili dugi valovi (*Rossby waves*, *long wave*; *Rossby-Wellen*, *lange Welle*) kako i samo ime kaže, imaju vrlo velike valne dužine 3000 do 5000 km. Prema  
svom otkrivaču zovu se i Rossbyevi valovi. Rossbyevi valovi su kolebanje čestica atmo-  
sferne i mora u smjeru sjever-jug, podržavani promjenama Coriolisove sile sa zemljopis-  
nom širinom. Prvobitno su ovi valovi nađeni u moru (valne dužine oko 100 km), a  
potom u atmosferi.

Ovi valovi se nalaze na obje polutke u umjerenom pojasu i zahvaćaju više zemljopis-  
ne širine, a najlakše se uočavaju na visinskim kartama. Zbog pokrivanja velikih  
prostranstava i raznjene topline između tropskih i polarnih krajeva značajni su za cijelu  
Zemlju pa se nazivaju i *planetarni valovi* (*planetary waves*; *planetare Wellen*).

U atmosferi, npr. na kartama AT 500 hPa, ovi valovi se očituju kao nepravilno  
gibanje (meandriranje toka) prema istoku brzinom do 5 m s<sup>-1</sup>, stoga se zovu i kvazi-  
stacionarni valovi. Dugi valovi opasuju Zemlju, a ovisno koja im je valna dužina i na  
kojoj su zemljopisnoj širini i može biti 3 do 5 valova oko Zemlje. U meridijanskom  
smjeru valovi zauzimaju područja do nekoliko tisuća kilometara. Rossbyevi valovi su  
važni u vremenskoj analizi i prognozi, posebno u svezi razmjene topline između ekvato-  
ra i pola. Oni predstavljaaju geostrofičko gibanje izmjenjeno zbog promjene Coriolisovog  
parametra sa zemljopisnom širinom, slika 21.20.

U točki 19. uz ciklone se spominju i valovi velikih valnih dužina nastalih u svezi s  
nestabilnošću zonalne struje, dok točka 19.4. ističe ciklonsku obitelj koju čine 3 do 5  
ciklona. Ova nestabilna zonalna struja odgovara Rossbyevim (dugim) valovima u sred-  
noj troposferi. U prednjem dijelu doline Rossbyevog vala postoje uvjeti za ciklonski raz-  
vrtak i zato se na tom mjestu javljaju ciklonske obitelji. Kako u zadnjem dijelu doline  
Rossbyevog vala postoje anticiklonski uvjeti, tu se javljaju anticiklone. Rossbyevi valo-

vi, koji mogu znatno meandrirati, nositelji su visinskog strujanja raznih brzina te na taj  
način određuju i gibanja ciklona. Iako se ciklone gibaju prema istoku, njihov smjer i  
brzina gibanja može znatno kolebati od slučaja do slučaja. Tako u nekim slučajevima  
izgleda kao da ciklona dolazi s juga, a u drugima sa sjevera. Ove promjene gibanja mogu  
uvjetovati povratan (retrogradno) gibanje ciklona. Ovine se, uz ostalo, ističe značaj  
Rossbyevih valova kao prognostičkog pokazatelja, ali bitno je istaći da u stvarnosti  
postoji zajedničko djelovanje Rossbyevih, težinskih i inercijskih valova.



Slika 21.20. Rossbyevi valovi: a) valovitost osi mlazne struje, b) nastajanje Rossbyevih  
valova, c) jako razvijeni valovi, d) nastajanje ćelija hladnog i toplog zraka

#### Dopunska literatura

- Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.  
England, J. i H. Ulbricht, 1980: Flugmeteorologie. VEB Verlag für Verkehrswesen, Ber-  
lin, 420.  
Haltiner, G., i R.T. Williams, 1980: Numerical Prediction and Dynamic Meteorology.  
John Wiley & Sons, New York, 477.  
Hsu, S.A., 1988: Coastal Meteorology. Academic Press, San Diego, 260.  
Mađarić, B., 1967: Osnove meteorologije. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 243.



- Matveev, L.T., 1984: Kurs obšei meteorologii. Gidrometeoizdat, Leningrad, 751.
- Penzar, I. i B. Penzar, 1985: Agroklimatologija. Školska knjiga, Zagreb, 274.
- Peterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, I dio. McGraw-Hill, inc, New York, 428.
- Peterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, II dio. McGraw-Hill, inc, New York, 266.
- Poje, D., 1982: Meteorologija. Tehnička enciklopedija, No. VIII, ILZ, Zagreb, 452-484.
- Zverev, A.S., 1968: Sinoptičeskaja meteorologija. Gidrometeoizdat, Leningrad, 774.

## 22. MLAZNA STRUJA

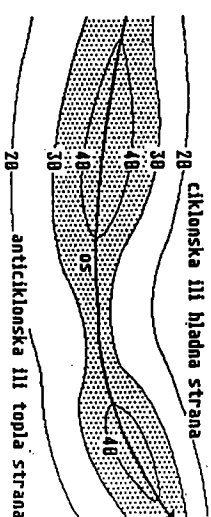
Mlazna struja (engleski: *jet stream*; njemački: *Strahlstrom*) je pojava vjetra vrlo velikih brzina, koji pušu na raznjemio uskim, ali dugakim područjima na velikim visinama. Tako je postojanje vjetrova velikih brzina iskazano već početkom ovog stoljeća, tek krajem II. svjetskog rata za vrijeme vojnih zrakoplovnih djelovanja uočena je njezina važnost. No nije njezina važnost samo u zrakoplovstvu, ona je nezahvalna u meteorološkim razmatranjima, gdje je izravno u svezi s vremenskim procesima ne samo na visini, nego i uz Zemljinu površinu.

### 22.1. Definicija i opis mlazne struje

Prema definiciji Svjetske meteorološke organizacije (1956) mlazna struja ima značajke: "Mlazna struja je jako i raznjemio usko strujanje koncentrirano uzduž takoreći vodoravne osi u gornjoj troposferi ili donjoj stratosferi, praćeno s jakim uspravnim i bočnim smicanjem vjetra, stvarajući jedan ili više maksimuma brzine. U pravilu, mlazna struja je dužine nekoliko tisuća kilometara, širine nekoliko stotina kilometara i debljine nekoliko kilometara. Uspravno smicanje vjetra je reda  $5-10 \text{ m s}^{-1}$  na km ( $5$  do  $10 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ), a vodoravno smicanje je  $5 \text{ m s}^{-1}$  na  $100 \text{ km}$  ( $5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). Za brzinu vjetra uzduž osi mlazne struje određena je donja granica  $30 \text{ m s}^{-1}$ ."

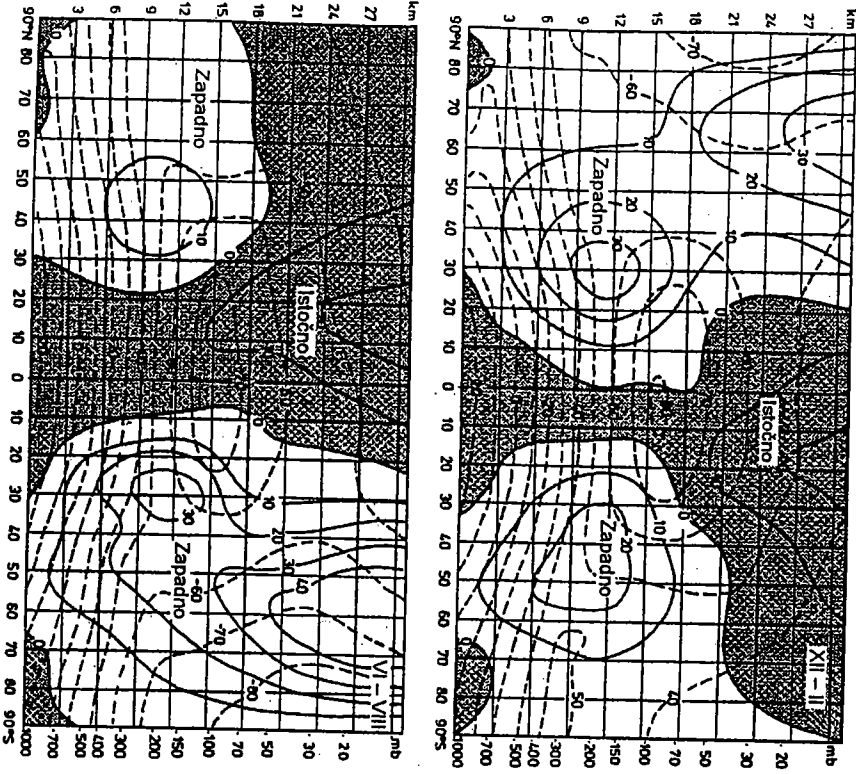
### 22.2. Vrste, područja i položaj osi mlazne struje

Mlazne struje se najlakše uočavaju ili na uspravnim meridijanskim presjecima ili na visinskim kartama (AT 500 do AT 30). Na uspravnim presjecima, poprečno na mlaznu struju, struja ima oblik vodoravno položene elipse. Zbog znatno većeg rasprostiranja mlazne struje po širini nego po visini omjer osi elipse je reda veličine  $1 : 100$ . Smjer vjetra je u ili iz uspravne ravnine. Na visinskim kartama se mlazna struja proteže u smjeru vjetra. Najveće brzine unutar struje čine os mlazne struje (*axis of jet stream*, *Jetachse*, *Strahlstromachse*), slika 22.1. Uspravni presjeci uzduž struje ili uspravni profili vjetra, slika 1-9.16, pokazuju da os mlazne struje nije uvijek na istoj visini, već se može ili dizati ili spuškati.



Slika 22.1. Mlazna struja, izoahne ( $\text{m s}^{-1}$ ) i os struje

Upravni presjeci odnosno karte mogu prikazivati srednja vremenska stanja, npr. za toplo ili hladno doba godine, za pojedini mjesec i slično, ali mogu biti i za određeno doba dana. Očito će duža razdoblja slabije prikazati promjenjiva strujanja, dok će biti dobra za stalnija strujanja. Neke mlazne struje slabije će se uočavati na presjecima za srednja razdoblja (polarna mlazna struja) iako su u pojedinim danima jako izražene. Prikaz uspravnih meridijanskih presjeka za pojedina doba (prosinac - veljača i lipanj - kolovoz) za sjevernu i južnu polutku do visina 30 km dan je na slici 22.2., gdje se uz zapadne ili istočne komponente strujanja prikazane i izotermne. Uočava se, da u umjerenim širinama u gornjoj troposferi postoji jako zapadno strujanje, dok je istočno strujanje u ekvatorijalnom području stratosfere. Nadalje, u zimi za odgovarajuću polutku postoji jače zapadno strujanje, dok je istočno strujanje izraženije u ljetno doba.



Slika 22.2. Upravni meridijanski presjek: prosinac - veljača i lipanj - kolovoz, sjeverna i južna polutka; komponente strujanja puna crta, izotermne crtkano

Postoji više vrsta mlaznih struja: tropska (ekvatorska), suprotropska, polarna (umjerenih širina), arktička, polarna stratosferska i niska mlazna struja. Tropska (ekvatorska) mlazna struja (*tropical jet stream, equatorial jet stream; tropischer Strahlstrom, Äquatorialstrahlströmung*) postoji ljeti na sjevernoj polutki u području između 10 i 20° N, tj. na južnom dijelu suprotropske anticiklone sjeverne polutke, a naročito iznad Indije i Sjeverne Afrike. Pojavljuje se kao 1500 do 2000 km široko istočno stratosfersko strujanje prosječne brzine oko 25 m s<sup>-1</sup> i najvećom brzinom do 60 m s<sup>-1</sup> na visinama od 20 do 30 km (dobro je vidljiva na kartama AT 30 hPa → 25 km), slika 22.2. Njeno nastajanje je termičkog podrijetla, kao posljedica djelovanja ljetnog visokog tlaka od pola, prema niskom iznad ekvatora. Najveći nagibi i izobarnih ploha, a time i najveće brzine vjetra, su u blizini ekvatora.

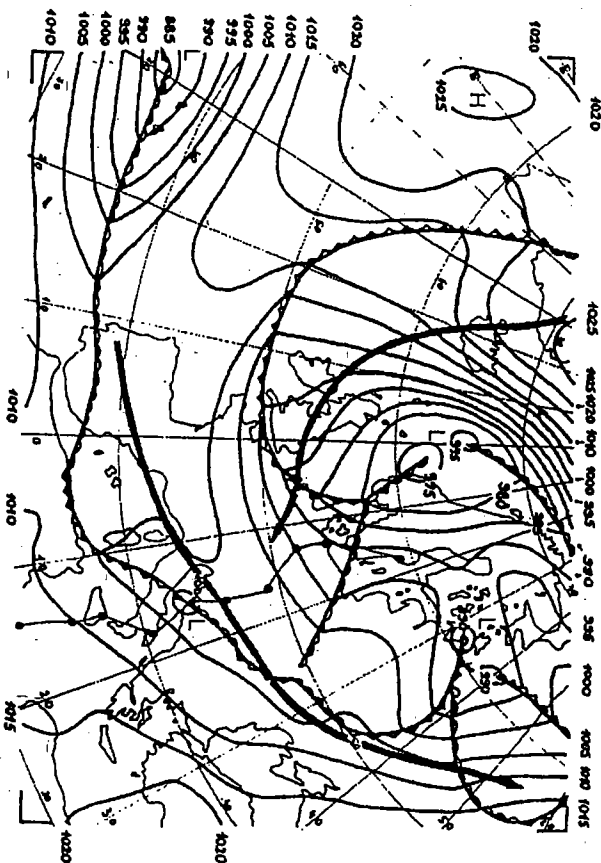
Suprotropska mlazna struja (*subtropical jet stream; subtropischer Strahlstrom*) je najjača neprekidna zapadna struja gornje troposfere i donje stratosfere, a javlja se u suprotropskim područjima. Najveće brzine nalaze se na visinama između 11 i 16 km, stoga je najbolje vidljiva na kartama AT 200 hPa. Na sjevernoj polutki zimi suprotropska mlazna struja leži u području između 25 i 35° N, a ljeti od 35 do 45° N, slika 22.2. U zimi je ograničenija i stabilnija nego ljeti. Srednja brzina strujanja je 40 do 50 m s<sup>-1</sup>. Ponekad zbog jakog meandriranja ova mlazna struja može doprijeti i u više zemljopisne širine, čak do 60 ili 65° N. Iznad Azije se često račva na dva dijela, te je jedan krak na 30° N, a drugi na 40° N, koji se pak može spajati s polarnom mlaznom strujom. Utjecaj kopna i mora se uočava istočno od kontinenta (naročito istočna područja Azije) gdje nastupaju povećane brzine. Iznad Japana brzine dosežu 170 m s<sup>-1</sup> (600 km h<sup>-1</sup>), a nešto istočnije i 210 m s<sup>-1</sup> (750 km h<sup>-1</sup>). Iznad zapadnog Atlantika brzine su nešto slabije i dosežu 110-125 m s<sup>-1</sup> (400-450 km h<sup>-1</sup>).

Na južnoj polutki suprotropska mlazna struja se javlja na približno istim širinama, manje je izražena i promjenjivija, utjecaj orografije je slabiji, a brzine su nešto manje.

U području suprotropske mlazne struje, više puta se oko tropopauze nalazi visinska suprotropska fronta (točka 18.2.6.), koja se razlikuje od polarne fronte, između ostalog po svojoj stalnosti. Visinska fronta je ponekad vidljiva posredno preko cinusnih pruga, bočno razmaknutih oko 10 km koje mogu biti dugake 1000 do 2000 km. One nastaju u termički stabilnom zraku, naročito iznad Sjeverne Afrike i Arapskog poluotoka. To je obično područje pojačanog uspravnog smicanja vjetra uz jaku turbulenciju. Za nastajanje suprotropske fronte važna su dva principa. Visinsko strujanje od ekvatora skreće udesno te iznad suprotropskog područja u dodiru sa zapadnim strujanjem viših širina dovodi do gomilanja i spuštanja zraka. Nadalje, obojna brzina na ekvatoru (464 m s<sup>-1</sup>) je veća od obojnih brzina na višim zemljopisnim širinama, te masa koja dospje u više širine donosi sa sobom, zbog sačuvanja momenta količine gibanja, povećanje brzine gibanja. Stoga i zračne mase premješajući se na visini od ekvatora u više zemljopisne širine povećavaju brzinu strujanja. Ukupno gledajući ovi principi su i glavni razlozi što se suprotropska mlazna struja stalno i jasno vidi na visinskim kartama.

Polarna mlazna struja (*polar jet stream; Polarfront-Strahlstrom*) nalazi se u umjerenim širinama, tj. između 35 i 70°, pa se i naziva mlazna struja umjerenih širina. Najviše je istražena i obzirom na njezinu povezanost s polarnom frontom najviše utječe na vrijeme. Nalazi se na visinama između 8 i 12 km, što zimi odgovara kartama AT 300 hPa, a ljeti AT 250 hPa. Pritom se nalazi najčešće nešto ispod tropopauze. U zimi zbog velikih temperaturnih razlika između ekvatora i pola, mlazne struje nastupaju češće i

izraženije su, leže i razvijaju se bliže ekvatoru nego ljeti. Ova mlazna struja je prevladavajućeg zapadnog smjera, no znatno je promjenjiva kako prostorno tako i vremenski. Dosta jako meandrirna (mijenja smjer) te se može pojaviti bilo kao sjeverno ili južno strujanje, ponekad uz istočne komponente. Srednje brzine su 50 do 80  $m\ s^{-1}$ , a najveće dostižu 150 do 180  $m\ s^{-1}$ . Nad Europom su oko 100  $m\ s^{-1}$ , nad Sjevernom Amerikom oko 150  $m\ s^{-1}$ , nad Dalekim istokom i Japanom dostižu i prelaze 180  $m\ s^{-1}$ . Na južnoj polutki brzine su nešto slabije. Kako smjer i brzina polarnih mlaznih struja znatno kolebaju, na srednjim presjecima ili kartama se slabo uočavaju, osim na područjima stalnih frontalnih pojava (istočni dio Sjeverne Amerike i Azije), premda je vrlo dobro izražena na dnevnim kartama. Zbog svoje promjenjivosti može se spojiti sa suprotropskom mlaznom strujom i tada su brzine znatno veće.



Slika 22.3. Pritzerna karta i mlazna struja s karte AT 300 hPa, 15. veljače 1960. 00 UTC, oznake fronti su uobičajene, os mlazne struje debela crta (Gelo, 1966)

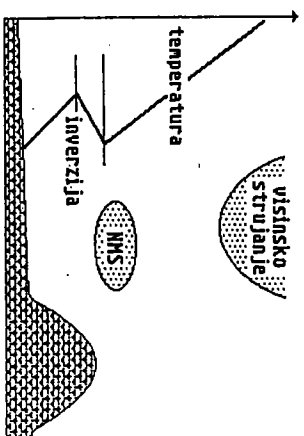
Polarna mlazna struja, slično polarnoj fronti, nije u jednom nego je u više dijelova. Veza, odnosno podudarnost položaja polarne mlazne struje i polarne fronte dobro se vidi na slici 22.3, a shematski prikaz je na slici 22.10. Ovdje je položaj mlazne struje dobiven projiciranjem s karte AT 300 hPa, gdje su obično najjači vjetrovi. Primitelj mlazne struje na karti AT 300 hPa dan je na slici 22.5. Često idući prema polu može se naći i arktička (antarktička) fronta.

Arktička mlazna struja (*arctic jet stream*; *arktischer Strahlstrom*) postoji na sjevernoj polutki i području zemljopisnih širina većih od  $65^{\circ}$  N. Pojavljuje se kao zapadno strujanje na visinama između 6 i 8 km (dobro je vidljiva na kartama AT 500 i 400

hPa) i dostiže do 100  $m\ s^{-1}$ . Njeno nastajanje je posljedica temperaturnih razlika u granicnom području hladnog arktičkog zraka i unijerenog polarnog zraka srednjih širina, na sličan način kao polarna mlazna struja.

Polarna stratosferska mlazna struja (*polar stratospheric jet stream*; *polarer Stratosphärenstrahlstrom*) je u zimi jako stratosfersko zapadno strujanje koje se nalazi u visokim širinama ( $70^{\circ}$ ) iznad visina 20 do 25 km, što odgovara kartama AT 50 do AT 25 hPa. Najjači vjetar se nalazi u blizini polarnog kruga ili nešto prema ekvatoru. Stoga se označava i kao mlazna struja polarne noći (*polar night jet stream*; *Polarnacht Strahlstrom*) tj. "mlazna struja na rubu polarne noći". Nastajanje ove mlazne struje je u svezi s jakim zimskim hlađenjem ozonskog sloja u polarnom području. Stoga nastaju velike razlike temperature i tlaka zraka naspriam unijerenih širina uz odgovarajući jaki vjetar koji raste s visinom. Srednja brzina vjetra je oko 40  $m\ s^{-1}$ , a postiže najveću vrijednost ispod stratopauze na visini oko 50 km s najvećom brzinom preko 100  $m\ s^{-1}$ . Ljeti zbog jačeg zagrijavanja ozonskog sloja nastaju istočne mlazne struje, koje su znatno slabije te srednja brzina iznosi 25 do 30  $m\ s^{-1}$ .

Niska mlazna struja (*low level jet*; *niedertroposphärischer Strahlstrom*), kako samo ime kaže, postoji na vrlo malim visinama te ima velike sličnosti s mlaznim strujama većih visina, premda je po prostiranju osjetno manja (za red veličine) i brzina joj je manja, najčešće je oko 15  $m\ s^{-1}$ , a može dostizati do 30  $m\ s^{-1}$ . Takvo strujanje se nalazi na visini između 1 i 6 km. Ta struja teško zadovoljava klasičnu definiciju za mlaznu struju. Uvjeti i mjesta nastanka niske mlazne struje su raznoliki. Javlja se u svezi s jakim baroklinosti donjih slojeva atmosfere u sinoptičkim - velle ili krupnim razmjerima (makro), s frontama, u srednjim (mezo) razmjerima u slučajevima advektivne akceleracije. Nadalje, mlaz se javlja u planinskom području pri noćnim temperaturnim inverzijama kao struja paralelna s planinom kad na visini postoji jako strujanje i ako se opaža dijeljenje i spajanje zračne struje, slika 22.4, zatim kod obalnih vjetrova, slika 21.9., te planinskih vjetrova i u ageostrifčkom planetnom granitnom toku kada stabilna stratifikacija smanjuje brzinu vjetra.



Slika 22.4. Shematski prikaz položaja niske mlazne struje

Strujanja niskoj mlaznoj struji često se javljaju u priobalnom području kao rezultat termičkih razlika kopna i mora. Za više ili manje ravno priobalno područje postoje uvjeti koji pogoduju ovakvim strujanjima. U slobodnoj atmosferi prevladavajući

geostrofički vjetar mora biti slabiji od 5-6 m s<sup>-1</sup>. Poželjno je da taj vjetar puše od kopna prema moru, a promjena smjera vjetra s visinom u planetarnom graničnom sloju mora biti manja od 80°. Konačno, potrebne su određene temperaturne razlike, tako je temperatura zraka tijekom noći iznad mora veća za 5 °C nego iznad kopna, stoga postoji hladno područje ("hladni pol") ili mezovisoki tlak zraka iznad kopna. Tako postoje dva inverzijska sloja: mezo (na visini većoj od nekoliko stotina metara) i mikro (noćni sloj nastao prizemnim izjavanjem). Pod utjecajem Venturijevog učinka i spuštajućeg vjetra može nastupiti jaki vjetar na maloj visini, sličan mlaznoj struji, slika 21.9. Brzina takvog vjetra mijenja se ovisno o visini inverzije, a može se odrediti prema:

$$h_{IV} = h_{VV} \sqrt{V_{IV}} \quad 22(1)$$

gdje je  $h$  visina inverzije,  $v$  brzina vjetra, dok indeksi II i IV označavaju područja mjerenja prema slici 21.9. Npr.  $h_{II}$  je oko 600 m,  $v_{II}$  je oko 7 m s<sup>-1</sup> (prosjeak od 10 m s<sup>-1</sup> na 100 m visine i 5 m s<sup>-1</sup> geostrofičkog vjetra blizu inverzije),  $h_{IV}$  je 300 m, te slijedi da je  $v_{IV}$  14 m s<sup>-1</sup> (mjerenje 15 m s<sup>-1</sup>).

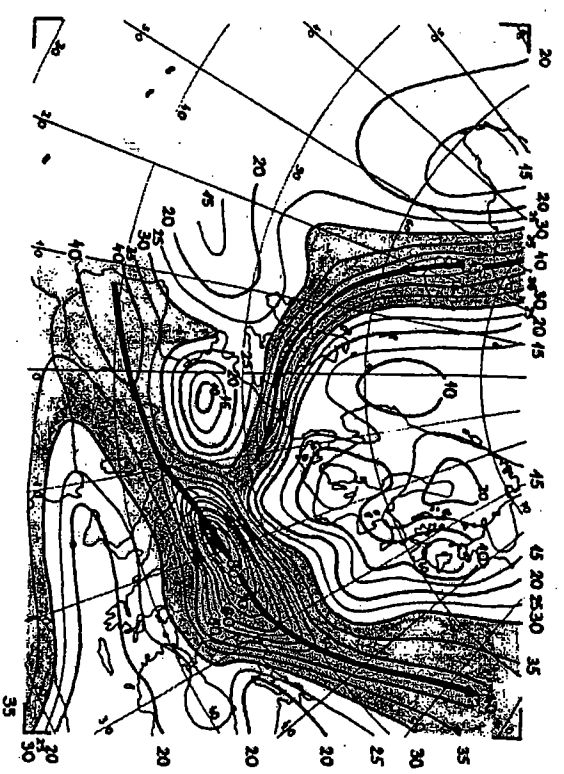
### 22.3. Osobitosti polarne mlazne struje i veza s drugim pojavama u atmosferi

Polarna mlazna struja, kao što je već istaknuto, najbolje se uočava na dnevnim visinskim kartama (AT) prateći gustoću izohipsa neke visinske karte ili brzine vjetra na visinskoj karti odnosno na uspravnim presjecima. Primjer mlazne struje na karti AT 300 hPa dan je na slici 22.5, gdje se dobro uočavaju dvije struje, jedna jugozapadna brzine preko 80 m s<sup>-1</sup> (prelazi preko Zagreba), a druga sjeverozapadna brzine preko 45 m s<sup>-1</sup> (prelazi preko Islanda i Velike Britanije). Ovdje su prikazane izotahne na izobarnoj plohi.

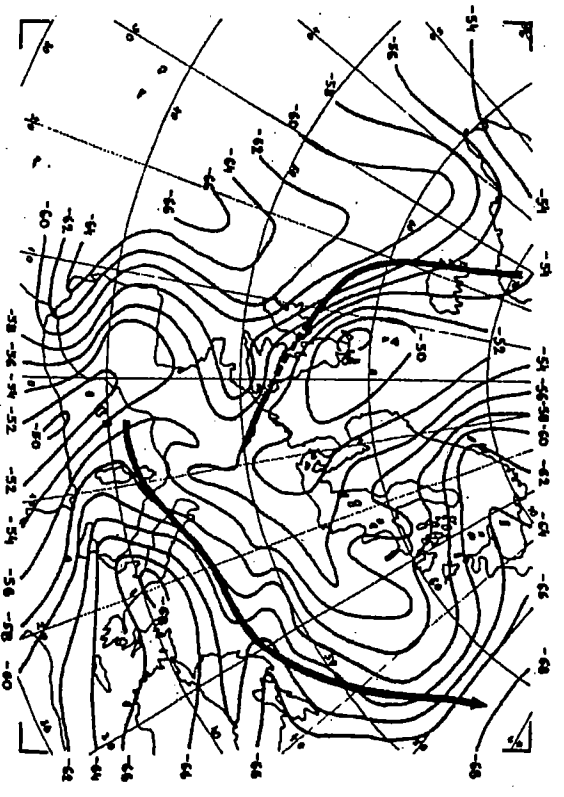
U troposferi u području polarne fronte tj. velikih meridijanskih temperaturnih gradijenata postoji jaki porast vjetra s visinom do razine oko 300 hPa (gdje nema izraženih temperaturnih gradijenata), a zatim slabi jer postoji obrnuti temperaturni gradijent, što upućuje da su jaki visinski vjetrovi posljedica temperaturnih promjena uz pripadni termalni vjetar. Obzirom da se brzina vjetra ne mijenja jednoliko s visinom slijedi da os mlazne struje može biti znatno nagnuta.

Na višoj karti (AT 200) mlazna struja je drugičijeg oblika i brzine, što se vidi na slici 22.6, gdje su uz os mlazne struje prikazane izotermne. Lako se može uočiti da lijevo od osi mlazna (prema polu) postoji razmjerno toplo područje, a desno (prema ekvatoru) je hladno područje.

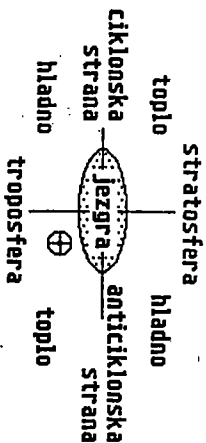
Uspravni poprečni presjek kroz mlaznu struju i njezinu okolicu pokazuje četiri područja raznih temperatura, ako je središte presjeka u osi mlazne struje. Temperaturni gradijent u stratosferi je suprotnog smjera od onog u troposferi. Niže od osi mlazne struje je toplo prema ekvatoru, a hladno prema polu, dok je iznad osi toplo prema polu, a hladno prema ekvatoru, slika 22.7. Ove temperature promjene mogu biti dobar pokazatelj položaja mlazne struje, te se u zrakoplovstvu govori o termonavigaciji (određivanje najpovoljnijeg vjetra prema raspodjeli temperature).



Slika 22.5. Mlazna struja na karti AT 300 hPa: 15. veljače 1960. 00 UTC izotahne (m s<sup>-1</sup>) tanke crte, os mlazne struje debela crta (Gelo, 1966)



Slika 22.6. Mlazna struja na karti AT 200 hPa: 15. veljače 1960. 00 UTC izotermne (°C) tanke crte, os mlazne struje debela crta (Gelo, 1966)



Slika 22.7. Presjek kroz mlaznu struju i temperaturna područja

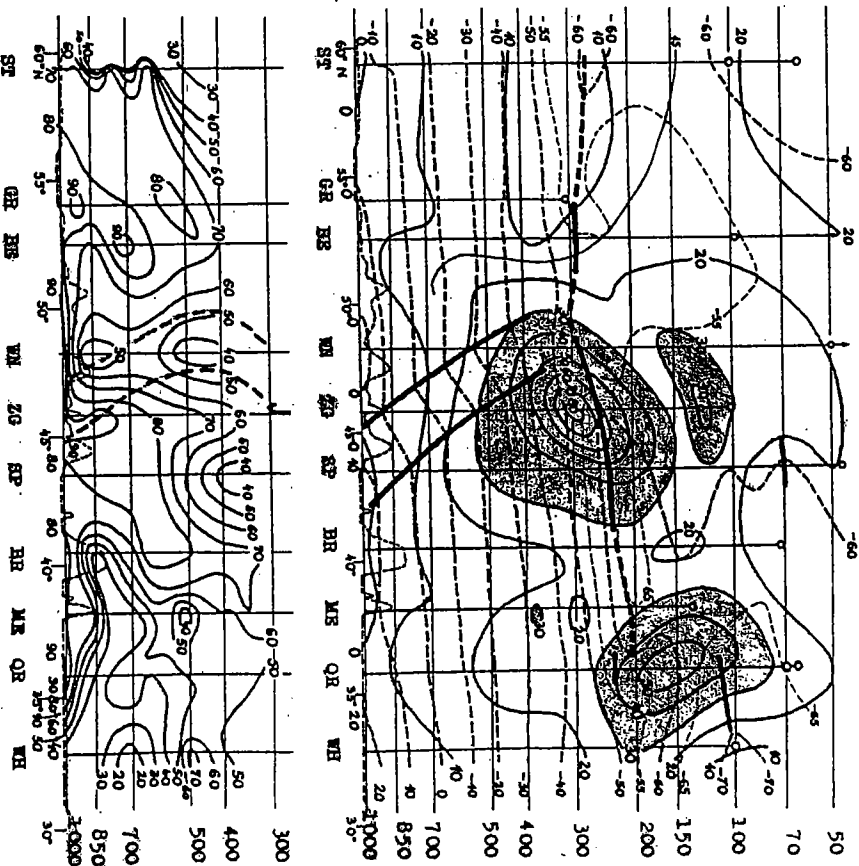
Na slici 22.8. prikazan je uspravni poprečni presjek (od Stockholma - ST do Wheelusa - WH, Libija) kroz polarnu mlaznu struju s frontalnom plohom kao granicom između tropskog i polarnog zraka s jakim vodoravnim temperaturnim gradijentom tj. vrlo nagutim izotermama. Os mlazne struje nalazi se iznad tople strane frontalne plohe (u ovom primjeru iznad Zagreba - ZG), gdje su i najveći gradijenti tiska, a projicirano na Zemljinu površinu nalazi se u hladnom zraku prizemne fronte. Smicanje vjetera je prostrano i vrlo jako. Općenito područje smicanja vjetera prostire se nekoliko stotina kilometara s obje strane mlazne struje. Jakost smicanja je veća na lijevoj - ciklonskoj nego na desnoj - anticiklonskoj strani mlazne struje, što znači da se na hladnoj strani mlazne struje blizu osi mlaza mogu očekivati veće promjene brzine vjetera. Na istom presjeku postoji i suprotropska mlazna struja brzine preko 50 m s<sup>-1</sup> koja je iznad Orendija - OR, Maktá, na tlaku oko 150 hPa. Presjeku je pridodan presjek razdiobe relativne vlažnosti (donji dio slike), gdje se ističu područja povećane vlažnosti ispod osi mlaza (označen s J) te suha područja bočno od osi, što može izazvati uspravno gibanje i kruženje zraka poprečno na smjer mlazne struje.

Najveće vodoravne promjene temperature zraka su na visinama 5 do 6 km (AT 500) točno ispod osi mlaza. Promjenjena temperature je nagla i može se lako ustanoviti ako npr. zrakoplov leti poprijeko na struju. Bočno od ove temperature promjene nalazi se toplo područje (prema ekvatoru) i hladno područje (prema polu) s jakim promjenama brzine vjetera što znači i jakim turbulencijom (pogotovo u hladnoj strani). Općenito su promjene vjetera slabije u toplom zraku na nešto većoj visini, gdje je i turbulencija manja. Na razini AT 300 hPa, gdje su općenito najjača strujanja tj. gdje postoji os mlazne struje, nema bitnih vodoravnih promjena temperature zraka. Vodoravne temperature promjene su istaknute i na većim visinama. Tako na AT 200 hPa postoji hladno područje (< -65 °C) desno od osi mlazne struje i toplo područje (> -55 °C) lijevo od osi, što se dobro vidi ne samo na uspravnom presjecima, nego i na kartama AT 200 hPa, slika 22.6.

Važno je istaći, da su ispod jezgre - osi mlazne struje izobare plohe znatno nagnutе, što pri letu zrakoplova znači naglu promjenu visine. Prema barometriskom mjerjenju visine očevidne su znatne promjene stvarne visine iznad srednje morske razine i na malim udaljenostima, uz jednako pokazivanje visinomjera. S ovim promjenama visine leta zrakoplova smanjit će se vodoravne temperaturne razlike, tj. neće ih biti kao kod leta po stalnoj visini iznad morske razine.

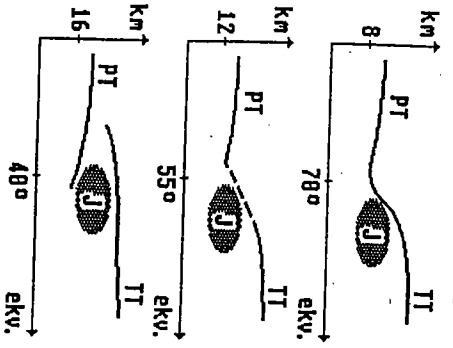
Vrste i položaji tropopauze. U širem području polarne mlazne struje dodiruju se polarna i tropska tropopauza. Polarna tropopauza je niža (8 - 10 km) i toplija te razmjerno vodoravna, za razliku od više (10 - 16 km) i hladnije tropske tropopauze koja je u

svom sjevernom dijelu jako nagnuta. Općenito je tropopauza u području mlazne struje vrlo nagnuta, isprekidana ili čak postoje dvije tropopauze, što ovisi i o zemljopisnoj širini, slika 22.9. U višim širinama nema prekida tropopauze, postoji jaki nagib. U umjerenim širinama postoje prekidi tropopauze u blizini jezgre, dok su u manjim širinama dvije tropopauze s preklapanjem nekoliko stotina kilometara. Jezgra mlazne struje nalazi se općenito ili ispod nagiba tropopauze ili u njenom prekidu ili u području preklapanja obaju tropopauza.



Slika 22.8. Uspravni presjek kroz mlaznu struju 15. veljače 1960. 00 UTC, gore: izotermne (m s<sup>-1</sup>) tanke crte, izotermne (°C) crtkano; dolje: izohigre (%) tanke crte, debele crte su graniče frontalne plohe i PT - polarna, TT - tropska tropopauza (Cielo, 1966)

Tropopauza, često kao područje jake inverzije, ima jaki termički stabilitet i priječi uspravna gibanja zraka te izmjenu zraka troposfere i stratosfere. Drukčije je na prekidima tropopauze gdje mogu postojati uspravna gibanja.

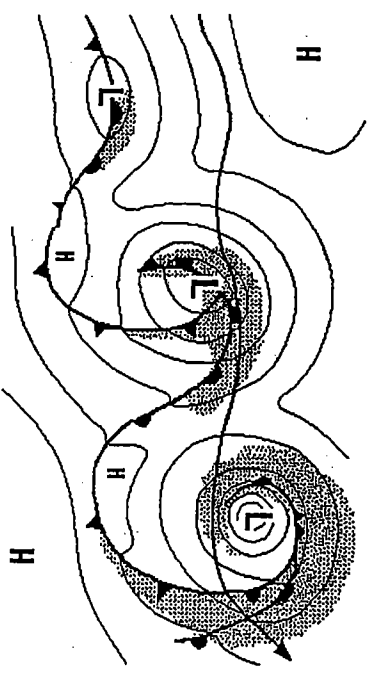


Slika 22.9. Oblici tropopauza u području mlazne struje

Općenito su mlazne struje paralelne s frontama, no više ili manje tu paralelnost narušava razvoj ciklonskih poremećaja i procesi anticiklogeneze. Prema stupnju razvoja ciklone mlaz se raspoređuje sve okomitije prema prizemnoj fronti, a ponekad dolazi do razdvajanja mlaza. Pri stvaranju mlade ciklone njeno središte je desno od osi mlaza, a daleko je ispod mlaza, a nastankom i razvojem okludirane ciklone njeno središte prelazi na lijevu stranu mlazne struje, slika 22.10. Os mlazne struje nalazi se 300 do 600 km iza hladne fronte i 600 do 1000 km ispred tople fronte na Zemljinoj površini, pri čemu je va jaka povezanost između mlaznih struja i frontalnih sustava. To se događa kad nova mlazna struja prekida stari raspadajući frontalni sustav ili je pri slabim i ne visokim frontama.

Os mlazne struje premješta se od viših prema nižim zemljopisnim širinama brzinom od  $0,5^\circ$  do  $1^\circ$  zemljopisne širine na dan, što odgovara brzini oko  $0,5$  do  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Istodobno (smanjivanjem zemljopisne širine) os mlazne struje se polako uzdiže od razine 300 hPa do 200 hPa.

Pri opisu mlazne struje rabe se pojmovi ulaz i izlaz (delta) mlazne struje, koji odgovaraju početnom odnosno završnom dijelu strujanja. U tim područjima vjeter naglo pojačava (na ulazu) odnosno slabi (na izlazu), a kako su uz ove promjene brzine znatne i promjene smjera, javljaju se jaka turbulentna gibanja. Za mlazne struje mogu se vezati i druge značajke. Tako se osim meandriranja, mlazne struje mogu dijeliti te može postojati po nekoliko grana mlaznih struja. To se javlja obično pri slabljenju i nestajanju osnovne struje. Zaprečavanje (točka 20.4.) uvjetuje račvanje mlazne struje. Strujanje je tada valovito ili u obliku ćelija. Visoki tlak leži nešto južnije od sjevernog kraka struje, a niski tlak nešto sjevernije od južnog kraka sa slabim istočnim strujanjem koje je između visokog i niskog tlaka.



Slika 22.10. Shematski prikaz prizemne karte i mlazne struje; oznake fronti su uobičajene, os mlazne struje debela crta

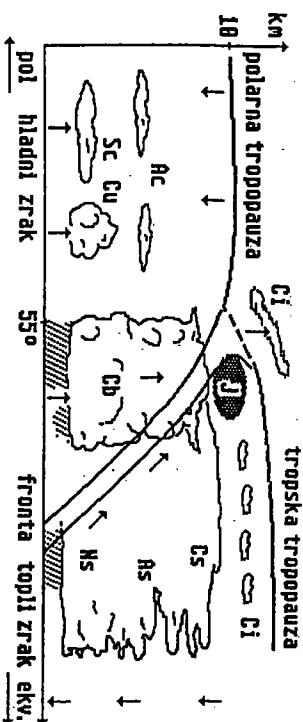
Zonalno usmjerene mlazne struje su često vrlo dugačke, dok meandriranje mlaznih struja određuje razne odnose strujanja prema zemljopisnim širinama i duljinama. Razvoj meridijanskog strujanja ovisi o visinskoj dolini ili grebenu, kad frontalna zona i mlazna struja skreću prema ekvatoru ili polu. Pri leću kroz visinsku dolinu ili greben moguće su na manjoj udaljenosti dvije mlazne struje jedna pored druge, pri kojima je smjer vjetera gotovo suprotan, jer mlazna struja ima oblik slova U (visinska dolina). Tada su središnji dijelovi doline (grebena) ispunjeni hladnim (toplim) zrakom, koji se nalaze u međusobnom gibanju, te zračne mase unutar odnosno izvan doline (grebena) dovode do pojačavanja temperaturnih i tlačnih razlika. Za veće temperaturne razlike u polarnoj zoni postoje jaka strujanja.

Kod doline, koja se proteže prema ekvatoru, može se polarna mlazna struja podvući ispod više suprotropske mlazne struje. Tada postoje dva maksimuma vjetera na raznim visinama, koji se mogu stopiti u jedan snažni mlaz.

Osim termičkih uzroka postoje i dinamički uvjeti nastanka mlazne struje, otkuda potječu agestrostičke komponente strujanja. Stoga će promjene položaja masa izazvati različite tlaka i prouzročiti promjene vjetera. Djelovanje dinamičkih uvjeta postoji, kad su brzine vjetera u mlaznoj struji veće nego što odgovara temperaturnim razlikama. Ako se mlazna struja stvorila, ona ostaje najčešće dugo, iako su temperaturne suprotnosti dosta oslabile. Postoji izvjesno samoodržanje, čije objašnjenje nije potpuno razjašnjeno.

Kako je polarna mlazna struja povezana s polarnom frontom to se i naoblaka u području mlazne struje povezuje s frontama. Daleko najveći dio svih oblaka nalazi se ispod sloja najjačih vjetrova. Tome se pridodaju još rijetki oblaci oblaka. Oni se vide kao posebne osobitosti mlazne struje. Jezgra mlazne struje je često bezoblačno, pa to može poslužiti traženju položaja najjačih vjetrova.

Uredena dizanja zraka osobito se susreću u toplom zraku na desnoj strani mlazne struje. To su većinom slojasti frontalni oblaci na raznim razinama (Cs, As, Ns). Na hladnoj strani mogu se u blizini fronte razviti jaki kumulusi (Cu) ili kumulonimbusi (Cb), čiji ledeni vrhovi često dolaze do jezgre mlazne struje i s njom su daleko razvučeni, slika 22.11.



Slika 22.11. Oblaci u području mlazne struje

S povećanjem udaljenosti od hladne fronte je spuštanje zraka, koje je povezano s nestajanjem oblaka i stvaranjem subsidencijske (sjedajne) inverzije. Ispod ovih inverzijskih slojeva mogu se razviti altokumulusni (Ac) oblaci, a ispod njih u prizemnom sloju mogu se susresti višestruki stratokumulusni (Sc) i kumulusni (Cu) oblaci.

Često nastaju desno od mlazne struje vrlo izdužena cirrusna (Ci) polja, uređena u obliku pruga. Razmak pojedinih pruga je 5 do 15 km. Ove cirrusne (Ci) pruge mogu biti duge 3000 km. Njihov lijevi rub nasuprot jezgre mlazne struje je oštro ograničen i označava položaj jezgre mlazne struje. Na satelitskim slikama ova područja se javljaju kao dugo razvučene svijetle pruge i jasno se razaznaju nasuprot drugih oblika oblaka. Nadalje, cirrusna (Ci) naoblaka često se nalazi iznad tropopauze lijevo od mlazne struje i u području jakog nagiba tropopauze.

Sa Zemljine površine mogu se prepoznati neki oblaci vezani uz mlaznu struju, koji imaju većinom veliku brzinu gibanja i podlježu stalnim i brzim promjenama. Oblaci su u obliku dugih pruga i koji prekrivaju nebo. Valni oblaci (undulatus) pružaju se poprečno na pruge koje su paralelne s mlaznom strujom i ukazuju na jaku turbulenciju na visini.

Uz mlaznu struju česta su vodoravna vrtložna gibanja i većinom su anticiklonskog smjera. Postoje li oblaci, oni imaju spiralni oblik. Također na ciklonskoj strani mlazne struje ima spirarnih oblaka s ciklonskim smjerom vrtnje, promjer vrtloga je 100 do 200 km.

No uz mlazne struje ne moraju biti oblaci, one mogu postojati i pri vedrom nebu kad je pri tlu visoki tlak ili greben visokog tlaka zraka. Uzrok je ili spuštanje zraka ili velika suhoća zraka ili čak oboje.

Oblaci uzduž mlazne struje nisu jednoliko raspoređeni. Razlike između ulaznog i izlaznog dijela mlazne struje ovise o predznacima uspravnog gibanja, koji znače stvaranje ili rasplinjavanje oblaka. U području ulaza ispod mlazne struje na desnoj strani je dizanje, a na lijevoj je poniranje zraka, dok je u području delte uspravno gibanje suprotnog smjera. Stoga postoji grana dižućeg zraka na desnoj strani područja ulaza (anticiklonalno) dijagonalno na mlaznu struju skroz do lijevog dijela delte (ciklonalno). Na sličan način nastaje silazna grana strujanja od lijevog dijela ulaza do desnog dijela delte, koja prolazi ispod dižuće grane strujanja. Djeliti zraka na tlu, na koji djeluje uspravno gibanje, npr. na desnoj strani ulaza, mijenja položaj sa strujanjem i dolazi konačno u gornju troposferu u lijevom dijelu delte mlazne struje. Ova dižuća grana strujanja je uska s izdu-

ženim trakama oblaka i povezana je s frontama, a jasno se vidi sa satelitskih slika. U području spuštanja strujanja prevladava bezoblačno vrijeme.

Oborine u svezi s mlaznom strujom većinom se javljaju ispod ili sjeverno od osi mlaza, a količina oborina je to veća što je jači mlaz.

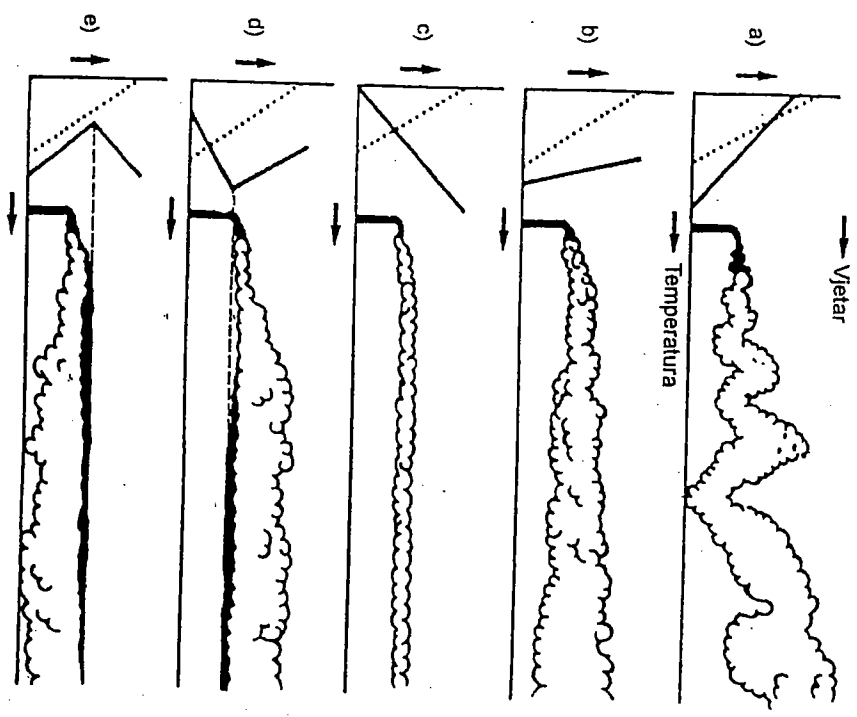
#### Dopunska literatura

- Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.  
 England, J. i H. Ullrich, 1980: Flugmeteorologie. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 420.  
 Gelo, B., 1966: Izvannropske mlazne struje; diplom, PMF, Zagreb, 77.  
 HMSO, 1994: Handbook of Aviation Meteorology. HMSO, London, 401.  
 Hsu, S.A., 1988: Coastal Meteorology. Academic Press, San Diego, 260.  
 Peterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, I dio. McGraw-Hill, inc, New York, 428.  
 Peterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, II dio. McGraw-Hill, inc, New York, 266.  
 Reiter, E.R., 1967: Jet Stream. Doubleday and Co., Garden City, NY, 189.  
 Zverev, A.S., 1968: Sinoptičeskaja meteorologija. Gidrometeorizdat, Leningrad, 774.

## 23. OLUJE

### 23.1. Atmosferska stabilnost i uspravna gibanja zraka

Uspravna gibanja zraka objedinjuju uzlazna i silazna gibanje zraka (engleski: *updraft / downdraft movement*; njemački: *Aufwind / Abwind*). Do ovih gibanja dolazi na nekoliko načina. Jedan od uzroka je raznorodna (nehomogena) podloga koja se različito zagrijava i time različito zagrijava zrak. Zrak se iznad toplije podloge diže i pri tome,



Slika 23.1. Stabilnost i oblici dima: a) labilni sloj (jaki pad temperature s visinom), b) stabilni sloj (slabi pad temperature s visinom), c) vrta jaka stabilnost (inverzija), d) neutralna stabilnost iznad prizemne inverzije, e) labilnost ispod inverzije; suha adijabata crkano, krivulja stanja puna crta

ovisno o količini vlažnosti, dolazi do stvaranja oblaka. To je spontano - termičko dizanje. Ostale vrste dizanja zraka predstavljaju više ili manje prisilna gibanja. Uspravno gibanje zraka nastaje kod prelazanja zračne struje preko orografskih prepreka (brda i doline). Pri Zemljinoj površini, procesi zbližavanja (konvergencije) uvjetuju dizanje zraka na mjestu gdje se zrak nagomilava, dok razilaženja (divergencija) dovode do spuštanja zraka. Kad dvije različite zračne mase dođu u neposredan doir (fronta) također dolazi do uspravnih gibanja zraka. U mnogim slučajevima uspravno gibanje zraka je pod djelovanjem više uzroka, pri čemu jedan uzrok potakne gibanje, a drugi dovode do punog razvoja. Općenito stabilnost ili bolje reći nestabilnost atmosfere daje snažni poticaj za razvoj uspravnih gibanja zraka. Unatoč mnogim negativnostima, dim koji izlazi iz nekog visokog dimnjaka može pomoći pri osnovnom zaključivanju o stanju atmosfere. Ovisno o razdobi temperature zraka s visinom (Krivulja stanja) oblici protezanja dima pokazuju sljedeće stabilnosti ili labilnosti, slika 23.1.

Termičko dizanje zraka (konvekcija) (*thermal convection; thermische Konvektion*) nastaje uslijed nejednolikog zagrijavanja podloge. Neka podloga se brže i jače zagrije od druge, a kako se toplina prenosi na zrak to on postaje topliji i lakši od okolnog te se diže. Što je zrak nestabilniji tj. topliji i vlažniji, obzirom na manju gustoću vodene pare od snnog zraka, to je jače dizanje. U najnižim prizemnim atmosferkim slojevima, kao posljedica jakog zagrijavanja površine tla, mogu nastati veliki atmosferski uspravni temperaturni gradijenti (superadijabatski gradijenti), koji dosežu i prelaze 3 °C/100 m (točka 1-5.7). Obično se takav jako zagrijani zrak uočava kao jako teperenje svijetlosti, zbog jakog loma zraka svjetlosti (zračno zrcaljenje). Zbog razlika u gustoci dižačeg i okolnog zraka (sila uzgona, Arhimedov zakon) i bez djelovanja drugih vanjskih sila, zrak spontano dobiva uspravnu komponentu gibanja. Naravno, svako dizanje zraka na jednom području uvjetuje spuštanje na drugom zbog jednakžbe neprekinitosti (kontinuiteta), tj. sacuvanja mase.

$$\frac{dp}{dt} + \rho VV = 0 \quad 23(1)$$

gdje *t* označava vrijeme.

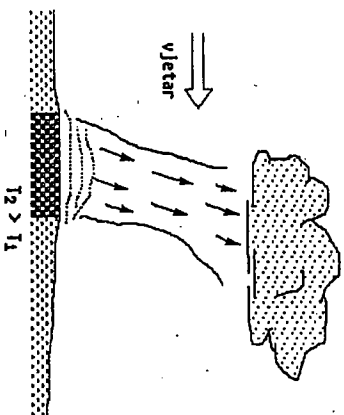
Uzlazno gibanje zraka na jednom mjestu i silazno gibanje na drugom uvjetuje kruženje zraka, gdje prizemna vodoravna komponenta strujanja predstavlja vjeter konvekcije. Uočava se da su u prirodi dizanja zraka nešto jača od spuštanja (brzina dizanja do 20% veća od brzine spuštanja), što je usklađeno s manjim područjem dizanja od područja spuštanja, a zadovoljava jednakžbu neprekinitosti.

Suglasno točki 1-9.6, strujanja mogu biti laminarna ili turbulenta, što ovisi među ostalim o brzini strujanja. Tako dizanje zraka može biti lagano (laminarno) pa nastaju konveksijske struje ili jače (turbulentno) te nastaju termički (termički ili turbulentni baloni).

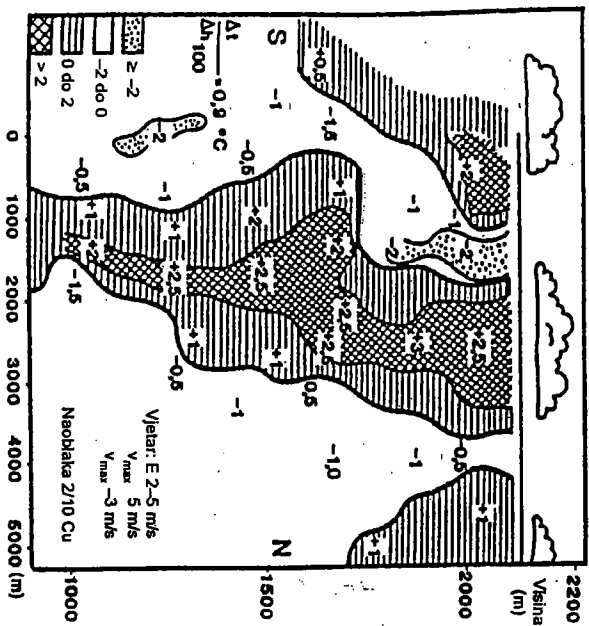
Konveksijske struje (*convective current; Konvektionsstrom*) su manje ili više neprekidno dizanje struje toplog vlažnog zraka kroz neporemećeni okolni zrak. Brzina dizanja zraka je u granicama od nekoliko mm s<sup>-1</sup> do približno 1 m s<sup>-1</sup>. Ova uzlazna struja ima oblik cijevi nagnuti ovisno o uspravnom smicanju vjetera odnosno vjeteru na visini. Cijev počinje od Zemljine površine, gdje je zagrijavanje najjače, a proteže se uvis nekoliko desetaka ili stotina metara ovisno o jačini zagrijavanja podloge i atmosferske labilnosti. Prostranstva dizanja u širinu su od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara,



rjede zahvaćaju veća područja. Ako je zrak dovoljno vlažan na visini se javljaju konvekcijski oblaci. Smatra se da ova struja ide do visina približno 200 m ispod manjih konvekcijskih oblaka - kumulusa (uzina se da su dalje uspravna gibanja u svezi s oblakom), slika 23.2. tj. ovi procesi dizanja (spuštanja) zraka odvijaju se u prizemnom planetnom sloju. Temperatura zraka unutar cijevi je za nekoliko desetinka do 1 °C veća od temperature okolnog zraka. Veće temperaturne razlike obično se očituju osim u većoj brzini dizanja zraka i u manjim područjima dižućeg zraka.

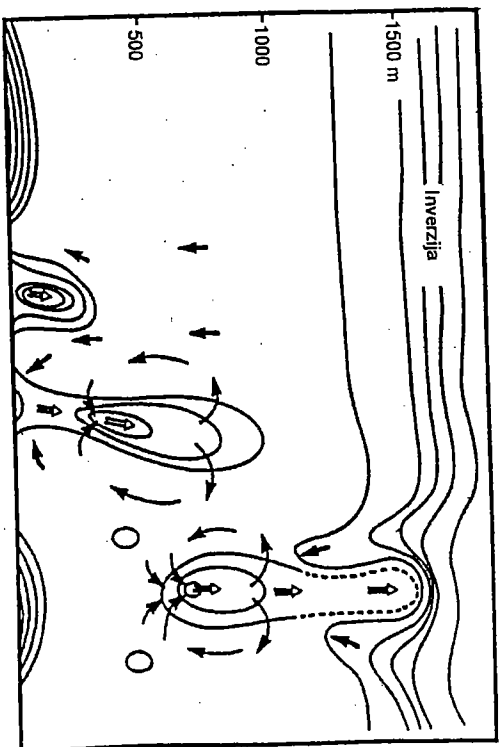


Slika 23.2. Konvekcijska struja



Slika 23.3. Polje uzlaznih i silaznih struja ispod manjeg kumulusa (WMO, 1993)

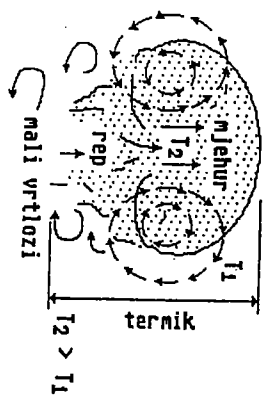
**Termnici** (termički ili turbulentni baloni) (*thermal convection cell; Thermikblase*) nastaju kada brzina dižućeg zraka premaši određenu kritičnu brzinu. Tada se konvekcijska struja raspada u niz manjih dijelova - balona (čelijskog ustrojstva). Brzina dizanja balona je obično veća od 1 m s<sup>-1</sup>, može biti i nekoliko m s<sup>-1</sup>, pa čak do desetak m s<sup>-1</sup>. Čelijsko ustrojstvo u atmosferi javlja se od manjih brzina dizanja, kada se razvijaju razmjerno širi, a tanji oblaci - kumulusi, do većih brzina dizanja kad su oblaci razmjerno uski, a uspravno razvijeni - kumulonimbusi. Uz dizanje zraka postoji i spuštanje zraka, što zadovoljava jednadžbu neprekrtnosti, a svi ovi procesi se odvijaju u prizemnom planetnom sloju, slika 23.3. Takav tip oblaka, koji mogu biti jako razvijeni, javlja se često u topskom području te čine oblačne nakupine (*cluster; Cluster*) sačastog oblika. U odnosu na okolicu, zrak se uz Zemljinu površinu može zagrijati za nekoliko °C, te nakon pojave nekog slabog impulsa (obično izazvan lakim naletom vjeta) dolazi do odvajanja tog zraka od podloge i njegovog dizanja. Na mjesto odvajanja zračnog balona nadolazi okolni hladniji zrak, koji se grije te se ciklus nastavlja približno svakih 10 do 40 min. Proces grijanja, odvajanja i dizanja zraka traje dok postoje uvjeti jakog grijanja. Taj proces je prikazan na slici 23.4, gdje su ucrtane i izentropne (crte iste potencijalne temperature). Porastom visine potencijalna temperatura u pravilu raste, a povećana gustoća izentropa znači područje inverzije, ali i dijelove zraka znatno različite gustoće. Tako pri dnu slike ispušćenja predstavljaju dijelove izrazio toplog zraka, koji se nadimlje, odvajaju i diže.



Slika 23.4. Stvaranje i odvajanje termnika te ulazanje u stabilni sloj ili inverziju, pune crte su izentropne (približno i granice slojeva ili dijelovi zraka) (WMO, 1993)

Termik ima promjer nekoliko desetaka do stotina metara, pri čemu njegov gornji dio (mjehur) ima oblik polukugle, a donji dio (rep balona) je rastrgan kao posljedica erozije balona uzrokovane turbulentnim miškanjem sa strane. U i oko neporemećenog termika postoji simetrično kruženje zraka s dizanjem zraka u unutrašnjosti termika i spuš-

tanjem izvan njega. Temperatura zraka unutar balona je za nekoliko celzija veća od temperature okolnog zraka te se veće temperaturna razlike očituju u većoj brzini dizanja, slika 23.5. Termici se dižu nekoliko stotina metara ovisno o jačini zagrijavanja podloge i atmosferske labilnosti, a ako je dizajući zrak dovoljno vlažan javljaju se konveksijski oblaci. Slično kao kod konveksijskih struja i ovdje postoji zanašanje dizanja balona uzrokovano okolnim vjetrom.



Slika 23.5. Ustrojstvo termika (termički ili turbulentni balon), strelice označavaju tip strujanja

Podnica oblaka, koji su nastali ovakvim termičkim učincima, iznad ravnog terena Zemljine površine je na većoj relativnoj visini, nego nad brdom, dok je apsolutna visina oblaka navedenim terenom manja od visine podnica iznad brda. Ipak, potrebno je naglasiti da pojava kumulusnih oblaka nije uvijek neophodna, jer ukoliko je atmosfera suha, tada neće doći do znatnog razvika oblaka, ali je moguća pojava suhe termike.

Prisilno dizanje (spuštanje) zraka nastaje na orografskoj prepreci (brdo, dolina) kad je zrak prisiljen da je prelazi (točke 21.3. do 21.5.1). Također, uspravna gibanja zraka nastaju pri strujanju zraka u procesima konvergencije (zbižavanja) i divergencije (razilaženja), te u zračnim masama frontalnih procesa (točka 18.).

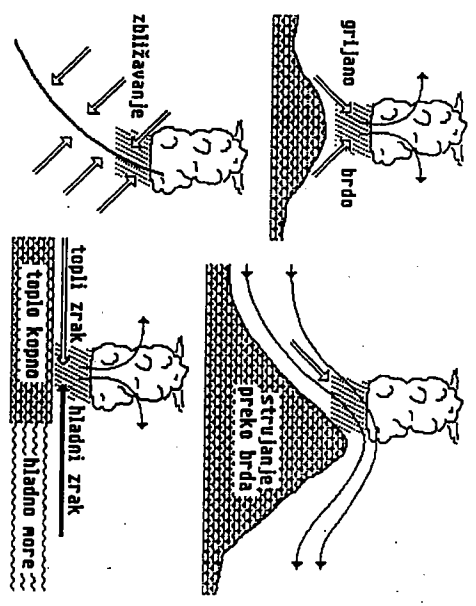
Orografske prepreke izravno djeluju na uspravna gibanja zraka, koje je uglavnom povezano s vodoravnim gibanjima zraka. O tome je nešto rečeno u točki 1-9.6. Kad zračna struja naiđe na orografsku prepreku ona teži, slijedeći put najmanjeg otpora, da je bočno zaobide. To može biti samo djelomice, a potpunije je samo kada je vjetar slab i kad je prepreka usamljena. Kad je duljina orografskih prepreka velika i kad su one cjelovite, nailazeći zrak dobiva izraženu uspravnu komponentu gibanja. Do toga dolazi i na usamljenim preprekama kad je vjetar jak. Tada zrak na privjetrni prepreke prelazi u dizanje, a na zavjetrni u spuštanje, slika 23.6. Ova uspravna gibanja zraka mogu biti vrlo slaba od nekoliko  $\text{cm s}^{-1}$  do više desetaka  $\text{m s}^{-1}$ , ovisno o svojstvima nailazeće zračne struje, orografske prepreke i atmosferske stabilnosti.

Ta zračna strujanja nisu jednostavnih oblika, već dolazi do vrlo znakažnih izobličenja strujanja, stvaraju se vrtlozi raznih dimenzija i raznih osi vrtanja (točke 21.3 i 21.5.1). Vrtlozi na privjetrni planina su razmjerno postojani, za razliku od onih u zavjetrini. Ispod silaznog dijela u zavjetrini javljaju se veći vrtlozi, rotorji. Vrtlozi s vodoravnom osi sadrže kako dizanje tako i spuštanje zraka. Zavjetrinski vrtlozi, čim se dovoljno povećaju, gibaju se sa zračnom strujom. Pritom postupno slabe i na određenoj udaljenosti od orografske prepreke potpuno iščeznu. Na njihovom mjestu odmah se razvijaju nova

turbulentna strujanja, slika 21.19. Čak neposredno iza vrha brda u zavjetrini, gdje bi se trebalo očekivati spuštanje zraka, nastaje zbog vrtložnog gibanja upravo suprotno, postojiti dizanje, te se na takvim mjestima mogu pojaviti znakoviti oblaci. Posljedica dizanja zraka uzrokovanih orografskim preprekama u dovoljno vlažnoj atmosferi su razni oblici oblaka (točke 1-10.2. i 1-10.3.) i magla (točka 1-12.2.).

Osim orografskih prepreka znatnu ulogu imaju i druge manje prepreke (šume, zgrade).

Prisilno dizanje zraka pri Zemljinoj površini nastaje procesima konvergencije (zbižavanja) na mjestu gdje se zrak nagomilava, dok spuštanje zraka nastaje procesima divergencije (razilaženja) na mjestu gdje se zrak razlazi, slika 23.6. U cikloni, kao području konvergencije, postoje uzlazna gibanja zraka širokih razmjera, za razliku od anti-ciklone, kao područja divergencije, gdje su silazna gibanja. Brzine gibanja su prosječno 3 do 5  $\text{cm s}^{-1}$ , očito su višestruko manje od vodoravnih strujanja koja iznose 5 do 20  $\text{m s}^{-1}$ . Ipak ne smije se zaboraviti da, naročito u ciklonama, uspravna gibanja mogu dostizati iste brzine kao, i vodoravna gibanja, ali to se dešava uglavnom na manjim područjima uglavnom unutar konveksijskih oblaka. Ako se razvijaju izraziti konveksijski oblaci, kao u slučaju olujne pruge, uspravna gibanja mogu biti i osjetno veća.

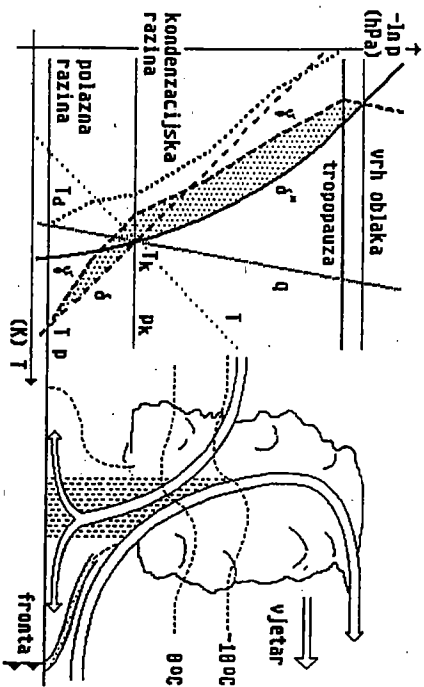


Slika 23.6. Oblici dizanja zraka

Prisilno dizanje (spuštanje) zraka nastaje zbog sudara dviju zračnih masa na frontalnoj plohi. Ako su različite temperatura zračnih masa velike i ako zrak sadrži dovoljno vlage tada se stvaraju konveksijski oblaci s velikim uspravnim brzinama.

Atmosferska stabilnost, u odnosu na procese pri dizanju zraka danih u točki 1-8.3., ukazuje na nužnost poznavanja razdiobe temperature i vlage s visinom. Bitno je napomenuti da se u ovim slučajevima promatra česti zrak u prizemnim atmosferskim slojevima, obzirom da u uzlaznoj struji kumulusa ili kumulonimbusa sudjeluje zrak iz prizemnih atmosferskih slojeva. Na lijevoj strani slike 23.7. krivulja stanja  $\gamma$  ukazuje na nestabil-

nost u atmosferi čime je omogućen razvoj oblaka do velikih visina. Čest zrak na polaznoj razini ima temperaturu  $T_i$  i tiosiže  $T_d$  te suhadijabatskim dizanjem dolazi do kondenzacijske razine na tlaku  $p_k$  i temperaturi  $T_k$ . Vidljivo je da je čest toplija od okolice što upućuje na nestabilnost. Daljnjim dizanjem po mokroj adijabatski čest je još uvijek toplija od okolice. Tek izjednačavanjem ovih dviju temperatura prestaje dizanje česti, što znači da je postignuta razina vrha oblaka. U ovom slučaju to je na velikoj visini, nešto iznad tropopauze. Ipak zbog ustrajnosti čest se još malo diže. Ovo vrijedi u uvjetima dovoljne vlažnosti atmosfere. Krivulja stanja ( $\gamma$ ), koja se na slici nalazi lijevo od sulte adijabate ( $\delta$ ) i mokre adijabate ( $\delta^*$ ) omeđuje s adijabatima površnu (označeno točkasto) koja je razmjerna s energijom nestabilnosti. Ako bi krivulja stanja bila desno od adijabata, tada nema nestabilnosti, već postoji stabilnost zraka. Opisano prikazuje najjednostavniji model dizanja zraka, to je metoda česti zraka. No u takvim oblacima uz uzlazne struje postoje i silazne struje zraka, što upućuje na dvodimenzionalni model oblaka, slika 23.7. (desni dio slike).



Slika 23.7. Termodinamički uvjeti za razvoj olujnog oblaka

Opcenito je olujni oblak trodimenzionalna tvorevina, no ponekad zbog jednostavnosti može se razmatrati i dvodimenzionalni model oblaka. Taj model na prednjoj strani oblaka (gledano u smjeru gibanja oblaka) ima struju prema oblaku koja se povija uvis tvoreći uzlaznu struju oblaka. Pri vrhu oblaka ta struja skreće u vodoravno strujanje i izlazi iz oblaka na njegovoj prednjoj strani stapajući se sa strujanjem u gornjim slojevima troposfere. Prizemno strujanje prema oblaku (doseže udaljenost 10 do 20 km) nastaje kao posljedica dizanja zraka unutar oblaka, tj. uzlazna struja zapravo usisava zrak iz okolice. Ako u okolnoj atmosferi nema jakog strujanja, ova izlazna struja može imati i drugi smjer. Silazna struja počinje u srednjim slojevima troposfere, ulazi u oblak i tu skreće prema dolje. U dodiru s podlogom struja se grana prema naprijed i nazad. Važno je uočiti međusobni položaj uzlazne i silazne struje. Uzlazna struja je nagnuta, a silazna je ispod nje. Iz uzlazne struje pada oborina povlačeći zrak sa sobom. U to područje ulazi hladni i suhi zrak iz srednje troposfere i sudjeluje u silaznom gibanju. Zbog prisustva kapljica i čestica leda silazna struja je zasićena vodenom parom, procesi su zasićenog

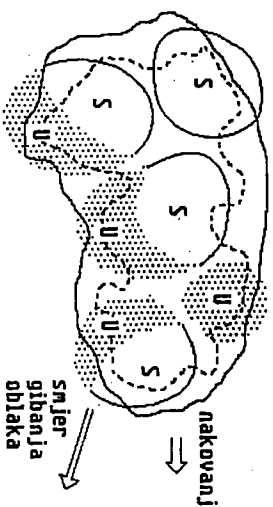
tipa, te dolazi do isparavanja kapljica vode (čestica leda) i trošenja latentne topline zbog čega je ovaj zrak hladniji i teži od okolnog te se spušta. Na Zemljinoj površini dolazi hladniji za nekoliko celzija od prizemnog zraka. Taj hladni zrak tvori kupolu hladnog zraka, koja se širi i na granici s okolnim zrakom stvara udarnu (stomozemnu) frontu hladnog zraka. Prednji dio fronte giba se prema zraku koji ulazi u uzlaznu struju podvijači se ispod njega i tako pojačava dizanje zraka. Tako silazna struja pomaže uzlaznoj struji te za posljedicu nastaju snažni i dugotrajni olujni oblaci. Pritom uzlazna struja obogaćuje silaznu struju s česticama oborina održavajući zasićenost struje zraka s vodenom parom, a silazna struja potiskuje uzlaznu uvis.

### 23.2. Ustrojstvo olujnog oblaka

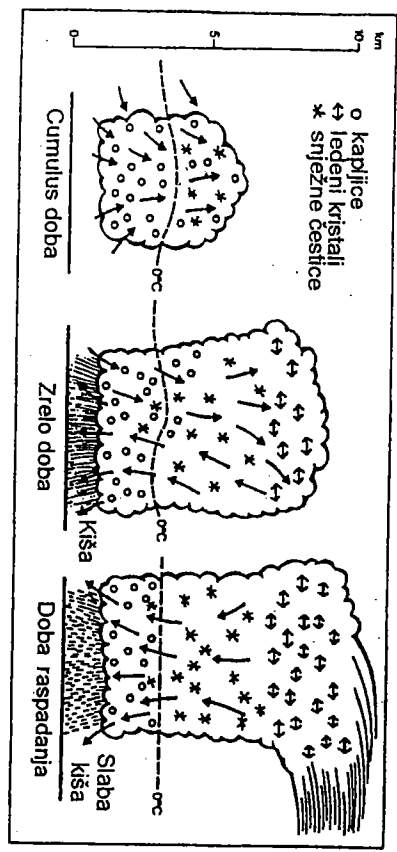
Već je objašnjeno da je oblak tvorevina sitnijih i krupnijih vodenih kapljica, ledenih kristala, snježnih pahuljica i zrna leda, koje se gibaju raznim snjegovima i brzinama pod djelovanjem raznih sila. Naravno, tu su prisutni i mnogi termički procesi i razne pretvorbe unutar česti zraka oblaka. Obzirom na veliku raznolikost gibanja zraka u olujnom oblaku nemoguće je opisati sve sile koje djeluju kao i njihove uzroke, pa će opis olujnog oblaka obuhvatiti osnovne pojave i sile te gibanja zraka unutar oblaka.

Kad neka oblačna čestica naraste do veličine pri kojoj njena težina preraste silu trenja, ona počinje padati. Dalje, kad padne ispod podnice oblaka kapljica je u nezasićenom zraku i isparava, no dovoljno velika kapljica pri padu kroz dovoljno vlažni i ne predebeli sloj zraka neće potpuno ispariti i iz oblaka će padati kiša. Slično se događa s ledenim zrnom, uz dodatak da se led topi na pozitivnim temperaturama. Za dovoljno veliko ledeno zрно rastopit će se samo vanjski slojevi.

Olujni oblak (kumulonimbus) se općenito sastoji od ćelija. Ćelija (cell; Zelle) je područje uzlazne struje i s njom povezane silazne struje, ukoliko postoji, slika 23.8. To se može ustanoviti promatranjem kumulonimbusa iz daljine, kad se prepoznaju izboj-tornjevi iz oblaka. Svaka ćelija, a također i oblak kao cjelina, prolazi tri osnovna doba (stadija) razvoja, od postanka kad je samo uzlazno gibanje, preko punog razvoja gdje je uz uzlaznu i silazna struja uz moguću oborinu, do trećeg stadija gdje se rasplinjava i prevladavaju silazne struje, slika 23.9.



Slika 23.8. Vodopravni presjek kroz olujni oblak i ćelije, puna crta vidljivi dio oblaka, crta- no Tadamom vidljiv oblak, ćelije: U uzlazna struja, S silazna struja (Byers, 1974)



Slika 23.9. Dobi (stadiji) razvoja olujnog oblaka (Meyers, 1987)

U prvom dobu razvoja, **kumulus doba (cumulus stages; Cumulusstadium)** stvaraju se vodene kapljice/kapi koje ne padaju već se dižu nošene jakim uzlaznim strujama. U srednjem dijelu oblaka kapljice se smrzavaju, odnosno sudaraju se s prehladnim kapljicama vode i postaju sve deblje obavijajući se tvrdim slojem leda. Kondenzacijom vodene pare oslobada se latentna toplina, pa su i izotermne ispušćene. Na opisani način, stvaraju se stabilna i temperatura im je manja od temperature okolnog zraka i gdje su zbog toga uzlazne struje u oblaku već slabije. Promjer takvog oblaka prosječno iznosi 5 do 8 km.

U drugom dobu razvoja oblaka, **zrelo doba (mature stages; Reifestadium)** postoji padanje opisanih proizvoda vodene pare. Tijekom padanja često dospijevaju u najniže oblačne slojeve. Ukoliko je oblak jako razvijen takve se oborine mogu ponovno vratiti u visinu zbog jakih uzlaznih strujanja. Čitav proces može se više puta ponoviti. U području uzlaznih struja gdje su kondenzacija vodene pare i oslobađanje latentne topline, izotermne su ispušćene, za razliku od područja silaznih struja gdje se troši toplina zbog isparavanja kapljica, pa su izotermne udubljene, slika 23.7. i 23.9. Oblak dostiže svoji najveći razvoj, kad gornji dio oblaka prođe u stabilne slojeve atmosfere i postane hladniji od okolnog zraka što dovodi do jakih silaznih struja. U tom dobu se javljaju kiša ili tuča, uz mogućnost munja. Promjer takvog oblaka prosječno iznosi 8 do 16 km.

U trećem dobu, **dobu raspadanja (dissipating stages; Zerfallstadium)** olujnog oblaka oborine su pljuskovite i jaka su električna pražnjenja, munje. Zbog jakih oborina, oblak se raspada, a obrisi mu više nisu oštri. Zrak koji se spušta, hlađi se trošenjem latentne topline na isparavanje kapljica i otapanje ledenih čestica te se ispod kumulonimbusa slijeva u jednu čeljinu i prodire dalje izazivajući nove olujne nepogode. Promjer takvog oblaka prosječno iznosi 8 do 11 km.

Olujni oblak ima određenu veličinu i obris vidljive oku. Radar, s kojim se dobro prati razvoj oblaka "vidi" druge obrise, obično manjih dimenzija (točka 30.1.). Ovi radarski obrisi predstavljaju crte iste radarske odrazljivosti (reflektivnosti), mjerene u dBz. Uz vanjske obrise oblaka radar "vidi" i unutrašnjost oblaka, koja također ima neke vrjednosti radarske odrazljivosti, a pomaže nam pri određivanju svojstava i tipova olujnog

oblaka. Olujni oblaci - kumulonimbusi mogu se podijeliti u tri osnovne skupine kao: jednoceljski, višeceljski i superceljski.

### 23.2.1. Jednoceljski olujni oblak

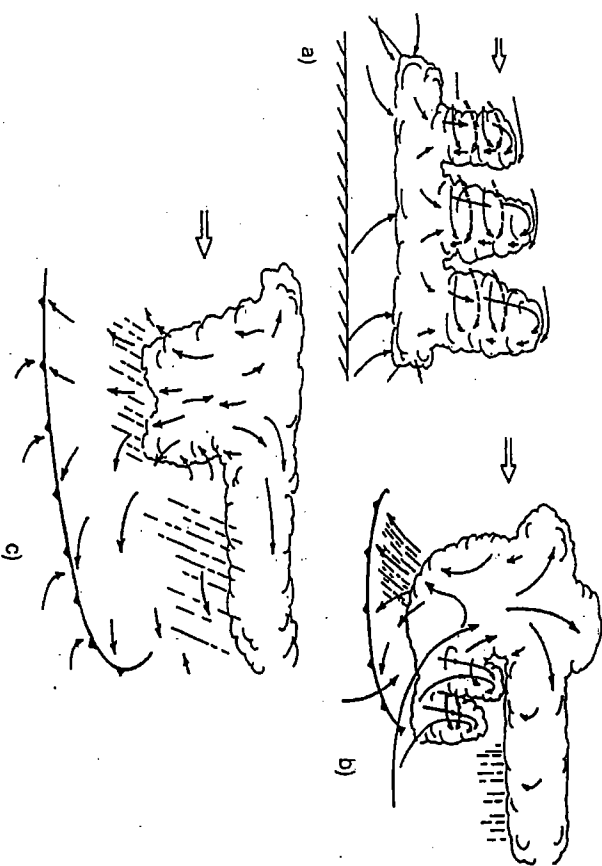
Jednoceljski olujni oblak (*single-cell cloud; Einzelwolke*) kao što i samo ime kaže, sadrži jednu ćeliju kao posjednika jedne izražene uzlazne struje, a razvija se većinom u istorodnoj nestabilnoj zračnoj masi. To su tzv. nestabilnosti u zračnoj masi, kad se grijanjem podloge zagrijavaju prizemni atmosferski slojevi te počinje dizanje tog zraka. Takvi oblaci su kratkotrajni, jer traju manje od jednog sata, pa su značajno promjenljivi. U prvom dobu razvoja uzlazna struja doseže 15 do najviše 30 m s<sup>-1</sup> i traje oko 15 do 20 min. Čelija se postupno razvija i uzdiže, jer se gomilaju kapljice, kapi i ledeni elementi (povećava se radarska odrazljivost). Najveći razvoj oblak doseže nakon 20 min kad se na Zemljinoj površini pojavljuju oborine. Može padati i tuča. Kad nastupi treće doba silazne struje su sve jače, čelija se spušta i počinje raspadati. Oblak je većinom simetričan, a u području razvika takvih oblaka vjeter je slab i ne mijenja se značajno s visinom, otuda počeće simetričan izgled oblaka.

### 23.2.2. Višeceljski olujni oblak

Višeceljski olujni oblak (*multi-cell cloud; Mehrzellenwolke*) je razvijeniji od jednoceljskog oblaka. Sadrži više ćelija, kojih može biti do nekoliko desetaka, pri čemu svaka ćelija prolazi sva doba razvoja. Pojedine ćelije često imaju vrh u stratosferi. Ovi oblaci se najčešće protežu 30 do 50 km u širinu. Promjer pojedinih ćelija je 3 do 5 km. Svaki 5 do 10 min razvija se nova ćelija koja traje 30 do 45 min, a raste brzinom 10 do 15 m s<sup>-1</sup>. Najveće uzlazne brzine su 20 do 25 m s<sup>-1</sup>, a silazne su do 15 m s<sup>-1</sup>. Vjeter općenito raste s visinom i u gornjim slojevima troposfere je strujanje zraka vrlo veliko (i preko 40 m s<sup>-1</sup>). Smjer vjetera se s visinom značajno ne mijenja. Prizemni vjeter je manji od 10 m s<sup>-1</sup>, no prolazom udarne fronte (sinorazmjeme) naglo pojačava (ponekad preko 30 m s<sup>-1</sup>) te mijenja smjer čak za 180°. Višeceljski oblak u razvoju giba se većinom desno od smjera vjetera donjeg / srednjeg dijela troposfere (≈ 20°), brzinom nešto manjom od srednje vrijednosti brzine vjetera u tom dijelu atmosfere. Taj smjer gibanja oluje je uvjetovan raslom novih ćelija na desnoj strani oblaka, stoga se cijela masa oblaka postupno prenmješta udesno. Pri raspadanju oblaka postoji skretanje u lijevo od općeg strujanja u troposferi.

Zivoni vijek višeceljskog olujnog oblaka (kumulonimbusa), koji se obično javlja u frontalnim susretima, traje i po nekoliko sati, a prikazan je na slici 23.10. Olujni oblak u kumulus dobu razvoja sadrži jedan ili više izboja (tornjeva), koji izrastaju iz oblačne mase odnosno prizemne konvergencije vlažnog zraka. Tada prevladava dizanje zraka. Zrelo doba ima uzlazne i silazne struje te oborine. Zbog isparavanja vodenih kapljica (ledenih čestica) na malim visinama postoji hlađenje zraka, stvara se jezero hladnog zraka uz porast tlaka zraka te udara fronta, koja uvjetuje dizanje toplog, vlažnog i labilnog zraka. Pri vrhu oblaka stvara se nakovanj (incus). U dobu raspadanja oblaka izraže-

na su silazna strujanja i slabljenje konvekcijskih oborina. Ispod nakovnja se javlja virga. Udarma fronta napreduje ispred oluje, prijeteci zraku koji se diže na udarnoj fronti ulazak u konvekcijsku oluju.



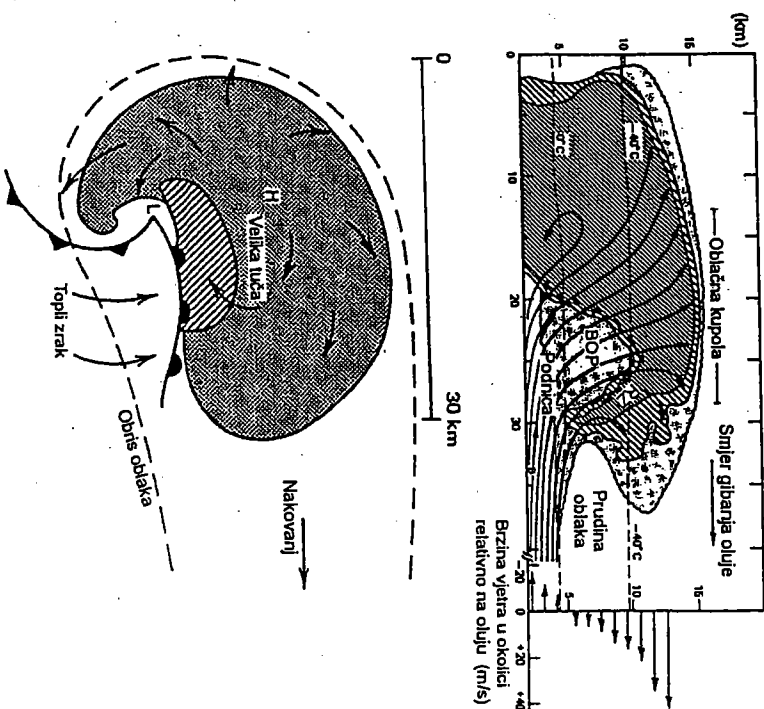
Slika 23.10. Životni ciklus olujnog oblaka (Cotton, 1992)

### 23.2.3. Superceljski olujni oblak

Superceljski olujni oblak (*supercell cloud*, *Supercellwolke*) stvara najveće oluje te na izvjestan način predstavlja snažno razvijeni višeceljski olujni oblak u kojem su se sve ćelije stopile u jednu golemu i snažnu ćeliju. Sve pojave vezane uz ovaj oblak su prostnije i jače nego kod bilo koje druge vrste kumulonimbusa. U prizemlju su jaki pljuskovi, obično s tučom, zatim jaki olujni vjetrovi, slaba vidljivost, električna pražnjenja i drugo. Ovi oblaci nisu česti, ali kad se pojave uzrokuju goleme štete. Superceljski olujni oblak se razvija u jako labilnoj atmosferi. Tada u prizemnim atmosferskim slojevima brzina vjetra prelazi 10 m s<sup>-1</sup>, koja se povećava s visinom, dok smjer vjetra skreće udesno. Ovi oblaci se gibaju uglavnom u desno od smjera vjetra srednje troposfere, premda ima i onih koji skreću lijevo. Brzina lijevo skrećućih oblaka je puno veća od onih koji se gibaju udesno. U pravilu, vjetar ne djeluje na skretanje oblaka tijekom razvoja, osobito kod višeceljskih i superceljskih. To se djelovanje može javiti tijekom raspada.

Radarski odraz tipičnog superceljskog oblaka ima promjer 20 do 30 km i proteže se u visinu 12 do 15 km. Uspравни presjek kroz oblak u smjeru njegovog gibanja prikazan je na slici 23.11. Pojedina prugasta područja označavaju područja određene radarske

odrazljivosti, dok crte sa strelicama prikazuju osnovna strujanje zraka. U prednjem dijelu oblaka odraz je slabiji, a proteže se kao neka izbočina (prudina oblaka). Dio radarskog odraza u tom području odgovara području rasta zametka (označeno s RZ), a nastaje padanjem zrna leda u prednji dio oblaka. Rastom ovih ledenih zrna u uzlaznoj struji nastaju zrna tuče. Područje u kojem pada tuča (označeno kratkim strelicama) nalazi se neposredno iza bezodraznog područja - BOP (*weak echo region*; -). Najveća zrna padaju uz rub uzlazne struje. Zato je područje slabijeg i najjačeg radarskog odraza - najveća radarska odrazljivost tj. zona akumulacije (*accumulation zone*; -) jedno uz drugo. Uz desni rub ove slike prikazan je smjer i brzina vjeta u okolici relativno na oluju, iz kojeg slijedi u nižim atmosferskim slojevima strujanje zraka prema oblaku, a na srednjim i većim visinama je strujanje od oblaka, koje se stapa sa strujanjem okolne atmosfere.



Slika 23.11. Uspравни (gore) i vodoravni (dolje) presjek superceljskog olujnog oblaka (Brovning i Foote, 1976)

Na vodoravnom presjeku na visinama nekoliko kilometara odraz oblaka ima kuku (*hook*; -) i bezodrazno područje. Važno je istaći da se neposredno uz bezodrazno područje

je nalazi najveća radarska odrazljivost. Na većim visinama oblak je izduženiji te blizu vrha ima vrlo izduženu perjanicu (incus), koja može dostići dužinu 60 do 150 km. Bezodrazno područje odgovara položaju uzlazne struje, koja doseže 25 do 40 m s<sup>-1</sup>. Vlažan zrak se diže vrlo brzo i silne vodene kapljice ne stignu narasti do većih dimenzija kad bi davale veću radarsku odrazljivost. U tu uzlaznu struju mogu ući samo veliki komadi leda, jer sve ostalo jaka struja izbacuje.

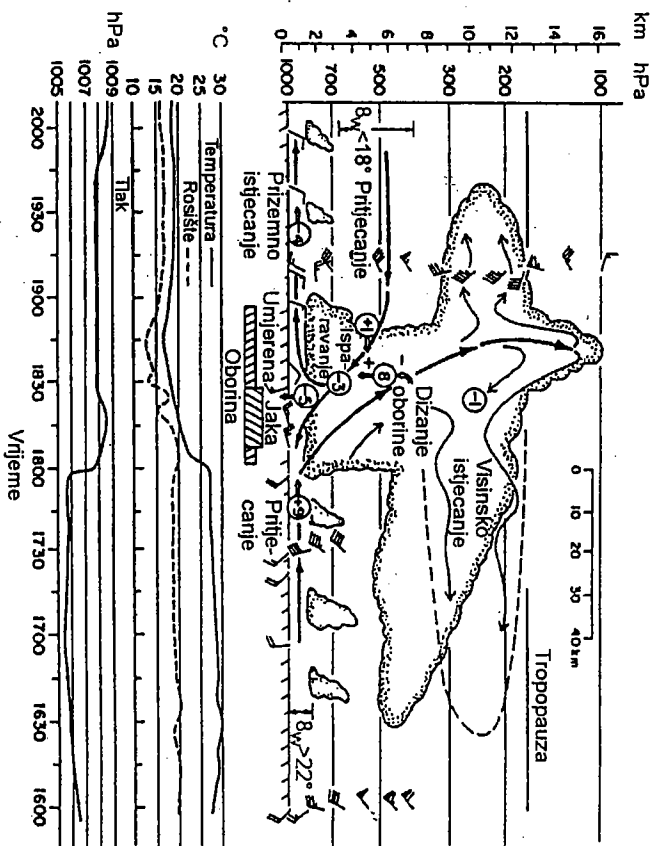
### 23.3. Definicija i nastajanje oluja

Pod olujom (*storm; Gewitter*) se podrazumijeva grmljavinska nepogoda praćena jakim udarima vjetera, izrazitim uzlaznim i silaznim zračnim strujanjima, pijuskovitim oborinama posebno tučom, slabom vidljivošću, električnim pražnjenjima, turbulencijom, zaledjivanjem, naglom promjenom temperature i tlaka zraka te drugim popratnim pojavama. Sastavni dio oluja su konveksijski oblaci (Cumulus - Cu i Cumulonimbus - Cb) koji su to razvijeniji što je jače dizanje zraka, odnosno što je zrak nestabilniji tj. topliji i vlažniji.

Razvoj kumulusa u velikoj mjeri zavisi o atmosferskoj stabilnosti. Oni se počinju pojavljivati tijekom dana, kad atmosfera postaje labilna, zbog čega dolazi do dizanja zraka, adijabatskog hlađenja vlažnog zraka i naglog razvoja oblaka. Općenito je konveksijska jača i zahvaća deblje atmosferske slojeve, ako je zemljopisna širina manja, zatim jači je razvatak konvekcije u toplo doba godine, u satima izrazitih temperaturnih razlika podloge i zraka, ovisi o oblicima orografskih uzvišenja i drugim fizičkim osobinama koje pogoduju jakom zagrijavanju. Iznad kopna početak razvoja konveksijskih oblaka je većinom u kasnijim prijepodnevnim satima, a najveći razvatak je tijekom poslijepodneva. Iznad mora takva labilnost je češća u noćnim satima kao posljedica ohlađivanja nižih i srednjih slojeva troposfere, dok su temperaturne prilike uz vodenu površinu više ili manje nepromjenjive (točka 1-5.4.). Naravno, to u velikoj mjeri ovisi i o fizičkim stanjima atmosfere, tj. o općem vremenskom stanju, npr. nailazak fronti i sličnih procesa, te o godišnjem dobu. Vrh svakog takvog oblaka ulazi u sve više slojeve troposfere i može se popeti do same stratosfere, dok donji dio oblaka ostaje cijelo vrijeme razvoja skoro na istoj visini gdje je i bio na početku. Takav oblak je nositelj ogromnih količina kiše, snijega i leda. Kumulus u svom razviku prelazi sve stadije (humilis, mediocris i congestus) dok ne pređe u cumulonimbus (calvus i capillatus). Naravno, uz podjele na rodove i vrste oblaka postoje i druge značajke kao: podvrste oblaka i dodatno obilježje oblaka - odlike te pridruženi oblaci (točka 1-10.3.).

Shematski prikaz presjeka olujne nepogode s područjem oborina te visinskim profilom vjetera relativno prema smjeru gibanja oluje i glavnim tokovima zraka prikazan je slici 23.12. Oluja napreduje prema desnoj strani slike. Zbog jednostavnosti relativnog prikazivanja neka je to gibanje prema istoku. Visinski vjetar ispred oluje u nižim atmosferskim slojevima je približno južni, tj. nalazi približno okomito (s desna) na smjer gibanja oluje, s porastom visine vjetar prelazi u jugozapadni te se kut između smjera gibanja oluje i vjetera smanjuje ( $\approx 30^\circ$ ). Iza oluje visinski vjetar zadržava svoj osnovni smjer (jugozapadni) osim u područjima (između 300 hPa i tropopauze) gdje zalazi neposredno u oluju i postaje jugoistočni. U ovom slučaju, prizemni vjetar u predolujnom području je jugo-

istočni, u području udarne fronte i jakih oborina naglo mijenja smjer i prevladava jaki zapadni vjetar, a po prolasku oluje vjetar ponovno mijenja smjer i postaje sjeveroistočni. Na slici su prikazane vremenske promjene prizemne temperature, rosista i tlaka zraka. Te vremenske promjene razmjerne su prostornim promjenama. Nalaskom udarne fronte tlak zraka naglo poraste (u području silazne struje nekoliko hPa - grmljavinski nos), temperatura zraka naglo padne (5 do 10 °C), a rosiste također pada (relativna vlažnost poraste).



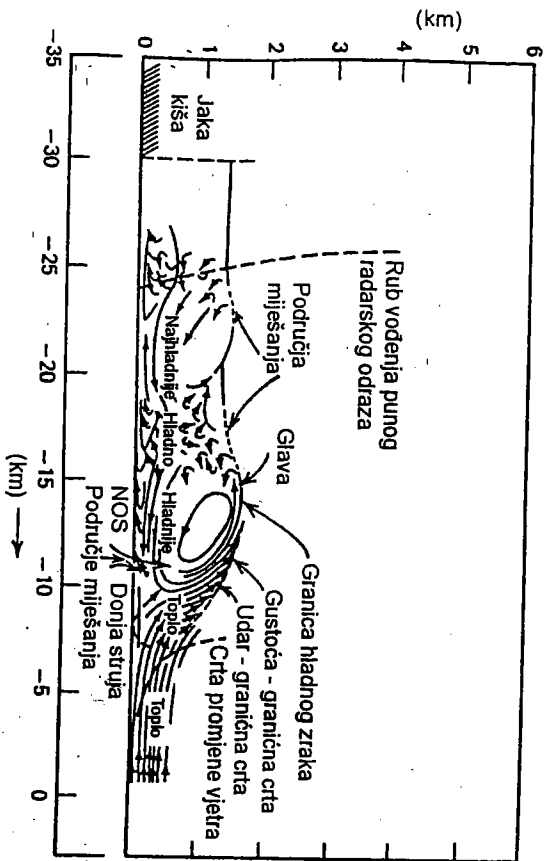
Slika 23.12. Presjek olujne nepogode s područjem oborina. Visinski profili vjetera prikazan je relativno na smjer gibanja oluje, dok strelice pokazuju glavne tokove zraka. Desno je crtkano prikazan nakovanj. Pri dnu slike su prikazane promjene prizemne temperature, rosista i tlaka (Barnes i Newton, 1985)

Iz središta kumulonimbusa prema Zemljinoj površini, obično u području jakih oborina, javlja se naglo i jako silazno strujanje hladnog zraka - propad (*downburst; Adwinds*). Malih je razmjera, reda veličine kumulonimbusa. Promjer takvih manjih područja je 1 do 4 km, to je malopropad (*microburst; Microburst*), ako je veći od 4 km to je velepropad (*macroburst; Macroburst*). Propad traje kratko 5 do 15 min, ponekad do 30 min, s najjačim udarima vjetera koji traju 2 do 4 min. Vrlo je snažan, naročito u prvih 5 min kad silazna struja dosegne podlogu. Silazna struja se pri Zemljinoj površini razdvaja u dvije grane (tuz dva glavna vrtloga) suprotnog smjera čije različite brzine dosežu 25 do 50 m s<sup>-1</sup>, što može izazvati goleme štete posebno padove zrakoplova. Postoji mogućnost i

suhli propad. Suhli propad nije povezan s oborinom (virga), a stvara se uglavnom ispod kumulus kongestus oblaka (Cu con). Suhli se javlja u krajnje suhoj atmosferi s visokom podnicom kumulus oblaka (oborina se ispari). U stvari u određenom stadiju razvoja konveksijske naoblake dolazi do jakog izlaženja (curenja) zraka koji na to dolazi kao suhi zrak. Znači, razlika između suhog i mokrog propada je u tome što su kod mokrog oborine pri tu, a kod suhog ih nema.

Kao posljedica propada javljaju se jaki udari vjetera - udarne fronte (*gust front*; *Gewitterbö*) koje dosežu brzine preko  $30 \text{ m s}^{-1}$ , čak i do  $60 \text{ m s}^{-1}$ . Udarne fronte nisu povezane s vidljivim predznacima. Javljaju se obično 25 - 35 km ispred snažnog razvijelog kumulonimbusa, s izraženim propadom ili ispred olujne pruge u bezoblačnom zraku.

Na slici 23.13. dan je shematski presjek olujnog isjeca i udarna fronta. Priznaju se promjene vjetera i područja smicanja vjetera relativno najbližem rubu radarskog odraza i području oborina. Stvarajuća olujna jezgra i silazni izvor isjecanja su lijevo od slike. Vidljiva su područja jakih vrtložnih strujanja s vodoravnom osi u kojima sudjeluje zrak raznih temperaturnih svojstava.



Slika 23.13. Shematski presjek olujnog isjeca i udarna fronta, promjena vjetera i područja smicanja vjetera relativno najbližem rubu radarskog odraza i području oborina. Stvarajuća olujna jezgra i silazni izvor isjecanja su lijevo od slike (Charba, 1974)

Iz prethodnog se uočava da je u prizemnim slojevima kumulonimbusa i njegove okolice, do visina nekoliko kilometara, zbog jakih udara vjetera prisutna jaka turbulencija (smicanje vjetera, rotorji), ali i druge pojave kao jake oborine, zaledjivanje, manje itd. Ove vremenske pojave su opasne za razne djelatnosti uključujući sve grane prometa, a posebno za zrakoplovstvo.

## 23.4. Električna pražnjenja

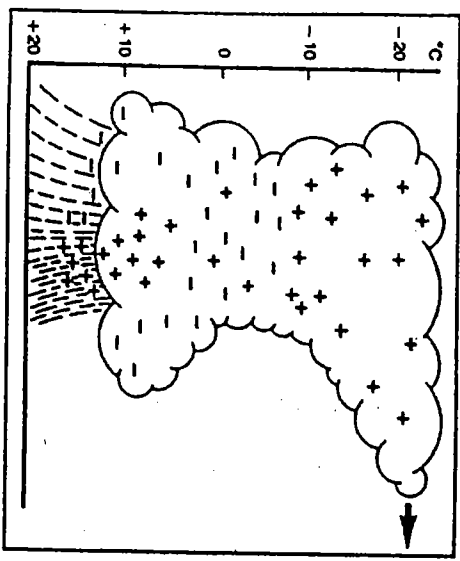
U atmosferi pod djelovanjem Sunčevog i kozmičkog zračenja te drugih činitelja stvaraju se razne električno nabijene čestice s pozitivnim ili negativnim nabojima (točka 1-3.3.2). Čestice se gibaju raznim smjerovima pod djelovanjem raznih sila, uključujući i zračnim strujanjima, te se skupljaju na pojedinih mjestima (u nižoj atmosferi na prašini, dimu, kapljicama, ledenim kristalima i drugom). Tako nastaju određena električna polja u atmosferi.

Za lijepa vremena postoje u atmosferi slabe električne struje koje teku od ionosfere (pozitivni naboj) prema Zemljinoj površini (negativni naboj). Mjerenja pokazuju da električni potencijal raste s visinom, to je potencijalni gradijent (*potential gradient*; *Potentialgradient*) i iznosi pri Zemljinoj površini oko  $150 \text{ V m}^{-1}$ , iako postoje znatne prostorne, sezonske i dnevne promjene. Potencijal u srednjoj troposferi može narasti do velikih vrijednosti (preko  $100\,000 \text{ V m}^{-1}$ ). Također raste u suhoj mnutoci, magli ili oblacima. U magli je oko  $2000 \text{ V m}^{-1}$  u kojoj se dešava statičko pražnjenje s istaknutih metalnih vodiča spojenih sa zemljom. U oborinama su još veće promjene. Pri postojanoj slaboj kiši ili rosulji električno polje može se ili povećati ili smanjiti u odnosu na standardnu vrijednost, ali nema značajnih električnih sila, dok se u kišnim pljuskovima javljaju jake električne sile i unutar i izvan oblaka. Oblaci u kojima postoje električna pražnjenja su kumulonimbusi.

Postoji više objašnjenja o nastanku i razdvajanju naboja u olujnim oblacima. Razdvajanje naboja nastaje hvatanjem iona na kapljicama ili ledenim česticama, te površinskim i obujnim medudjelovanjem raznih faza vode sadržanih u oblaku. Posebno je raspadanje velikih kapi zbog trenja s okolnim zrakom. Kapljice vode (ledene čestice) pod djelovanjem sile teže padaju ovisno o njihovoj veličini raznim brzinama od približno  $0.01 \text{ cm s}^{-1}$  do  $40 \text{ m s}^{-1}$  (točka 1-11.1.), nađu li se u izraženoj uzlaznoj struji mogu biti ponosene uvis. To znači da za uzlaznu struju veću od brzine padanja oblaci/oborinskih čestica postoji dizanje tih čestica. Pri padanju oblaci/oborinskih čestica uvijek oko njih postoji opstrujavanje zraka. Zbog toga se javlja sila trenja između ovih čestica i zraka, javlja se polarizacija električnog naboja te dolazi do raspadanja kapljica vode i razdvajanje električnog naboja. Na taj način kapljice vode poprimaju električni naboj. Obično veću kapljice poprimaju pozitivan naboj, a stinije negativan. Kod ledenih kristalica krupniji dijelci poprimaju negativan, a stiniji pozitivan naboj. Uzlazna struja odvaja po visini krupnije i teže čestice od stinijih i lakših. Tako gornji slojevi oblaka ( $\approx -40 \text{ }^\circ\text{C}$ , ledeni kristalici) imaju pozitivan naboj, a donji negativan (ledeni kristali i vodene kapljice), dok u području jakih kiša postoje pozitivni naboji. Granica između nižih negativnih i viših pozitivnih naboja je na razini oko  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Negativan naboj podnice oblaka uvjetuje pozitivan naboj Zemljine površine, obrnuto od lijepog vremena, slika 23.14. Kad razlika električnog potencijala dovoljno naraste i prede kritičnu vrijednost nastaje električno pražnjenje (izbijanje) - munja. Ova kritična vrijednost u vedrom zraku iznosi oko  $3 \text{ MV m}^{-1}$ , u oblaku pada na oko  $1 \text{ MV m}^{-1}$ , dok prosječna munja ima razliku potencijala oko  $400 \text{ kV m}^{-1}$ . Električno pražnjenje je praćeno svjetlosnim očitovanjem ili sijevanjem (bljeskanje) - < (*lightning*; *Blitz*) i zvučnim očitovanjem ili grmljenjem - T (*thunder*; *Donner*), dok se ukupnost sijevanja i grmljenja naziva grmljavina - R (*thunderstorm*; *Gewitter*). Nadalje, tu su još toplinski, mehanički i kemijski učinci.

Munja počinje s kratkotrajnim predpraznjenjem koje stvara kanal praznjenja. Tako se munja može javiti unutar oblaka, npr. između vrha i podnice oblaka, između dva oblaka, između oblaka i atmosfere, te između oblaka i Zemljine površine. Ako se električno praznjenje odvija na Zemljinoj površini zove se grom. Inače, munja je razgranata električna iskra čiji promjer iznosi od nekoliko do 50 cm, a dužina je 2 do 3 km, najviše 20 km. Nastaje između izotermi 0 i -8 °C, a najčešće područje djelovanja munja je na visinama između 300 i 6000 m. Električni napon munje je vrlo velik, iznosi i više milijuna volti (50·10<sup>3</sup> do 40·10<sup>6</sup> V), struja je 10 do 110 kA, dok je trajanje kratkotrajno 0.01 do 2 s. To uvjetuje da prosječna munja ima energiju oko 40 MWh.

Grmljenje je zvučna pojava koja slijedi munju. Nastaje naglim širenjem i stezanjem zraka zbog njegova jakog zagrijavanja (25 000 K) unutar kanala praznjenja tvoreći eksplozivni zvuk (spektar frekvencija je 10 Hz do 3 kHz). Uz osnovni zvuk postoje i dodatni zvukovi uvjetovani raznim odbijanjem zvuka na okolnim oblacima, brdima i inverzijama. Prbližna udaljenost munje u kilometrima je vremenska razlika između svjetlosne i zvučne pojave podijeljena s 3. Grmljenje traje više sekundi, a čuje se na udaljenosti većoj od 20 km čak do 65 km. Zbog loma zvuka ponekad se ne čuje ni na udaljenosti mnogo manjoj od 20 km.



Slika 23.14. Raspored električnog naboja u olujnom oblaku

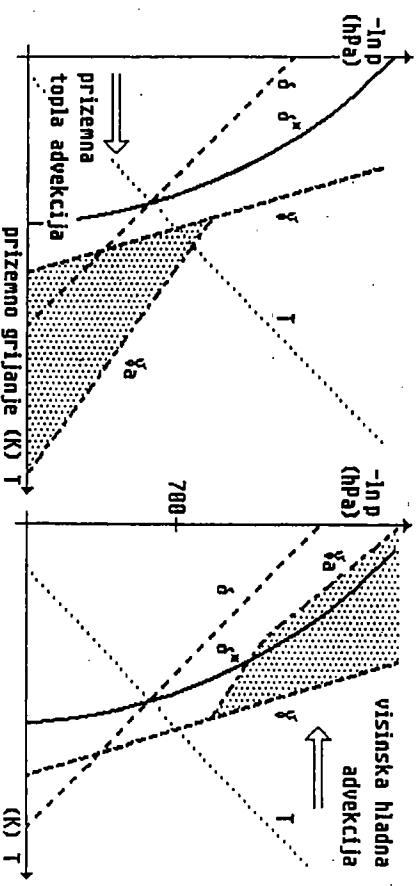
Munja je opasna pojava, jer električna iskra može izazvati štete na objektima i predmetima, najčešće u obliku požara, zatim može razoriti električne i elektroničke uređaje, ugrožava ljudske životne i drugo. Na Zemljinoj površini munja - grom udara u objekte i predmete koji su istaknuti u odnosu na okolicu, zatim u one koji su električno vodljiviji, tj. oko kojih je jaka ionizacija zraka. Zbog toga je zaštitna od munje sklanjanje ljudi i uređaja s istaknutih visinskih položaja, odnosno položaja s jakim ionizacijom zraka, osiguranje provođenjem odgovarajuće zaštite s gromobranima ili Paradayevim kavezom. Munja je opasna i za zrakoplove u letu, jer može oštetiti električne, navigacijske i druge uređaje, ometa radio veze, a može dovesti i do nesreće, stoga je zrakoplovi moraju zaobilaziti. Narocito su potrebne mjere opreza prilikom točenja goriva.

Iznad mora često je velika razlika potencijala između broda i zraka/oblaka, što uvjetuje gomilanje statičkog elektriciteta, to se na brodu javlja na vrhovima jablova (vatra sv. Ilije -  $\times$ ).

### 23.5. Raspodjela i podjela oluja

Tipična oluja promjera oko 20 km traje 1 do 3 h, ima energiju oko 67·10<sup>3</sup> MWh. Sadržaj oko 10<sup>10</sup> kg vode. Na visinama na istoj vodoravnoj plohi temperaturne razlike, uključujući i razlike unutar i izvan oblaka, su od 5 do 10 °C. Prosječno vrhovi oblaka su od 8 do 11 km, ponekad 12 do 16 km. Tako na sjevernom Atlantiku oluje dosižu visine oko 9 km, na Karbima do 18 km, a u monsunskim područjima 17 do 20 km. U Hrvatskoj radarom izmjerene visine vrhova odražava jače razvijenih olujnih oblaka najčešće iznose 7 do 8 km, u 5 % slučajeva vrhovi prelaze 12 km, a dosežu i 18 km (Gelo, 1978). U pravilu su visine vrhova odraza niže za 1 do 2 km od visina oblaka dobivenih optičkim metodama.

Oluja može nastati (nije potpuno jednoznačno) uz dovoljnu vlažnot i labilnost atmosfere. Opći uvjeti su da je prizemno rosište iznad 15 °C i rosišna razlika manja od 5 °C, uz dovoljno vlage u visini. Labilnost se postiže advekcijom (vlage i/ili temperature) i/ili prizemnim grijanjem zraka. Prizemno grijanje uz prizemnu toplu advekciju uvjetuje značajnu labilnost, također visinska hladna advekcija (iznad 700 hPa) dovodi do labilnosti, slika 23.15. Važan je i iznos dizanja zraka. Uzlazne struje u olujama u Europi su 20 do 30 m s<sup>-1</sup> ponekad 30 do 50 m s<sup>-1</sup>. Iznad Malaysije je zabilježeno 65 m s<sup>-1</sup>, a u Oklahomi (SAD) čak 85 m s<sup>-1</sup>.

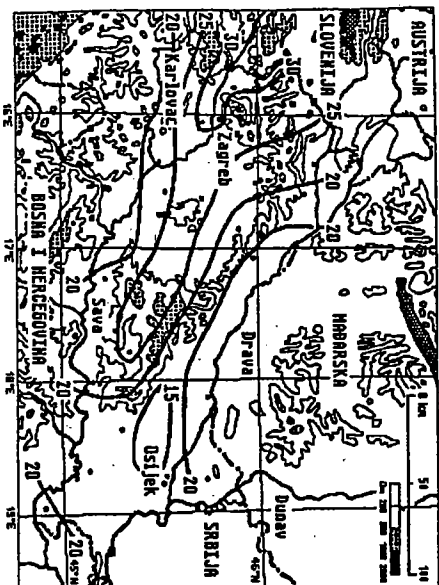


Slika 23.15. Advekcija toplotne/hladnog zraka i atmosferska nestabilnost suha adijabata  $\delta$ , mokra adijabata  $\delta'$ , izoterna T, krivulja stanja nakon advekcije  $\gamma_a$  područje visinske promjene temperature zraka označeno je točkasto

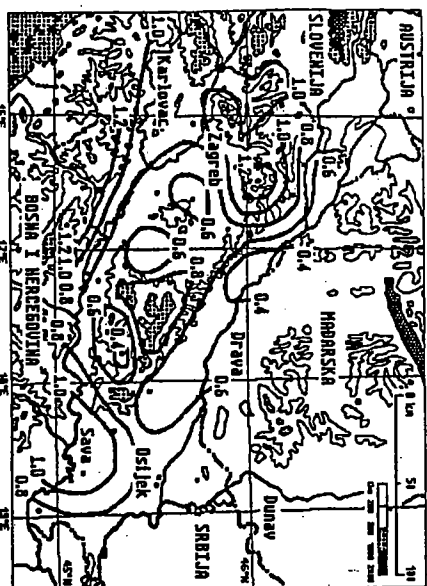


Prostorna razdioba oluja je povezana s temperaturom zraka. Tako srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca u godini može poslužiti kao granica pojavljivanja grmljavih oluja. Položaj izotermne 4 °C kao najtoplijeg mjeseca u godini približno odgovara toj granici. Za sjevernu polutku je 70-75° N, a za južnu 50-55° S. U Europi tijekom godine ima 20 do 30 dana s olujom, manje ih je u višim širinama. Najviše oluja je u tropima ponegdje čak do 200 olujnih dana u godini.

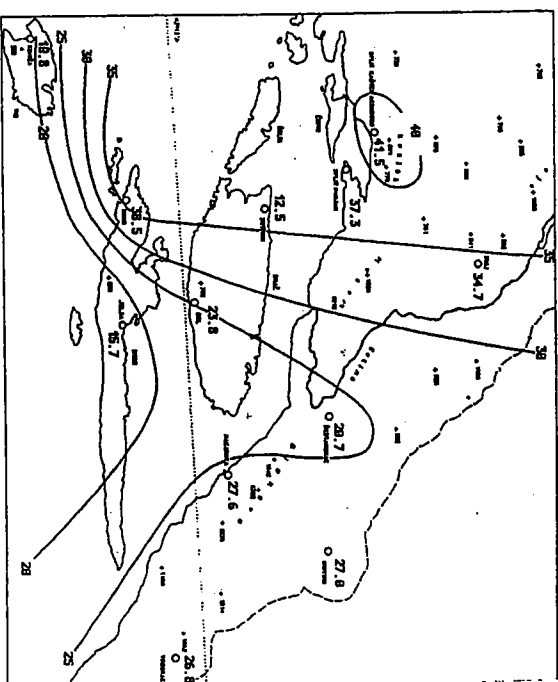
Prostorna razdioba oluja u unutrašnjosti Hrvatske od svibnja do rujna prikazana je slici 23.16. Slično je prikazano za tuču, slika 23.17. Odgovarajući podaci za grmljavinu i tuču dani su za dio Dalmacije, slika 23.18. i 23.19.



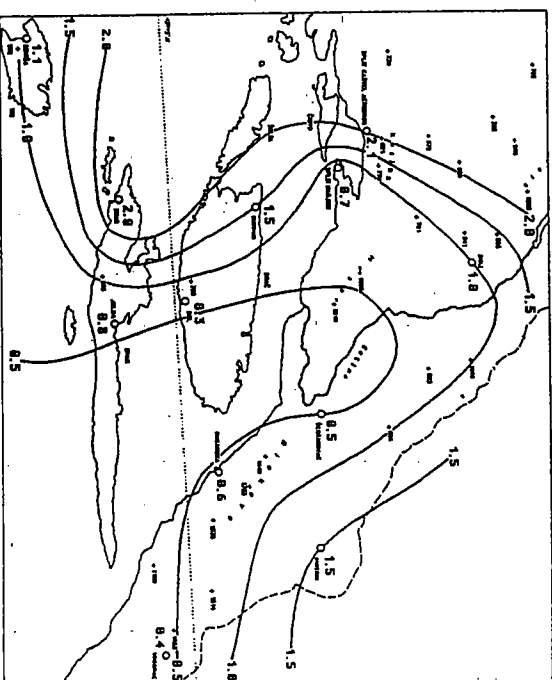
Slika 23.16. Razdioba oluja (svibanj - rujna, 1971-1990) u sjevernoj Hrvatskoj (Gelo, 1994)



Slika 23.17. Razdioba tuče (svibanj - rujna, 1971-1990) u sjevernoj Hrvatskoj (Gelo, 1994)



Slika 23.18. Razdioba oluja (svibanj - rujna, 1971-1990) u Splitsko - dalmatinskoj županiji (Gelo, 1998)



Slika 23.19. Razdioba tuče (svibanj - rujna, 1971-1990) u u Splitsko - dalmatinskoj županiji (Gelo=1998)

Neovisno o tipu oluje one se najviše javljaju u toplo doba godine i u poslijepodnevnim satima iznad kopna, odnosno nešto kasnije iznad mora. Zimi su oluje slabije i rjeđe, osim iznad oceana gdje ih ima više. U višim širinama prane su vjetrov i snijegom, a kumulonimbusi dostižu 4 do 5 km. U unutrašnjosti Hrvatske oluje su najčešće od svibnja do kolovoza između 13 i 20 sati s najvećom učestalošću od 15 do 17 sati. U Kasnu jesen ima dosta oluja iznad mora. Tuča koja većinom prati sve veće oluje javlja se većinom od svibnja do srpnja s maksimumom oko 15 sati.

Godišnja razdioba gromjavine i tuče u Splitsko-dalmatinskoj županiji u razdoblju 1981-1995 pokazuje 12 do 42 dana s gromjavinom i 0,3 do 2,9 dana s tučom, slike 23.18 i 23.19. Najviše gromjavine je u lipnju, te zatim od kolovoza do listopada, dok je najmanje ima u siječnju. Kako je dio postaja na moru (otoci ili uz obalu), a dio udaljen od morske obale uočava se izvyesna razlika u nastupu ekstrema. Za oba područja najmanje gromjavine je u siječnju. No, mjesto na moru imaju najviše gromjavine u rujnu i listopadu te manje u lipnju, dok mjesta udaljenija od obale imaju više gromjavine tijekom kolovoza i manje u lipnju. Tijekom godine najveći broj dana s tučom je u studenom te u razdoblju od siječnja do travnja, a najmanji tijekom srpnja.

Po jačini oluje se dijele na slabe kad je manje od 3 gromjavine u minuti, umjerene od 3 do 8 gromjavina u minuti i jake kad je više od 8 gromjavina u minuti. Pritom treba uzvati da oluja/gromjavina može biti neposredno na mjestu mjerenja, ali i na izvjesnoj udaljenosti.

Oluje je vrlo važno pravodobno uočiti zbog njezinih negativnih svojstava i mogućih šteta. Uz prognozu olujnog vremena važno je analiziranje termodinamičkih svojstava atmosfere (emagrami), da li je labilna i vlažna. Inače, oluje se najlakše otkrivaju radarima, kojima se određuje položaj, smjer i brzina gibanja kao i njezina jakost, slično mogu pomoći satelitska mjerenja. Jaki zrvniak vrhova kumulusa i kumulonimbusa pogotovo s nakovnjem ukazuje na prisustvo moguće oluje, zatim mjerenja električnih kolebanja, kao i "pucketanje" na radioprijemniku (osim UKV područja).

Ovisno o načinu i mjestu nastanka postoji nekoliko vrsta oluja. Tako postoje frontalne oluje i nefrontalne oluje ili oluje unutar zračne mase. Posebno se ističu oluje nastale na orografskim preprekama tj. postoje orogeenetske oluje. Naravno, svaka od ovih oluja može se dalje podijeliti, a ponekad ima i izvjesnog preklapanja.

Nefrontalne oluje ili oluje unutar zračne mase (*air mass thunderstorm; Luftmassengewitter*) nastaju kao posljedica labilnosti zraka, što znači da nisu vezane uz fronte. Nastaju termičkom konvekcijom na mjestima dizanja velikih količina zraka, posebno uz djelovanje brda.

Najčešće su ljeti u toplom zraku (švicari - rujan; popodnevi sati), no mogu nastati i u hladnom zraku za jake labilnosti kod grijanja podloge (npr. polarni zrak iznad toplia mora). Iznad mora su većinom od kolovoza do listopada u večernjim i noćnim satima (tople oluje). Prisutni su slabi gradjivni tlaka.

Pritomna topla advekcija je vrlo važna pogotovo do visine 3000 m. Češka je ljeti i oluje su dugotrajnije, slika 18.21. Pojedini tipovi strujanja zraka, slika 18.22, dovode do jakih oluja, koje su posebno jake poslijepodne i predvečer, kad dosta sliče frontalnim olujama. Visinske doline pogoduju olujama ako postoji konvergentno strujanje. Slično vrijedi i za hladne kaplje.

Iznad područja s povišenim tlakom zbog spuštanja zraka je inverzija (2 do 3 km), ispod koje je manji konvekcijski prostor. Slojevi inverzije, gdje je stvaranje prašinske

mutnoće ili slojastih oblaka, u noći sprečavaju izzaranje podloge, ali gornji slojevi pojačno zrače, te se stvara labilnost. Za dovoljne vlažnosti donjih slojeva nastaju u noći kumulonimbusi.

Postoji nekoliko oblika oluja unutar zračne mase.

Konvekcijske oluje (*convective thunderstorm; convectives Gewitter*) nastaju unutar labilne zračne mase zbog nejednolikog grijanja podloge, kad se javlja termička konvekcija. Nastaje u doba toplinskog maksimuma i ima mjesna svojstva. Brzina je mala 5 do 15 km h<sup>-1</sup>.

Advekcijske oluje (*advectic thunderstorm; advectives Gewitter*) javljaju se u području advekcija hladnog zraka iza hladne fronte. Za nastajanje takvih oluja potrebna je apsolutna labilnost atmosfere do kondenzacijske razine i atmosferska labilnost u visini 4 do 6 km. Brzina gibanja oluja može znatno kolebati od vrlo malih iznosa kao konvekcijske oluje do vrlo brzih kao frontalne oluje.

Orogenetske oluje (*orographic thunderstorm; orographische Gewitter*) nastaju uslijed dizanja nestabilne zračne mase uzduž planine, a povezane su s konvekcijom na orografskim preprekama tj. termičkom konvekcijom na suncanoj strani obronka, slika 21.11. i 23.6. Uzrok su i dizanja zraka na privjetrni zbog advekcije zraka, zatim konvergentna strujanja planinskog i dolinskog vjetra, a mehanika turbulencija djeluje kao impuls na spontani konvekciju (tople oluje). Ove oluje nemaju izražene brzine gibanja, jer su vezane uz orografiju.

Kvazifrontalne oluje su u hladnoj nestabilnoj zračnoj masi kad se javlja konvekcija nakon prolaza oluja hladne fronte (nešto između advekcijske i frontalne oluje). Ne traju dugo, a brzina gibanja je do 50 km h<sup>-1</sup>. Na nekom mjestu moguće su i nekoliko puta dnevno većinom ljeti (od prijepodneva do večernjih sati kad slabe).

Frontalne oluje (*frontal thunderstorm; Frontengewitter*) javljaju se neposredno s frontalnim sustavima te im je zajednički nasanak, razvrtak i gibanje. Stoga mogu nastati u bilo koje doba godine ili dana, uvažavajući činjenice da topliji vjeti (ljeti) pogoduju njihovom razvrtku. Najčešće su oluje hladne fronte, no postoje i oluje tople fronte. Ako je okluzija, obično su vezane uz hladne okluzije. Nalaze se paralelno s frontalnim pojasom i protežu se nekoliko stotina kilometara. Brzina gibanja oluja može biti vrlo mala (5 - 20 km h<sup>-1</sup>) i vrlo velika (50 - 100 km h<sup>-1</sup> npr. kod hladne fronte) što ovisi o brzini napredovanja pojednog frontalnog sustava.

Pri nastanku frontalnih oluja važna su vremenska stanja i zračne mase. Za Europu su važna neka vremenska stanja kao:

Jugozapadno stanje (SW - stanje) nastaje prostranom visinskom dolinom (os doline na obali Atlantika), dovodi do advekcije toplog i vlažnog tropskog zraka (mT) i zagrijanog vlažnog polarnog zraka (mP), te se nad Europom tvore frontalni sustavi bogati vlagom.

Zapadno stanje (W - stanje) nastaje nakon razdoblja stabilnog (neporemecenog) vremena s visokim temperaturama (uvjetovano sa zračenjem), kad se područje visokog tlaka zraka premješta prema jugoistoku uz jačanje zapadnog visinskog strujanja. Tada se područje niskog tlaka iznad Velike Britanije i Sjevernog mora može premješati prema istoku. U pozadini nastupa važni polarni zrak (mP) na vrlo toplo kopno uvjetovajući hladne fronte i oluje.

Jugoistočno stanje (SE - stanje) nastaje kad je iznad Skandinavije postojano područje visokog tlaka, a iznad Sredozemlja i Italije područje niskog tlaka. Tada postoji istoč-

no strujanje vlažnog tropskog zraka s istočnog Sredozemlja i Crnog mora. Na frontama i u zračnim masama nastaju prostrane i jake oluje.

Ponekad iznad srednje Europe postoji takoreći postojeano područje (Žljeb) niskog tlaka, koje se proteže od Skandinavije do Sredozemlja. Na granici zračnih masa, zapadno je morski polarni zrak (mP), a istočno je vlažni tropski zrak (mT). Tada nastaju skupine oluja, bez bitnih promjena položaja i imaju dnevni hod, a najčešće su u drugoj polovici dana do daleko u noć.

**Olujne hladne fronte** (*cold front thunderstorm*; *Kaltfrontgewitter*) nastaju na čelu hladne fronte uz nadolazeći labilni hladni zrak. Tada se pri jakom dizanju toplog zraka razvijaju snažni kumulonimbusi, te su ove oluje često vrlo jake. Hladne fronte stabilnog tipa nemaju oluje. Ovisno o nalasku hladne fronte, ove oluje se javljaju bilo gdje i bilo kada. Najjače su u toplo doba tijekom poslijepodneva na brdski razvedenom terenu. Nalaze se paralelno s frontalnim pojaskom i protežu se nekoliko stotina kilometara.

**Olujne hladne okluzije** (*cold occluded front thunderstorm*; *Oktlusionfgewitter*) su slične olujama hladne fronte, njihov razvatak ovisi o atmosferskoj stabilnosti.

**Olujne tople fronte** (*warm front thunderstorm*; *Warmfrontgewitter*) nastaju ispred frontalne crte u labilnoj atmosferi u toplom i vlažnom zraku, koji je obično iz suprotnskih krajeva, zbog izaravanja i hlađenja gornjih slojeva frontalnih oblaka, čime se javlja nestabilnost. Rijeđe se javljaju, obično su ljeti u noćnim satima. Podnoca kumulonimbusa je na većoj visini nego pri hladnoj fronti, koji je obično skriven s drugim oblacima (nimbostratus ili altostratus).

U nekim podjelama oluja spominju se i drugi oblici oluja kao mjesne i tople oluje. Mjesna oluja (*local thunderstorm*; *örtliches Gewitter*) nastaje na jednom mjestu i nema izražena gibanja, to su konveksijske i orogenejske oluje. Tople oluje (*warm thunderstorm*; *Warmegewitter*) nastaju grijanjem i jačanjem labilnosti prizemnog zraka. Ljeti su iznad kopna u toplom zraku, obično poslijepodne. Tada je značajna veća vlažnost zraka. U tim uvjetima postoje slabiji gradjani takva zraća.

Posebno opasne oluje razvijaju se u olujnim prugama, linijama nestabilnosti, koje često uključuju pijavice te tornada (točke 18.2.5 i 23.6). U tropskim krajevima nalaze se najjače oluje posebno u području ciklona, no o tome u točki 25.

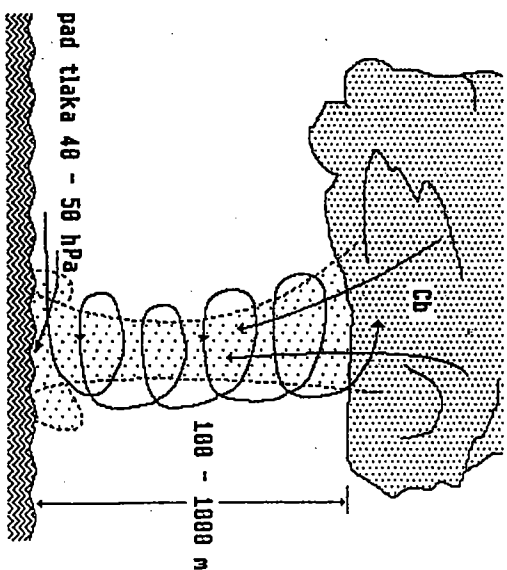
## 23.6. Vrtložna gibanja zraka

### 23.6.1. Pijavica

Prostrana vrtložna gibanja zraka u klasičnom smislu nalaze se u ciklonama i anticiklonama, no ona postoje i na mnogim drugim mjestima i vremenskim uvjetima, obično su manjih dimenzija, ali njihova jačina može biti vrlo velika. Obično ih ina više u nižim zemljopisnim širinama.

Pijavica - *kl (spout; Trombe)* je zračni vrtlog uspravne osi razmjerno malih dimenzija. Promjer je od nekoliko metara do nekoliko stotina metara. Dosta su česte. U umjerenim širinama javljaju se većinom u ljetnim mjesecima. Prema veličini i svojstvima postoje dva tipa pijavica: male i velike pijavice.

Male pijavice (prašinski ili pješćani vrtlog - *B*) su pri tlu i nisu vezane s oblacima. Promjer im je 2 do 50 m, a visina 5 do 100 m, dok u pustinjskim krajevima mogu dostizati do 1000 m. U umjerenim širinama su kratkotrajne. Nastaju zbog jakog labiliteta zraka pri tlu s velikim temperaturnim razlikama zbog jakog Sunčevog zračenja te se razvijaju uvis. Naglo dizanje toplog zraka povlači naglo prtlecanje zraka sa strane koje poprma vrtloženje. Smjer vrtnje je različit, jer je utjecaj Coriolisove sile potpuno zanemarljiv, ali je jaka centrifugalna sila. U unutrašnjosti vrtloga-cijevi je pad tlaka, te je gradjiantna sila usmjerena prema središtu (točka 1-9.4). O padu tlaka ovisi brzina vrtnje. Vanjski rubovi cijevi imaju spravno dizanje zraka, dok u unutrašnjosti postoji spuštanje, slika 23.18.



Slika 23.20. Pijavica

Velike pijavice se nalaze u jakim olujama povezane s jako razvijenim kumulonimbosom, koji može imati jednu ili više cijevi. Promjer pijavica je 20 do 100 m, a visina 100 do 1000 m. Traju duže od malih pijavica, desetak minuta do sat dva. Obodna brzina vjetera je 50 do 70 pa i preko 100 m s<sup>-1</sup>, dok je brzina premještanja pijavica do 30 m s<sup>-1</sup>, a staze su nekoliko km pa i stotine km. Pijavice se razvijaju iz donjih slojeva kumulonimbusa spuštajući se prema dolje. Najčešće se razvijaju nad toplim područjima - obično morima (kad sliče tornadu). Ustrojstvo im je slično malim pijavicama, slika 23.20. Velike pijavice imaju ciklonsku vrtložnost što znači da postoji mali utjecaj Coriolisove sile. U unutrašnjosti pijavice tlak zraka pada više od 50 hPa. Pad tlaka, uz ostalo, uvjetuje hlađenje zraka te nastaje kondenzacija vodene pare, što uz prašinu omogućuje vidljivost pijavice. Postoji i jaki učinak usisavanja. Ovisno o kakvoći podloge, podnožje cijevi pijavice je prašinski, odnosno vodeni oblak. Velike obodne brzine vjetera pijavice čine velike štete, uništavajući prirodni okoliš i mnoge građevine te ugrožavajući ljudske živote. Time su ugrožene i sve grane prometa što traži izbjegavanje pijavica, odnosno osiguravanje objekata i uređaja.

U Europi se piјavice javljaju na Balkanu, jugu Rusije, u Ukrajini, a ponekad i u srednjoj Europi. U području Sredozemlja prosječno je tijekom godine oko 120 piјavica, i većinom su u kasnu jesen kad je vodena površina toplija i vlažnija od okolnog područja, tabl. 23.1.

Tablica 23.1. Čestina piјavica na Sredozemlju

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI	Ukupno
Čestina, %	15	5	10	2	2	0	1	6	12	26	16	5	100

### 23.6.2. Tornado

Tornado (*tornado*; *Tornado*) je zračni vrtlog sličan velikoj piјavici i obično je iznad kopna. Promjer je stotinu metara, možda i preko kilometar, a u visinu se proteže kao piјavica. Obodna brzina vjeta je 50 do 150 m s<sup>-1</sup> (500 km h<sup>-1</sup>), dok je brzina premoštanja 15 pa i do 25 m s<sup>-1</sup>, a staze su obično nekoliko km, ponekad i nekoliko stotina km. Traje nekoliko minuta do nekoliko sati. Razvija se u vrlo labilnom zraku u olujnim oblacima često uz hladnu frontu kad se stvara olujna pruga (točka 18.2.5). Prate ga vrlo jaki pljuskovi kiše i tuče uz jaka električna pražnjenja. Zbog veličine tornada (srednji promjer 200-300 m) Coriolisova sila nema naročiti značaj, no ipak najčešće postoji ciklonska vrtinja.

Tornado je povezan s jako razvijenim kumulonimbusom, koji ima jednu pa i više cijevi. Javlja se kao oblaci lijevak (tuba), koji se sve više spušta prema tlu, dok ga ne dosegne te stvara goleme štete. Tlak zraka za nekoliko minuta padne i preko 50 hPa te se u građevinama javlja eksplozivni učinak (unutarnost građevine ima normalni tlak, a okolica naglo sniženje). Osim sniženog tlaka u središtu tornada (oko tornada) postoji i učinak usisavanja. No potrebno je istaći da je u oku tornada razmjerno slab vjetar i vedrina. Sniženi tlak te orkanski vjetrovi čine goleme štete uništavajući prirodni okoliš, građevine i razne uređaje. Stoga su sve grane prometa ugrožene, potrebno je izbjegavanje tornada, odnosno osiguravanje objekata i uređaja, naravno i ljudi.

Najčešće je tornado u SAD (Srednji zapad - rijeka Mississippi, države Kansas, Oklahoma) s godišnjim prosjekom blizu 200 tornada, slika 27.28. Najčešće je u toplo doba, u proljeće (svibanj) tijekom poslijepodneva, tabl. 23.2. U 90 % slučajeva giba se od jugozapada prema sjeveroistoku.

Tablica 23.2. Čestina tornada u SAD

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI	Ukupno
Čestina, %	3	3	12	17	21	18	8	5	5	3	3	2	100

Tornado se javlja i u drugim područjima koja su topla i vlažna, tj. u nižim širinama kao zapadna Afrika (Gvinejski zaljev), Indija (Bengalski zaljev), Australija i drugdje. Ponekad je javlja i u Europi (poslijepodne). U Gvinejskom zaljevu, zbog općeg atmosferskog kruženja, tornado se giba od istoka prema zapadu, i javlja se u vlažnoj sezoni (ožujak do svibanj, listopad i studeni).

### Dopunska literatura

- Barnes, S.L. i C.W. Newton, 1985: Thunderstorms in the Synoptic Setting. In "Thunderstorm Morphology and Dynamics", ed. E. Kessler, Univ. of Oklahoma Press, Norman Oklahoma, 75-112.
- Browning, K.A. i G.B. Foote, 1976: Airflow and Hail Growth in Supercell Storms and some Implications for Hail Suppression. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 92, 382-391.
- Cotton, W.R., 1992: Cloud Dynamics. Encyclopedia of Earth System Science. ed. W.A. Nierenberg. Academic press, San Diego. vol. 1., 535-544.
- Gelo, B., 1978: Der orographische Einfluss auf die Entwicklung und Bewegung der konvektiven Wolken in Nord-Kroatien. Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Wien, Heft 31, 42/1-8.
- Gelo, B., 1994: Gmrljavina i tuča u sjevernoj Hrvatskoj. Znanstveni skup Poljoprivrede i gospodarstvenje vodama, Bizovačke toplice, 497-503.
- Eaglemen, J.R., 1983: Severe and Unusual Weather. Van Nostrand Reinhold, New York, 372.
- Hsu, S.A., 1988: Coastal Meteorology. Academic Press, San Diego, 260.
- WMO, 1993: Handbook of meteorological forecasting for soaring flight. T.N. 158, WMO 495, Geneva, 85.

## a) Vrijeme u tropskim područjima

## 24. TROPSKO VRIJEME

Vrijeme u tropskim područjima vrlo je značajno ne samo za tropska područja, već i za cijelu Zemlju. To je uvjetovano golemim količinama energije, dobivene Suncem zračenjem, koja je nagomilana u atmosferi, oceanima i kopnu. Ne smije se zamenariti činjenica da je površina tropskih područja (uključujući i suprotropska područja) najveća površina na Zemlji te i taj element dodatno utječe na opća vremenska stanja na Zemlji.

U tropskim i suprotropskim područjima postoji mnoštvo različitih pojava i poremećaja, kao što su suprotropske anticiklone, pasati, protupasati, oceanski i kontinentalni pojasevi konvergencija, cikloni, monsunске i toplinske ciklone, tropski istočni valovi, tropske mlazne struje, poprečni ekvatorski impulsi, visoke hladne ciklone, monsunski zapadni vjetrovi, tropske olujne pruge, prostrane sačaste oblačne nakupine, pješčane oluje, bujice, suše itd. Izravno ili posredno mnogi od ovih oblika utječu na vrijeme i klimu izvan tropskih područja. Od velikog interesa su proučavanja međudjelovanja atmosfere i oceana, atmosferskog zračenja, tropskog granitnog sloja, konveksijskih procesa, a naročito prijenos toplinske energije zrakom i morem iz ekvatorskih i tropskih u više zemljopisne širine, što uzrokuje opće atmosfersko kruženje.

Osnovni uzrok kruženju zraka su temperaturne razlike dvaju područja, koje se općenito očituju u dizanju toplog i spuštanju hladnog zraka. Međutim, glede Zemljine vrtnje, razdiobe kopna i mora, utjecaja orografije i trenja, kruženje zraka u atmosferi nije jednostavno već se razbija u više manjih ili većih kružnih sustava određenih prostornih uvjeta i dobom dana ili godine. Općenito, vrijeme u tropima pod utjecajem različitih dnevnih učinaka (obalni i planinski vjetrovi), godišnjih učinaka kad nastaju periodički sezonski vjetrovi → monsun, zatim postoje izraziti stalni vjetrovi → pasati, te unutar-tropski pojaš konvergencije, tropski valovi i cikloni. Tome se pridodaju učinci orografije.

Velike razlike između bliskih zračnih masa nestaju u tropskim područjima. Smjenjivanje razdoblja olujnog vremena s velikim oborinama i razdoblja tišina, pa čak i suša, predstavlja pravilo. Dnevne temperature zraka se suprotno vladaju. Tamo gdje kolebanje od 6 °C može biti tipično tijekom 24 h, godišnje razlike srednje mjesečne temperature mogu iznositi ne više od 2 °C. Promjene koje se dešavaju tijekom dana obično su prae- ne pljuskovina. Vrijednosti rosišta tropskih krajeva stalno pokazuju vrlo mala kolebanja. To se može pripisati velikoj jednojedinosti temperatura zračnih masa i odgovarajućih relatiivnih vlažnosti. Vjetrovi su umjereni, a često slabi i promjenjivi, ali su velikog značaja.

## 24.1. Dnevni i orografski učinci u tropima

Tropska atmosfera je obilježena s dnevnim zbivanjima, bez izrazitih frontalnih poremećaja, kao što je to u umjerenim širinama. Ona sadrži goleme količine vodene pare, pa su dovoljna i slaba zblizavanja (konvergencija) zraka na malim visinama u

možnosti da stvore kišu ili olju. Tropska atmosfera je gotovo uvijek i svugdje mokrolablna, približno do razine 500 hPa:

$$\delta > \gamma > \delta' \quad 24(1)$$

gdje je  $\gamma = -\partial T/\partial z$  uspravni temperaturni gradijent,  $\delta$  suboadijabski temperaturni gradijent (nezasićene česti), a  $\delta'$  mikroadijabski temperaturni gradijent (zasićene česti). Takva će atmosfera pogodovati spontanjoj konvekciji iznad kondenzacijske razine kad je zasićena čest toplija od okolice.

Osim mokrolablnosti kao osnovne termodinamičke osobine tropske atmosfere, na razvoj početnog poremećaja imaju odlučujući utjecaj dinamičke osobine njegovoga osnovnog toka. Tako okolno strujanje određuje kako gibanje poremećaja tako i njegov mogući kasniji razvoj. U prvju približnosti tropska atmosfera je barotropna, a to podrazumijeva zakon sačuvanja apsolutne vrtložnosti ( $\zeta_0 = \xi + f$ ), kao zbroj relativne vrtložnosti i Coriolisovog parametra. No zbog male vrijednosti Coriolisovog parametra cikloni se u blizini ekvatora ne stvaraju.

Na mnogim mjestima u tropima najznačajniji oblici vremena su pod utjecajem razvika kumulusa ili kumulonimbusa, koji se najčešće razvijaju tijekom posljednjeg dana i večer. Razvatak vremena najlakše se može pratiti primjenom emagrama. Iako su dnevne promjene temperature neznatne iskustvo daje mogućnost za određivanje vjerojatnosti duboke konvekcije uz primjenu uobičajenih postupaka pri analizi konveksijskih oblaka. Osobito je važno, da osim potrebne nestabilnosti krivulje stanja, zrak treba biti odgovarajuće vlažan u niskim i srednjim razinama. Ako je zrak u visini suh, dižući kumulusi tonjići odmah isparavaju.

Na kopnu konvekcija nastaje najčešće iznad brdovitog terena te su tijekom posljednjeg dana brda pokrivena velikim kumulonimbusima dok sjajno, sunčano vrijeme prevladava iznad susjednih ravnica. Često ove oblačne mase traju do večeri, pa i u prvi dio noći prije nego što se razvedri, dajući pljuskove i grmljavine, koji se protežu do susjednih ravnica. Hlađenje zračenjem kišom navlaženog zraka može potaknuti nastajanje magle u krpama u rano jutro, ali ova brzo nestaje poslije izlaska sunca.

Iznad mora su dnevne promjene temperature zraka male te općenito konvekcija nastaje bilo kad tijekom dana ili noći. U ekvatorskim područjima, približno 10° od ekvatora, količina vlage u zraku je velika pa je krivulja stanja obično blizu mokre adijabate. Konvekcija ovisi o mnogim čimbenicima od kojih je glavno zblizavanje vjetra na nižim razinama povezano s unutar-tropskim pojansom konvergencije ili postojanjem hladnih fronta iz viših širina. Blizu obala, osobito s morske strane, postoji u rano jutro znakovita sklonost za razvoj konveksijskih oblaka i oborina, koji se rasprše tijekom prijepodneva. Ovi obalni razvoji su često u vezi s prodorom vlažnog, nestabilnog morskog zraka na kopno ususret još postojećem noćnom skopnacu. Obalni učinci su isaknute značajke vremena uzduž tropskih obala. Izvan područja unutar-tropskog pojasa konvergencija, tj. u pasatom pojasu, konvekcija iznad mora je određena plitkim, vlažnim inverzijskim slojem pa nastaju tipični kumulusi lijepeg vremena, ali suhi sloj iznad prijelci dublju konvekciju.

Pod utjecajem orografije u tropima nastaju jako razvijeni oblaci i jake kiše gdje je prostrano strujanje vlažnog zraka, nakon njegovog strujanja nad velikim prostranstvima

iznad toplog oceana. Nailazeći zrak se diže na obalnoj crti ili planinskim preprekama. Takva prostrana zračna strujanja su nastala tropskim kruženjem bilo kao pasati ili monsunu. Važno je pripomenuti da se jake i postojeće kiše, često praćene jakim kumulonimbusnim oblacima i grmljavinama, opažaju kad se morski zrak diže iznad obalnih brda i planina. Utkinci unutar kopna postaju postupno manje izričiti jer je zrak suši, premda oblaci i pljuskovi mogu biti povremeno naglašeni s konvekcijom zbog Sunčeva grijanja ili dizanjem iznad daljnjeg visokog terena.

### 24.2. Pasati - stalni vjetrovi

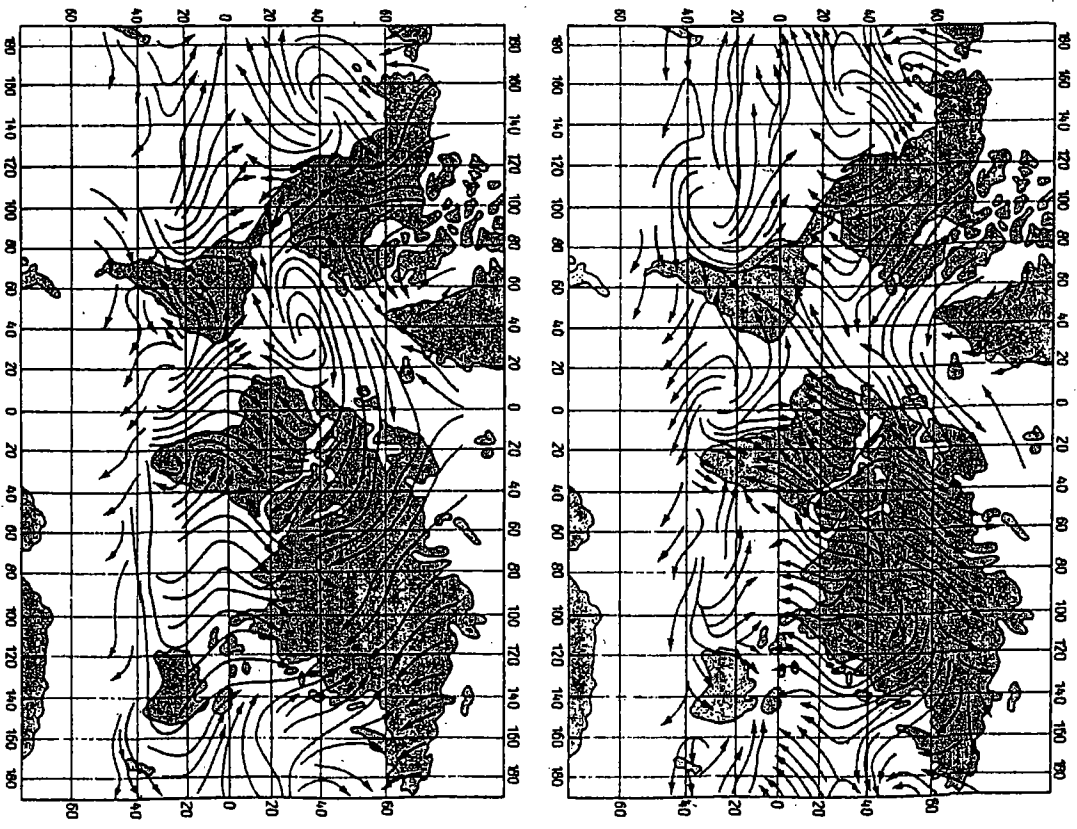
U području ekvatora je područje niskog tlaka (ekvatorska dolina) (*equatorial trough, aequatoriale Tiefdruckrinne*), slika 24.2, gdje prevladavaju tišine ili su slabi promjenjivi vjetrovi, a praćeni su jakim dizanjem zraka i jakim konvekcijskom naoblačenom iz koje padaju jaki pljuskovi. Nadalje, u suprotropskom području također se nalazi pojas tišina ili su slabi promjenjivi vjetrovi kao posljedica djelovanja suprotropske anticiklone (točka 20.2). Međutim, zbog prostranog spuštanja zraka vrijeme je ovdje vedro, a oborina gotovo i nema (pustinja). Između ta dva pojasa, tj. od višeg atmosferskog tlaka prema nižem, pušu u nižoj atmosferi stalni ili planetni istočni vjetrovi - pasati (*tradewind, Passatwinde*), dok u gornjoj troposferi i donjoj stratosferi postoji strujanje suprotnog smjera, protupasat. Pasati su postojani po smjeru (sjeveristočni na sjevernoj polutki Zemlje, a jugistočni na južnoj polutki) i brzini. Oni mogu puhati danima pa i tjednima ne mijenjajući smjer i brzinu, obzirom da su u tom području rijetki atmosferski poremećaji. Tipični sjeveristočni odnosno jugistočni smjer pasata određen je, nakon napuštanja područja visokog tlaka, djelovanjem Coriolisove sile i sile trenja. Srednja brzina pasata na Atlantiku je od 5 do 8 m s<sup>-1</sup>, dok je najveća srednja brzina 9 m s<sup>-1</sup> na Indijskom oceanu. Općenito najveće brzine pasata na obje polutke su krajem zime. Sioj pasatnih vjetrova proteže se u visinu 500 do 2000 m, a ograničen je položajem inverzije u suprotropima na visinama između 1000 i 2500 m.

Odmah treba istaći da prethodna shema puhanja vjetrova - pasata ne postoji na svim dijelovima Zemljine površine između suprotropskih i ekvatorskih područja. Iznad oceana postoje više ili manje tipična pasatna strujanja, što ne vrijedi na mjestima gdje postoji izražena razdioba kopna i mora (npr. južna Azija), što je povezano s položajem ekvatorske doline i toplinskim ekvatorom tijekom godine, tj. vjetar puše sukladno razdiobi atmosferskog tlaka. Na takvim mjestima strujanja zraka imaju bimo drugačije značajke, čak i suprotni smjer puhanja.

Na južnoj polutki pasati su dobro uočljivi u svim sezonama tijekom godine. To je većinom jugoistočno strujanje, ali odstupanja od tog smjera su očigledna na mnogim mjestima sukladno s razdiobom tlaka. Tako na zapadnoj obali Afrike pasat skreće na južni ili jugozapadni smjer, što je slično i na drugim oceanima, slika 24.1.

Na sjevernoj polutki sjeveristočni pasati pokrivaju široka područja Atlantskog i Tihog oceana. Na Atlantiku zimi pasat puše od obala Maroka do blizu ekvatora, a ljeti se pruža 10° z.š. (1° z.š. - zemljopisne širine = 111,1 km) sjevernije. Blizu Meksičkog zaljeva monsunski utinci ljeti okreću pasate u jugoistočno struju. Na Thom oceanu zimi pasat prelazi ekvator u blizini Indokine i nastavlja se kao sjeverozapadni ljetni monsun

do obala Australije, učinak je odgovarajući onom iznad Meksičkog zaljeva. Na Indijskom oceanu nema sjeveristočnih pasata, već puše zimski monsun istog smjera, slika 24.1.



Slika 24.1. Strujanja zraka na Zemljinoj površini u siječnju (gore) i srpnju (dolje) (England i Ulbricht, 1980)

U području nastanka pasata općenito prevladava vedro vrijeme ili slaba naoblaka s oblacima ljepeg vremena, tj. s kumulusima i stratokumulusima s podnicom oko 600 m i vrhovima na 1500 do 2500 m. Oborine su neznatne ili slabe, no kako pasati pušu sve dalje iznad prostranih vodenih površina naoblaka raste, pogotovo približavanjem unutar-tropskom pojasu konvergencije. Zapadni dijelovi oceana su oblačniji od istočnih. Nalaskom pasata na brda (otok) javlja se jaka kiša. Tako na sjevernoj polutki sjeveristočni pasat donosi kišu iznad brda Karibskog otočja i iznad Havaja (točka L-11.4), koji su na 20° N tj. u tipičnom pasatnom pojasu. Nadalje, do južne Amerike u ljetu dolazi oslabljen sjeveristočni pasat jer je visoki atmosferski tlak pomaknut na sjever, dok je u zimi zbog njegovog južnijeg položaja taj pasat pojačan, čak donosi znatne kiše. Na južnoj polutki jugoistočni pasat s Indijskog oceana daje kišu cijelu godinu iznad istočnih obala Madagaskara i ljeti u Južnoj Africi. Također, zbog skretanja pasata na zapadnoj obali Afrike na južni ili jugozapadni smjer, iznad Afrike se u dođiru s vlažnim vjetrovima s Indijskog oceana stvara pasatna fronta. Općenito pasatne kiše nastaju kao mješavina orogenske kiše i uspravne nestabilnosti zbog prizemnog zagrijavanja iznad tla. To su mjesni pljuskovi, često uz gmljavine, i padaju obično danju.

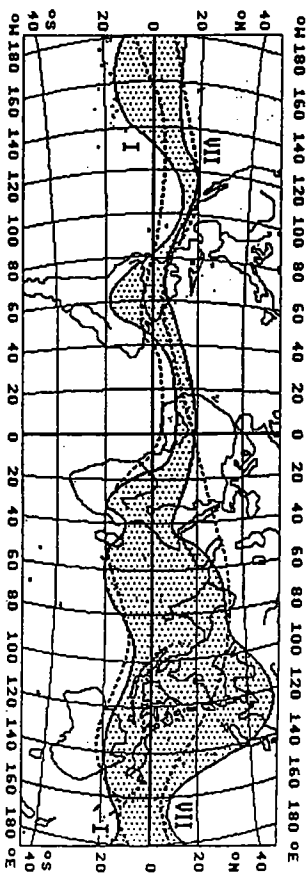
Ekvatorski zapadni vjetrovi (*equatorial westerlies*; *äquatoriale Westwinde*) nastaju kad pasat jedne polutke prelazi dovoljno daleko na drugu polutku. Tada se u odnosu na prvobitni smjer djelovanja Coriolisove sile, javlja njeno suprotno djelovanje i dolazi do suprotnog skretanja vjetra. Tako jugoistočni pasat prelaskom ekvatora postaje jugozapadni, odnosno sjeveristočni pasat postaje sjeverozapadni, tj. općenito se govori o zapadnim vjetrovima u području ekvatora. Ekvatorski zapadni vjetar najčešće se javlja u sprnju na sjevernoj polutki: od zapadne Afrike preko Indijskog oceana do zapadnog Tihog oceana (kao jugozapadni monsun). Nadalje, postoji i u sjeveru na južnoj polutki: od Indijskog oceana do Australije.

Ekvatorski vjetrovi (*equatorial winds*; *Elesien*) su posebnost zračnih strujanja nastalih u ljetu nad Sredozemljem zbog pomaka visokog suprotropskog atmosferskog tlaka (Azorska anticiklona) u razmjerno više zemljopisne širine, tako da je niski tlak na 20° N (ekvatorska dolina). Između visokog tlaka nad Atlantikom i niskog tlaka nad Prednjom Azijom javlja se sjeverozapadno strujanje koje prelazi u sjeveristočni pasat nad Afrikom.

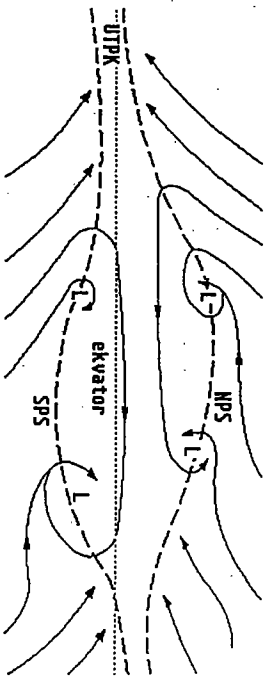
### 24.3. Unutartropski pojas konvergencije - tropska fronta

Unutartropski pojas konvergencije - UTPK (*interropical convergence zone* - ITCZ; *Innertropische Konvergenzone*) je područje između sjeveristočnih i jugoistočnih pasata (u prizemlju i na visini) te približno odgovara području niskog tlaka (ekvatorska dolina), slika 24.2. Položaj unutartropskog pojasa konvergencije kao i ekvatorske doline je izraženo vezan uz kopnena područja te je za oko polovicu zemljine kugle tijekom cijele godine na sjevernoj polutki. Obzirom na prizemno strujanje, postoji razlika između mitrog UTPK (*doldrum*; *äquatoriale Calmen*) i pasatnog UTPK (*tradewind*; *Pasat*). UTPK postoji gdje se pasatni vjetrovi dodiruju i tu se nadomještaju sa sjevernom i južnom prugom smicanja, gdje su pasati odijeljeni s područjem ekvatorskih zapadnih vjetrova. Kao što se na slici 24.3. vidi, pasati se zbližavaju u području UTPK, a ponegdje vjetrovi sa zapadnom komponentom razdvajaju pruge smicanja. Ciklonska kruženja su

na pruge smicanja; smjer vjetra na pruge smicanja je ili sjeverni ili južni. Ovdje se uzima da je UTPK blizu ekvatora, a smjer vrtije odgovara pojedinoj polutki.



Slika 24.2. Unutartropski pojas konvergencije puna crta i točkasto, os ekvatorske doline crtano, položaji u sjeveru i sprnju



Slika 24.3. Unutartropski pojas konvergencije sa sjevernom (NPS) i južnom (SPS) prugom smicanja i područje zapadnih vjetrova; tanke crte su strujnice

UTPK je konvergentan, gdje zrak u njega brže ulazi nego što izlazi (vodoravno) te se mora dizati. Tamo gdje postoji spuštanje nema ulaženja zraka. Konvergentni dijelovi UTPK i ciklonska kruženja smještavaju se na pruge smicanja; tj. oblike ekvatorske doline općeg atmosferskog kruženja. Pruge smicanja i UTPK, kao jaka konvergencija s jakim dizanjem, su područja ili pojasi oblaka, najčešće kumulonimbusa, jakih kiša, gmljavina i olujnih pruga, ali gdje su spuštanja, često su vidljivi dijelovi niskih oblaka.

Kako geostrofička približnost nije primjenjiva na malim širinama, praktičnije je u tropima opisati smjer toka vjetra sa strujnicama i gdje je neopiplodno prikazati brzinu vjetra s izotahama zajedno sa strujnicama. Zakrivljenost strujnica napose kod preko-ekvatorskog zakretanja može uključiti konvergenciju ili divergenciju, slično spiralnim strujnicama u ili iz središta koje uključuje uzlazno ili silazno strujanje. Tamo gdje su takve promjene toka pasata u ekvatorskoj dolini se opaža utjecaj na vrijeme.

UTPK tijekom godine nije na istim zemljopisnim širinama iznad oceana ili kontinenta, već postoje znatni pomaci idući za deklinacijom Sunca, koje slijedi prijelaz pasata

preko ekvatora. Iznad oceana UJTPK je bliže ekvatoru uz pojavu niskog takaa i oborina (Tihni ocean), a pomaci su manji, 5 do 10° z.š. od ekvatora. Najbliži je ekvatoru iznad istočnih dijelova Sjevernog Atlantika i sjevernog Tihog oceana, gdje ne prelazi južnije od ekvatora. Na Južnom Atlantiku pomak južnije od ekvatora je najmanji, što ima utjecaj na nepostojanje ciklona. Iznad kontinenta, pogotovo u području Indijskog oceana, pomaci UJTPK su najveći, idu dosta sjeverno od ekvatora (20 do 30° N) uz pojavu visokih temperatura (toplinski ekvator), niskog takaa i oborina. Tada se oko ekvatora javlja slabije izraženi pojas smicanja uz pojavu niskog takaa i oborina.

Većina vremenskih poremećaja (≈ 87%) nastaje na zemljopisnim širinama manjim od 20° na polarnoj strani mirnog UJTPK, gdje su najveće vrijednosti vodotavnog smicanja vjetera, tj. relativne vrtložnosti. Manji dio poremećaja nastaje u zemljopisnim širinama većim od 20° u području pasata (istočni valovi), gdje nema zapadnih prizemnih strujanja, ali ono može biti prisutno u visini, npr. iznad Atlantika.

Širina pojasa vremenskih poremećaja koleba s razmjerima konvergencije te je od 40 do 500 km. Prizemni vjeter u blizini crte poremećaja je mahovit, često prelazi 10 m s<sup>-1</sup>, dok ima mahova 20 do 25 m s<sup>-1</sup>. Prilikom jakih razvoja, postoje prostrane kiše uz debele mase nimbostratusa i altostratusa s uklopljenim kumulonimbusima uz jaku turbulenciju unutar oblaka. Međutim, obično je naoblaka rastrzana te postoje slabije kiše.

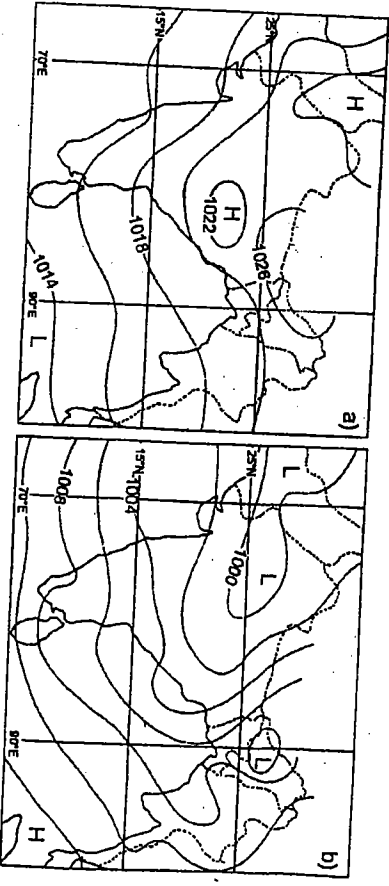
Podnina oblaka je obično 300 m ili više iznad mora, ali je pri jakoj kiši do tla. Visine vrhova oblaka kolebaju u blizini pruge poremećaja. U mnogim slučajevima pojasevi oblaka dosežu iznad 6000 m, a u jakim razvojjima oblaci su do ili iznad tropopauze, koja u tropima doseže 17 000 m. Rasprostranjeni oblaci vrhovi prelaze u prostrane cirrusne slojeve koji zaklanjaju kumulonimbusne tornjeve s jakom turbulencijom; s druge strane cirrusni slojevi mogu dugo trajati nakon raspadanja konveksijskih oblaka. Zaleđivanje u djetalnim područjima je do jakog u konveksijskim oblacima na temperaturama od 0 do -40 °C ili niže. Odgovarajuće visine na kojima su te temperature u ekvatorskom području su od 5 000 do 11 000 m, dok su ljeti iznad južne Azije više za oko 600 m. Izvan oblaka vidljivost je dobra osim u jakim kišama gdje je smanjena na nekoliko metara.

Kad se UJTPK sužava dobiva izvjesne sličnosti s frontama, tj. govori se o unutar-tropskoj ili ekvatorskoj fronti (*inertropical front*; *inertropicalische Front*), koja za razliku od fronti umjerenih širina ne predstavlja tipičnu granicu između hladnog i toplog zraka, već zraka raznih vlažnosti.

**24.4. Monsunsko kruženje i područja - sezonski vjetrovi**

U okviru općeg atmosferskog kruženja javljaju se i periodički - sezonski vjetrovi. Takav je monsun (monsoon, Monsun), koji pokazuje izraziti godišnji hod s dva para ekstrema. Izraženiji je ljeti, a slabiji zimi, a nema ga prilikom njegove izmjene. U zimi je to suhi vjeter, koji puše od kopna na more, a ljeti vlažan vjeter od mora na kopno. U umjerenim širinama iznad kontinenta zimi postoji područje visokog atmosferskog takaa (točka 20.2), a ljeti niskog, što se očituje u stalnim sezonskim vjetrovima - monsunima, koji su najviše razvijeni iznad južne i istočne Azije, ali ih ima i na drugim područjima. Kako južna polutka ima istorodniju podlogu u odnosu na sjevernu polutku, promjene vjetrova su slabije.

**Sjeveroistočni monsun**  
 U zimsko doba sjeverne polutke postoji prostrano područje visokog atmosferskog takaa iznad azijskog kontinenta, sa smanjivanjem takaa južno od ekvatora. Zimsko istjecanje zraka iz Sibirske anticiklone pojavljuje se kao sjeverozapadni vjeter preko obala Tihog oceana te sjeveroistočni ili sjeverni vjeter preko južne Kine, Burme i Indije i stalan je preko Indijskog oceana (Arapskog mora i Bengalskog zaljeva) te se susreće s jugoistočnim pasatom južno od ekvatora. Sibirska anticiklona, koja je nastala u histopadu, nestaje u ožujku, kad temperature tla brzo rastu, što uvjetuje prestanak monsun. Zimski sjeveroistočni monsun ima isti smjer puhanja i vrijeme koje donosi kao pasat, ali se teško može smatrati pasatom, jer nisu isti uvjeti postanka. Tipična prizemna vremenska karta koja omogućuje pojavu monsunu prikazana je na slici 24.4. a).



Slika 24.4. Prizemna vremenska karta pri pojavi monsunu. a) siječanj - sjeveroistočni, b) srpanj - jugozapadni monsun (Frampton i Ultridge, 1988)

Zimski Azijski monsun je hladni ili studeni vjeter s prevladavajućim suhim vremenom, osim gdje vjeter dugo puše iznad mora. U vrhu sezone vjetrovi su 3 do 8 m s<sup>-1</sup>, dok su iznad zapadni vjetrovi (dio čelije strujanja umjerenih širina). Puše do ožujka. Iako je monsun stalni vjeter, postoje vremenski poremećaji. Monsun može biti prekinut nad Arapskim morem sjeverno od 20° N, s promjenjivim smjerom vjetera i povećanom brzinom kad frontalna depresija prolazi prema istoku preko Azijskog kontinenta. Općenito, pri sjeveroistočnom monsunu naoblaka je slaba s malo kiše ili bez nje. U prošincu i siječnju ima više naoblake i kiše u južnim područjima Bengalskog zaljeva.

**Jugozapadni monsun**  
 Tijekom proljeća sjeverne polutke, kad temperature tla i zraka brzo rastu, nastaje prostrano područje niskog atmosferskog takaa, koje je ljeti (srpanj) izraženo iznad sjeverozapadne Indije s povećanjem takaa prema ekvatoru. Toj raspodjeli takaa odgovara Indokini i južnoj Kini, a nadovezuje se na jugoistočni pasat južne polutke, koji prelazi ekvator krajem svibnja. Iako Sibirska anticiklona nestaje u ožujku, Indijski jugozapadni



monsun ne javlja se sve do lipnja. Nailazak monsunna je nagao → provala monsunna, javlja se jako nablačenje uz jake kiše i grmljavine. Temperatura opada, a vlažnost zraka raste. Jake oborine su na obroncima Himalaje (točka 1-11.4). Obično su jake poplave. Vrijeme (dan, tjedan) nailaska monsunna uvjetuje način života, kašnjenje monsunna znati suše. Ljetni monsun traje do rujna, kad baričko polje slabi i povlači se prema jugu. Objašnjenja iznenađenog nailaza monsunna i promjene oblika vjetrova nije potpuno jasno. Prostrane promjene visinskih vjetrova pridružene su s nailetom jugozapadnog monsunna. Osi suprotropske zapadne mlažne struje premještaju se naglo od južne na sjevernu stranu Himalaje početkom lipnja, a visinski istočni vjetrovi protežu se tijekom svibnja i lipnja sjeverno preko Indije. Prostranstvo ljetnog monsunna ovisi o udaljenju niskog tlaka od ekvatora, koje je najveće na južnom i jugoistočnom dijelu Azije. Tipična prizemna karta prikazana je na slici 24.4. b). Uz niski tlak iznad sjeverozapadne Indije (toplinska ciklona) ostale depresije mogu se prikazati kao rezultat kiša iznad Indijskog kopna i okolnog područja. Ljetni monsun puše u sloju do 3000 - 6000 m, iznad su vjetrovi istočnog kvadranta. Tako ljetni monsun u donjoj troposferi potpuno narušava pasatno strujanje, koje bi inače postojalo.

Izraženi vjetrovi iznad Arapskog mora dostižu 11 do 14 m s<sup>-1</sup>, a vrijednosti 16 m s<sup>-1</sup> ili veće, moguće su do deset dana u mjesecu. Istočno od Socotra u srpnju takvi uvjeti su u 50% ili više vremena. U Bengalskom zaljevu vjetrovi su 5 do 11 m s<sup>-1</sup>. Vrijednosti 16 m s<sup>-1</sup> ili više su 5 do 10 dana mjesečno tijekom srpnja i kolovoza. Područje od 5° N do ekvatora i istočno od 60° E ima vjetrove 3 do 5 m s<sup>-1</sup>, čiji smjer je između juga i zapada.

Uzdutž zapadnih obala Indije, oblaci i kiša nastaju zbog orogenetskog uticajnika. Sjeverni dio Arapskog mora može imati prostranu naoblaku i oborine zbog suprotropske ciklone. Vidljivost je umjerena u sjevernim i zapadnim dijelovima Arapskog mora, ali je loša blizu obale kao rezultat oborina ili prašinske mutnoće. Pri vrhu Bengalskog zaljeva i u delti Gangesa ima oborina pridruženih s monsunskom depresijom, koja se giba prema zapadu preko Indije.

#### Medumonsunsko vrijeme

Izmjena monsunna je u dva razdoblja od travnja do svibnja te u listopadu, i povezana je s pomakom ekvatorske doline prema sjeveru odnosno jugu. Uvjeti u dolini znatno kolebaju od tišina ili slabih vjetrova i općenito lijepog vremena do udara vjetera i kumuliformnih oblaka s jakim kišom i grmljavinom. Između rujna i listopada u tishinama temperatura i isparavanje raste te je velika vlažnost zraka (najneugodnije razdoblje). Od listopada nastaju zimski uvjeti, temperatura i vlažnost zraka padaju, javlja se vedrina i to je najugodnije razdoblje. Od ožujka do svibnja kad prevladavaju tišine, temperatura naglo raste (najviše vrijednosti), ali je uz vedrine znak suh.

Tijekom svibnja, lipnja, te listopada i studenog temperatura površine mora u Arapskom zaljevu prelazi kritičnu vrijednost 27 °C, povoljnu za razvoj ciklona. U Bengalskom zaljevu ciklonska sezona obično je najjača u listopadu i studenom, s olujnim usporom (*storm surge*; *Furwellen*) i jakim pljuskovima u zaljevu i uzduž obale.

Uzdutž zapadne obale Indije u unutrašnjosti tijekom travnja i svibnja pušu izraženi obalni vjetrovi. Zapadno od 55° E i između 5 i 10° N u Arapskom moru su jugozapadni vjetrovi povremeno 14 do 17 m s<sup>-1</sup>. Ovo je kao rani stadij razvoja toka s južne na sjevernu polutku. Područje zemljopisnih širina tog toka stalno raste do postizanja najjačeg jugozapadnog monsunna. Tok preko ekvatora je smješten u donjoj troposferi i nije jedno-

lik iznad svih zemljopisnih duljina, postaje značajan u rasponu 15° W do 55° E. Unutar tog toka su promjene smjera vjetera od jugoistočnog na jugozapadni kako vjetar prelazi s južne na sjevernu polutku.

#### Monsun sjevernog Tihog oceana

Osnovni godišnji uvjeti za sjeverni Indijski ocean protežu se na istok u Kinu i Žuto more te krajnje zapadne dijelove sjevernog Tihog oceana južno od 30° N.

Sjeveroistočni monsun najprije nastaje u sjevernim dijelovima područja u rujnu, a u studenom konačno djeluje nad tihavim područjem sjeverno od ekvatora. Iako se prikazuju kao sjeveroistočni monsun, smjer vjetera koleba osobito s porastom zemljopisne širine. Jachna vjetera je 11 do 14 m s<sup>-1</sup> na Tajvanu i 8 do 11 m s<sup>-1</sup> u Kineskom moru, osim područja južno od 10° N gdje je 5 do 8 m s<sup>-1</sup>. Blizu ekvatora vjetrovi su sjeverni i slabi. Sjeverno od 18° N razdoblja oblačnog neba sa slabom kišom ili rosuljom izmjenjuju se s prekidima oblačnog pokrivača između siječnja i travnja. Južno od 18° N iznad otvorenog mora, naoblaka je općenito 4/8 pojačavajući se prema ekvatoru uz pojačanje čestina pljuskova. Oblaci i oborine su veće gdje vjetar struji iznad kopna višeg terena. Ovi uvjeti postoje do travnja dok se prevladavajući vjetar ne smanji, te su južne komponente češće. Ove promjene označavaju početak jugozapadnog monsunna koji je najjači u srpnju.

U izraženom jugozapadnom monsunu smjer vjetera koleba između jugoistočnog i jugozapadnog u područjima koja leže zapadno od 140° E i južno od 40° N. Jezgra monsunna je u južnom Kineskom moru gdje je vjetar 3 do 8 m s<sup>-1</sup>, inače je 3 do 5 m s<sup>-1</sup>. Općenito, vjetrovi su slabiji tijekom jugozapadnog monsunna, obrnuto od uvjeta u sjevernom Indijskom oceanu. Naoblaka je prosječno 4/8 s pljuskovima, osim na privjetrini obalnih područja gdje je veća, a pljuskovi su jači.

Monsuni se, osim Azije, javljaju i na drugim područjima. Tada se često govori o monsunskom vremenu, a ne o tipičnom monsunu.

#### Gvinejski zaljev

Tijekom ljeta, Gvinejski zaljev i glavina kopna Afrike prema sjeveru imaju jugozapadne vjetrove s oblačnim razvojem i oborinama. To se obilježava kao jugozapadni monsun. Na početku i kraju jugozapadnog monsunna, jake grmljavine s jakim maňovima vjetera gibaju se od istoka prema zapadu (tornado), a kratko trajanje lijepog vremena može se zapažati blizu obale.

U ostalo doba godine područja imaju suho razdoblje s vjetrom u Gvinejskom zaljevu između južnog i zapadnog, a ostalo područje ima vjetrove općenito između sjevera i istoka. Između studenog i veljače je istočni vjetar zvan *harmattan* s malom relativnom vlažnošću, koji prenosi prašinu i pijesak iz Saharske pustinje. Prašinu i pijesak može nositi više stotina kilometara na pučinu stvarajući lošu vidljivost. U ostalo vrijeme vidljivost je dobra kao rezultat suhe mutnoće.

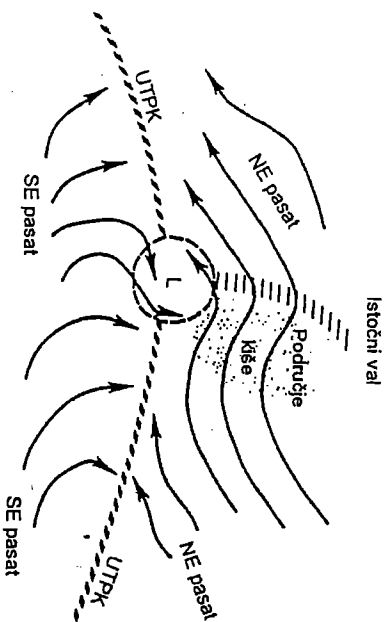
#### Sjeverna Australija

Između studenog i ožujka sjeverozapadni monsun prevladava preko sjeverne obale Australije i pripadnog mora sa smjerom između zapadnog i sjevernog. Zračna struja sjeveroistočnog pasata dolazi preko ekvatora sa sjeverne polutke, a vjetar dostiže 14 do 17 m s<sup>-1</sup> uz naoblaku i jake pljuskove. Tijekom ljeta jugoistočni pasati prevladavaju iznad tog područja.

## 24.5. Tropski istočni valovi

Osim raznih vrsta vjetrova i ciklona u tropskoj atmosferi postoje još i drugi ciklon-ski poremećaji niske i srednje troposfere, koji pokazuju slabo ciklonsko kruženje u plitkom sloju troposfere ili povećanu ciklonsku vrtložnost bez zatvorenog kruženja. Najbrojniji među tim poremećajima su istočni valovi, valovi u unutar-tropskom pojasu konvergencije (ekvatorska dolina), pruge smicanja i dr.

Tropski istočni valovi (*easterly waves*; *östliche Wellenstörungen*) su najčešći atlantski tropski poremećaji koji se javljaju u pasatom području (istočnoj struji). Radi se o izobličanju u polju strujanja i takta (slika 24.5), koje se proteže kroz gotovo čitavu troposferu. Val je dolina niskog tiska, koja na sjevernoj polutki ima oblik A, i uklopljena je u istočnu struju na ekvatorskoj strani visokog tiska u suprotropskim područjima. Prosjечно su tijekom ljeta istočni valovi svakih 15° zemljopisne duljine s valnim duljinama 1500 do 2000 km. Amplituda valova je razmjerno mala i opada s porastom zemljopisne širine. Istočni valovi se protežu uvis do 8000 m, putuju od istoka prema zapadu brzinom 5 do 7 m s<sup>-1</sup>, a brzina visinskog vjetera je veća od brzine pranišćanja vala. Upravni presjek kroz istočni val pokazuje granicu između manje i veće vlažnosti (prema istoku) nagnutosti 1/70, s porastom visine prema istoku. To se povezuje sa zbližavanjem zraka istočno i razliženjem zapadno od osi vala. Zato je loše vrijeme na istočnoj strani.



Slika 24.5. Istočni val

U području istočnih valova, širine 50 do 180 km, vrijeme se postupno mijenja. S prednje (zapadne) strane vala je silazno strujanje, razliženje u prizemlju s vedrinom ili slabom isklidanom naoblakom i tendencijom pada tiska. Stražnja (istočna) strana vala ima zbližavanje u nižoj troposferi i u vezi s njim uzlazna gibanja, što pogoduje razvoju konvektivske naoblake s kišom. Tako istočni val izobličava i probija pasatnu inverziju pa važni tropski zrak prodire do tropopauze, kao i oblaci. Oblaci koji se javljaju istočno, postavljaju se u obliku oblaknih pruga (*cloud streets*; *Wolkenbank*), približno u smjeru sjeverozapad-jugozastok. Zapadno od osi vala pruge su usmjerene od sjeverozastoka prema jugozapadu, a oblaci su manji, kumulusi lijepog vremena. Djelatne pruge kumulonimb-

sa položene su poprečno na smjer širenja vala, daju jake oborine i prekrivene su slojem cirusa.

Za razliku od poremećaja koji su unutar sjeverno atlantske istočne pasatne struje, proučavanja poremećaja na Tihom oceanu pokazala su drugačije načine njihova nastanka. Uočava se jaka klimatska veza između položaja tropskih poremećaja i kolebanja unutar-tropskog pojasa konvergencije, i to u svim oceanima osim u Sjevernom Atlantiku, gdje pojava takvih poremećaja ne pokazuje značajna sezonska kolebanja po zemljopisnoj širini.

Uz istočne valove, koji se javljaju prosječno svaki treći dan, razvijaju se tropske depresije i tropske oluje, koje mogu prijeći u ciklone.

## 24.6. El Niño

El Niño - djčak - je originalno ime koje su dali mjesni stanovnici za slabu toplu oceanску struju koja teče oko Božića prema jugu uzduž obala Ekvadora i Perua. El Niño, južno kolebanje (*El Niño/Southern oscillation* - ENSO; -) je naziv koji se sada koristi za mnogo prostornije, jače i dugotrajnije zatopljene na srednjem i istočnom tropskom Tihom oceanu, koje se događaju svakih nekoliko godina, obično 3-4 godine, a ponekad je vrlo izrazito (1982/3, 1997/8), te je more toplije za 3-5 °C. ENSO je povezan sa znatnim odstupanjima u dijelu općeg atmosferskog kruženja te jakim naoblakom i kišama na jednom dijelu Zemljine površine i suhim vremenom na drugom dijelu. Pojava jakog ENSO imaju ozbiljnije učinke na ribarenje, život ptica i općenito život ljudi. Suprotnost za El Niño je La Niña (postojanje hladnih struja).

Izuzetno zatopljene oceanске vode na zapadnoj obali Južne Amerike (Ekvador, Peru) obično je povezano s jakim kišama u obalnom području te ima izuzetan značaj na vrijeme i u vrlo udaljenim krajevima svijeta. Područja Indonezije i Australije, koja su normalno vlažna, imaju bitno smanjenje oborina, dapače i suše. Smatra se da La Niña pomaže nastajanju tropskih ciklona, za razliku od El Niña, koji sprječava njihov razvoj.

Vjetar koji puše iznad vodene površine uvjetuje potiskivanje vode udesno na sjevernoj polutki, odnosno ulijevo na južnoj polutki Zemlje (točka 36.2.). Tako pasatni vjetrovi Tihog oceana obje polutke svojim puhanjem nagomilavaju toplu površinsku oceanску vodu u zapadne dijelove Tihog oceana. Stoga u tim područjima postoji vrlo jaka konvekcija uz oborine, te se oslobađaju goleme količine latentne topline. U istočnom dijelu Tihog oceana, zbog tečenja vode na zapad, izdiže se dubinska hladna morska voda. Pritom je termoklina (područje velikih temperaturnih gradijenata u moru, odnosno sloj miješanja površinske tople i dubinske hladne vode) na istoku na maloj dubini (pogodno za život mikroorganizama i riba), a na zapadu na velikoj dubini. Tako nastaje znatna temperaturna razlika između istočnih i zapadnih područja oceana. To je normalno stanje ili La Niña. Povremeno pasatni vjetrovi slabe, smanjuje se prijenos tople oceanске vode na zapad, dok se temperaturne razlike istočnih i zapadnih područja unmanjuju, čak dapače tople vode sa zapada premještaju se na istok. To je nenormalno stanje ili El Niño, koji utječe na opću vremensku sliku na golemim područjima.

Mlazne struje iznad Tihog oceana (zimnska polutka) tijekom toplog razdoblja (El Niño) su jače od prosjeka, odnosno slabije za hladnog razdoblja (La Niña). Izvantrope

oluje i frontalni sustavi prate područja koja su podložna postojanim temperaturnim i obrtnskim odstupanjima od prosječnih stanja. Tijekom toplog razdoblja grmljavinski procesi se pomiču na istok, od Indonezije u središnji Tihni ocean sa sušom iznad sjeverne Australije, Indonezije i Filipina. Suho vrijeme je i iznad jugoistočne Afrike i sjevernog Brazila. Za sjevernog ljeta jugozapadni monsumi iznad Indije donose manje oborina nego obično. Vlaznije od uobičajenog, tijekom toplog razdoblja, obično je uzduž zapadne obale tropske Južne Amerike i u suprotropskim širinama Sjeverne Amerike (obale Meksičkog zaljeva) i Južne Amerike (južni Brazil do središnja Argentina).

### Dopunska literatura

Vidi literaturu uz točku 25.

## 25. CIKLONI

S obzirom na količinu energije koju posjeduju, područje koje zahvaćaju, te gubitak života i materijalne štete koje uzrokuju, cikloni su najsnažniji atmosferski sustavi. Veće brzine vjetera javljaju se još u tornadima, ali su oni po ukupnoj jakini mnogo slabiji. Najveće gubitke života i imovine izazivaju olujni valovi i bujice, a ne olujni vjeter. Kako bi se u prvi tren moglo pomisliti:

Suprotno podacima o sve manjem broju ljudskih žrtava, cikloni uzrokuju sve veće materijalne štete na obali i kopnu, što je posljedica proširivanja gradskih i industrijskih područja. Od svih ljudskih djelatnosti cikloni svojom razornom snagom najviše štete nanose pomorstvu, i to svim njegovim granama - moreplovstvu, brodogradnji, lukama, ribarstvu, nautičkom turizmu itd. Razvoj meteoroloških službi omogućava pravodobno obavješćavanje brodova i zrakoplova o položaju i gibanju pojedinih oluja. Prometala nastoje izbjeći njihovo središte i pojas najjačih vjetrova, a ako su zahvaćena dijelom ciklona, postoje pravila o postupcima u takvim uvjetima.

Izvori podataka (prizemna i visinska motrenja) su vrlo rijetki nad toplim oceanima, a osim toga olujni i orkanski vjetrovi smanjuju pouzdanost pri njihovom mjerenju. Kad ciklon dolazi nad kopno, gdje je gušća mreža meteoroloških postaja i opservatorija, obično se nalazi u stadiju raspadanja, a ne u tipičnom zrelom stadiju. Pomocno ranom otkrivanju i praćenju daju meteorološki radari i sateliti. Najbolji podaci su dobiveni istraživačkim zrakoplovima, posebno u središnjem oku, ali i izvan njega, dok su u području snažne konvekcije letovi vrlo opasni.

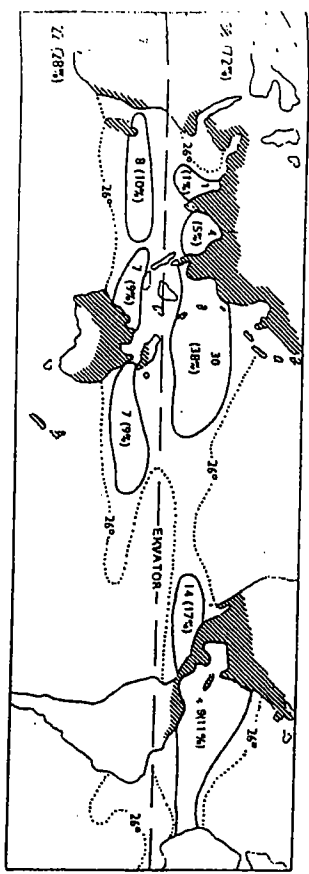
### 25.1. Podjela, učestalost i područja djelovanja ciklona

Cikloni (tropski ciklon) - *9* (engleski: *tropical cyclone*; njemački: *tropischer Wirbelsturm*) su snažni ciklonski sustavi, koji se javljaju prilično rijetko i nepravilno u tropskom području većinom iznad oceana. To su vrlo jaki vrtložni sustavi vjetrova, promjera više stotina pa i oko tisuću kilometara. U odnosu na ciklone umjerenih širina vodoravna prostranstva su manja, ali su razvitak i jakina nevrēmena puno veći.

Prosječno se godišnje u svijetu pojavi oko 40 (žestokih) tropskih oluja i još toliko tropskih ciklona orkanske jačine. Broj tropskih ciklona je promjenljiv iz godine u godinu, bez značajnijih pravilnosti. U odnosu na ranije podatke, uporaba meteoroloških satelita povećala je ukupni broj uočenih ciklona za 15 do 20%. Najviše ciklona je u ljetnim mjesecima pojedine polutke, iznimka je sjeverni Indijski ocean, gdje se cikloni uglavnom javljaju prije i poslije ljetnog monsunu.

Većina razvijenih ciklona 58 (72%) nastaje na sjevernoj polutki. Najučestalije područje od svih oceana je zapadni Sjeverni Tihni ocean - istočno Azijska mora 30 (38%), a slijede istočni Sjeverni Tihni ocean 14 (17%) i Sjeverni Atlantik 9 (11%). Bengaliski zaljev ima 4 (5%), a Arapsko more 1 (1%) ciklon. Na južnoj polutki brojnost ciklona je manja 22 (28%). Zapadni Južni Indijski ocean ima - oločje Mauritius 8 (10%), a istočni 7 (9%) ciklona, dok zapadni Južni Tihni ocean ima 7 (9%) ciklona. Manje ciklona na južnoj polutki objašnjava se sjevernijim položajem unutar tropskog pojasa konvergencije

Atlantik), zbog jakog uspravnog smicanja (Atlantik, Tih ocean) i zbog nižih temperatura oceana (Tih ocean istočno od 140° W), slika 25.1. Iz navedenog se uočava, da se cikloni javljaju na zemljopisnim širinama većim od približno 5° (utjecaj Coriolisove sile), pa do oko 30° s obje strane ekvatora, a rijetko prelaze širine 40° N.



Slika 25.1. Područja i učestalost ciklona, broji i postotak. Kopnena područja zahvaćena ciklonima su šrafrana. Izoterna temperature površine mora 26 °C, točkasto.

Nazivi ciklona su različiti u različitim dijelovima svijeta:

- *hurricane* - Sjeverni Atlantik, Karipsko m., Meksički zaljev, istočni i središnji Tih ocean
- *typhoon* - zapadni Tih ocean, Žuto m., istočno i južno Kinesko m.
- *cordozzo* - Meksiko
- *taino* - Haiti
- *cyclone* - Indijski ocean
- *orkane* - Madagaskar, Mauritijs
- *baguna*, *baruto* - Filipini
- *willy-willy* - Australija.

Svaki ciklon ima svoje ime. To je bilo ime sveca na dan kad je ciklon opažen, a danas imaju muška ili ženska imena, određuju se unaprijed i različita su u različitim oceanima.

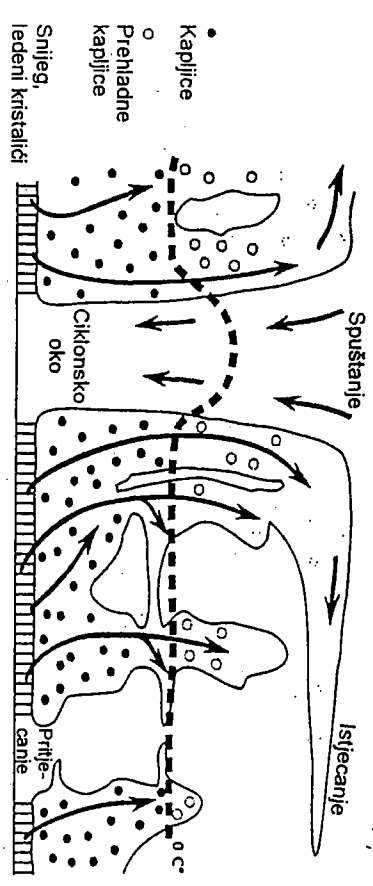
Jakost ciklona može se odrediti pomoću središnjeg tlaka na morskoj razini ili preko najveće brzine vjetera, što je najčešća pojava. Razlikuju se doba ciklona:

- tropski poremećaj (*tropical disturbance*) - nema zatvorene izobare ni jakih vjetrova
- tropska depresija (*tropical depression*) - jedna ili više zatvorenih izobara, vjetar 16 m s<sup>-1</sup>
- tropska oluja (*tropical storm*) - vjetar 17 do 23 m s<sup>-1</sup>
- žestoka tropska oluja (severe tropical storm) - vjetar 24 do 31 m s<sup>-1</sup>
- uragan (*hurricane, typhoon, tropical cyclone*) - vjetar ≥ 32 m s<sup>-1</sup>; to je ciklon orkanske jakine ili kraće ovisno o zemljopisnom području - ciklon, hariken, tajfun.
- Vjetrovi brzina većih od 32 m s<sup>-1</sup> su orkanski vjetrovi i taj naziv nije vezan samo za ciklon već se rabi i kod drugih atmosferskih pojava kao što su tomado, pijavica, mlazna struja i dr.

## 25.2. Ustrojstvo ciklona

Bez obzira na pojedine razlikitosti između pojedinih slučajeva, ustrojstvo razvijenog ciklona je u bitnim odlikama isto na svim oceanima svijeta. Jaki vrtložni sustavi vjetrova s jakim naoblakom i oborinama imaju promjer više stotina pa i oko tisuću kilometara. Ciklon je općenito eliptičnog oblika male spljoštenosti, giba se u smjeru duže osi elipse. Za označavanje područja, ciklon se može podijeliti na dvije polovice - desnu i lijevu, odnosno na četvrtine - kvadrante. Tako postoji prednji desni kvadrant, zatim stražnji desni, a slično je za lijevu polovicu.

U središtu ciklona nalazi se tipično ciklonsko oko (*eye of cyclone, Auge des Wirbelsturms*) s toplim i suhim zrakom te slabim vjetrovima ili ih uopće nema, promjera 10 do 100 km, obično nepravilno-eliptičnog oblika. Topli i suhi zrak je rijedak zbog suho-adijabskog spuštanja s velike visine. Temperatura zraka u prizemnom sloju unutar oka bitno se ne razlikuje od one izvan, no vrlo su izražena temperatura odstupanja na visini. Oko je okruženo zidom snažne konvekcijske naoblake širine 10 do 20 km i visine do vrha troposfere. Izvan tog područja, konvekcija i oborine su snižene u spiralsnim pojasovima ciklonski zakrenute prema središtu, slika 25.2.

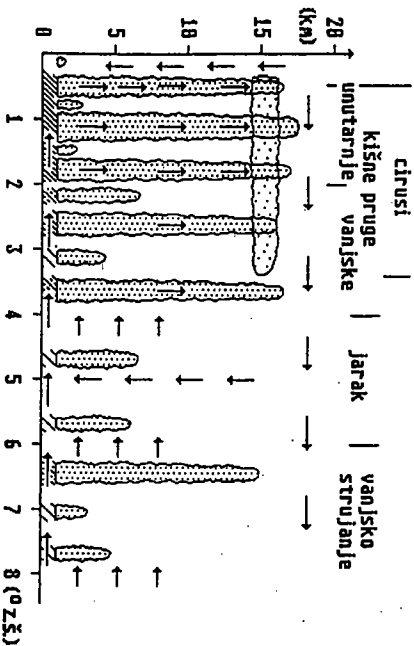


Slika 25.2. Shematski uspravni presjek kroz ciklon, strujanja, oblaci i oborine

Svaki ciklon promatran odozgo ima oblik oblačnog zakrenutog zarezca, odakle i simbol za oznaku ciklona → 9. "Glavu" tog zarezca, koja je šuplja, tvori konvekcija (golemi kumulonimbusi kroz cijelu troposferu), tj. unutarnje kišne pruge koje su naddrvene debelim slojem cimusa, prostiranja otprilike do 4° z.š. od središta (1° z.š. - zemljopisne širine = 111,1 km). Vanjske kišne pruge su "rep(ovj)" zarezca. Između unutarnjih i vanjskih kišnih pruga, konvekcija je nešto slabija, a izvan čitavog konvekcijskog pojasa je obično područje razlazačenja, "jarak" ili slabe ili nikakve konvekcije, gdje se zrak uglavnom spušta, koji predstavlja granicu ciklona. Dalje od te granice (udaljenosti > 6° z.š.) proteže se tipična konvekcijska naoblaka znakovita za tropsku uvjeto nestabilnu atmosferu, slika 25.3.

Pojte relativne vlažnosti zraka pokazuje ekstremno visoke vrijednosti u središnjem jezgri izvan ciklonskog oka (preko 90%) i visoke vrijednosti u glavnom konvekcijskom

području (0.5 - 4° z.š.). U tom području, uz najjače vjetrove, nalazi se glavna oblaknog sustava, javljaju se najobilnije oborine, koje ovise o brzini dizanja, uspravnom temperaturnom gradijentu, količini vlage, brzini premještanja ciklona, podlozi, reljefu, udaljenosti od središta ciklona i drugo. Vlažni zrak, koji je uvučen u ciklon iz okolice, glavni je izvor oborina, a visokom postotku vlažnosti doprinosi isparavanje mora unutar samog ciklona. Srednje vrijednosti oborina u krugu do 2° z.š. iznose oko 10 cm/dan. Oborine su gotovo ravnomjerno raspoređene u svim područjima - kvadrantima, ipak su nešto izraženije u stražnjem desnom kvadrantu (sjeverna polutka). Ekstremne količine oborina izmjerene u ciklonima velikih vodoravnih razmjera iznose su više od 100 cm/dan.



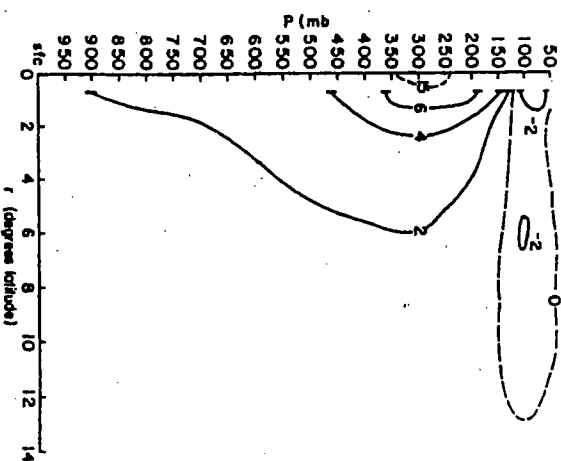
Slika 25.3. Shematski uspravni presjek kroz ciklon (Frank, 1977)

U ciklonu ne postoje značajnija dnevna kolebanja središnjeg tlaka, najvećeg vjetra, njegove tangente i polunjerne komponente. Međutim, postoje kolebanja temperature i količine oborina, koje su najveće u kasnim prijednevnim satima kao posljedica najjače konvekcije.

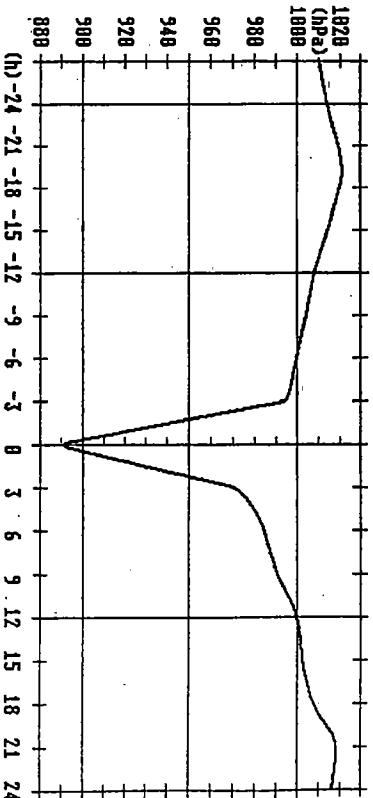
Glavna značajka razvijenog ciklona je njegova topla jezgra, već od njegovog najranijeg stadija. U odnosu na okolicu, to je pozitivno temperaturno odstupanje u središtu ciklona, koje je najizraženije u gornjoj troposferi, približno na razini 300 hPa, gdje često temperatura odstupanja prelaze 15 °C, zbog spuštanja zraka kroz ciklonsko oko i adijabatskog zagrijavanja, te djelomice toplim zrakom u ćelijama kumulonimbusa, slika 25.4. Tom osobinom ciklon se razlikuje od ostalih tropskih ciklonskih poremećaja (vinske, monsunске) i izvan-tropskih ciklona te ciklona koje su obično mješavine tropskih i frontalnih. U hidrostatičkom smislu, visinski temperaturni gradijent uzrokuje snažne gradijente prizemnog tlaka zraka oko središnje najniže vrijednosti, a ovi pak snažne vjetrove.

Baričko polje ciklona je kružno simetrično s jakim gradijentima tlaka zraka 20 do 40 hPa/100 km, najviše do 60 hPa/100 km, prema središnjoj najnižoj vrijednosti, koja doseže 980 do 920 hPa, čak do 877 hPa. Polunjerni gradijent tlaka najznačajniji je na morskoj razini u području najjačih vjetrova, smanjuje se do razine 300 do 250 hPa i nakon toga mijenja smjer u pojasu visinskog isjecanja. Tek na većim udaljenostima od sre-

dista polje tlaka ima eliptični oblik, pri čemu dužja os elipse odgovara približno smjeru gibanja ciklona. Tipični prolaz ciklona iznad nekog područja najsigurnije je zabilježen prepoznatljivim oštrim "klinom" na barografskom zapisu, slika 25.5. Pad tlaka je najpoznatiji pokazatelj postojanja ciklona.



Slika 25.4. Uspravni presjek kroz ciklon i temperaturna odstupanja (Frank, 1977)



Slika 25.5. Hod atmosferskog tlaka prije i poslije prolaza ciklona

Ciklon ima snažno ciklonsko kruženje (na sjevernoj polutki suprotno gibanju kazaljke na satu) koje se proteže uvis kroz gotovo čitavu troposferu i anticiklonsko kruženje u gornjoj troposferi, tj. strujanja zraka u ciklonu su dvoslojna. U nižoj i srednjoj troposferi postoji zblizavanje zraka i ciklonsko kruženje, od površine do otprilike 350 hPa, a iznad je razilaženje i anticiklonski tok. Ciklonski spiralni tok se proteže u unutarnjem prstenu polunijera do 2° z.š. gdje su uravnotežene centrifugalna i gradijenta sila. Zatim u gornjoj troposferi nastupa promjena zakrivljenosti putanje česti zraka s ciklonske na anticiklonsku, da bi na kraju unutar tog anticiklonskog toka česti napustila sustav ciklona.

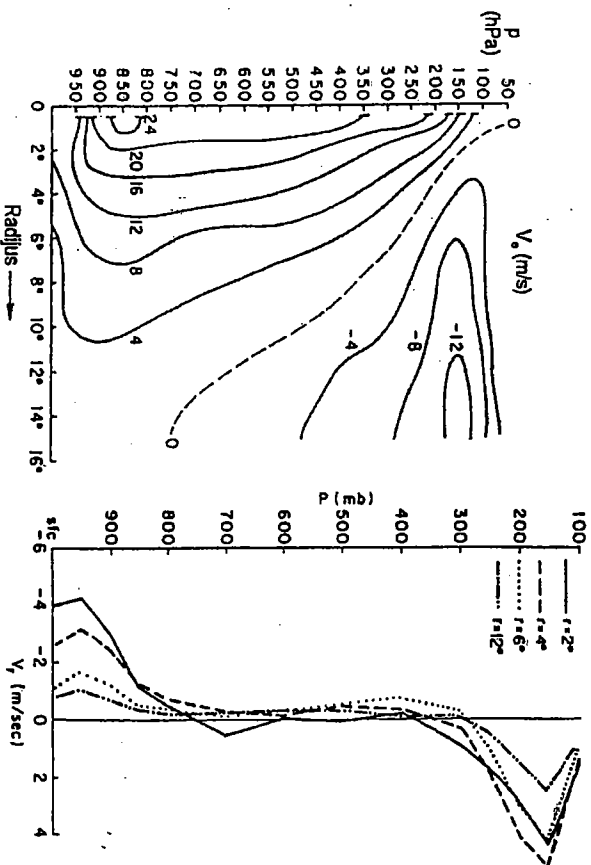
Najjače ciklonsko strujanje je u oblačnom zidu koji okružuje ciklonsko oko iznad graničnog sloja na razinama 900 do 850 hPa. Udaljavanjem od središta jakost ciklonskog strujanja slabi, a ujedno se smanjuje sloj u kojem je ono prisutno, mada se u vodoravnim raznjemima prošire preko 1000 km od središta. Suprotno ciklonskom toku, visinski anticiklonski tok jača povećanjem polunijera i zauzima sve deblji sloj troposfere (spušta se). Najveće veličine anticiklonskog toka nalaze se na razini 150 hPa i na velikim udaljenostima od središta (>10° z.š.), što je pokazatelj jakih gorjotroposferskih strujanja u okviru visinskog grebena povišenog tlaka. Zbog smanjivanja visine tropopauze prema polu niži je i anticiklonski maksimum. Ciklonski tok na sjevernoj polutki jači je na sjevernoj i istočnoj strani ciklona zbog zbrinjavanja gibanja čitavog sustava i strujanja unutar njega. Zato desna polovica ciklona na sjevernoj polutki (na južnoj lijeva) ima općenito jače vjetrove za 10 do 20%, također je razvijeniji i oblačni sustav uz oborine.

Kako su strujanja zraka u ciklonu vrtložna, obično se polje strujanja analizira tangentnom i polunjermom komponentom vjetra, uspravnim brzinama te divergencijom i relativnom vrtložnošću. Najjači prizemni vjetrovi zbog ograničenosti mjernih instrumenta nisu pouzdano izmjereni. Izmjrene brzine prelaze 260 km h<sup>-1</sup> (70 m s<sup>-1</sup>). Na temelju šteta koje su prouzročili neki cikloni pretpostavlja se da je brzina vjetra prelazila 400 km h<sup>-1</sup> (110 m s<sup>-1</sup>).

Polje tangentne komponente vjetra je jedna od najizrazitijih osobina ustrojstva ciklona, slika 25.6. Najveća brzina nalazi se na razini 900 do 850 hPa, gdje nestaje utjecaj površinskog trenja (vrh graničnog sloja). Smanjivanjem polunijera rastu tangentne brzine sve do vanjskog ruba oka. U unutarnjem prstenu širine 0 do 2° z.š., uslijed jakog prijenosa zakretnog momenta u visinu, ciklonski tok se proteže kroz skoro čitavu troposferu. Tangentno kruženje ovisi o središnjem tlaku i pokazuje da se ciklon može protezati na daljine usporedive s ciklonama umjerenih širina.

Polje polunjerne komponente vjetra pokazuje najveće prtlječanje prema središtu (negativne vrijednosti) na razini 950 hPa, i to na svim udaljenostima od središta, slika 25.6. Na polunjernoj udaljenosti od 2° z.š. postoji jače prtlječanje od površine do razine 800 hPa, a istjecanje u sloju 300 do 100 hPa.

Polje polunjerne komponente vjetra i polje divergencije pokazuju da je u ciklonu, osim u nižoj troposferi, prtlječanje zraka i u srednjoj troposferi, dok je istjecanje zraka samo u višjoj troposferi iznad 300 hPa. Srednji uspravni presjek polja divergencije (točka 1-9-1.) dobiva se iz srednjih polunjernih komponenti brzine vjetra. Znakovito je jako zblizavanje u prstenu polunijera 2 do 4° z.š. od morske razine do 300 hPa, dok na polunijerama do 2° z.š. postoji jako zblizavanje u nižim i jako razilaženje u višim slojevima troposfere. Na udaljenostima 4 do 6° z.š. od središta razilaženja su slaba i pokazatelj su spuštanja zraka kroz čitavu troposferu u vedrom "jarku".



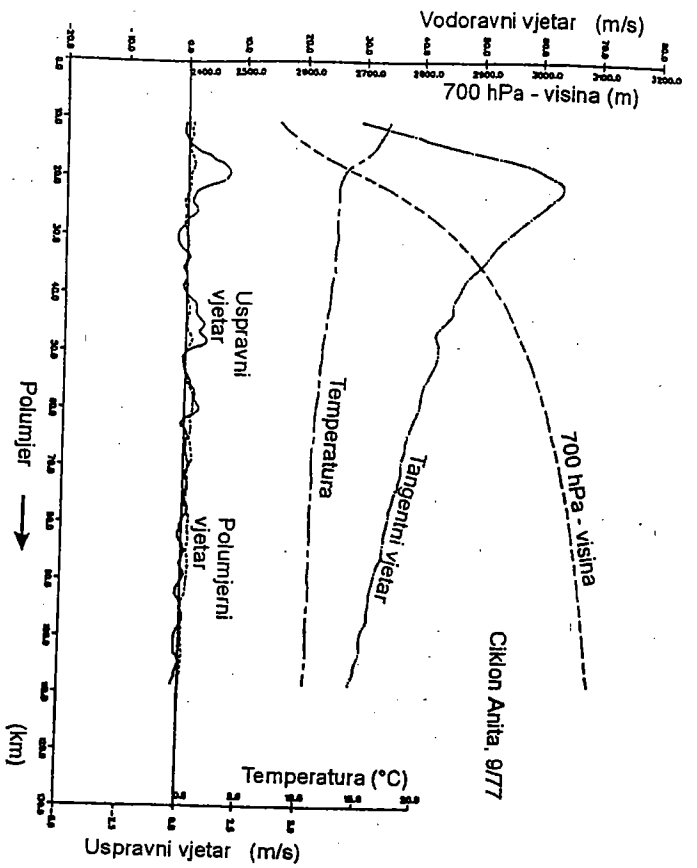
Slika 25.6. Uspravni presjek kroz ciklon, tangenta (lijevo), ciklonski smjer pozitivan, a anticiklonski negativan i polunjerna (desno) komponenta vjeta (Frank, 1977)

U točki 1-9-1. dana je mjera vrtnje fluida tj. vrtložnost, u pravokutnom sustavu. No može se prikazati i u polarnom sustavu, koji je često puta pogodniji za razmatranja. Polje relativne vrtložnosti (isključena vrtložnost zbog Zemljine vrtnje) sastoji se od člana zakrivljenosti i člana vodoravnog smicanja:

$$\zeta = \frac{v_g}{r} + \frac{\partial v_g}{\partial r} \quad 25(1)$$

gdje je  $\theta$  relativna vrtložnost,  $v_g$  tangenta brzine vjetra, a  $r$  udaljenost od središta. Član zakrivljenosti (prvi član) je pozitivan kad je tok ciklonalan. Član smicanja (drugi član) ima pozitivne vrijednosti od središta do polunijera najveće brzine vjetra, zatim je negativan, što znači da je čitavo polje pozitivne vrtložnosti izvan polunijera najveće vjetra posjeduje pozitivnog i po apsolutnoj vrijednosti većeg člana zakrivljenosti. Najveće vrijednosti relativne vrtložnosti su u području oblačnog zida i prelaze 20-10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>. Ciklonska (pozitivna) vrtložnost se smanjuje povećanjem polunijera, a smanjuje se i povećanjem visine, dok je suprotno u sloju istjecanja, gdje anticiklonska (negativna) vrtložnost na visini raste povećanjem polunijera, a zatim se smanjuje.

Kako se mijenjaju pojedine vrijedne temperature, vjetra i visine izobarne plohe 700 hPa s udaljavanjem od središta ciklona prikazuje slika 25.7.



Slika 25.7. Prosječni polunjermi profil parametara ciklona na razini 700 hPa (Willoughby, 1979)

Ciklon djeluje kao jednostavni toplinski stroj, s izvorom i odvodnom toplinom. Temperatura na morskoj razini izvan ciklonskog oka je stalna ili se vrlo malo smanjuje prema središtu. To znači da se čest zrak koja se giba iznad morske površine prema nižem tlaku mora širiti, ali ne i adijabatski hladiti, jer bi tada došlo do kondenzacije uz površinu, što nije slučaj, stoga je ta čest podvrgnuta izotermnom širenju uz povećanje relativne vlažnosti. Pri tome se topli ocean javlja kao izvor topline i vlage (latentne topline) i oba donjem sloju troposfere povećavaju ekvivalentnu potencijalnu temperaturu česti. Zbog zblizavanja u ne (100-300 m), a zatim mokradiabatskim širenjem česti. Pri tome se oslobađa latentna toplina kondenzacije u visokim kumulonimbusnim čeljinama (zv. vruci tonjevi), koji se protežu kroz čitavu troposferu. S visinom slabi gradijenta sila, prevladava centripetalna sila i zrak koji se diže je topliji od okolice i zajedno sa suhim i toplim okom tvori toplu jezgru ciklona. Potencijalna temperatura česti raste s visinom zbog gubitka vode u oborinama. Takav skoro suhi zrak bi se subadiabatskim spuštanjem, nakon isparavanja preostale manje količine vode, toliko zagrijao da bi nestala temperaturna razlika između središta i okolice i toplinski sustav bi stao. Zbog toga je za djelovanje ciklona važno da se odvede toplina iz struje istjecanja, što se i dešava miješanjem s okolnim hladnim

zrakom na visini. U najnižoj troposferi, uprkos snažnim gradijentima tlaka, nema vodoravnih temperaturnih gradijenata, što znači da postoji tok topline iz oceana u atmosferi koji se povećava prema središtu ciklona.

### 25.3. Postanak i razvoj ciklona

Ciklogeneza, tj. stvaranje ciklona, vrlo je složen i zasad nedovoljno poznat proces, mada su poznati mnogi čimbenici koji joj doprinose. Za rast ciklonskih sustava niži su uvijek određeni stanjem mora i atmosfere. To su površinska temperatura oceana (> 26-27 °C), slika 25.1, vrlo rasprostranjene tople oceanske površine i termičke energije oceana do dubine 60 m. Zatim, vrlo su važni početni predciklonski poremećaji i pogodni okolišni tok.

Tropski poremećaji, oblačne nakupine (*cloud cluster*: *Cluster*) čini uređena naoblaka (povezane čelije kumulonimbusa), koja putuje prema zapadu i pokrivena je debelim slojem cirusa. Vodoravna veličina im je približno 500 do 800 km, a živorni vijek između 1 i 3 dana. Dobro su uočljivi na satelitskim snimkama, pomoću kojih se prati njihovo gibanje i razvoj. Tropskih poremećaja u unutar-tropskom pojasu konvergencije (UTPK), u području pasata, u istočnim valovima, ili su u vezi s hladnom frontom iz srednjih zemljopisnih širina, godišnje ima nekoliko desetaka tisuća.

Postoje razni početni predciklonski poremećaji iz kojih nastaju cikloni. Cikloni najtunji zapadnog Sjevernog Tihog oceana najčešće nastaju ili od poremećaja koji prate položaj UTPK ili spuštanjem i jačanjem gornjotroposferske doline, dok su istočni valovi kao početni stadij ciklona vrlo rijetki. Cikloni - harikeni Sjevernog Atlantika najviše su posljedica jačanja istočnog vala s afričkoga kontinenta ili poremećaji u UTPK. Na zemljopisnim širinama 25 do 30° mogući su i mješoviti poremećaji, koji imaju osobine i barotropnog tipa razvoja (porast kinetičke energije poremećaja je na račun kinetičke energije osnovne struje) i baroklinog tipa srednjih širina (kinetička energija poremećaja povećava se koristeći se potencijalnom energijom osnovne struje).

Između tropskih poremećaja koji će se razviti u veći tropski sustav (depresija, oluja, ciklon), tj. predciklonskih poremećaja, i onih koji se neće dalje razvijati postoje sličnosti i razlike. Obje vrste poremećaja imaju toplu jezgru u gornjoj troposferi (250-300 hPa), koja je izraženija kod predciklonskih poremećaja, što znači veće temperaturne gradijente na visini, koji uzrokuju veće gradijente tlaka u nižim atmosferskim slojevima. Obje vrste poremećaja su jako slične po uspravnoj stabilnosti te sadržaju i odstupanju vlage. Najveće razlike su u pojsu strujanja, gdje je tangenčna komponenta vjetra značajno veća kod predciklonskih poremećaja.

Osim makrotlačnosti tropske atmosfere, gotovo uvijek i svugdje do razine oko 500 hPa, izraz 24(1), na razvoj početnog poremećaja utječu i dinamičke osobine okolnog toka. Predciklonski poremećaji, u odnosu na poremećaje koji se neće dalje razvijati, imaju jače polje tangenalnog vjetra, u donjoj troposferi imaju veće polje relativne vrtložnosti, a na visini imaju divergentni anticiklonski tok. Uspravno smicanje vjetra (USV) uzrokuje mješanje zraka poremećaja i okolne atmosfere, pri čemu se odvodi vlaga i toplina, te je za ciklogenezu važno što slabije polje USV (iznad središta nema USV). U blizini

središta poremećaja postoje jaki vodoravni gradijenti USV- i u širokoj okolini središta ( $\approx 10^\circ$  z.s.). Na temelju toga se dolazi do dnevnog ciklogenetskog potencijala (DGP):

$$DGP = G_{900 \text{ hPa}} - G_{900 \text{ hPa}} \quad 25(2)$$

kao mjere za dnevne predciklonske sustave, koji je u prosjeku trostruko veći od necklonskih sustava, a uvažava strujanja i vrtložnost na malim (900 hPa) i velikim (200 hPa) visinama.

Mogućnost pojave ciklona izražava se opisno preko sezonskog ciklogenetskog parametra SGP:

$$SGP = \left( \begin{array}{c} \text{član} \\ \text{vrtložnosti} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \int \\ \text{smicanja} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{član} \\ \text{energije} \\ \text{oceana} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{član} \\ \text{statičke} \\ \text{stabilnosti} \end{array} \right) \left( \begin{array}{c} \text{član} \\ \text{vlažnosti} \end{array} \right) \quad 25(3)$$



Termički uvjeti većinom su zadovoljeni u ciklogenetskoj sezoni, kad će nastupiti jačanje poremećaja zavisit će prvenstveno od dinamičkih uvjeta, tj. od povoljnog strujanja, te od konvergencije i pozitivne vrtložnosti u prizemlju i od divergentnog anticiklonskog toka u višjoj troposferi. Nakon što su jednom zadovoljeni klimatski parametri na širokom području, sve ostalo ovisi o promjenama u strujanju tropske atmosfere.

Promjene energije u tropskom sustavu sadržane su u zakonima sačuvanja topline i vlage i vlage te sačuvanja kinetičke energije. Prema zakonu sačuvanja topline golemu količina latentne topline dobivena kondenzacijom većinom se pretvara u potencijalnu energiju česti koja se diže unutar kumulonimbusa, i većim dijelom je odstranjena divergencijom, a manjim dijelom je uravnotežava hladnije zračenjem. U atmosferskim procesima toplina i vlaga su povezane veličine, a kako je veće isijecanje topline u visini nego prijecanje vlage u nižim slojevima troposfere, znači da je to uravnoteženo prijecnom topline i vlage iz oceana u atmosferu. Kad tog prijecnosa nema, tropski sustavi odumiru, što se dešava nailaskom nad kopno.

Isijecanje u višjoj troposferi, prema zakonu sačuvanja kinetičke energije, uravnotežava kinetička energija toka koji se odvija u smjeru polunijera ciklona i gubitak kinetičke energije zbog površinskog trenja u graničnom sloju, zatim turbulenta gibanja iznad graničnog sloja i konvekcija u oblacišima u području jakog USV (koja povećava kinetičku energiju okolnog toka ispod svoje podnice i u gornjim slojevima troposfere).

## 25.4. Slabljenje i raspad ciklona

Slabljenje i raspad ciklona uzrokovan je njegovim nailaskom nad hladnu morsknu struju kad se smanjuje tok topline i vlage iz oceana, ili nad kopno kad se prekida tok vlage, a veće površinsko trenje dodatno smanjuje brzinu strujanja te centrifugalnu silu i dovodi do popunjavanja jezgre.

Na stabilnost ciklona nepovoljno djeluje okolni tok s odlikama divergencije u donjoj troposferi ili s jakim vjetrovima u gornjoj troposferi, kad je povećano USV, što je najčešće u suprotropskom pojasu (razilaženje u donjoj troposferi) ili u umjerenim širinama (jako visinsko zapadno strujanje). Tada se uočava smanjivanje vodoravnog temperaturnog gradijenta između tople jezgre i hladnije okoline, kao posljedice prodiranja hladnijeg zraka okolice u tople središte ciklona (popunjavanje ciklona). To je praćeno povećanjem središnjeg tlaka i smanjivanjem vodoravnog gradijenta tlaka. Posljedica slabljenja gradijentne sile je smanjivanje ciklonskog kruženja na svim razinama, tj. odumiranje ciklona. Proces slabljenja i raspadanja ciklona dovodi do širenja područja djelovanja (1000-1500 km), a traje obično nekoliko dana.

Premještanjem ciklona prema višim zemljopisnim širinama raste vjerojatnost da se nade nad hladnijim morem ili nad kopnom ili u području nepovoljnog USV, što uzrokuje njegovo odumiranje. Ponekad ciklon ulaskom u više zemljopisne širine izgubi tropska obilježja (topla jezgra), kad se pretvara u ciklonu umjerenih širina, koja nastavlja gibanje u zapadnoj zonalnoj struji.

## 25.5. Gibanje i staze ciklona

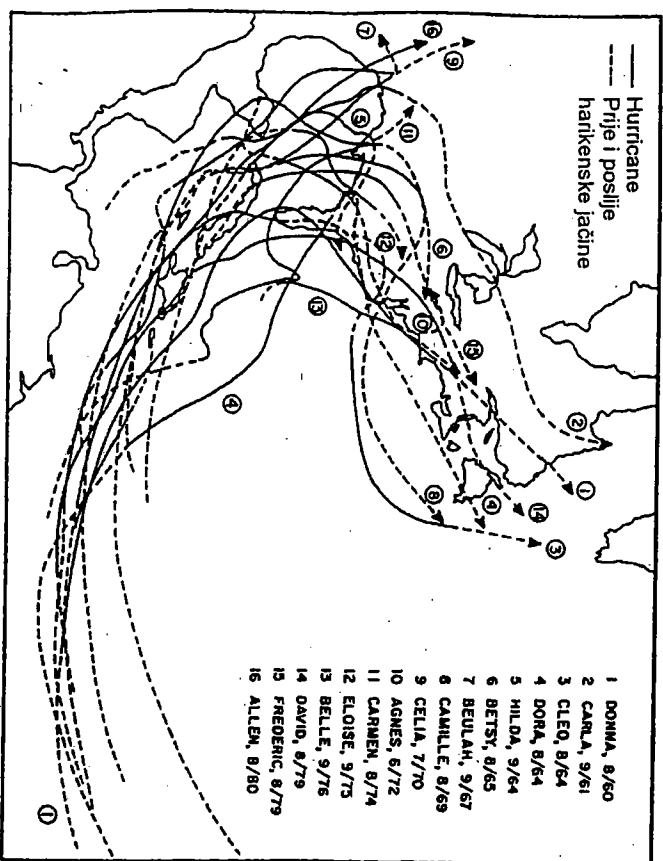
Iz područja nastajanja cikloni se općenito gibaju prema zapadu i zakreću prema polu, tj. prema umjerenim zemljopisnim širinama. Tako se na sjevernoj polutki gibaju od jugoistoka prema sjeverozapadu, a na južnoj od sjeveroistoka prema jugozapadu. Dolaskom u područja zemljopisnih širina oko 20° cikloni sve više zakreću (anticiklonalna putanja) i slabe, te im je smjer gibanja na sjevernoj polutki prema sjeveroistoku, a na južnoj prema jugoistoku, postupno slijedeći strujanja umjerenih širina. Gibanje ciklona u najvećoj mjeri određeno je okolnom atmosferom, tj. ciklonski vrtlog uklonjen je u okolnu struju - noseći tok (*steering flow*, *steuerride Strömung*), čija brzina približno određuje brzinu središta ciklona. Na srednjotropskim razinama 700 do 500 hPa brzine vjetera su u najboljoj vezi s brzinom središta ciklona, to su noseće razine (*steering level*, *steuernde Stromfläche*).

Najčešće se cikloni gibaju zapadnim rubom suprotropske anticiklone koja se u toplijem dijelu godine nalazi nad oceanima. Daleki prodori ciklona prema polu ovise o pogodnim atmosferskim uvjetima (noseći tok) i uvjetima oceana (topla površina). Ciklonski vrtlog može preći 50° N, dok se na južnoj polutki tako daleki prodori prema polu ne dešavaju.

Na sjevernoj polutki cikloni se gibaju 10 do 20° ulijevo od smjera srednjotropskog vjetera određenog na udaljenosti približno 6° z.s. od središta, dok suprotni ciklon smjera vrijeđi za južnu polutku. Brzina gibanja središta ciklona je u prosjeku veća za 1 m s<sup>-1</sup> od srednjotropskog vjetera. Srednji vjeter između donje (900 hPa) i gornje (200 hPa) troposfere dobar je pokazatelj gibanja ciklona, a za malo USV dovoljan je i srednjak iz pliteg sloja troposfere. Tako su približne brzine gibanja 5 do 10 m s<sup>-1</sup>, a najviše oko 25 m s<sup>-1</sup>. Pri zakretanju, brzine ciklona su najmanje. Cikloni su nešto sporiji od noseće struje ako se gibaju prema istoku, dok su nešto brži ako idu prema zapadu ili polu. Odstupanja gibanja ciklona od okolne atmosfere su u vezi s promjenom Coriolisova parametra sa zemljopisnom širinom -  $\beta$  učinak ( $\beta = g/\cos\varphi$ ) i površinskim trenjem. Uzrok odstapanja su i topografski uvjecaji, razlike u površinskoj temperaturi oceana i drugo.



Zbog gotovo istog usmjerenja obala i položaja suprotstarih anticiklona nad Atlantičkom i Tihim oceanom na sjevernoj polutki postoji velika sličnost u srednjem zemljopisnom položaju staza ciklona uz istočnu obalu Sjeverne Amerike i uz istočnu obalu Azije. Nadalje, cikloni Meksičkog zaljeva i Karipskog mora te cikloni sjevernog Indijskog oceana odlikuju se kratkim stazama koje često završavaju na kopnu, što je uvjetovano oblikom prirodnog područja po kojem se cikloni gibaju, uzrokujući velike ljudske žrtve i štete, slika 25.8.



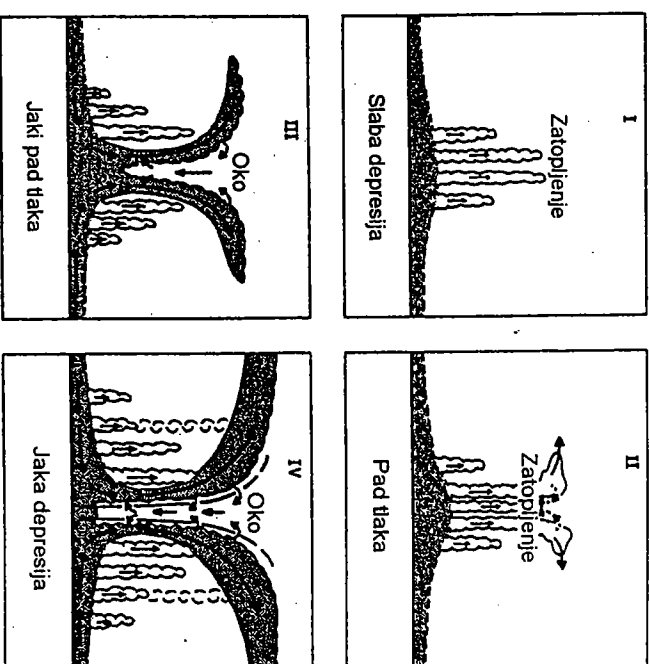
Slika 25.8. Staze ciklona u zapadnom Atlantičkom tijekom 1960-80. (NOAA, 1981)

Staze pojedinih ciklona međusobno se jako razlikuju, ponekad staze tvore i razne oblike petlji, što otežava prognozu gibanja, kao jedan od najvažnijih zadataka tropске meteorologije (primjena meteoroloških satelita). Pri prognoziranju staza i mjesta dodira ciklona s kopnom vrlo je važno poznavanje mjesnih zemljopisnih i klimatskih osobitosti određenog područja.

## 25.6. Životni ciklus ciklona

Kad nastupe odgovarajući uvjeti iz tropskog poremećaja se razvija ciklon, prolazeći određene stadije razvoja, koji čine životni ciklus ciklona: postanak, razvoj, zrelost, slab-

ljenje i raspad. Ovaj životni ciklus traje više dana do nekoliko tjedana. Razvoji ciklona prikazan je na slici 25.9.



Slika 25.9. Stadiji razvoja ciklona (Fortak, 1971)

Postanak ciklona vezan je obično uz ekvatorski rub pojasa tišina, koji odgovara zemljopisnim širinama  $5^\circ$ , gdje se počinje ujecaj Coriolisove sile, pa mogu nastupiti veća vrtložna strujanja. Ciklon nastaje na moru. Na Atlantičkom to su često zapadne obale Afrike. Nakon postanka ciklona koji traje pola do nekoliko dana nastupa daljnji razvoj ciklona, koji traje više dana, odvija se na sve većim širinama ( $5 \rightarrow 20^\circ$ ) kako se ciklon giba. Zbog ciklonskog kruženja tlak pada i ispod 1000 hPa, postoji širenje područja oblaka, oborina i vjetrova uz njihovo jačanje. U stadiju zrelosti ciklona, znači najveće jakosti procesa u ciklonu, područje konvektivskog oblaknog sustava, oborina i vjetrova se širi (300-400 km), kod jakih ciklona i 600 km, temperaturne razlike središta i okolice su najveće, tlak doseže najniže vrijednosti stoga su i građivani tlaka i brzine vjetrova najveće. Valovi na oceanu se razvijaju do najvećih vrijednosti. Postizanjem najvećeg razvoja, slijedi proces slabljenja i raspadanja ciklona, koji dovodi do daljnjeg širenja područja djelovanja (1000-1500 km), pri čemu jakosti svih procesa slabe. To traje obično nekoliko dana. Zbog slabljenja temperaturnih razlika, tlak u središtu ciklona raste, a vjeter slabi. Ciklon, koji se tada nalazi u širinama bliskim suprotstikom području, pomalo zakreće prema istoku i raspada se, ili prelazi u umjerenе širine. Ako ciklon

dosegne kopno, na obalama mora se stvara olujni uspor (*storm surge*; *Furrowelle*), koji obično donosi najveće poteškoće, razaranja i nesreće.

Osim djelovanja ciklona na ocean ili kopno iznad kojeg se giba moguće je i stvaranje manjeg vrtložnog sustava - pljavnice ili tomada, unutar samog ciklona (točka 23.6.), s izuzetno snažnim vrtložnim strujanjem, gdje je u stanju izazvati vjetrove orkanske jakosti i do 500 km od središta ciklona.

## 25.7. Područne razlike u klimi ciklona

Na Atlantskom oceanu područja pojave ciklona obuhvaćaju Sjeverni Atlantik (do umjerenih širina), Karipsko more i Meksički zaljev. To je najsirožnije ciklogenetsko područje zbog različitih vrsta predciklonskih poremećaja i zbog različitih uvjeta njihova jačanja. Područje ciklogeneze tijekom godine seli se u smjeru istok-zapad zbog pomicanja UTPK i područja povoljnog USV. Početkom sezone, u svibnju i početkom lipnja ciklogeneza je pretežito u zapadnom Karipskom moru i Meksičkom zaljevu. Tijekom ljeta ona se premješta prema istoku uz sve veću učestalost, i postiže najveće djelovanje između 20. kolovoza i 15. rujna u blizini Zelenoortskih otoka. Nakon toga se područje stvaranja ciklona, uz smanjenje učestalosti, premješta natrag prema zapadu.

Prosječan život ciklona u Atlantskom području iznosi 6 do 8 dana, premda koleba od 2 do 30 dana. Cikloni duljeg vijeka obično nastaju u istočnom Atlantiku (predciklonski poremećaji su na zapadnoj obali Afrike) putuju na zapad (do 70° zemljopisne duljine) i zakreću prema polu ispred američkog kontinenta te nastavljaju iznad oceana u smjeru sjeveroistoka. Prosječno se godišnje pojavi 4 ciklona olujne i 5 orkanske jačine, a godišnja učestalost koleba 50%.

Područje istočnog sjevernog Tihog oceana proteže se od zapadne obale SAD do 180° W. Prosječno se godišnje pojavi 8 tropskih oluja i 6 ciklona, a najučestalije su u mjesecu kolovozu. To je jedino područje u kojem cikloni ne dopiru do zapadnog zonalnog toka umjerenih širina. Razlog je prostrano područje jakog USV zapadno od 120° W, što uzrokuje raspad ciklona najčešće prije njegova skretanja, kao i niza površinska temperaturna oceana, slika 25.1. Poneki ciklon u ovom području nastaje jačanjem poremećaja koji potječe još iz zapadnog Karipskog mora.

Cikloni u zapadnom sjevernom Tihom oceanu snažniji su i brojniji (30) od ciklona u ostalim područjima. Ovdje se glavno područje ciklogeneze, za razliku od Atlantskog područja, premješta u smjeru sjever-jug tijekom sezone. Cikloni se javljaju u svim mjesecima u godini, a glavna sezona im je od početka svibnja do kraja studenog. Najčešće se javljaju u kolovozu, a najrijeđe u veljači. U prosjeku godišnje ima 9 tropskih oluja i 21 ciklon. Prosječan životni vijek ciklona iznosi 9 do 10 dana, a koleba od 1 do 30 dana. Većinom se cikloni stvaraju zapadno od 165° E, a područje najvećeg jačanja početnih poremećaja smješteno je između 130° E i 150° E, gdje je široki prostor najmanjeg USV.

Središnji sjeverni Tih ocean, za razliku od istočnog i zapadnog sjevernog Tihog oceana, nije povoljno ciklogenetsko područje zbog jakih USV.

Cikloni u sjevernom Indijskom oceanu su najčešći prije i poslije ljetnog monsunu, a glavno ciklogenetsko područje je između 5 i 10° N. U monsunskom razdoblju cikloni se rijetko javljaju u Bengalskom zaljevu. U Arapskom moru i južno od Bengalskog

zaljeva ciklogeneze nema zimi ni u srpnju i kolovozu, zbog jake istočne mlazne struje koja pojačava USV. Obilježje ciklona sjevernog Indika su kratke staze, koje najčešće završavaju na kontinentu s katastrofalnim posljedicama.

Južna polutka ima osjetno manje ciklona (22) nego sjeverna.

Ciklona nema na južnom Atlantiku iako je povoljna temperatura oceana. Uzrok je položaj UTPK sjeverno od ekvatora, slika 24.2. i nepovoljno USV.

U istočnom južnom Tihom oceanu (istočno od 140° W) nema ciklona zbog nižih površinskih temperatura oceana, slika 25.1, i zbog jakog USV između 20 i 30° S.

Najveća ciklogenetska aktivnost je od siječnja do ožujka, a najmanje ciklona nastaje između svibnja i studenog.

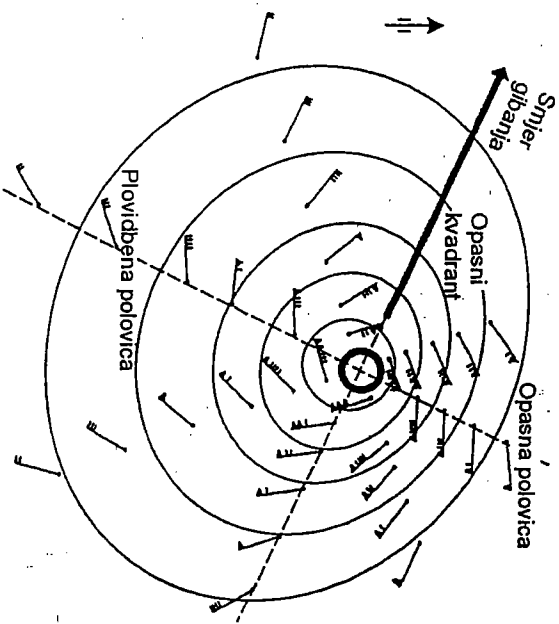
## 25.8. Popratne oceanske pojave

Pod utjecajem tropskih ciklona na oceanima i morima javljaju se razne oceanološke pojave, koje su bitne za plovidbu (točka 36.). U ovom slučaju bitne su pojave i procesi koji su nastali međudjelovanjem atmosfere i hidrosfere, tj. oceana i mora, kao: opasni vjetrovni valovi i olujni uspor, zatim izuzetno jake obronine, a drugi sporadni utjecaji (vjetrovne struje, morske mljene, seši i drugo) te učinke mogu dodatno pojačati. Tako nastaju različiti oblici gibanja morske vode (vodoravna, uspravna, valna gibanja) proizročena raznim uzrocima.

U ovom slučaju, od više vrsta morskih valova najvažniji su površinski vjetrovni valovi (*wind wave*, *sea*; *Windwelle*), koje uzrokuje jaki vjeter na morskoj površini potpuno smanjenjem atmosferskog tlaka. Zovu se i valovi živog mora. Ovi valovi imaju razmjerno male periode i valne duljine bitno manje od dubine mora (dubina > 200 m). Te valove odlikuje "rasap" - tj. valovi većih valnih duljina imaju veći period i veću brzinu premještanja (točka 36.3.). Za razvoj živog mora važna je brzina vjetera, njegovo trajanje i razgon (*fetch*; *Wirklänge*), tj. prostor nad kojim vjeter puše. Za najveće valove treba razgon preko 2000 km, uz višednevni vjeter od  $\approx 30$  m s<sup>-1</sup>. Brzina vjetera je razmjerna veličini vala, izraz 36(1). Odnos visina vala/duljina vala je 1/7, no u prirodi, zbog prelamanja valova, je oko 1/12. Brzina vjetera je veća od brzine valova, osim kad vjeter prestaje. Valovi mrtvog mora (*swell*; *Dünung*) nastaju po prestanku vjetera ili prije njegova nailaska ili na nekoj udaljenosti od mjesta puhanja. Ovi valovi imaju razmjerno velike periode i valne duljine više stotina metara (točka 36.3.), je kao posljedica procesa "rasapa valova" putuju u svim smjerovima oko središta nastajanja, u ovom slučaju od ciklona, brzinom 17 do 21 m s<sup>-1</sup> (1500-1800 km/dan) i prevažujuju velike udaljenosti ( $\approx 3500$  km). Napredujući brzinom nekoliko puta većom od brzine premještanja središta ciklona, valovi su jedan od prvih predznaka ciklona. Povećanje srednjeg perioda tropskih morskih valova, tj. smanjenje njihova broja (frekvencije) od uobičajenih 15 do 10 u minuti (period je 4-6 s), za to doba godine, na 5 do 2 u minuti (period 12-30 s), vrlo je uočljiv i znakovit predznak nadolazećeg ciklona.

Na sjevernoj polutki, u ciklonu su najveće brzine vjetera na njegovoj desnoj polovici, obično u desnom straznjem kvadrantu, slika 25.10, što upućuje da su i najveći valovi na desnoj polovici, koja se naziva opasna polovica (*dangerous semicircle*; -). Lijeva polovica, kao manje opasna, naziva se plovidbena polovica (*navigable semicircle*; -). Za

razvijak i gibanje vjetrovnih valova te mrtvog mora treba određeno vrijeme, dok istodobno ciklon napreduje. Zato su najveći valovi u prednjem desnom kvadrantu ciklona, jer putuju u smjeru napredovanja ciklona i imaju veću brzinu napredovanja u odnosu na ciklon, slika 25.11. Valovi mogu imati visinu i 20 m, zato je to opasni kvadrant (*dangers quadrant*; -). Straznji desni kvadrant, u odnosu na druge kvadrate, ima jače vjetrove, jer se duže razvijaju i imaju veći razgon, a pušu u smjeru gibanja ciklona. Tako su valovi na Atlantiku visine do 12 m, na Tihom oceanu oko 14 m. Vjetrovi u lijevom straznjem kvadrantu pušu suprotno gibanju ciklona te su zato slabiji, trajanje i razgon im je manje te daju manju visinu valova. Kad vjeter promijeni smjer i/ili brzinu stvaraju se novi valovi koji interferiraju sa starim valovima, tada visina valova znatno poraste te dođu 17 m na Atlantiku, odnosno 18 m na Tihom oceanu. Pogled na sliku 25.10. ukazuje na znatno odstupanje smjera vjetra od pružanja izobara. To znači da u tom području ne postoji geostrofička približnost, već postoji ageostrofičko odstupanje vjetra za 20 do 40°.

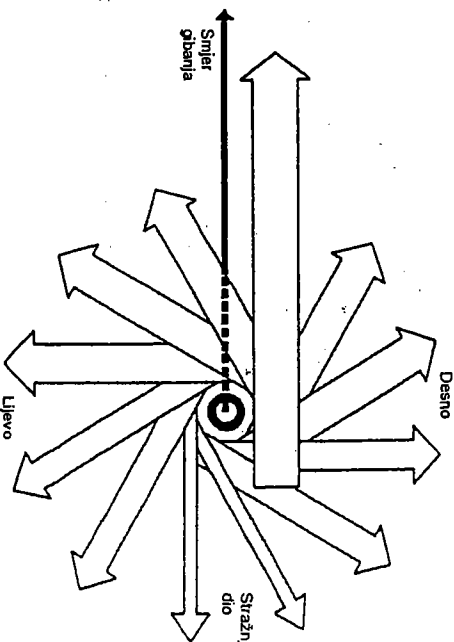


Slika 25.10. Prizemno polje vjetra u odnosu na smjer gibanja ciklona

Za južnu polutku vrijedi obrnuta slika vjetrova i valova.

To vrijedi za otvoreno i duboko more, pri čemu se približavanjem obalama više ili manje smanjuje dubina mora. Do obala najprije stižu najbrži valovi koji imaju velike periode i valne duljine, ali su u početku s manjom amplitudom. Brzina nailaska valova većih valnih duljina je velika (val s periodom 20 s ima brzinu oko  $30 \text{ m s}^{-1}$ ) te mogu podignuti uz obalu morskou razinu za 0.5 m u nekoliko minuta. Nailaskom vala približno okomito na strnu obalu on se odbija i s nadolazećim valom interferira te nastaju stojni valovi, ponekad pri izuzetno visokim bregovima voda dopire do visine 100 m. Pri pribli-

žno okomitom dolazu na plitku obalu (dubina  $\approx$  polovica valne duljine) nema odbijanja vala. Zbog plitčine i trenja brzina širenja valova se smanjuje, vrhovi valova se približavaju i sve više dolazi do dizanja morske razine i prelamanja vala.



Slika 25.11. Valovi u odnosu na smjer gibanja ciklona. Strelice pokazuju smjer gibanja, a štrna im je razmjerna visini valova.

Valovi ciklona su jedna od najrazornijih prirodnih pojava. Treba uzeti da  $1 \text{ m}^3$  vode ima težinu približno 1000 kg, te se pri lomn vala s brzinom oko  $25 \text{ m s}^{-1}$  stvara golemu rušilačku snagu. Mogu uništiti brodove i stotine kilometara obale, a pri tom ih prati jedinstven neugodan zvuk nalik na tutnjavu, koji se čuje daleko u unutrašnjosti kopna.

Olujni uspor (*storm surge*; *Flutwelle*) je podizanje (spuštanje) srednje morske razine (točka 36.4). Dok je ciklon daleko od obale dizanje morske razine je 1 do 1.5 m iznad srednje razine, no približavanjem središta ciklona obali poraste i preko 10 m. Olujni val je izraženiji kad središte ciklona nailazi okomito na obalu. Olujni uspor/val zahvaća stotine kilometara obale, a nastaje kao posljedica zbrojenih učinaka snažnih vjetrova na more, tj. gomilanjem vodene mase najtežane valovima na obalu i tek manjim dijelom djelovanjem niskog atmosferskog tlaka, te povoljnog oblika i topografije obalnog dna i obale.

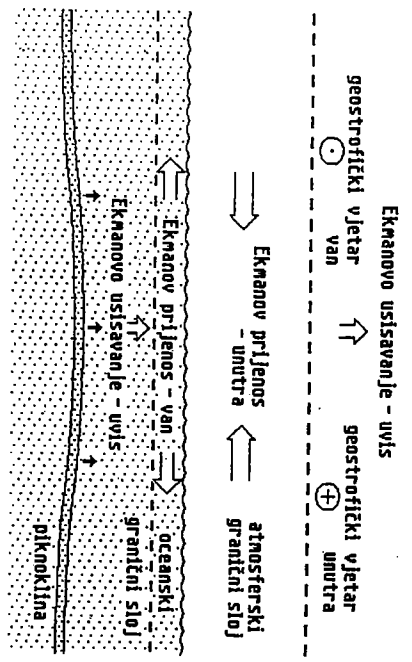
Medudjelovanjem atmosfere i oceana nastaju i druge oceanske pojave kao: vjetrovne struje, morske mjerne i seši, te izuzetno jake oborine.

Smanjenje atmosferskog tlaka za  $\approx 1 \text{ hPa}$  daje dizanje razine vode za oko 1 cm, što znači da u izuzetno jakim ciklonima može nastati dizanje vode za 0.5 do 1 m. Kako su uz ciklon izuzetno jake oborine (200-500 mm/12 h), one uz velike poplave na kopnu, uvjetuju i povišenje morske razine.

Morska vjetrovna struja (*drift current*; *Driftstromung*) nastaje djelovanjem postojanog i jačeg zračnog strujanja (pasati, monsun) (točka 36.2.). Npr. vjeter 8-10  $\text{m s}^{-1}$

daje struju  $\approx 15 \text{ cm s}^{-1}$ . Nadalje, ciklonalno strujanje vjetera daje prijenos (transport) vode uz razliženje (divergenciju) površinske vode i kao posljedicu spuštanje morske razine u središnju vrtloga. Zbog toga se manjak vode u središnju vrtloga nadomješta dizanjem pod-površinske vode (*upwelling*) u središtu, dok su učinci suprotni za anticiklonalni smjer vjetera.

Presjek kroz ciklonu iznad oceana pokazuje prilagodbu Ekmanovog prijenosa. Geostrofički vjetar daje, kako je prikazano na slici 25.12, ciklonsku vrtiju oko središta niskog tlaka. Dakle, Ekmanov prijenos u atmosferskom graničnom sloju je prema unutra, donoseći masu da "popuni" niski tlak, uz pridruženo uspravno usisavanje (*Ekman pumping*) uvis, koje uz vlažan zrak teži stvaranju oblaka. Ekmanov prijenos mase u oceanskom graničnom sloju je jednak i suprotan onom u atmosferi, te daje prijenos mase prema van i usisavanje uvis u oceanu. To teži da diže termoklinu (sloj velikog temperaturnog gradijenta u oceanu u dubinama nekoliko desetaka ili stotina metara ili i više) i stvara središte niskog tlaka u oceanu. Obrnuto je za anticiklonu.



Slika 25.12. Ekmanovo usisavanje u atmosferi i oceanu (Gill, 1982)

Morske mijene (morska doba) (*tides; Gezeiten*) uvjetuju znatna kolebanja morske razine i promjenljivosti morskih struja (točka 36.4.). Kolebanja su s poludnevnom i dnevnom periodima, odnosno prosjek trajanja je oko 12 h 25 min te kasne 50 min za položajem Mjeseca u mjesnom meridianu. Morske mijene uvjetuju visoku vodu - plimu (dizanje vode) i nisku vodu - oseku (spuštanje vode), te jača strujanja vode - plimne struje, a posredno i valove (*tidal wave; Gezeitenwelle*). Podudaraju li se periode mijena, u svezi s nalaskom plimnog vala, s nalaskom ciklona i olujnog uspora, na obalima mora, koje su ugrožene ciklonom, nastat će znatno veći problemi nego u slučaju postojanja niske vode.

Suš (šćiga, štiga) je kolebanje morske razine (ponekad i u obliku jake struje) u kanalima i zaljevima, koje nastaje pobudom iz atmosfere ili s otvorenog mora (točka 36.4.). Period ovisi o dimenzijama bazena. Opasnost nastaje interferencijom s drugim valovima.

Navedene pojave u sprezi s izravnim "ciklonskim valovima" (morski valovi i olujni uspor) dovode do pojačanja ciklonskih učinaka, stvarajući još veće valove. Ipak, kod povoljnog zbrajanja ovih učinaka (negativni predznak) dolazi do kratkotrajnih slabljenja ciklonskih valova.

Dopunska literatura

Berth, W., W. Keller i U. Schamow. 1979: *Wetterkunde*. VEB Verlag für Verkehrswe-sen, Berlin, 404.  
 Byers, H.R., 1974: *General Meteorology*. McGraw-Hill, inc, New York, 461.  
 Donn, W., 1975: *Meteorology*. McGraw-Hill, inc, New York, 518.  
 Frank, W.M., 1977: *The Structure and Energetics of the Tropical Cyclone*. Mon. Wea. Rev., 105, 1119-1135.  
 Gelo, B., 1998: *Grnjavanja i tuča u Splitsko-dalmatinskoj županiji*. Zbornik Kašćela koljevka Hrvatske, Matice Hrvatska Kašćela, Kašćel Star, 323-326.  
 Gill, E.A., 1982: *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press, inc., San Diego, 662.  
 Hgian, A.H., 1986: *Fizika atmosfere*. Hidrometeorizdat, Leningrad, 328.  
 Kotsch, W.J., 1977: *Weather for the Mariner*. Naval Institute press, Annapolis, 272.  
 Krishnamurti, T.N., 1979: *Compendium of Meteorology*, Tropical Meteorology (I & II class). WMO, 364, v. II, part 4, Geneva.

## b) Vrijeme u polarnim područjima

### 26. ZNAČAJKE METEOROLOŠKIH ELEMENATA, POJAVA I FRONTA

Idući od niskih prema višim zemljopisnim širinama poznato je da temperatura općenito opada kao posljedica smanjenja dolaska toplinske energije sa Sunca. To izravno utječe na vremenske prilike. Vremenske razlike između tropskih i umjerenih širina prema onim između umjerenih i polarnih područja su veće, tako da su osnovna obilježja vremena u polarnim područjima dosta slična umjerenom pojasu.

Između ekvatora i zemljopisnih širina oko 35° postoji veći priliv Sunčeve energije nego je gubitak, dok dalje prema polovima, Zemlja gubi više topline nego što je prima od Sunca (točka I-4.2.). Ova razlika se nadoknađuje viškom topline iz nižih širina, koja se premješta u više širine. Te temperature razlike između ekvatora i polova očituju se u sustavima kruženja zraka, tj. vrlo grubo rečeno u dizanju toplog zraka iznad ekvatora i spuštanju hladnog zraka iznad polova. No vrijeme u visokim širinama ima svoje osobitosti.

#### 26.1. Značajke osnovnih meteoroloških elemenata

U polarnim područjima u širem smislu riječi između zemljopisnih širina 66° 33' (povezano sa solsticijskim točkama) i 90°, koja se nadalje mogu podijeliti na subpolarna (60 - 75°) i polarna (75 - 90°) područja u užem smislu, temperature zraka, oceana i kopna tijesno su povezane s revolucijom i nagibom Zemlje, zbog postojanja polarnog dana (dnevno je Sunce skoro 24 h iznad horizonta za širine  $\geq 66^\circ 33'$ ) i noći (Sunce je skoro 24 h ispod horizonta) te pripadnog većeg odnosno manjeg priliva topline. Ovome treba dodati promjene trajanja sumraka (točka 2.3.). U ljeto doba dolazi do skraćivanja trajanja pa i nestajanja astronomskog, nautičkog i građanskog sumraka to više što se nalazimo na većim zemljopisnim širinama. Naravno, učinak polarnog dana (noći) je izraženiji što smo bliže polu. Tijekom dugih zimskih noći (polarna noć) temperatura ima niske vrijednosti. Na sjevernoj polutki to počinje od listopada, a na južnoj od travnja. Temperatura zraka na Arktiku je ispod 0 °C, kad počinju uvjeti stvaranja leda, te je tipična zimska temperatura od -30 do -40 °C. Antarktičke temperature su niže nego na Arktiku. Temperature na obalama ljeti dostižu 0 °C, u zimi -30 °C. U unutrašnjosti nisu iznad -10 °C, a zimske temperature su često ispod -60 °C. Iznad prostiranja kopna pokrivenog snijegom ili ledom temperature zraka su osjetno niže i približavaju se najnižim vrijednostima na Zemlji (točka I-5.6.). Slično vrijedi za zaleđena mora. Iznad otvorenog, ali ne smrznutog mora temperature zraka obično nisu niže od -9 °C. Najniža temperatura na otvorenom moru, barem 30 km daleko od obale ili prostranog leda, bila je -12 °C. U ljeto doba (polarni dan) temperatura se znatno povisi te dolazi do otapanja snijega i leda. Tako je morska razina sjevernih mora u jesen viša za 3 cm od one u proljeće.

Niske temperature u visokim širinama uvjetuju malu vlažnost zraka, čak i kad postoje znatni izvori vodene pare. Razlog tomu je što hladan zrak ne može primiti veću količinu vodene pare (točke I-7.2. i I-7.3.), jer dolazi do prezasićenja zraka, stvaranja kapljica i/ili ledenih kristalica te neposrijedku oborina (većinom snijeg). Zbog tog siromaštva zraka s vodenom parom oborine u polarnim područjima nisu velike, količinski su višestruko manje nego u umjerenim, a pogotovo u niskim širinama.

U polarnim područjima uz niske temperature postoji visoki atmosferski tlak. Protježe se do visina 2 do 3 km, a iznad je polarni vrtlog niskog tlaka, koji je sve izraženiji s porastom visine. Na sjevernoj polutki gleda razdioba kopna i mora vrijednosti i položaji prizemnog visokog tlaka tijekom godine znatno se mijenjaju. Polje tlaka zraka ne pokazuje veliku dinamičku stabilnost, te je često poremećeno s vrtlozima niskog tlaka, koji prodiru duboko u polarna područja. Općenito, na sjevernoj polutki na južnom rubu visokog tlaka postoji pad tlaka od sjevera prema jugu. Tada u zimskim mjesecima iznad kopna postoji jako izraženi visoki tlak (Sibir, Kanada), ali postoji i vrlo izraženi niski tlak iznad razmjerno toplog sjevernog Atlantika i sjevernog Tihog oceana, gdje su Islandski i Aleuski niski tlakovi (širine 55-65° N). U ljetu su depresije rjeđe i slabije. Južna polarna područja zbog istorodnosti podloge (stalni led i snijeg) imaju manje vremenske promjene od ljeta do zime, nema binih temperatura i baričkih promjena tijekom godine, te je visoki tlak znatno izraženiji i postojaniji. Područja niskog tlaka tada obrtljivo obale Antarktika.

Kako polarna područja u grubo imaju visoki tlak prema polu, a niži prema manjim širinama, to znači da polarni prizemni vjetar sadrži istočne komponente strujanja. Zbog Coriolisove sile i trenja s podlogom vjetrovi sjeverne polutke skreću na sjeveristočni, a južne na jugoistočni smjer. No, na visinama iznad 2 do 3 km, gdje je polarni vrtlog niskog tlaka, strujanje ima suprotni zapadni smjer, dok samo ljeti u stratosferi postoji istočno strujanje (točka 22.2.). U visini postoji spuštanje zraka uz malo oblakno vrijeme ili uz zatvorenu inverzijsku naoblaku. Polarni prizemni vjetrovi su promjenjivi po smjeru i brzini, uz tišine u anticyklonama. Postoje značajne razlike između polutki, jer je Arktik pretežno s ledom pokriven ocean, dok je Antarktik golema izdignuta ledena ploča debljine do oko 4,0-4,2 km, smještena središnje oko južnog pola. Veće promjene vjetra su uz depresije na Atlantskom i Tihom oceanu u arktičkim frontama. U ljetu su vjetrovi slabiji, jer su depresije na arktičkoj fronti rjeđe i slabije. Nad Antarktikom, zbog bolje izraženog visokog tlaka, su istočni vjetrovi stalniji i jači, nego na sjevernoj polutki na kojoj visoki tlak nije dobro istaknut. Južna polarna područja imaju općenito vjetrove s istočnom komponentom iznad mora koja granice s granicom Antarktičkog kopna. Depresije obrtljivo obale i daju česte promjene smjera vjetra. Spuštajući (katabatički) vjetrovi mjestimice su dosta značajni. Često su vrlo jaki iznad snijegom ili ledom pokrivenog tla koje leži blizu obale, kao Adelie Land (Antarktik) i istočni Grenland. Ta područja su među najvjetrovitijim mjestima na Zemlji, srednji godišnji vjetar dostiže do 20 m s<sup>-1</sup>, a često je 30 do 40 m s<sup>-1</sup>.

#### 26.2. Značajke meteoroloških pojava i fronta

Polarna tropopauza je razmjerno niska (6-8 km), rijetko prelazi na veće visine, stoga je glavina vremenskih procesa u razmjerno niskom tankom sloju u usporedbi s

drugim područjima. Uslijed niskih temperatura i malih količina vlage u zraku neki vremenski procesi izostaju. Tako na Antarktiku nema gmljavina pa ni zaledivanja prehladnih kapljica ili kiša. Slično je na Arktiku iako zbog djelovanja toplih morskih struja (Golsfska) može doći do pojava prehladnih oborina.

Već je naglašeno da u visini postoji spuštanje zraka koje donosi malo oblakno vrijeme ili je zatvorena inverzijska naoblaka. Općenito u ljetnim mjesecima nebo je gotovo prekriveno oblacima uz lošu vidljivost. Rubna područja prema i na otvorenom moru (osim Grenlandu, Norveškom, Barentsovom i Kara mora, te blizu obala Antarktike), zbog prodora toplijeg zraka iz nižih širina, ljeti imaju više niske naoblake (stratusa) i magle nego zimi, kad prevladava vedro vrijeme. Podnica oblaka je blizu tla, a poneki oblakni vrhovi dopiru do 6000 m. Oborine su uglavnom krute (snijeg). Vrlo jaka nevremena (uz olujne vjetrove) zimi su na zapadnoj strani dalekih sjevernih mora. U olujama (jesen, zima i proljeće) pada snijeg, a jaki vjeter ( $\geq 5 \text{ m s}^{-1}$ ) podiže snijeg s podloge stvarajući vrlo lošu vidljivost, čak samo nekoliko metara. Tipičnost Arktika je razvucenost niskih slojastih oblaka, te s ujednačenom okoličom dovodi do problema orijentacije u prostoru.

Vidljivost je dobra kad nema magle i oborina (snijega). Nad otvorenim morem, ledom i na obalama magla je rjeđa zimi, češća je u ljetnim mjesecima, kad od nižih širina iznad hladnog mora i ledenih površina struji topliji zrak (advекcijska magla). Trajanje magle može biti i danima ili može prijeći u niski stratus. U Barentsovom moru i uzduž sjevernih obala Rusije magla u lipnju, srpnju i kolovozu je oko 15 dana mjesečno (50% dana s maglom). U unutrašnjosti magla je ljeti rijetka pojava. Radijacijska magla je češća u unutrašnjosti (Alaska, Kanada i Sibir) u jesen i zimi, dok je iznad mora, leda i obala rjeđa pojava. Ledena magla je osobito Arktika i češće je iznad kopna i leda, plitka je uz dobru uspravnu vidljivost, dok je vodoravna vidljivost loša.

Arktički morski dim (engleski: *Arctic sea smoke*; njemački: *arktischer Seeranch*) nastaje uslijed jakog isparavanja mora (morski dim), kad je vjeter iznad mora hladniji barem  $14^\circ\text{C}$  od mora. Nastaje zimi iznad Arktika, istočnih obala sjeverne Amerike i Azije te povremeno u nižim širinama u području norveških i danskih obala. Rjeđe se javlja u ljetno doba. Često se javlja blizu ruba ledene mase, kad vrlo hladan vjeter puše od leda prema moru, pri čemu snježnu oluju može zamijeniti magla. Vidljivost raste slabljenjem vjetera, jer temperatura i vlažnost zraka brzo rastu i bitni uvjeti za tvorbu morskog dima postupno nestaju. Nakupljanjeinja i gustog prehladnog morskog dima može izazvati nepravilne.

U polarnim područjima stvaraju se odgovarajuće zračne mase, o kojima je već spomenuto u točki 17.2. Također u odgovarajućim uvjetima nastaju i arktičke (antarktike) fronte (točka 18.1.). Potrebno je istaknuti veliku važnost smrzavanja vodenih površina oceana, mora, jezera i rijeka, te stvaranja golemih snježno-ledenih gromada (ledenjaka) na kopnu, koji nakon izjavnog vremena dospjevaju u more, te kao kopnjeni led zajedno s morskim ledom stvaraju velike poteškoće u plovidbi ili je prekidaju (točka 36.5.). Općenito gruba granica pojasa gdje nema plovidbe više mjeseci je u širinama većim od  $72^\circ\text{N}$  odnosno  $58^\circ\text{S}$ .

### Dopunska literatura

- Berth, W., W. Keller i U. Scharnow, 1979: *Wetterkunde*. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 404.
- Burgess, C.R., 1972: *Meteorology for seamen*. Brown, Son & Ferguson, Glasgow, 249.
- Donn, W., 1975: *Meteorology*. McGraw-Hill, inc, New York, 518.
- England, J. i H. Ulfbricht, 1980: *Flugmeteorologie*. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 420.
- HMSO, 1994: *Handbook of Aviation Meteorology*. HMSO, London, 401.
- Houghton, D.D., 1985: *Handbook of Applied Meteorology*. John Wiley & Sons, New York, 1461.

## 27. KLIMATOLOŠKI PREGLED

### 27.1. Osnovno o klimatskim podjelama

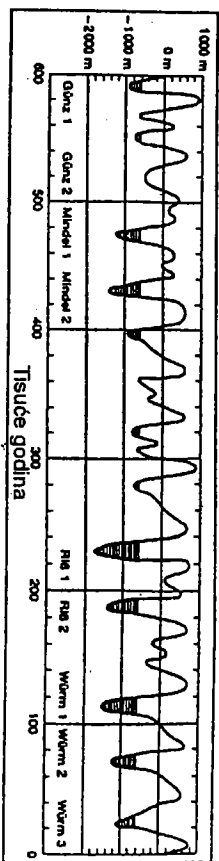
Fizičko stanje atmosfere, u nekom vremenskom trenutku nad nekim mjestom, određeno je količinski meteorološkim elementima čiji skup predstavlja vrijeme, dok klimatologija proučava srednje fizičko stanje atmosfere s njezinim statističkim promjenama u prostoru i vremenu, kao odraz ponašanja vremena u više godišnjem razdoblju. U novije vrijeme uz statističke metode primjenjuju se i dinamičke metode.

Sva dosadašnja razmatranja vremenskih procesa odnosila su se na neki trenutak vremena, doba dana ili godine, za neko više ili manje određeno područje. Ako ta razmatranja proširimo na cijelu Zemljinu kuglu uoči ćemo da na nekim njenim područjima postoji veća, a na drugim manja stalnost vremena. Različiti klimatološki pristupi se primjenjuju za različita mjesta kod prikaza dnevnog ili godišnjeg hoda nekog elementa, odnosno kod prikaza prostorne razdiobe pojedinog elementa. U ovim razmatranjima uvažavaju su mnogi klimatski faktori kao: podnevena visina Sunca (zemljopisna širina i deklinacija Sunca), udaljenost od mora (kopnena i morska klima), reljef (utjecaj oblika Zemljine površine), nadmorska visina (visina podloge odnosno visina u slobodnoj atmosferi), vrsta podloge (voda, zemlja, šuma, snijeg i silka) i drugo.

Mnoštvo i raznolikost klimatskih podataka ukazuje potrebu njihovog sređivanja. Traži se ujednačenost vremenskih prilika na nekom području. Prijelazi između pojedinih klimatskih područja su postupni, tek ponegdje su granice izražene (planine). Pojavljuju se i različite tijekom vremena (nakon više desetaka godina). Osnovna načela podjele klimatskih značajki ovise o namjeni klimatskih podataka. Postoji podjela na kopnene i morske klime, uvažava se dinamička podjela klime, zatim vodna bilanca i bioklimatske značajke klime. Ipak, najznačajnija podjela je prema Köppenu (uz njene brojne dopune) koja uvažava više elemenata (temperatura zraka i oborine).

Sustavna meteorološka motrenja u pravilu nisu starija od 200 godina iako je bilo pojedinačnih motrenja i znatno prije. Postoje razni zapisi o vremenu za više stoljeća unazad koji mogu dati samo grube obavijesti kakvo je bilo vrijeme, ali bez nekih stručnih analiza. Kakvo je bilo vrijeme pred više tisuća godina dao je Milanković na temelju tri periodička gibanja Zemlje. Period promjene izduženosti ekliptike je oko 96 000 godina, njene nagutosti  $\approx 41\ 000$ , a kolebanja Zemljine osi  $\approx 23\ 000$  godina. Sve to uvjetuje promjene Sunčeva zračenja na Zemlji te klimatske promjene. Prikaz kolebanja sniježne granice ukazuje na topla i hladna razdoblja u proteklom razdoblju, slika 27.1. Geološka istraživanja, analize taloga s dna oceana te numeričko modeliranje potvrđuju klimatske promjene.

Kad se govori o sadašnjosti klime obično se za razmatranja meteoroloških elemenata uzima niz od 30 godina. Naravno, postoje i razna odstupanja od navedenog razdoblja. Tako se može proučavati da li su i kakve su opće vremenske promjene danas u odnosu na vrijeme s početka ovog stoljeća ili još ranije. Stoga se i govori o trendu klime, npr. dolazi do zatopljivanja ili nastupaju suha razdoblja. Iz ovog proizlazi i pitanje kakvo nas vrijeme očekuje ili kakva će biti klima u 21. stoljeću. Pokušaji odgovora sadržani su u klimatskim modelima.



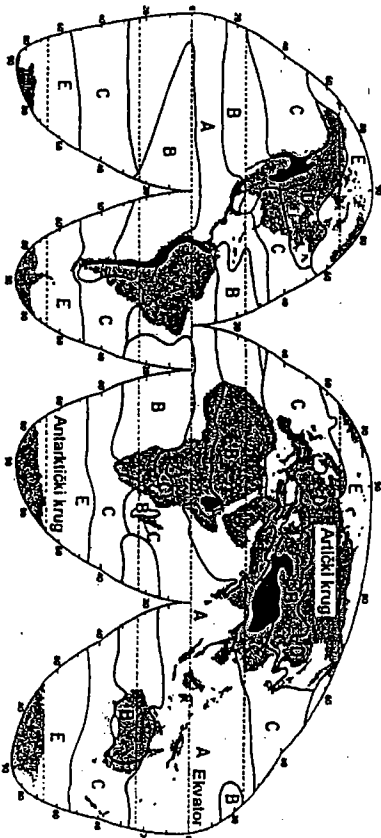
Slika 27.1. Kolebanja sniježne granice na Zemlji u zadnjih 600 000 godina prema krivulji zračenja na 59°N

### 27.2. Köppenova klimatska podjela

Pokazalo se da svi meteorološki elementi nisu prikladni za određivanje tipa klime. Npr. tlak zraka je vrlo loš klimatski pokazatelj, jer izravno ne pokazuje kakva je klima, tek uz poznavanje niza drugih elemenata može poslužiti pri dobivanju odgovarajućeg odgovora. Temperatura zraka i količine oborina su među najboljim pokazateljima o kakvoj se klimi radi, pa se i najviše rabe. I Köppen je primjenio navedene elemente dopunjujući ih s općim stanjem u prirodi (raslinje).

Označi li se najniža srednja mjesečna temperatura  $t_{\min}$ , najviša  $t_{\max}$ , dok je  $t_{\text{god}}$  srednja godišnja, a  $t$  srednja mjesečna temperatura, zatim najsušiji mjesec je  $R_{\min}$ , najvlažniji  $R_{\max}$ , a  $R$  je srednja godišnja oborina (cm), klima se može odrediti na nekoliko razina od kojih svaka razina ima nekoliko skupova, prikazanih u tablici 27.1.

Neki od Köppenovih tipova klime imaju i posebna imena koja obično pokazuju kakvo je raslinje rasprostranjeno u dotičnoj klimi. Cs je tipična klima sredozemnih obala sa suhim ljetom gdje raste zimzeleno grmlje i drveće (makija). Topliji oblik te klime, Csa je klima masline, a nešto hladniji oblik, Csb je klima primorskog vrjesa. U klimi Cfa



Slika 27.2. Köppenova klimatska podjela, prva oznaka; planinska područja su crna

Tablica 27.1. Köppenova podjela klime

Oznaka	Uvjeti
<b>Prva razina</b>	
A	Tropska kišna klima: $f_{min} > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nema zimske sezone. Godišnja oborina je velika i nadmašuje godišnje isparavanje. Raste drveće.
C	Umjereno topla kišna klima: $18\text{ }^{\circ}\text{C} > f_{min} > -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $f_{max} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ima ljetu i zimu. Raste drveće.
D	Snižno - šumska klima: $18\text{ }^{\circ}\text{C} > f_{min} < -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $f_{max} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Izolema $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ podudara se približno s polarnom granicom rasta šuma.
E	Ledena klima: $f_{max} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nema pravo ljetu. Nema drveća (smrznuo tlo).
B	Suha klima: Moguće isparavanje nadmašuje prosječne godišnje oborine. Nema vodenog viška; zato nema stalnog strujanja nastalog u B klimatskom području. Nema drveća (nema vlage).
BS	70% oborine zimi $70\%$ oborine ljeti $f < R < 2I$ $(I+14) < R < 2(I+14)$ ni zima ni ljetu $(I+7) < R < 2(I+7)$
BW	Stepska polusuha klima, kiša oko 38 do 76 cm, godina, u niskim širinama. $R < I$ $R < (I+14)$ $R < (I+7)$ - pustinja
Napomena: $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ odgovara granici za tropsko bilje, $f_{min} < -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ je granica za trajni snježni pokrivač zimi	
<b>Druga razina</b>	
Oznaka	Uvjeti
Af	$R_{min} > 6\text{ cm}$ oborina. Vlažno i toplo. Prašuma.
Am	$R > 250 - 25$ (za $R_{min}$ ). Kišno-šumska klima uz kratku, suhu sezonu u monsunskom tipu oborinskog ciklusa.
Aw	$R < 250 - 25$ (za $R_{min}$ ). Suha zima. Savana.
Cs	suhu ljetu; $R_{min}$ u ljetu $< 1/3 R_{max}$ zime i $< 4\text{ cm}$
C/Dw	suha zima; $R_{min}$ u zimi $< 1/10 R_{max}$ ljeta
C/Df	vlažno, ako s i w nije primijenjeno. Nema suhog razdoblja.
<b>Treća razina</b>	
Oznaka	Uvjeti
Ai	$f_{max} - f_{min} < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Bh	$f_{god} > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Suho-vruće.
Bk	$f_{god} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $f_{max} > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Suho-hladno.
Bk'	$f_{god} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $f_{max} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$
C/Da	vruće ljetu; $f_{max} > 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
C/Db	toplo ljetu; $f_{max} < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; mjeseci $> 4$ ; $f > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
C/Dc	hladno kratko ljetu; $f_{max} < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; mjeseci $< 3$ ; $f > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
Dd	vrlo hladna zima; kao c; $f_{min} < -38\text{ }^{\circ}\text{C}$
EF	$f_{max} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vječni led.
ET	$0\text{ }^{\circ}\text{C} < f_{max} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tundra.

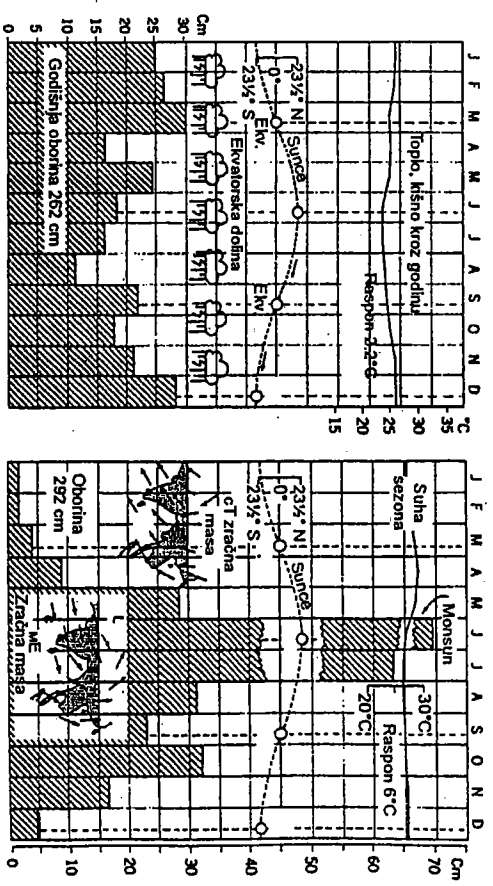
dobro uspijeva riža i pamuk (klima kamelije). Cfb prevladava u kopnenim dijelovima (bukva). Klima Dfa je snježna zima i dugo vruće ljetu (unutrašnost Sjeverne Amerike). Dfb je klima hrasta, a Dfc klima breze. Tako je npr. klimatsko obilježje za Osijek → Cfbwb, za Rijeku → Cfsak(x), za Split → Csa.

Osnovna podjela Zemljine površine prema klimatskim obilježjima prikazana je na slici 27.2.

Lako se može ustanoviti da promjena zemljopisne širine izravno utječe na promjenu klime, što pokazuju i klimatske podjele. Tako, u niskim širinama postoji općenito ekvatorska i tropska klima, zatim slijedi klima umjerenih širina, u visokim širinama je polarna i (ant)arktička klima, dok je posebno visinska ili planinska klima. Suglasno, npr. Köppenovoj razradi, svaka od ovih klima ima svoje daljnje obilježje. Prikaz ovih oblika klime pokazuje njihovo zemljopisno područje, Köppenovu oznaku, sažeti naziv klime te kratke značajke vremena, uz pojašnjenje s primjerima danih na slikama 27.3. do slika 27.24. (Strahler, 1965).

Ekvatorska i tropska klima		
Ime i područje	Köppenova oznaka	Opis
1. Mokro ekvatorska klima $10^{\circ}\text{N}-10^{\circ}\text{S}$ (Azija $10-20^{\circ}\text{N}$ )	Af	Prevladava ekvatorska dolina s toplim, vlažnim tropskim morskim (mT) i ekvatorskim (mE) zračnim masama (zm.) uvjetujući jake kiše u konvekcijskim olujama. Znakovita je jednoličnost temperatura tijekom godine.
Ime i područje	Köppenova oznaka	Opis
tropska kišno-šumska klima	Am	Prevladava ekvatorska dolina s toplim, vlažnim tropskim morskim (mT) i ekvatorskim (mE) zračnim masama (zm.) uvjetujući jake kiše u konvekcijskim olujama. Znakovita je jednoličnost temperatura tijekom godine.
tropska kišno-šumska klima monsunski tip	Am	Prevladava ekvatorska dolina s toplim, vlažnim tropskim morskim (mT) i ekvatorskim (mE) zračnim masama (zm.) uvjetujući jake kiše u konvekcijskim olujama. Znakovita je jednoličnost temperatura tijekom godine.

Slike 27.3. i 27.4.



Slika 27.3. Af - Iquitos, Peru ( $4^{\circ}\text{S}$ ,  $73^{\circ}\text{W}$ )  
(gornji dio rijeke Amazonije)

Oznake: Ekv - ekvator, Sol - solsticij

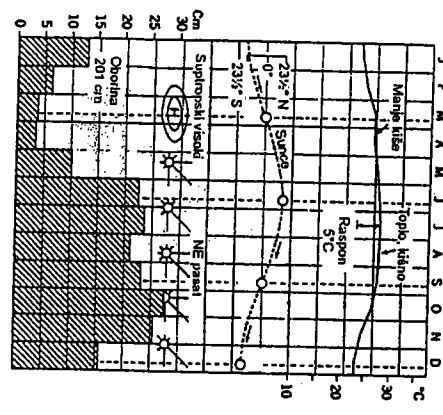
Slika 27.4. Am - Cochin, Indija ( $10^{\circ}\text{N}$ ,  $76^{\circ}\text{E}$ ),  
položaj mjesta označen s C



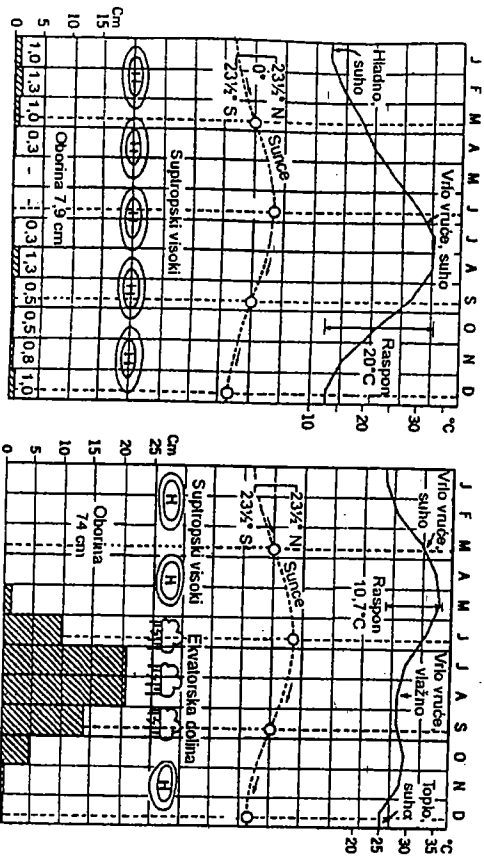
95

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
2. Pasatna klima 10-25° N i S	Afi Am	uključeno u klimu	Istočni valovi nose morske tropske z.m. (mT) od vlažnih zapadnih strana oceanskih čelija suprotorskog visokog tlaka u blizini istočno-obalnih područja jakih kiša i jednolikih visokih temperatura. Pljuskovi kiše imaju jaku sezonsku kolebljivost.

Slika 27.5.



Slika 27.5. Af/Am - Belize, Honduras (17° N, 88° W)



Slika 27.6. BWh - Yuma, SAD (33° N, 115° W)

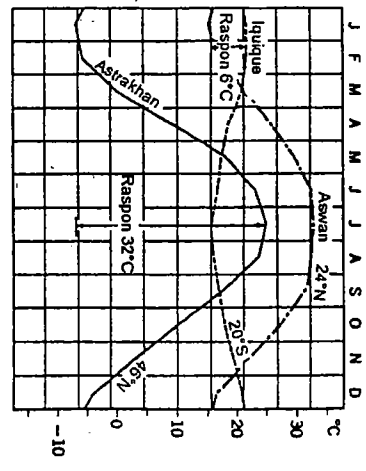
Slika 27.7. BSh - Kayes, Mali (14° N, 12° W)

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
3. Tropska pustinjska i stepska klima 15-35° N i S	BWh Bsh	pustinjska vrta klima stepska vrta klima	Izvorišta kopnenih tropskih z.m. (cTs) u čelijama visokog tlaka do velikih visina protežu se oko Sunčevih obrambena i daju suhu do polusuhu klimu s vrlo visokim najvišim temperaturama i umjerenim godišnjim hodom.

Slike 27.6. i 27.7.

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
4. Zapadno obalna pustinjska klima 15-30° N i S	BWk BWh	pustinjska svježna klima pustinjska vrta klima	Na granicama zapadnih obala oceanskih čelija suprotorskog visokog tlaka, spuštajuće morske tropske z.m. (mTs) su stabilne i suhe. Vrlo suha, razrijeđeno hladna, maglovita pustinjska klima prevladava u blizini obalnih pojasa. Temperaturni godišnji hod je mali.

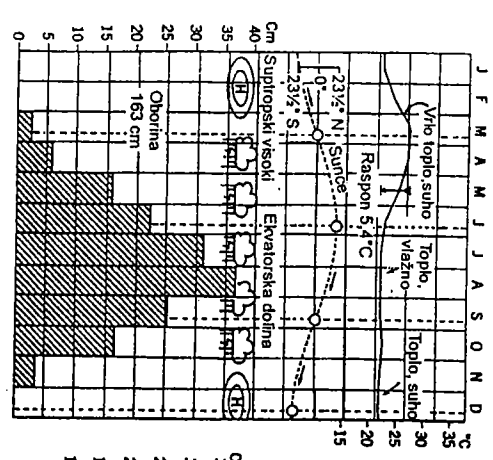
Slika 27.8.



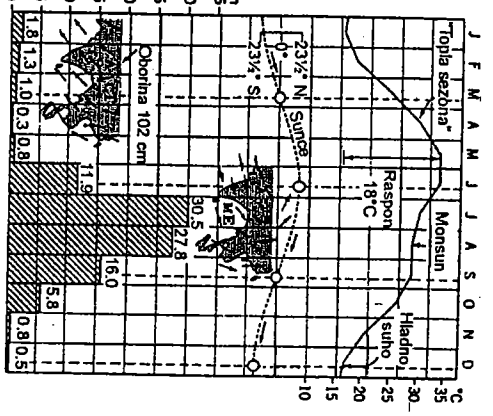
Slika 27.8. BWk - Iquique, Čile (20° S, 70° W), obala mora; BWh - Aswan, Egipat (24° N, 33° E); Astrakhan, Rusija (46° N, 48° E), unutrašnjost

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
5. Tropsko makro-suha klima 5-25° N i S	Aw Cwa	tropska kišna klima, također savana umjerenom kišna klima, suha zima, vruće ljeto	Sezonska izmjenjena vlažnih z.m. (mT ili mE) sa suhim z.m. (cT) daju klimu s vlažnom sezonom pri visokom Suncu i suhom sezonom pri niskom Suncu.

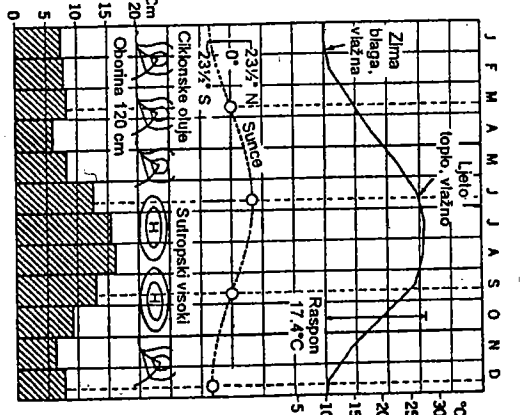
Slike 27.9. i 27.10.



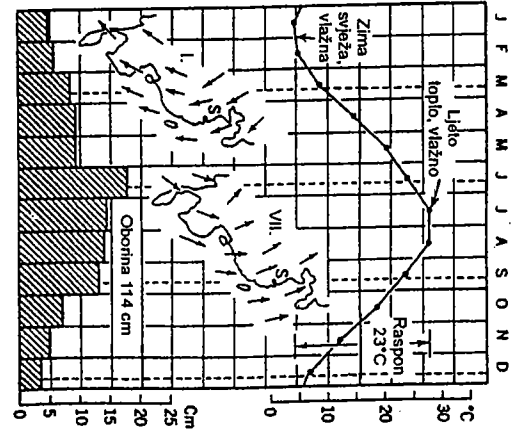
Slika 27.9. Aw - Timbo, Gvineja (11° N.)



Slika 27.10. Cwa - Allahabad, Indija (25° N, 82° E)



Slika 27.11. Cfa - Charleston, Južna Karolina, SAD (33° N, 80° W)



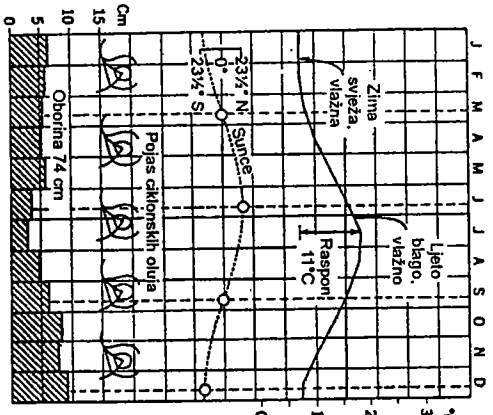
Slika 27.12. Cfa - Shanghai, Kina (31° N, 121° E) (ujecaj monsun)

Klima umjerenih širina		
Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime
Vlažna suprotropska klima 25-35° N i S	Cfa	umjereni kiša, vruće ljeto
		Suprotropski istočno kontinentalni rrtbovi pod utjecajem vlažnih morskih zm. (mT) koje dolaze sa zapadnih strana oceanских čelija visokog tlaka. Ljeto je toplo uz dosta pljuskova. Zime su hladne s učestalim prodorima kopnenih zm. (cP). Učestale ciklonske oluje.

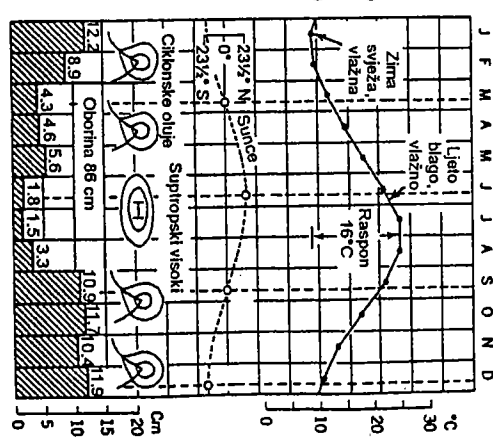
Slike 27.11. i 27.12.

Klima umjerenih širina		
Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime
Morska zapadno obalna klima 40-60° N i S	Cfb	umjereni kiša, toplo ljeto
	Cfc	umjereni kiša uz svježije kratko ljeto
		Privjetrina zapadnih obala umjerenih širina pod učestalim ciklonskim olujama s hladnim, vlažnim morskim polarnim zm. (mP). Donose jaku naoblaku uz dobro raspoređene oborine, najviše u zimi. Raspon godišnjih temperatura je mali.

Slika 27.13.



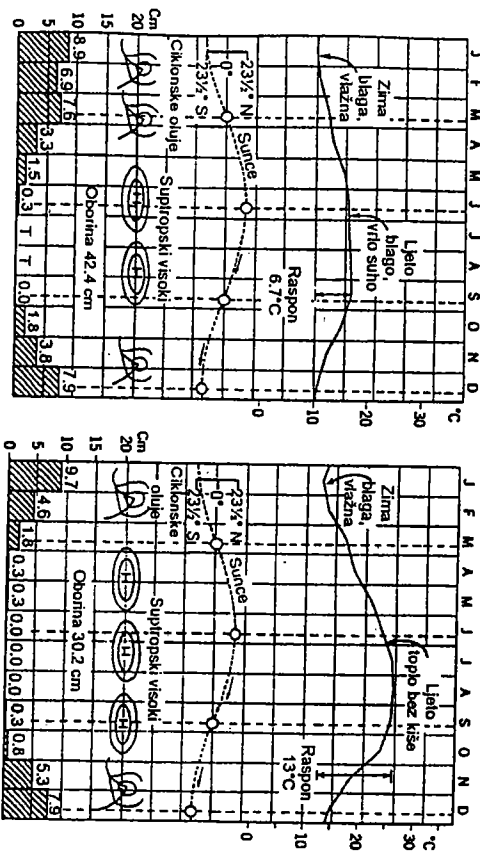
Slika 27.13. Cfb - Brest, Francuska (48° N, 4° W)



Slika 27.14. Csa - Napulj, Italija (41° N, 14° E)

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
8. Sredozemna klima (suho ljeto suprotropske klime)	Csb	umjerenata kiša, suho vruće ljeto umjerenata kiša, suho toplo ljeto	Vlažna zima, suho ljeto posljedica je sezonskih izmjena zbog uvjeta određenih klimom, i 7. mjesec z.m. prevladavaju u zimi s ciklonskim olujama i obilnim pjuškovima, mjesec z.m. prevladavaju ljeti s izrazitim susama. Umjereni godišnji hod temperatura.

Slike 27.14., 27.15. i 27.16.

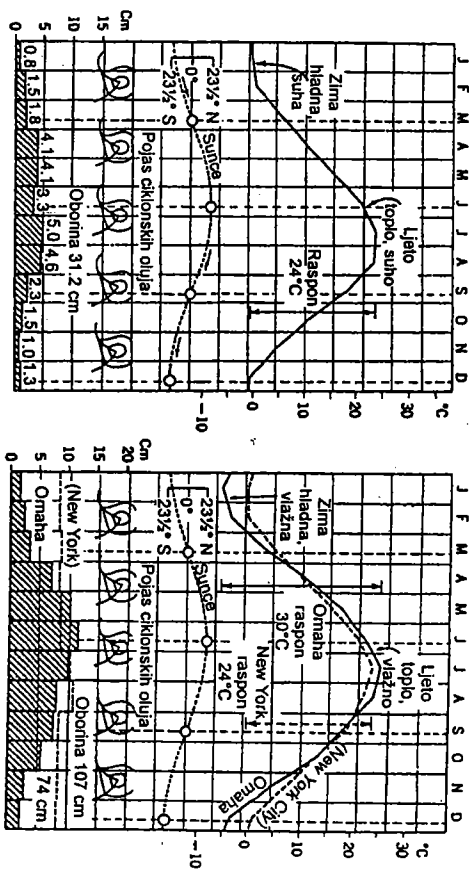


Slika 27.15. Csb - Monterey, Kalifornija (37°N, 122°W)

Slika 27.16. Cs - Benina, Libija (32°N, 20°E) (ujecaj Sahare)

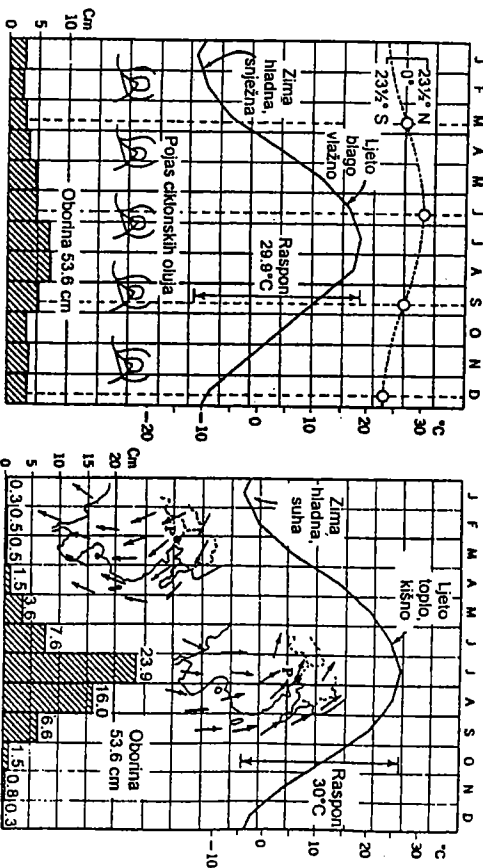
Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
9. Umjerenost pustinska i stepna klima 35-50° N i S	BWk, BSk, BSk	pustinska klima, svježa pustinska klima, hladna stepna klima, svježa stepna klima, hladna	Unutarnjost, područja pustinja i stepa umjerenih širina zatvorena s brdina od prodora morskih zračnih masa (mT ili mP), te prevladavaju kopnene tropske z.m. (cT) ljeti i kopnene polarne z.m. (pP) zimi. Veliki godišnji hod temperatura, vruće ljeto, hladna zima.

Slika 27.17.



Slika 27.17. BSk - Pueblo, Kolorado SAD (38°N, 105°W)

Slika 27.18. Dfb - New York (41°N, 74°W); Dfa - Omaha, Nebraska SAD (42°N, 96°W)



Slika 27.19. Dfb - Moskva, Rusija (56°N, 38°E)

Slika 27.20. Dwa - Peking, Kina (40°N, 116°E)

27

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
10. Vlazna kopnena klima 35-60° N	Dfa Dfb	hladna snježna šuma, vlažno kroz godinu, vruće ljeto hladna snježna šuma, vlažno kroz godinu, toplo ljeto	Smještena u središnjim i istočnim dijelovima kontinentalna umjerenih širina, ova klima je u polarnom frontalnom pojasu u strazu polarnih i tropskih z.m. Sezone suprotnosti su jake uz jako promjenljivo vrijeme. Obilne godišnje oborine su jače ljeti s prodorom morskih tropskih z.m. (mT). Hladna zima prevladava s kopnenim polarnim z.m. (cP) koje često prodiru sa sjevernih izvorišta.
	Dwa Dwb	šuma, suha zima, vruće ljeto hladna snježna šuma, suha zima, toplo ljeto	

Slike 27.18, 27.19. i 27.20.

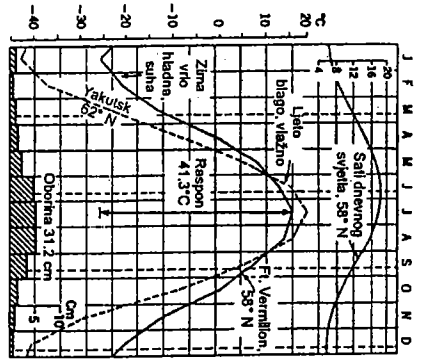
### Polarna, arktička i visinska klima

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
11. Kopnena suparktčka klima 50-70° N	Dfc Dfd Dwc Dwd	hladna snježna šuma, vlažno kroz godinu, svježije ljeto hladna snježna šuma, vrlo hladna zima hladna snježna šuma, suha zima, svježije ljeto hladna snježna šuma, suha zima, vrlo hladna zima	Klima leži u izvorštu kopnenih polarnih z.m. (cP), koje su zimi stabilne i vrlo hladne. Ljeto je kratko i hladno. Godišnji temperaturni raspon je golem. Ciklonske oluje, u koje je uvučen morski polarni zrak (mP) daju slabe oborine, ali isparavanje je jako i klimati je razmjerno vlažno.

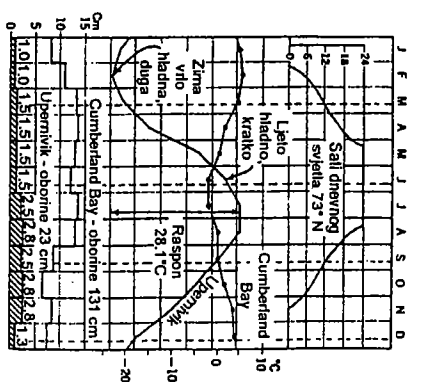
Slike 27.21.

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
12. Morska suparktčka klima 50-60° N 45-60° S	EM	polarna klima, tundra	Zimi smještena u arktičkom polarnom pojasu, na privjetrini obala i otoka suparktčkih širina prevladava sa prohladnim z.m. (mP). Oborina je razmjerno prostrana, a godišnji temperaturni raspon je mali.
13. Tundra klima 50-60° N 45-60° S	ET	polarna klima, tundra	Arktički obalni porub leži uzduž frontalnog pojasa u kojem polarne z.m. (mP, cP) zajedno djeluju s arktičkim z.m. (A) u ciklonskim olujama. Klima je vlažna i napose hladna bez tople sezone ili ljeta. Umjereni ujecaji oceanske vode štiti izrazite zimske žestine kao u klimatu II.

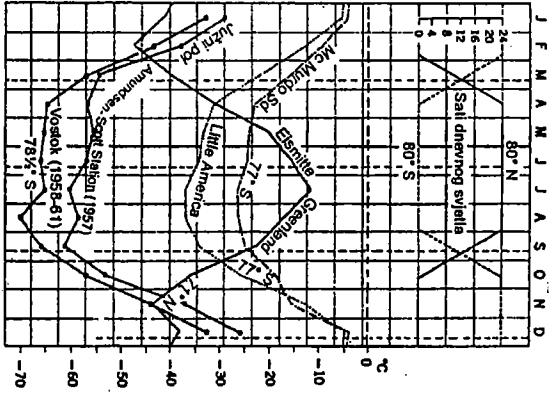
Slike 27.22.



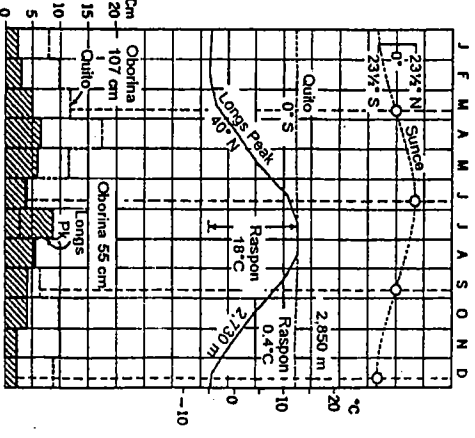
Slika 27.21. Dfc - Ft. Vermilion, Alberta SAD (58° N, 116° W); Dwd - Jakusk, Rusija (62° N, 130° E)



Slika 27.22. EM - Cumberland Bay, Južna Georgia (54° S, 37° W)  
ET - Upernavik, Greenland (73° N, 56° W)



Slika 27.23. EF - Eismite, Greenland (71° N, 41° W)  
EF - Little America, Antarktik (77° S, 163° W)  
EF - Mc Murdo Sd., Antarktik (78° S, 167° E)  
EF - Vostok, Antarktik (78° S, 107° E)  
EF - Južni pol, Amundsen-Scott, Antarktik (90° S)



Slika 27.24. H - Quito, Ekvador (0° S, 78° W)  
H - Longs Peak, Kolorado SAD (40° N, 106° W)

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
14. Ledena klima (Greenland, Antarktiki)	EF	polarna klima, stalno smrznuto tlo	Izvorišta arktičkih (A) i antarktičkih (AA) z.m. su nad velikim ledom pokrivenim koncentnim područjima koja imaju klimat s godišnjim temperaturnim prosjekom dosta ispod svih drugih klimata i nemaju mjesečni prosjek iznad smrzavanja. Visoke visine ledenih ploča pojačavaju hladnoću z.m.

Slike 27.23.

Ime i područje	Köppenova oznaka	Ime	Opis
15. Visoka planinska klima	H		Svjeta do hladna vlažna klima, obavlja visoka područja svjetskih planinskih masiva, smještena su uokolo, ali nisu uključena u razredeni sustav.

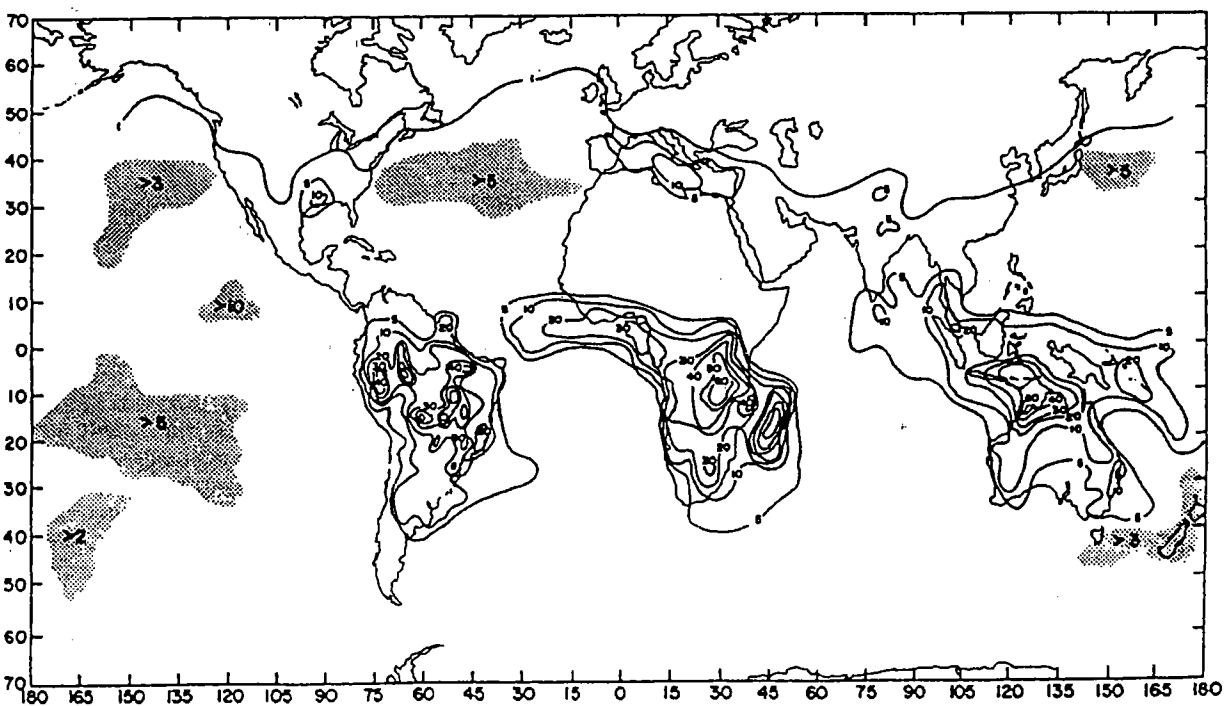
Slike 27.24.

Iz navedenog se uočava da na Zemljinoj površini postoji više znakovitih posebnosti vremena, koji prvenstveno ovise o zemljopisnoj širini, udaljenosti od obala oceana, nadmorskoj visini te pripadnih temperatura i količina oborina. Ovi temeljni klimatski režimi su: umjereni jednolični, ekvatorski, tropski moko-suhi, sredozemni, kopneni, polarni, pustinjaški i planinski.

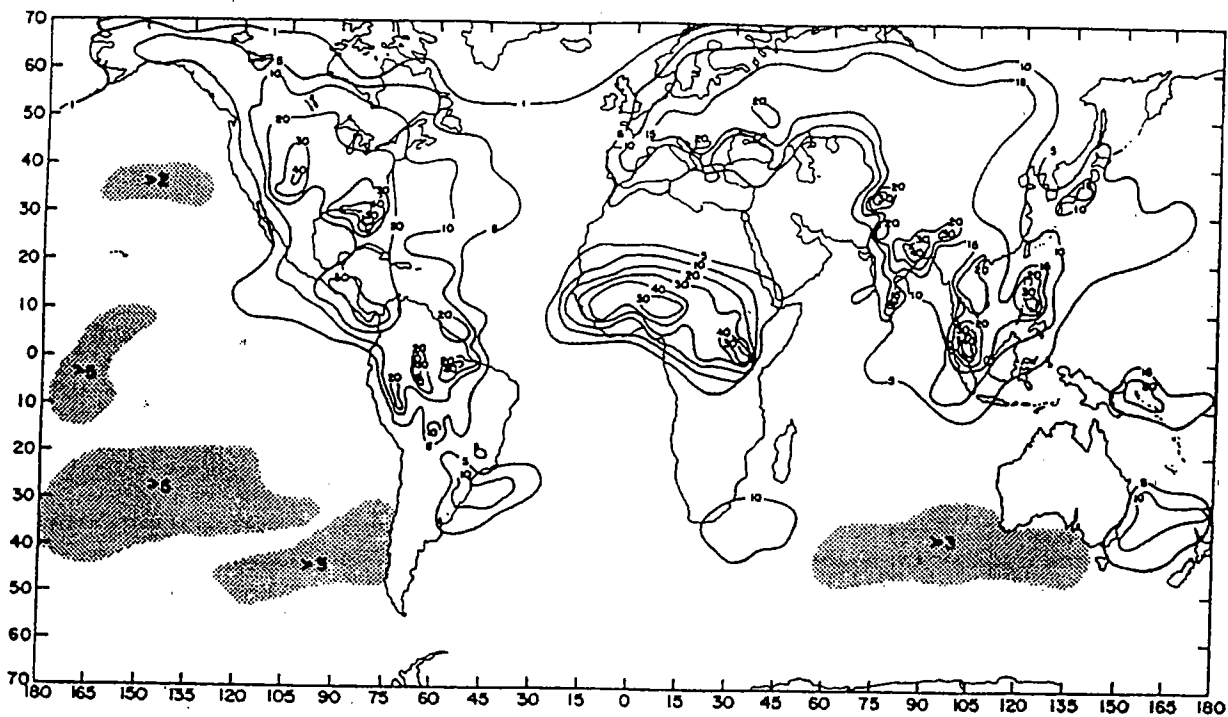
### 27.3. Razdioba vremenskih nepogoda na Zemlji

Prikaz razdioba određenih meteoroloških elemenata na Zemljinoj površini dan je u prethodnim točkama (temperatura, točka 1-5,6, tlak 1-6,6, vlaga 1-7,5, naoblaka 1-10,6, oborina 1-11,4, i magla 1-12,4), dok je razdioba vjetra na Zemljinoj površini dana u više točaka: pasati 24,2, i monsunu 24,4, a ostali glavni oblici strujanja su u točki 16. Ovi elementi kad nastupaju združeno s pojačanim učincima uvjetuju veće ili manje vremenske nepogode - oluje ili nepovoljne vremenske procese. Tipični primjer su grmljavine. Broj dana s pojavom grmljavine tijekom dijela godine, odnosno za cijelu godinu za određeno područje je pokazatelj učestalosti ovih procesa, slika 27.25. - 27.27.

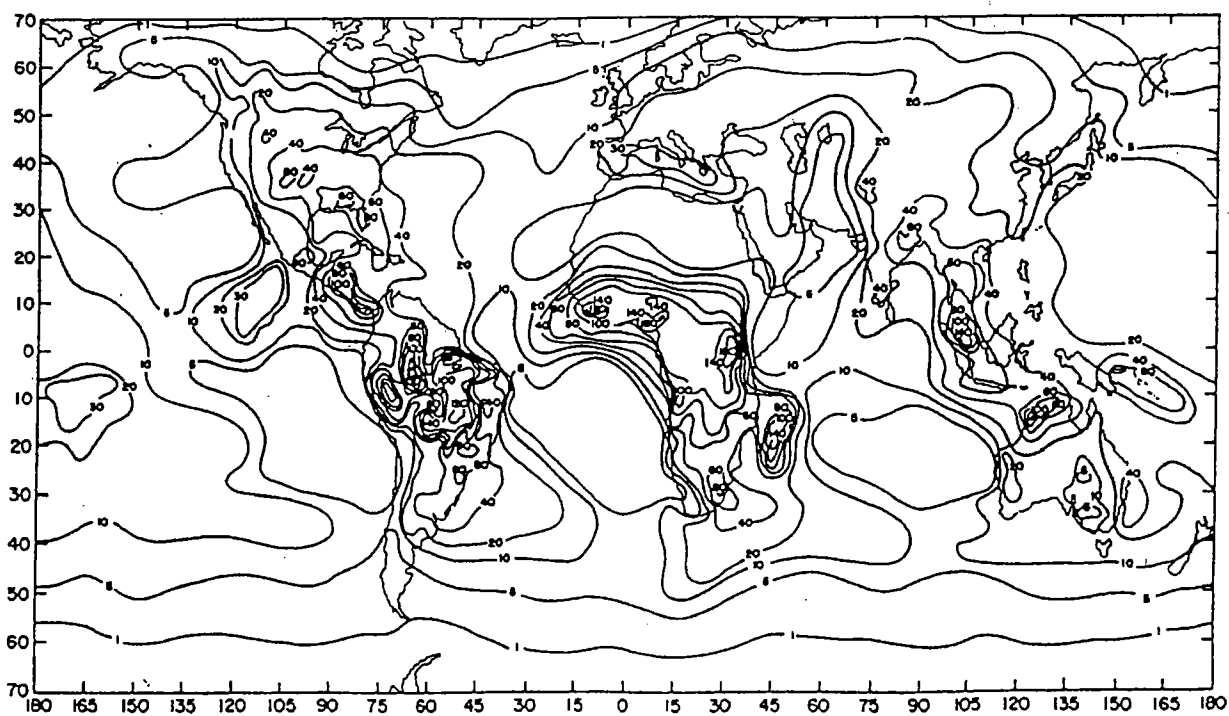
Vidljivo je da se izmjenom godišnjih doba mijenja zemljopisni položaj grmljavijskih procesa. Prostorna razdioba oluja je povezana s temperaturom zraka. U ljetnim mjesecima odgovarajuće poluke izraženije grmljavine su nad kopnom kad su veća zagrijavanja tla, dok se u zimskim mjesecima, premda slabije izražene, javljaju iznad oceana kao razmjerno toplije podloge. Očito je da tropski krajevi imaju učestaliju pojavu grmljavina (ponegdje do 200 dana) koja se smanjuje povećanjem zemljopisne širine te je na širinama 60 do 70° jedna grmljavina godišnje. Suprotropska područja nemaju mnogo grmljavina, iako postoje visoke temperature zraka, jer je za pojavu grmljavine potrebna i veća vlažnost zraka, slika 27.27. U Europi tijekom godine ima prosječno 20 do 30 dana s olujom (ponegdje i preko 50 dana), naravno manje ih je u višim širinama. U nas taj broj koleba uglavnom između 20 i 55 grmljavinskih dana, slika 23.16.



Slika 27.25. Broj dana s grmljavinom, prosinac - veljača (WMO, 1953)

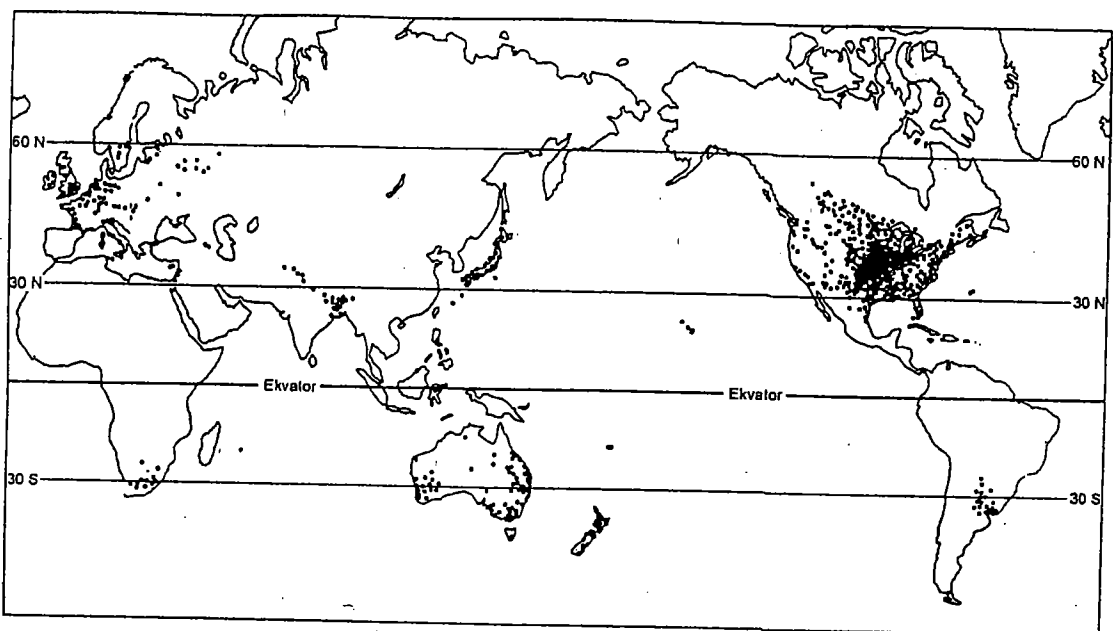


Slika 27.26. Broj dana s grmljavinom, lipanj – kolovoz (WMO, 1953)



Slika 27.27. Godišnji broj dana s grmljavinom (WMO, 1953)

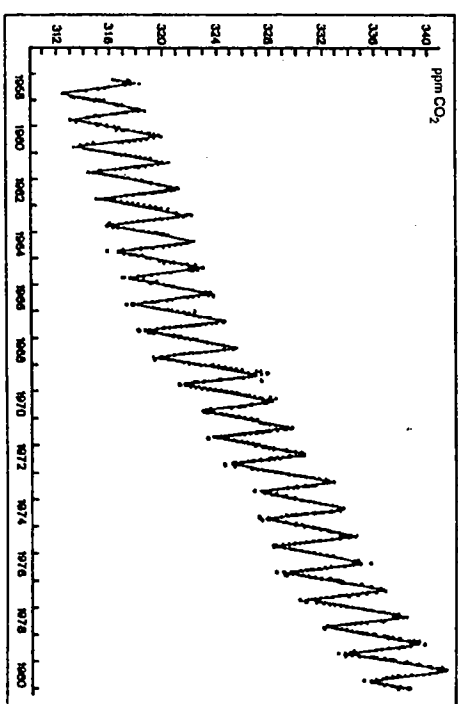
U okviru gromjavinskih procesa javljaju se i razorni tornadi, čija učestalost ne prati tipičnu prostornu razdiobu oluja. Razlog je postojanje drukčijih uvjeta nastanka tornada. Razdioba tornada na Zemlji prikazana je na slici 27.28. Posebno je uočljiva velika učestalost iznad SAD.



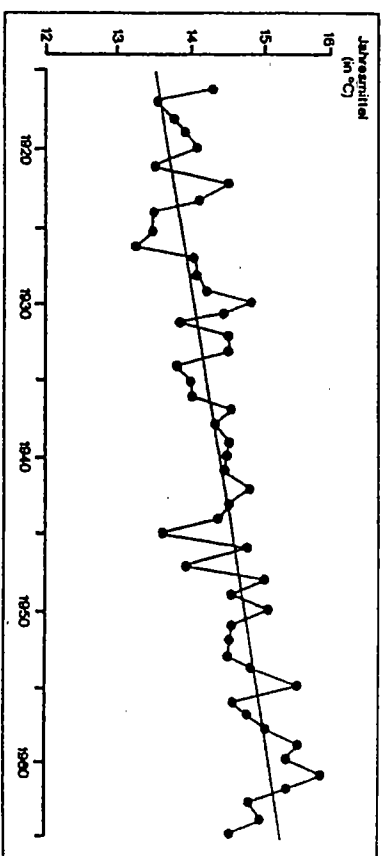
Slika 27.28. Broj dana s tornadom (1963-1966), 2600 slučajeva u SAD (Fujita, 1973)

## 27.4. Promjene klime

Promjena klime važna je u životu ljudi, a može se ustanoviti tijekom dugogodišnjih praćenja i motrenja vremena. Uzroci mogu biti različiti od prirodnih tokova raznih procesa do djelovanja čovjeka na vrijeme, pri čemu ovo djelovanje može biti namjerno ili nenamjerno. Tipičan primjer promjena vremena i klime je u gradskim i industrijskim sredinama gdje djelovanje čovjeka uvjetuje te promjene. Tako povećanje primjesa u zraku uvjetuje mnoge promjene klime i uvjeće na bioklimatska svojstva mjesta.



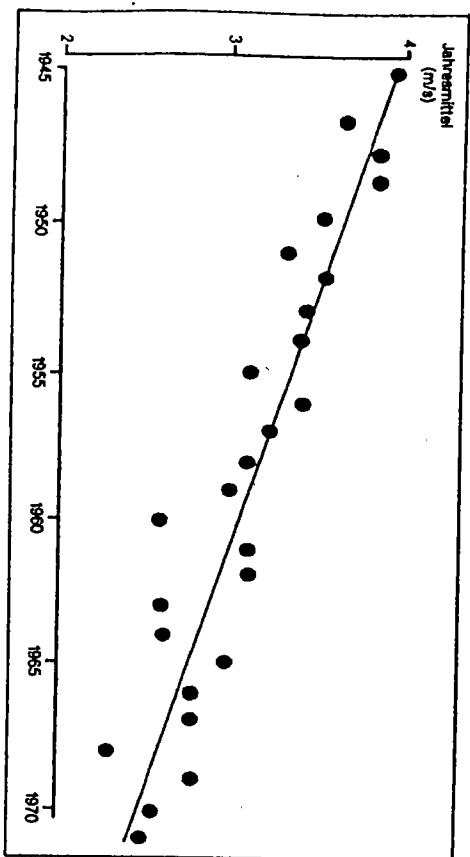
Slika 27.29. Promjene količina ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) u atmosferi (ppm) Mauna-Loa opservatorij, Havaji SAD (1958-1980) (Meyers, 1987)



Slika 27.30. Promjene srednjih godišnjih temperatura zraka ( $^{\circ}\text{C}$ ) kao uvjetaj gradske sredine, Tokio (1916-1965) (Meyers, 1987)

Ujecač čovjeka na svoji okoliš očituje se na razne načine. Povećanje vrsta i količina primjese u zraku je jedan od načina. Kakve su to promjene može poslužiti primjer povećanja količina ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) iznad Mauna-Loa opservatorija na Havajima, gdje se mjeri prirodni sastav i količina raznih primjese izvan izravno onečišćenih područja, slika 27.29. Podaci pokazuju prosječno povećanje količina  $\text{CO}_2$  za 1 ppm tijekom godine.

Promjene temperature zraka u gradskoj sredini dobro se uočavaju u Tokiju (1916-1965), gdje prosječna godišnja temperatura raste, slika 27.30. S druge strane, srednja brzina vjetra se smanjuje, što pokazuju podaci za Ganzewitschi ( Rusija), slika 27.31.



Slika 27.31. Promjene srednjih godišnjih brzina vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ ), kao ujecaj gradske sredine, Ganzewitschi, Rusija (1945-1971) (Meyers, 1987)

Primjer srednjih promjena gradske klime dan je u tablici 27.2. Tako gradska sredina postaje toplinski otok (područje povišenih temperatura) s povećanom mnošćom zraka, smanjuje se brzina vjetra i kruženje zraka, povećavaju se oborine i smanjuje ultrajubičasto zračenje.

Povećanje ugljičnog dioksida je posljedica sagorijevanja fosilnih goriva, paljenja pri kretanju velikih šumskih područja i oksidacije humusa kod pušenja tla, što postupno vodi zagrijavanju atmosfere i mogućim klimatskim promjenama. Osim domaćinstava i industrije velika onečišćenja uvjetuju sve grane prometa na razne načine, no pristupi rješavanju ovih problema nisu jedinstveni ni odgovarajući. Dosađajna modeliranja klimatskih procesa ukazuju na porast temperatura na polovima uz moguće topljenje polarnog leda i time porasta morske razine. Doduše postoje i drugi pristupi u modeliranju ovisno o usvojenim elementima u blizji ili daljjoj budućnosti. Promjene općeg kruženja i time razdiobe temperatura i oborina nisu isključene.

Tablica 27.2. Gradska klima: srednje promjene klimatskih elemenata uvjetovane ujecajem grada (prema: Landsbergu)

Element	Znakovita veličina	Promjena nasuprot neizgrađenih područja (+ povećanje, - smanjenje)
Primjese u zraku	kondenzacijske jezgre plinovita onečišćenja prašina	+ 10 do 100 puta + 5 do 25 puta + 10 do 50 puta
Oblici	naoblaka magla (zimi) magla (ljeti)	+ 5 do 10% + 100% + 20 do 30%
Oborine	količina (mm) dani s kišom $\geq 5$ mm padanje snijega	+ 5 do 10% (u zavjetrini) + 10% - 5 do -10%
Relativna vlažnost	zimi ljeti	-2% -8%
Zračenje	ukupno (vodoravno) ultraljubičasto (zimi) ultraljubičasto (ljeti) sijanje Sunca	-10 do -20% -30% -5% -5 do -15%
Temperatura	godišnji srednjak zimski minimum vrući dani studeni dani	+ 0.5 do 1.5 °C + 1 do 2 °C 10% + 10%
Brzina vjetra	godišnji srednjak tišine udari vjetra	-20 do -30% + 5 do 20% -10 do -20%

#### Dopunska literatura

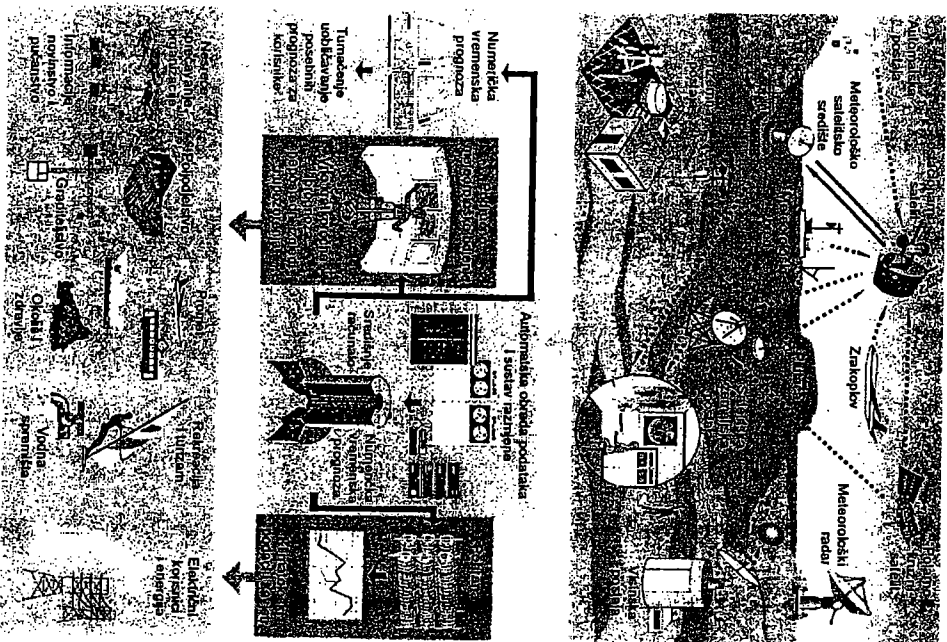
- Fujita, I. T., 1973: *Tornadoes Around the World*. Weatherwise, 27, 56-62.  
 Penzar, B. i B. Makjanić, 1978: *Uvod u opću klimatologiju*. Sveučilište u Zagrebu, PMF, Zagreb, 206.  
 Strahler, A. N., 1965: *Introduction to Physical Geography*. John Wiley & Sons, New York, 3



## 28. TEMELJI VREMENSKE ANALIZE I PROGNOZE

### 28.1. Prikupljanje meteoroloških podataka

Osnovne smjernice rada u vremenskoj analizi i prognozi naznačene su u točki 15. Sinoptička meteorologija (za potrebe vremenske analize i prognoze) prikuplja podatke



Slika 28.1. Osnove vrste meteoroloških postaja, sustava za razmjenu i obradu meteoroloških motrenja, informacija, analiza i prognoza (VMO, 1994 a)

štom velikih područja i prikazuje ih u obliku brojeva i simbola na zemljopisnoj karti kao sliku vremena na spomenutom području. Nadalje, na temelju prikupljenih i obradenih podataka primjenjujući zakone dinamičke meteorologije, klimatologije i drugih područja meteorologije dobiva se vremenska analiza za određeni termin ili prognoza za kraće ili duže razdoblje.

Štom svjeta nad kopnom i morem u okviru svjetskog meteorološkog bdjenja tj. svjetskog praćenja vremena (engleski: *World Weather Watch* - WW; njemacki: *Welt Wetter Watch*) uspostavljene su brojne meteorološke postaje (*weather station*; *Beobachtungsstation*), gdje se obavljaju odgovarajuća meteorološka motrenja (*observation*; *Wetterbeobachtung*), tj. meteorološka mjerenja i meteorološka opažanja. Postoji više vrsta postaja, a osnovne su **prizemne i visinske meteorološke postaje** (radiosondazne postaje). Program rada nije isti za sve postaje, što ovisi o namjeni podataka (točka 29.1.).

Svako motrenje obavlja se u određenim vremenskim terminima (*standard observation time*; *Termin*), po svjetskom vremenu, obično u 00, 03, 06, ... 21 UTC, osim klimatoških postaja koja imaju motrenja po mjesnom (lokalnom) vremenu obično u 07, 14 i 21 LT.

Naravno, prethodna motrenja se dopunjavaju i mjerenjima pomoću meteoroloških radara te geostacionarnih i polarnokružnih satelita koji daju razne podatke (temperatüre, vlažnosti, oblaci, strujanja i drugo) (točka 30.). Po obavljenom motrenju postaje šalju svoja izvješća o motrenju u šifriranom obliku sabirnim središtima telefonom, radiopostajom, teleprinterom, računalom ili drugim sredstvima, slika 28.1. Sabirna središta (ima ih više razina) proslijeđuju izvješća središtima za vremensku analizu i prognozu.

Meteorološki podaci unášaju se ručno ili automatski (računalom) na zemljopisne karte (na kojima su označene meteorološke postaje) u obliku brojeva i simbola, podaci se analiziraju ručno (postupno se taj način napušta) ili računalom, te se dobiva pregled vremena nad tim područjem. Na taj način za razmjenu kratko vrijeme zemlje članice WMO imaju na raspolaganju potrebne meteorološke podatke za vremensku analizu i prognozu. U konačnici mnogi korisnici, među kojima su i prometne institucije, dobivaju odgovarajuće informacije za svoju daljnju uporabu, slika 28.1.

### 28.2. Vrste meteoroloških karata

Meteorološka ili vremenska tj. sinoptička karta (*weather chart*; *Wetterkarte*) je zemljopisna karta (zemljovid) s ucertanim meteorološkim podacima, koji se analiziraju. Zemljopisna karta uz paralele i meridijane sadrži obrise kontinenata, otoka, oceana, mora, jezera i rijeka s naznačenim obrisima planina i brda. Nema željeznčkih ili cestovnih prometnica, a općenito ni položaja ili imena gradova. Meteorološke postaje su označene kružićima uz naznaku međunarodnog broja meteorološke postaje (5 znamenki), tek izuzetno su naznačena imena mjesnih postaja; npr. 14240 je broj postaje Zagreb - Maksimir. Zemljopisne karte su obično stereografske projekcije mjertila 1:10 000 000, 1:15 000 000, 1:20 000 000 ili nekog drugog.

Postoje dvije osnovne vrste meteoroloških ili vremenskih tj. sinoptičkih karata, a to su **prizemne i visinske karte** (*surface chart*; *upper air chart*; *Bodenwetterkarte*; *Höhenwetterkarte*). Već iz imena proizlazi da prizemna sinoptička karta treba prikazati vre-

menske prilike uz Zemljinu površinu. Stoga se na takvoj karti prikazuju temperature, tlakovi, vlažnosti, vjetrovi, oblaci, oborine, vidljivosti, sadašnja i prošla vremena te druge pojave. Na visinskim kartama se na određenim razinama prikazuju temperature, tlakovi (visine), vlažnosti i vjetrovi. Temeljem ovakvih analitičkih karata (*analysis, diagnosis, Kartenanalyse*) koje prikazuju stanje vremena u nekom trenutku, dobivaju se prognoističke karte (*prognostic chart, Forthersagekarte*) kako prizemne tako i visinske karte za kraće ili dulje razdoblje. Naravno, osim prikazivanja vremenskih stanja na zemljopisnim kartama, moguće je mnoge procese prikazati na raznim dijagramima i sličnim prikazima. Na svakoj analitičkoj karti bilo prizemnoj ili visinskoj mora se uz osnovnu vrstu karte upisati datum i termin za koji se odnose podaci prikazani na karti. Slično vrijedi za prognoističke karte, kojima se još mora dopisati i razdoblje za koje vrijedi karta.

## 28.2.1. Unos podataka na meteorološke karte

Meteorološki klijučevi (brojčano-slovne kombinacije) su temelj pri prijenosu motrenih meteoroloških podataka od motritelja do meteorologa koji ih primjenjuje u analizi vremenskog stanja. Postoji mnoštvo meteoroloških klijučeva. Za prijemno prizemnih meteoroloških podataka najvažniji su "SYNOP" (kopnene postaje) i "SHIP" (morske postaje) klijučevi. Ovi klijučevi su u izvjesnoj mjeri polazište za izradu drugih tipova klijučeva. Tijekom dugogodišnje primjene klijučevi se dopunjuju i mijenjaju sukladno potrebama te sada važe klijučevi FM 12 - X SYNOP i FM 13 - X SHIP. Klijučevi imaju više odsječaka unutar kojih su skupne brojeva (po 5 znamenata), "SYNOP" i "SHIP" se razlikuju u skupinama koje služe za prepoznavanje tipa klijuća i mjesta motrenja te posebno što SHIP klijuč opisuje stanje na moru. Opći oblici klijučeva su:

općenito → FM 12 - X SYNOP      FM 13 - X SHIP

odsječak 0

M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>M<sub>3</sub>M<sub>4</sub> → AAXX

BBXX  
D...D (pozivni znak broda) ili

A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>w<sub>1</sub>n<sub>1</sub>n<sub>1</sub>n<sub>1</sub>n<sub>1</sub> (platforma i slika)

YYGGI<sub>w</sub> → datum# sat(UTC)# indeks za brzinu vjetera mjerena: 0 (m s<sup>-1</sup>), 3 (čv),  
procjena: 1 (m s<sup>-1</sup>), 4 (čv)

99L<sub>1</sub>L<sub>2</sub>L<sub>3</sub>Q<sub>1</sub>L<sub>4</sub>Q<sub>2</sub>L<sub>5</sub>L<sub>6</sub>

odsječak 1

Ir<sub>1</sub>h<sub>1</sub>vv Nddff (00ff) 1s<sub>1</sub>TTT 2s<sub>2</sub>T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>T<sub>3</sub> ili 29UUU 3P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>P<sub>3</sub>P<sub>4</sub> 4PPPP ili 4aahhh

5appp 6RRRr<sub>R</sub> 7ww<sub>1</sub>W<sub>2</sub> ili 7w<sub>1</sub>w<sub>2</sub>w<sub>3</sub>w<sub>4</sub>W<sub>1</sub>W<sub>2</sub> 8N<sub>1</sub>C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>C<sub>3</sub>C<sub>4</sub> 9GGGG

odsječak 2

222D<sub>1</sub>V<sub>2</sub> (0s<sub>1</sub>T<sub>1</sub>w<sub>1</sub>T<sub>2</sub>) (1P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>w<sub>1</sub>H<sub>1</sub>w<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) (2P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>w<sub>1</sub>H<sub>1</sub>w<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)

(3d<sub>1</sub>d<sub>2</sub>d<sub>3</sub>d<sub>4</sub>d<sub>5</sub>d<sub>6</sub>d<sub>7</sub>d<sub>8</sub>) (4P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>w<sub>1</sub>H<sub>1</sub>w<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) (5P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>w<sub>1</sub>H<sub>1</sub>w<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)

(6I<sub>1</sub>E<sub>2</sub>E<sub>3</sub>R<sub>4</sub>) ili (ICING + otvoreni tekst) (70H<sub>1</sub>w<sub>1</sub>H<sub>2</sub>w<sub>2</sub>H<sub>3</sub>) (8s<sub>1</sub>T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>T<sub>3</sub>)

(ICE + c<sub>1</sub>S<sub>2</sub>b<sub>3</sub>D<sub>4</sub>z<sub>5</sub> ili otvoreni tekst)

odsječak 3

333 (0...)(1s<sub>1</sub>T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>T<sub>3</sub>) (2s<sub>1</sub>T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>T<sub>3</sub>) (3E<sub>1</sub>I<sub>1</sub>I<sub>2</sub>I<sub>3</sub>) (4E<sub>1</sub>S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) (5J<sub>1</sub>J<sub>2</sub>J<sub>3</sub>J<sub>4</sub> (5Ja<sub>1</sub>J<sub>2</sub>J<sub>3</sub>J<sub>4</sub>))\*

(6RRRR<sub>R</sub>)\* (7R<sub>2</sub>R<sub>3</sub>R<sub>4</sub>R<sub>2</sub>R<sub>3</sub>R<sub>4</sub>)\* (8N<sub>1</sub>C<sub>1</sub>h<sub>1</sub>h<sub>2</sub>)\* (9S<sub>1</sub>P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>P<sub>3</sub>P<sub>4</sub>)\* 80000 (0...)(1...)

odsječak 4  
444 N<sub>1</sub>C<sub>1</sub>HT<sub>1</sub>C<sub>1</sub>  
odsječak 5

555 skupine, koje se razvijaju na nacionalnoj razini

Primjedba: \* po nacionalnoj potrebi, \* ponavljanje po potrebi

Sažeti opis kratica je: (pojedino slovo ili skup slova odijeljeno s "#")

IIii

99L<sub>1</sub>L<sub>2</sub>L<sub>3</sub>Q<sub>1</sub>L<sub>4</sub>Q<sub>2</sub>L<sub>5</sub>L<sub>6</sub>

→ blok/država# broj postaje  
→ zemljopisna širina na nižih 0.1°  
→ kvadrant Zemlje (NE = 1, SE = 3, SW = 5, NW = 7)# zemljopisna  
duljina na nižih 0.1°

odsječak 1

Ir<sub>1</sub>h<sub>1</sub>vv

→ osnovni oblik  
→ indeks za grupu 6 (nije ispušteno = 1, nema oborine = 3, nema  
podataka = 4)# indeks za grupu 7 (nije ispušteno = 1, ww = 00-  
03+W<sub>1,2</sub> = 0-2, nema podataka = 4)# visina oblaka# vidljivost

→ naoblaka (Osmine)# smjer vjetera po 10° (tišina 00, promjenljiv 99)#  
brzina u m s<sup>-1</sup> (čv)

→ brzina vjetera, 99 i više jedinica označeno s i<sub>w</sub>

→ predznak + = 0, - = 1# temperatura zraka (0.1 °C), TT/ = u cijelim °C

→ predznak + = 0, - = 1# rosište zraka (0.1 °C), T<sub>d</sub>T<sub>d</sub>' = u cijelim °C

→ relativna vlažnost (%)

→ tlak na postaji (0.1 hPa) bez tisućica, za visinu ≤ 500 m

→ tlak na srednjoj morskoj razini (0.1 hPa) bez tisućica, za visinu ≤  
500 m

→ izobarna ploha (1 → 1000, 2 → 925, 5 → 500, 7 → 700, 8 → 850  
hPa)# visina (gpm) bez tisućica

→ oblik i# iznos promjene tlaka (0.1 hPa/3 h)

→ količina oborine (mm)# oborina iz zadnjih 6 h = 1, 12 h = 2

→ sadašnje vrijeme (u času motrenja ili u proteklom satu)# prošlo  
vrijeme, zadnjih 6/3 h

→ automatska postaja: sadašnje vrijeme# prošlo vrijeme

→ količina niskih oblaka# niski# srednji# visoki oblaci

→ vrijeme motrenja (UTC): h, min

→ stanje na moru

→ u zadnja 3 h: smjer# brzina broda

→ predznak + = 0, - = 1# temperatura vode (0.1 °C)

→ izmjereno: period (s)# visina (0.5 m) valova živog mora

→ procjena: period (s)# visina (0.5 m) valova živog mora

→ mrtvo more: smjer susstava 1, 2

→ mrtvo more: period (s)# visina (0.5 m)

→ mrtvo more: period (s)# visina (0.5 m) valova

→ nakupnjive leda na brodu# debljina leda (cm)# brzina nakupnja  
nja leda

→ nakupnjive leda na brodu# debljina leda (cm)# brzina nakupnja  
nja leda

→ visina valova (instrument) (0.1 m)

IIi ICING + otvoreni tekst → o ledu na brodu

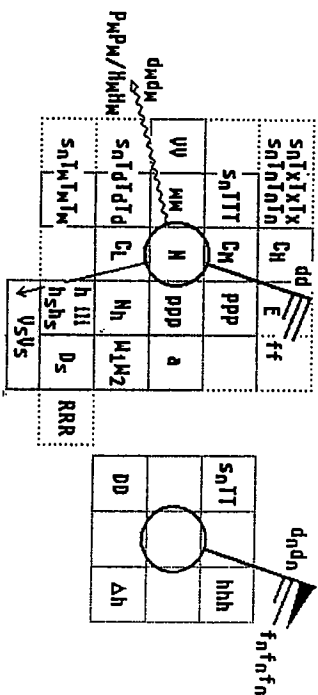
70H<sub>1</sub>w<sub>1</sub>H<sub>2</sub>w<sub>2</sub>H<sub>3</sub>w<sub>3</sub>H<sub>4</sub>w<sub>4</sub> → visina valova (instrument) (0.1 m)

- 8s<sub>w</sub>T<sub>b</sub>T<sub>b</sub> ICE + cS<sub>b</sub>D<sub>z</sub> → predznak + = 0, - = 1# temperatura mokrog termometra (0.1 °C) → + koncentracija morskog leda# stadij razvoja# kopneni led# smjer ruba leda# sadašnje stanje leda i trend u prethodna 3 h ili otvoreni tekst → led oko broda
- odsječak 3 → regionalna razmjena
- 333 (0...) → svaki termin
- 1s<sub>1</sub>T<sub>1</sub>T<sub>1</sub> 18 UTC → predznak + = 0, - = 1# maksimalna temperatura zraka (0.1 °C), u zadnjih 12 h
- 2s<sub>n</sub>T<sub>n</sub>T<sub>n</sub> 06 UTC → predznak + = 0, - = 1# minimalna temperatura zraka (0.1 °C), u zadnjih 12 h
- 3EJij ≡ 3Es<sub>1</sub>T<sub>1</sub>T<sub>1</sub> → stanje tla bez snijega# predznak + = 0, - = 1# temp. minimal. termometra na 5 cm (°C)
- 4E<sub>SS</sub> → stanje tla sa snijegom/ledom# debljina (cm), 997 < 0.5 cm, 998 krp<sub>e</sub>, 999 nemjerljivo
- 5j<sub>1</sub>j<sub>1</sub>j<sub>1</sub> (j<sub>1</sub>j<sub>1</sub>j<sub>1</sub>) ≡ 5SSSS 553SS → trajanje sijanja sunca (0.1 h)# 55 ~ 24 h# 553 ~ zadnji sat
- 6RRR<sub>R</sub> → količina oborine# razdoblje
- 7R<sub>2</sub>R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>1</sub> → oborina u 24 h (0.1 mm), 9999 ~ 0.0 mm
- 8N<sub>2</sub>Ch<sub>1</sub>h<sub>1</sub> → količina# rod# visina oblaka → 89/h<sub>1</sub>h<sub>1</sub> → uspravna vidljivost
- 9S<sub>2</sub>S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>S<sub>1</sub> → posebne skupine (00-09 vrijeme i varijabilnost, 10-19 vjetar i vrlozi, 20-29 stanje mora, zaleđivanje i sniježni pokrivač, 30-39 oborina, 40-49 oblaci, 50-59 oblaci naz. planina, 60-69 sadašnje i prošlo vrijeme, 70-79 položaj i gibanje pojava, 80-89 vidljivost, 90-99 optičke pojave i razno
- 80000 (0...) (1...) → →
- odsječak 4 → planinske postaje - nacionalna primjena
- 444 N<sub>1</sub>C<sub>1</sub>H<sub>1</sub>H<sub>1</sub>C<sub>1</sub> → oblaci ispod postaje: količina# rod# visina (100 m)# opis vrha
- odsječak 5 → nacionalna primjena
- 555 skupine se razvijaju na nacionalnoj razini

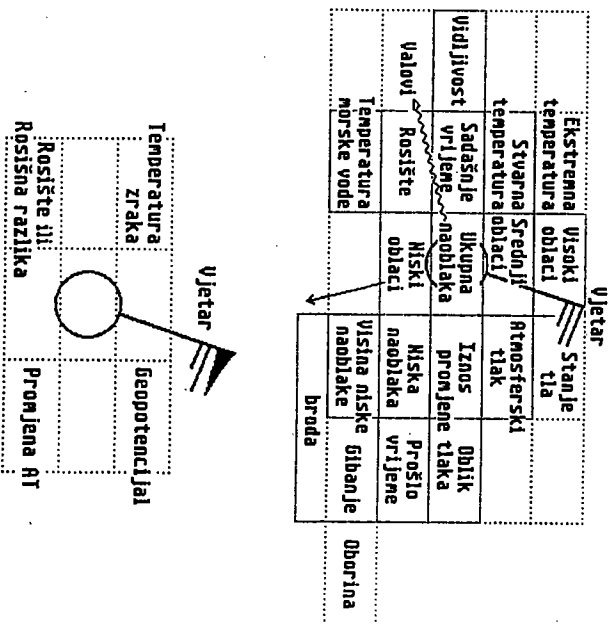
Odsječak 0 (dio za prepoznavanje ključa, datum i vrijeme motrenja te položaj postaje) uz odsječak 1 (osnovna vremenska stanja: vidljivost, naoblaka, vjetar, temperatura zraka, rosište, tlak, oborina, pojava i oblaci) su najvažniji i obvezno se prosijeduju u međunarodnu razmjenu. Ukoliko su bila motrenja na moru tada se dodaje i odsječak 2 (stanje na moru: smjer i brzina broda, temperatura mora, valovi i zaleđivanje). Odsječak 3 (ekstremne temperature zraka, stanje tla, sjanje Sunca, oborina, oblaci i posebne pojave) je za razmjenu unutar pojedine regije, a ostali odsječci su za nacionalne potrebe.

Šifriranje vremenskih elemenata i pojava je zahijevno. Potreban je odgovarajući priručnik gdje svako slovo ili skup slova unutar skupine (5 znamenki) ima svoje precizno značenje. Obično svaka skupina počinje s nekim brojem kao pokazateljem o kojoj se skupini radi. Bitno je da se redoslijed skupine ne izmijeni, no pojedine skupine mogu se prema potrebi izostaviti kad nema odgovarajućih podataka (označeno s (.....)), dok se druge mogu ponavljati (označeno s (.....)).

Mjesto i način upisivanja podataka na karte oko kružića meteorološke postaje je određen, i prikazan je na slikama 28.2. i 28.3. To je tzv. postajni model (*station model*, *Stationsmodel*).



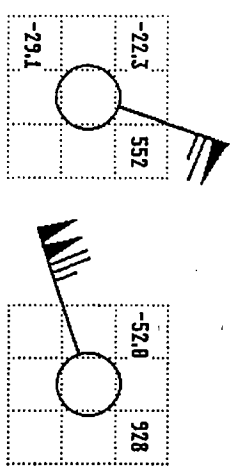
Slika 28.2. Postajni model za prizemne i visinske karte (u šifri)



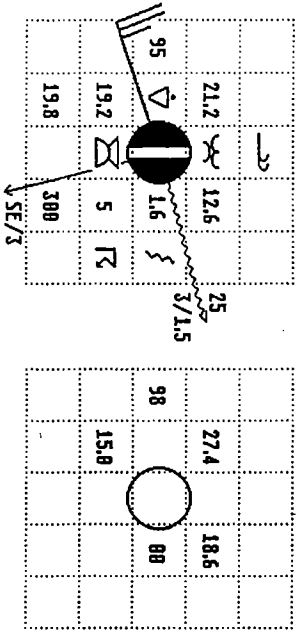
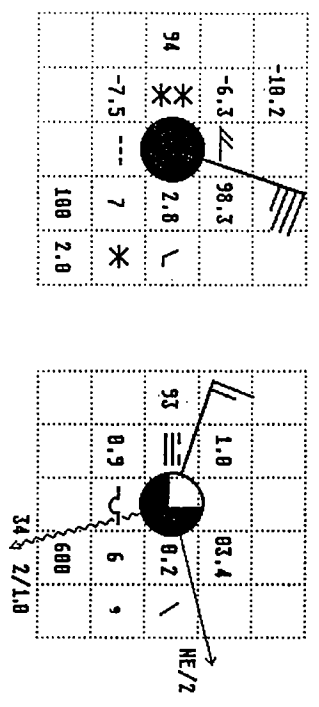
Slika 28.3. Postajni model za prizemne i visinske karte (opisno)

Prinjeri načina unašanja meteoroloških podataka za visinsku, odnosno prizemnu kartu dani su na slika 28.4. i slika 28.5.

Na visinskim kartama s<sub>1</sub>TT označava temperaturu zraka, hhh visinu izobarne plohe u gpdm, DD rosišnu razliku ili rosište, a Δh je iznos promjene apsolutne topografije za 12 ili 24 h (na AT 700 i AT 500 hPa). Vjetar je prikazan na uobičajeni način, trokut je 50 čv, duga crta je 10 čv, a kratka crta je 5 čv. Tiho, tj. bez vjetra se prikazuje s kružnicom oko kružića postaje.



Slika 28.4. Postajni model za visinske karte (uneseni podaci)



Slika 28.5. Postajni model za prizemne karte (uneseni podaci)

Tako na visinskoj karti (u ovom slučaju izobarna ploha AT 500 hPa) -22.3 znači temperaturu zraka u °C, -29.1 rosište u °C (rosišna razlika bi bila 6.8 °C), dok je 552 geopotencijalna visina u gpm izobarne plohe 500 hPa, tj. to je visina od 5520 gpm, smjer vjetera je sjeveroistočni, brzine 65 kv, slika 28.4. lijevo. Desna strana slike 28.4. je za kartu AT 300 hPa (temperatura je -52.0 °C, visina plohe je 9280 gpm, vjetar je jugozapadni 125 kv).

Urašanje, odnosno čitanje podataka na prizemnoj karti je zahtjevnije, a neki od elemenata prikazivanja podataka su dani na slici 28.6.

Šifra	N	C <sub>L</sub>	C <sub>M</sub>	C <sub>H</sub>	W <sub>1</sub>	a	h (cm)	VV (km)	BROD	
									D <sub>1</sub> (km)	V <sub>1</sub> (km/h)
0	○	○	○	○	○	○	0	0	NE	0
1	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	50	0.05	E	1-5
2	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	100	0.2	E	6-10
3	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	200	0.5	SE	11-15
4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	300	1	S	16-20
5	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	600	2	SW	21-25
6	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1000	4	W	26-30
7	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	1500	10	NW	31-35
8	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	2000	20	N	36-40
9	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	2500	50		>40

Slika 28.6. Tablica simbola: sadašnje vrijeme, šifra ww (gore); naoblaka N, vrsta oblaka C, prošlo vrijeme W<sub>1</sub>W<sub>2</sub>, oblik promjene atmosferskog tiska a, visina oblaka h, vidljivost VV, smjer D<sub>1</sub>, i brzina broda v<sub>1</sub> (dolje) [( ) = u blizini, ] = u prošlom satu, 0 = slabo, 1 = umjereno, 2 = jako]

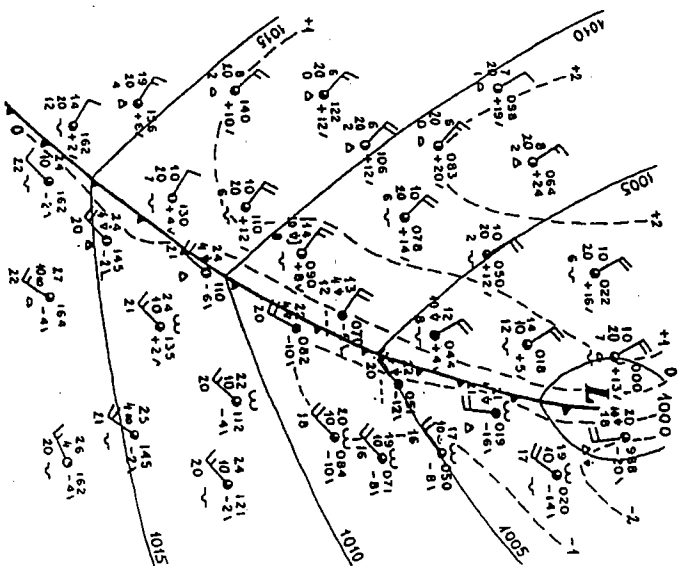
Na prizemnoj karti, na slici 28.5. gore lijevo koja vrijedi za kopnenu postaju, vrijednost  $-10.2$  je ekstremna (u ovom slučaju najniža) temperatura u  $^{\circ}\text{C}$ ,  $-6.3$  je temperatura zraka u  $^{\circ}\text{C}$ ,  $-7.5$  je tisište u  $^{\circ}\text{C}$ , 94 je šifra vidljivosti (1 km), 98.3 je atmosferski tlak od 998.3 hPa, 2.8 je barometrijska tendencija u hPa, znak  $\_$  označava da je tlak u posljednja 3 h malo pao pa postao silan, ispunjeni postajni kružić znači potpuno oblačno (8/8), dok znak  $\Delta$  označava srednje oblake (As op/NS), znak  $---$  označava niske oblake (St fra), kojih ima 7/8, čija visina je 100 m iznad tla. U trenutku motrenja, tj. sadašnje vrijeme (*present weather*, *Wetterzustand*) pada unijereni snijeg s prekidima (\*), koji je također pao u prošlom vremenu (*past weather*, *vorhergesagte Wetterzustand* (\*)), 2.0 je iznos izmjerene oborine u mm. Vištar je sjeveristočnog smjera i brzine 35 čv. Za morske postaje je primjer na slici 28.5. dolje lijevo, gdje je 19.8 temperatura morske vode u  $^{\circ}\text{C}$ , valovita crta označava smjer valova mrtvog mora - od kuda dolaze (za vjetar valova je ravna crta) (25  $\rightarrow$  po 10 $^{\circ}$ , to je 250 $^{\circ}$ ), 3 je period valova u s, a 1.5 visina valova u m. Motrenjima s broda pridodaje se smjer prema kamo plovi (SE) i brzina broda (3  $\Rightarrow$  11-15 čv). Ako neki podatak ne postoji odgovarajuće mjesto ostaje prazno.

### 28.2.2. Analiza meteoroloških karata

Nakon unosa meteoroloških podataka karta se analizira  $\rightarrow$  izvlače se odgovarajuće izolinije, odnosno pojedina područja se sjenčaju na odgovarajući način:

- **Visinske karte:**
- za visinske karte rabe se mjerenja geopotencijala te se crtaju pojedine glavne izobare plohe: AT 850, AT 700, AT 500, AT 400, AT 300, AT 250, AT 200, AT 100, AT 70, AT 50 hPa, zatim RT 500/1000, RT 500/700 hPa
- izohipse (crte istog geopotencijala)  $\rightarrow$  neprekidne crte crte, obično svakih 40 gpm (na većim visinama 80 gpm); izohipse se dobro podudaraju sa smjerom vjetera (zanimaren trenje)
- određuju se središta ciklona i anticiklona uključujući doline i grebene
- izoterme (crte iste temperature)  $\rightarrow$  tanke crvene crte, obično svakih 5  $^{\circ}\text{C}$
- određuju se središta toplog i hladnog zraka
- u odnosu na izohipse izoterme su manje ili više pomaknute te postoje međusobna presjecanja
- sve crte trebaju ići glatko tj. bez suvišnih grba i ne smiju se dodirivati ili presijecati
- određuje se područje najjačeg vjetera  $\rightarrow$  mlazna struja
- određuje se visina i temperatura tropopauze (emagram)
- područja turbulencije ili zaleđivanja obrubljuju se debijom isprekidanom crtom uz naznaku simbola za turbulenciju odnosno zaleđivanje
- Prizemna karta se može prenumerirati u visinsku AT 1000 hPa (točka I-6.4.)
- Prizemne karte, slika 28.7:
- za prizemne karte rabe se mjerenja atmosferskog tlaka
- izobare (crte istog tlaka)  $\rightarrow$  neprekidne crte crte, obično svakih 5 hPa (za manje razmjere i gušće  $\rightarrow$  1-2 hPa), zbog tenja crte se slabo podudaraju sa smjerom vjetera (izobare se na frontama lomel, točka 18.1., slika 18.8.)
- određuju se središta ciklona i anticiklona uključujući doline i grebene

- izalobare (crte iste barometrijske tendencije - iste promjene tlaka)  $\rightarrow$  isprekidane crte crte, obično svakih 1-2 hPa
- izoterme (crte iste temperature)  $\rightarrow$  tanke crvene crte, obično svakih 2-5  $^{\circ}\text{C}$
- sve crte trebaju ići glatko tj. bez suvišnih grba i ne smiju se dodirivati ili presijecati
- fronte (granice između zračnih masa)  $\rightarrow$  topla fronta crveno, hladna plavo, Okludirana ljubičasto, odnosno kao što je naznačeno u točki 18.1. i slika 18.11.
- razne pruge nestabilnosti  $\rightarrow$  slika 18.11.
- potrebno uvažavati utjecaj orografije, posebno na smjer vjetera
- područje naoblake se obrubljuje valovito nazubljenom crtom  $\rightarrow$  -----
- područje kumulonimbusa Cb se ističe znakom  $\Sigma$
- područje oborina sjenča se zeleno uz naznaku simbola za pljusak  $\rightarrow$   $\nabla$  ako postoji, odnosno \* ako postoji snijeg ili za rosulju \*
- područje magle sjenča se žuto uz naznaku simbola za maglu  $\rightarrow$   $\equiv$
- grmljavina R, sijevanje  $\searrow$ , pješčana oluja S ili vrtlog R, poledica  $\sim$ , pijavica || i druge pojave označavaju se crveno odgovarajućim simbolom
- područja turbulencije ili zaleđivanja obrubljuju se debijom isprekidanom crtom uz naznaku simbola za turbulenciju odnosno zaleđivanje
- razne izolinije prema potrebi



Slika 28.7. Dio analizirane prizemne vremenske karte s unesenim podacima

Pri ručnom (subjektivnom) izvlačenju izolirna između vrijednosti meteoroloških elemenata primjenjuje se obično linearna interpolacija, to je subjektivna analiza (*subjective analysis; subjektive Analyse*), dok pri automatskom (računalom ili objektivnom) izvlačenju primjenjuju i viši stupnjevi interpolacija, to je objektivna analiza (*objective analysis; objektive Analyse*). Tada se uskladjuje odnos između brzine vjetra i bariklog gradijenta, dok se izobare pri prelasku preko fronte lome (točka 18.1., slika 18.8.). Nadalje, pri vremenskoj analizi je potrebna usklađivanja s prethodnim analizama od prije 6, 12 ili 24 h. Također su potrebna međusobna uspoređivanja prizemne i visinskih karata. Ponekad se u mnoštvu meteoroloških podataka pojavljuje vrijednosti koje se izdvajaju od susjednih podataka pa treba razlučiti da li se radi o pogreški ili postoji stvarno odstupanje nekog podatka.

Dobivene vremenske analize prizemnih i visinskih karata su temelj tumaćenja vremenskih prilika (točka 28.4.) na nekom području ili mjestu u određeno doba, ali one su i polazište za izradu prognostičkih karata. Ovim kartama pridodaju se i drugi meteorološki podaci dobiveni raznim načinima, među kojima se ističu podaci s meteoroloških radara i satelita.

### 28.3. Osnove vremenske prognoze

Uz poznavanje stvarnog stanja vremena čovjeka zanima i kakav će biti razvoj vremena. Vremenske prognoze prvobitno su se temeljile na određenom iskustvu čovjeka, npr. nailazak tamnih oblaka uz vjetar iz nekog određenog smjera nagovijštavao je pojavu kiše itd. No takva očekivanja vremena često se nisu ostvarila, neovisno da li je nastupilo ljepše ili lošije vrijeme. To je potpuno potaknulo organiziranje prvih mreža meteoroloških postaja i meteoroloških putovanja - istraživanja, te na kraju meteoroloških službi i spoznaja o potrebi međunarodne suradnje (točka 1-1.1.) kako bi se odvratile vremenske prilike na pojedinim dijelovima Zemljine površine kao polazište za bolje vremenske prognoze.

Vremenske prognoze u prvoj polovici ovog stoljeća (čak do 60-70-tih godina) temeljile su se na subjektivnim procjenama meteorologa-prognostičara kakav će biti razvoj vremena. To su subjektivne prognoze (*subjective forecast; subjektive Vorhersage*). Pritom su se primjenjivale razne metode (grafičke, računске) prvenstveno primjenjujući načelo advekcije tj. premještanja vremenskih procesa u određenom smjeru uz dopunu određenog razvoja vremena prema mjesnim uvjetima. Načela koja su postavili Bjerknes, Rossby, Scherhag, Fjærtroff, Petterssen, Sutcliffe i drugi meteorolozi bila su polazišta prognoza. To su u početku bili barotropni modeli (*barotropic model; barotrope Model*) u kojima se izostere (izopkone) i izobarne plohe podudaraju, za razliku od kasnijih baroklinih modela (*baroclinic model; barokline Model*) u kojima se izostere i izobarne plohe sijeku te postoje jaki vodoravni temperaturni gradijenti. Točnost prognoza je kolebala od područja do područja, od jednih do drugih vremenskih stanja i teško je prelažila točnost 70%.

Na zbivanja u atmosferi djeluje čitav niz sila i drugih čimbenika. Stoga su ta zbivanja vrlo složena i nemoguće ih je u potpunosti sve obuhvatiti pa se izdvajaju samo neki od najvažnijih zakona, koji se mogu matematički izraziti. V. Bjerknes je 1904. godine

izdvojio 6 temeljnih jednadžbi u kojima su uzeti u obzir: sila Zemljine težje, Coriolisova sila, sila gradijenta tlaka, zakon o neuništivosti mase, prvi zakon termodinamike i veličine koje prikazuju svojstva plina. To je 6 jednadžbi sa 6 zavisno promjenjivih veličina u atmosferi. Taj sustav jednadžbi se može proširiti s drugim jednadžbama i veličinama ovisno o saznanjima i mogućnostima računanja. To su tzv. primitivne jednadžbe (*primitive equations; primären Prognosegleichungen*).

Richardson je nakon višegodišnjeg računanja 1922. godine prvi objavio rezultate prognoze za sljedeći dan rješavajući primitivne jednadžbe. Iako je prognoza bila poprilično pogrešna ovime su postavljene temeljne objektivne odnosno numeričke prognoze (*objective forecast; numerical forecast; objektive Vorhersage; numerische Vorhersage*). U to doba nisu postojali odgovarajući strojevi za računanje, koji bi proces računanja ubrzali, a nisu bile poznate ni razvijene odgovarajuće metode numeričkog rješavanja takvih jednadžbi (temelje takvih metoda postavili su Chamey, Fjærtroff, Neumann i Phillips sredinom ovog stoljeća). Tek razvojem računalne tehnike i metoda numeričkog rješavanja diferencijalnih jednadžbi, koje su razvili meteorolozi, omogućeno je dobivanje sve boljih i boljih vremenskih prognoza. To je razlog što su najveća, najbrža i najskuplja računalna u posjedu meteoroloških službi.

#### 28.3.1. Sustav jednadžbi i principi rješavanja

Atmosfera se opisuje sustavom prognostičkih i dijagnostičkih jednadžbi (*prognostic/diagnostic equation; Prognosegleichungen/diagnostische Gleichungen*). Ove jednadžbe se ne mogu rješavati analitičkim postupkom već se primjenjuju numeričke metode (*numerical method; numerische Methode*), tj. traže se rješenja u mreži točaka, koja trebaju dobro prikazati atmosferske procese. Model atmosfere (*model atmosphere; atmosphärische Model*) je prikaz atmosfere u mreži točaka (*grid point; Raumpunkt*) uz zanemarivanje izvjesnih procesa i učinaka u hidro i termodinamičkim jednadžbama i/ili pojednostavljivanje parametarizacijom (*parameterisation; Parameterisierung*) ako se procesi i učinci izravno (eksplicitno) ne mogu izraziti. Parametarizacija predstavlja zamjenu vrlo složenih izraza s nekom jednostavnijom veličinom ili veličinama, koja može zadovoljavajuće dobro opisati zbivanja u atmosferi. Atmosfera u modelu nije neprekidna (nije kontinuum) već je prikazana pojedinačnim (diskretnim) vrijednostima u određenoj mreži točaka u vodoravnom smislu, a uspravno ustrojstvo je dano s određenim brojem razina.

Temeljni opisivanja svakog meteorološkog modela je niz načela sačuvanja, koji uz odgovarajuće matematičke izraze glase:

sačuvanje mase (jednadžba neprekidnosti), (*continuity equation; Kontinuitäts-gleichung*):

$$\frac{dp}{dt} + \rho \nabla V = 0 \quad 28(1)$$

sačuvanje topline (termodinamička jednačdba), (thermodynamic equation, erster Hauptsatz der Thermodynamik):

$$\frac{1}{T} \frac{dQ}{dt} = c_p \frac{d \ln T}{dt} - R \frac{d \ln p}{dt} \quad 28(2)$$

sačuvanje količine gibanja (jednačdba gibanja), (equation of motion; Bewegungsgleichungen):

$$\frac{dV}{dt} = -2\Omega V - \frac{1}{\rho} \nabla p + g + T \quad 28(3)$$

sačuvanje vode (sva agregatna stanja):

$$\frac{dq_n}{dt} = \frac{S_n}{\rho}; \quad (n=1, 2, 3) \quad 28(4)$$

sačuvanje plina i aerosola:

$$\frac{d\mu_m}{dt} = S_m; \quad (m=1, 2, \dots, M) \quad 28(5)$$

To je 11 + M jednačdbi s 11 + M nepoznanica, gdje je:  $q_n$  sadržaj vodene tvari,  $\mu_m$  plinovi,  $S_n$  i  $S_m$  izvori i ponori vodene tvari, plinova i ostalih kemijskih tvari.

U ovim izrazima se pojavljuje totalni diferencijal, tj. ukupna promjene neke veličine:

$$\frac{d}{dt} = \dots \quad 28(6)$$

koji u razvijenom obliku glasi:

$$\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \quad 28(7)$$

priom prvi član predstavlja lokalnu (mjeseanu) promjenu, a slededeta tri člana advekcijsku promjenu neke veličine. Ovakvo se može prikazati npr. promjena temperature zraka. Temperatura zraka tijekom dana mijenja se zbog grijanja Sunčevim zračenjem (lokalna ili mjeseana promjena). Također se temperatura zraka mijenja i kao posljedica nadolaženja masa zraka neke druge temperature (advekcijaska promjena). Stoga ukupna promjena temperature slijedi kao zajedničko djelovanje lokalne i advekcijiske promjene. Ovo načelo vrijedi za sve fizikalne veličine.

Izrazi 28(1) - 28(5) se mogu pojednostaviti:

U izrazu 28(1) zanemarivanjem lokalne (mjesne) promjene gustoće isključuju se zvučni valovi. Za  $dp/dt = 0$  slijede gibanja zraka mnogo manja od homogene atmosfere (točka 1-6-2.); tada je kruženje nestlačivo (inkompresibilno), tj. zrak se pri kružnom strujanju ne tiči. Ovo daje dijagnostičke jednačdbe za uspravne brzine te se upotrebljava za opis kruženja srednjih razmjera (mezocirkulacija). Iz jednačdbe neprekidnosti dobiva se jednačdba tendencija (tendency equation, Tendenzgleichung) tj. lokalna promjena prizemnog tlaka zraka te jednačdba za uspravnu brzinu.

Izraz 28(2) se može pojednostaviti na više načina:

- gibanja su adijabatska, znači da je  $dQ = 0$ ;
- zanemarivanje nekih prijenosa topline (kratkovalno i/ili dugovalno zračenje, prizemno toplinsko vodenje, latentna toplina i difuzija topline). Zračenje je izvor i ponor topline, uključuje se parametarizacijom te ima važnu ulogu pri modeliranju obalnih vjetrova. Zbog različitih temperatura podloga, a posredno i zraka, razviti će se gradijenti takva koji daju termičko kruženje. Pri izraženoj konvekcijskoj nestabilnosti atmosfere/modela latentna toplina ima važnu ulogu, a njezina je količina razmjerna promjeni količine vlage zbog promjene agregatnog stanja.

U 28(3) se obično pretpostavljaju hidrostatička gibanja (uvjeti pri kojima vrijedi hidrostatička ravnoteža), tako se isključuju zvučni valovi, a uspravna komponenta jednačdbe gibanja se svodi u dijagnostičku jednačdbu za tlak. Veliki je broj pojava dobro opisan hidrostatičkom ravnotežom, što olakšava proučavanja kruženja velikih pa čak i srednjih razmjera. Dvojbena je primjena hidrostatičke ravnoteže pri jače izraženoj orografiji odnosno za jače konvekcije procese. Može se smatrati da vrijedi kod modeliranja obalnih vjetrova za mreža do 1 km uz uvjet da orografija nije jako razvijena. Za manja područja obično se zanemaruje promjena Coriolisovog parametra i molekulske trenje, dok se površinsko trenje razmatra.

U 28(4) se mogu zanemariti izvori odnosno ponori vodene tvari. Sačuvanje vodene tvari može se razlučiti kada je:

- atmosfera konvekcijски stabilna, stvaraju se stratiformni oblaci, dok se promjene faza vodene tvari mogu izravno prikazati. Oslobođena latentna toplina je razmjerna uspravnoj brzini i maksimalnoj specifičnoj vlažnosti zraka.
- atmosfera je konvekcijски nestabilna ili indiferentna; stvaraju se konvekcijски oblaci čije su dimenzije znatno manje od vodoravne mreže modela. Konvekcijски procesi se parametariziraju, ako se ne radi o modeliranju oblaka. U slučajevima izražene konvekcije oboriva voda (*precipitable water, ausfallbares Wasser*) oblaka (količina vodene pare koja se kondenzacijom pretvara u vodu i ispada iz oblaka) može se znatno mijenjati, te ovo ne treba zanemarivati.

Primjena izraza 28(5) u modelima je novijeg datuma i predstavlja veliki problem kad se uvažava veliko mnoštvo kemijskih tvari. Kad je  $S_m = 0$  procesi su advekcijски, bez izvora i ponora. Pri umjetnom djelovanju na vrijeme unošenje množstva primjesa u atmosferu se prikazuje sa  $S_m \neq 0$ .

Prethodni izrazi prikazuju se u različitim koordinatnim sustavima. To su Cartesiovan koordinatni sustav s uspravnom osi prikazanom kao visina ( $z$ ) ili tlak ( $-\ln p$ ) ili potencijalna temperatura ( $\theta$ ) ili veličina sigma ( $\sigma = p/p_0$ ;  $p_0$  tlak na Zemljinoj površini).

109

odnosno eta (modificirani sigma sustav). Primjenjuju se i prirodni koordinatni sustavi, koji uvažavaju zakrivljenost putanje česti. Teško je istaći izrazitu prednost jednog sustava pred drugim, to više ovisi o potrebama. Posebne teškoće vezane su uz proučavanje utjecaja planetnog graničnog sloja naravno kod terena s vrlo razvedenom topografijom.

U procesu računanja vremenske prognoze, račun se provodi za jedan vremenski korak (*time step*; *Zeitschritt*) unaprijed (jedinica od 10 minuta do 1 s), koji ovisi o mnogim čimbenicima. Prognoza za 24 h zahtijeva 200 do 500 vremenskih koraka, nekad i znano više, te ovako zahtijevan proces računanja traži računala velikih mogućnosti (brzina i memorija). Važno je istaći da se veličina vremenskog koraka mora uskladiti s veličinom koraka mreža (*grid step*, *mesh size*; *Raumelement*), kako bi se isključila nepravnoteženost tijekom numeričkog rješavanja jednadžbi (CFL uvjet:  $c \Delta V / \Delta n < 1$ , gdje je  $c$  brzina širenja poremećaja,  $\Delta t$  vremenski korak,  $\Delta n$  korak mreže), tzv. numerička nestabilnost.

Za rješavanje navedenih nelinearnih jednadžbi koriste se više metoda, a vrijednosti pojedinih elemenata u budućem koraku računaju se eksplicitnim načinom (budući podaci jedino na osnovi sadašnjeg vremenskog stanja) i implicitnim načinom (sadašnje stanje i procjena budućeg stanja). Moguće su i kombinacije.

Početak računanja zahtijeva tzv. početne i rubne uvjete. Početni uvjeti (*initial condition*; *Anfangsbedingung*) su predstavljene numeričkim vrijednostima meteoroloških elemenata na mreži modela ili ih treba na nju preracunati. Kao početni uvjeti u modelima se koriste podaci motrenja, vrijednosti iz drugih modela odnosno idealizirani profili. Rubni uvjeti (*granični, bočni*) (*boundary condition*; *Randbedingung*) se odnose na rubna područja modela, također su vrsta početnih uvjeta; nema ih ako se računanje odnosi na cijelu Zemlju. Ako se račun provodi za ograničeno područje potrebno je povremeno tijekom računanja uvoditi podatke za rubna područja iz nekog drugog prognostičkog modela velikih razmjera. Rubni uvjeti uzimaju varijable kao konstante ili kao konstantne gradijente ili su granice makromodela. Gornja granica modela može biti različitih oblika, a pogodno je primijeniti makromodel. Kako je donja granica modela Zemljine površina to zahtijeva određenje parametara podloge: kopno - voda, aerodinamička hrapavost, temperatura, vlažnost, vjetar i sl. Kako rubni uvjeti mogu dovesti do pogrešnih rezultata na njih treba obratiti pažnju. Sustav podataka treba biti u dinamičkoj ravnoteži kada počne integracija, što znači da se npr. odnos izobara (fizohipsa) i vjetra mora uskladiti, a također i drugih veličina.

28.3.2. Osnovne postavke modela

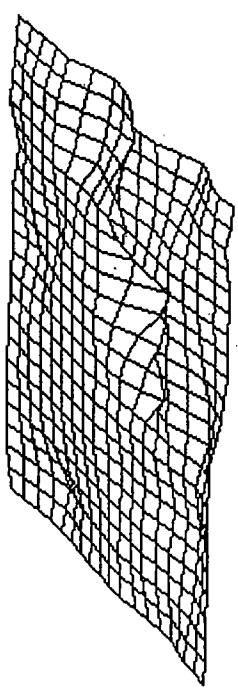
Slika 28.8. prikazuje primjer uspravnog razlaganja modela.  $Z_p$  je nadmorska visina Zemljine površine. Za uspravnu koordinatu primijenjen je koordinatni sustav sa  $\sigma$  osi,  $\sigma$  ploha je određena na sljedeći način:

$$\sigma = \frac{p - p_T}{p_s - p_T} \quad 28(8)$$

gdje je  $p$  optčentio neka vrijednost tlaka,  $p_T$  je tlak na vrhu modela (u ovom slučaju model se proteže do razine 400 hPa),  $p_s$  na Zemljinoj površini. Tako je uvijek pri Zemljinoj površini  $\sigma = 1$ , a na vrhu modela  $\sigma = 0$ . Ovaj sustav ima značajnih prednosti pred drugima sustavima, ali može stvarati znatne poteškoće iznad terena s izraženom orografijom. Uzduž s ploha, veličine: visina (tlak), potencijalna temperatura i vlažnost zraka, mogu se vodoravno rasporediti na razne načine, tj. treba ih postaviti u točke mreže. Točke mreže tvore raspored meteoroloških podataka smještenih na vrhovima kvadrata, pravokutnika ili trapeza, odnosno drugih geometrijskih oblika (zemljopisne širine i dužine). Radi ekonomičnosti računanja, u svim točkama mreže modela u kojima se vrši računanje, slika 28.9., ne moraju biti sve vrste računskih veličina nego samo neke od njih, slika 28.10.

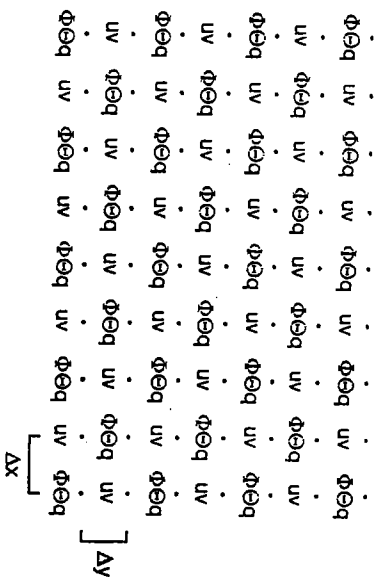
- K  $\Phi_0 V_0 T_0 \Theta_0 q_0$   
0  $\dot{\sigma}_0 = 0$  (400 hPa)  
 $\sigma_0 = 0, p_T$   
(400 hPa)
- 1  $\sigma_1 = 0, 175$   
( $\approx 500$  hPa)
- 2  $\dot{\sigma}_2$
- 3  $\Phi_3 V_3 T_3 \Theta_3 q_3$   
 $\sigma_3 = 0, 500$   
( $\approx 700$  hPa)
- 4  $\dot{\sigma}_4$
- 5  $\sigma_5 = 0, 750$   
( $\approx 850$  hPa)
- 6  $\dot{\sigma}_6$   
 $\sigma_7 = 0, 925$   
( $\approx 960$  hPa)
- 7  $\dot{\sigma}_s = 0$   
 $\sigma_s = 1, p_s$   
( $\approx 1013$  hPa)
- 8  $Z_p V_s T_s \Theta_s q_s$

Slika 28.8. Uspravno razlaganje modela (Gelo, 1988)



Slika 28.9. Ulazna orografija dijela sjeverozapadne Hrvatske (Gelo, 1988)





Slika 28.10. Raspored meteoroloških podataka u "E" mreži

Model je primjenjen u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske (90 · 110 km) s udaljenošću točaka mreže 10 km, slika 28.9. (Gelo, 1988). Ulazna orografija u modelu je dana sa srednjim visinama, najveća vrijednost je 640 m, dok je svrana najveća visina brda 1035 m. Kod računanja vjeha u razvijenoj orografiji ublaženi su nepovoljni utjecaji geostrofike ravnoteže  $\sigma$  koordinatnog sustava u članu za gradijent tlaka primjenom vrijednosti tlaka zraka reduciranog na srednju razinu terena.

Rezultati računanja modela daju prognozirane vrijednosti meteoroloških elemenata u točkama mreže koji se mogu dalje analizirati. To prvenstveno podrazumijeva izvlačenje izolinja, no obično se nakon procesa računanja prognoze izvlačenje izolinja obavlja automatski.

## 28.4. Tumačenje vremenskih analiza i prognoza

U sinoptičkoj praksi u vremenskoj analizi ili prognozi nekog područja primjenjuju se meteorološke karte velikih razmjera. Često se događa da tumačenje (interpretacija) vremena ne odgovara stvarnosti, tada vremenska analiza ili prognoza, ili nije dobra ili učinci lokaliteta mogu vremensku sliku potpuno izmijeniti. Dešava se da npr. jedan dio nekog većeg grada ima sunčano vrijeme, a drugi oblačno s kišom. Takve vremenske razlike karte velikih razmjera općenito ne daju, to se očekuje od karata manjih razmjera, npr. karte mezorazmjera dobivene mezosmodelima.

U meteorološkoj teoriji i praksi postoji čitav niz razmjera (*scale*; *Skala*) koji su usklađeni s razmjerima meteoroloških procesa i pojava. Osnovno o tome je dano u točki 15., a detaljnija veza između vremenskih procesa i pojava te veličina razmjera dobivena je spektралnom analizom, koja povezuje periode, odnosno valne duljine pojedinih procesa osobito strujanja.

Postoji više razmjera i pripadajućih procesa (Orlanski, 1975):

- **krupni razmjerni** (*large scale*; *Macro Skala*) obuhvaća velika prostiranja oko i preko 10000 km (vrijedi za procese približno u vodoravnoj ravnini)

- **velerazmjerni ili makrorazmjerni** (*macro scale*; *Macro Skala*) dijeli se u dvije podskupine (vrijedi za procese uglavnom u vodoravnoj ravnini):

- makro- $\alpha$  → obuhvaća opće atmosfersko kruženje i Rossbyeve valove → područja 10 000 km

- makro- $\beta$  → to su baroklini valovi te područja ciklona i anticiklona → 2500 km

- **srednji razmjerni ili mezorazmjerni** (*meso scale*; *Meso Skala*) dijeli se u tri podskupine (vodoravno se protežu od nekoliko km do nekoliko desetaka km, a po visini od tla do vrha sloja trenja):

- mezo- $\alpha$  → atmosferske fronte, cikloni → 250 km

- mezo- $\beta$  → planinski učinci, obalni vjetrovi, oblačne skupine → 25 km

- mezo- $\gamma$  → olujne čelije, gradski učinci → 2,5 km

- **sitni razmjerni ili mikrorazmjerni** (*micro scale*; *Micro Skala*) dijeli se u tri podskupine (vodoravno se protežu od nekoliko cm do nekoliko km, a po visini od tla do visine oko 100 m):

- mikro- $\alpha$  → konvekcija, pijačica, tornado → 250 m

- mikro- $\beta$  → prašinski vrtlog, termik → 25 m

- mikro- $\gamma$  → mala turbulencija.

Sukladno prostornim razmjerima postoje i **vremenski razmjerni**, tj. svaki prirodni proces uz svoje prostorne dimenzije ima i odgovarajuće vrijeme djelovanja, što se dobro uočava na slici 28.11., gdje su procesi prikazani kako za atmosferu tako i za morskou površinu. Iz navedenog slijedi da se procesi velikih razmjera mogu obuhvatiti rijetkom (*grubom*) mrežom (*coarse mesh*; *grober Netz*) meteoroloških postaja, dok je za procese manjih razmjera nužna manja udaljenost meteoroloških postaja, tj. gusta (*fina*) mreža (*fine mesh*; *fein Netz*) i učestalije motrenje.

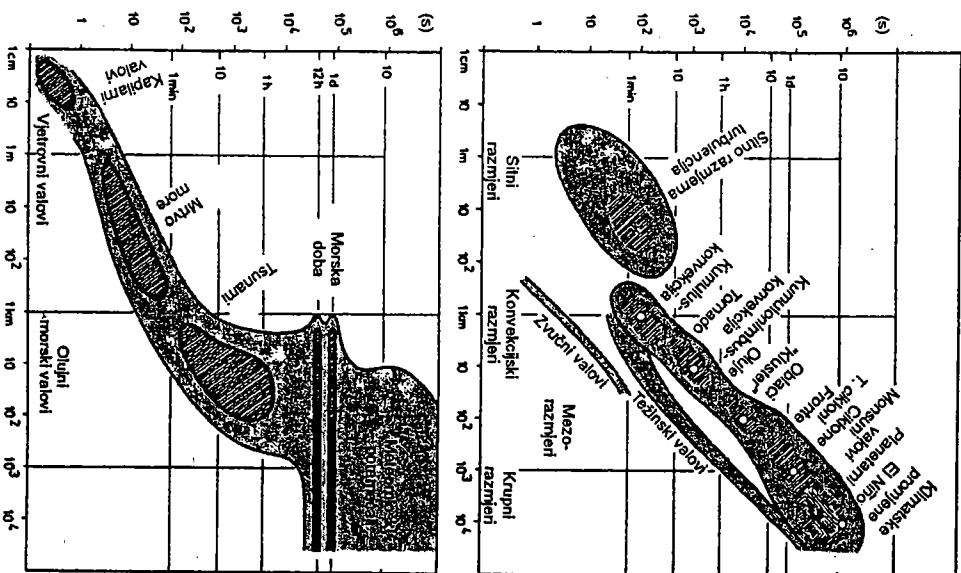
Značaj rijetke odnosno guste mreže, dobro se vidi uspoređujući meteorološke karte na slikama 28.12. i 18.26. Prva karta pokazuje premještanje frontalne plohe, tj. položaje hladne fronte svakih 12 h (23.6.1978. 06 UTC do 24.6.1978. 18 UTC), a druga položaje svaka 3 h (23.6.1978. 06 UTC do 25.6.1978. 06 UTC) kad je zbog gušće mreže i učestalijeg motrenja uočljivo izrazilo izobilenje frontalne plohe na planinskoj prepri, premda se radi o istom vremenskom stanju.

Upoznavanje s vremenom znači "čitanje" meteoroloških karata kako bi se moglo tumačiti vremenske procese, što je dosta zahtijevno. Postupak "čitanja" analitičkih i prognostičkih karata je podjednak, no postoje razlike u tumačenju.

Analitička karta prikazuje kako je vrijeme u nekom trenutku, odnosno bolje rečeno kakvo je bilo vrijeme u nekom trenutku, tj. u vrlo bliskoj prošlosti. U redovitoj sinoptičkoj praksi to znači vrijeme prije nekoliko sati. Pri tom se za potpunije sagledavanje problema primjenjuju dijagnostički modeli (*diagnostic model*; *diagnostische Model*).

Prognostičke karte dobivaju se danas pomoću numeričkih prognostičkih modela (*numerical forecasting model*; *numerische Vorhersagemodel*), a daju najvjerojatniji razvoj vremena na nekom području/mjestu za 24 h, za 48 h, za 72 h, za 96 h, za 120 h itd. ili za neke druge vremenske korake. Kako u svakodnevnoj sinoptičkoj praksi prevladavaju meteorološke karte velikih razmjera, za tumačenje vremenskih stanja i procesa na manjem području primjenjuju se dvije metode:

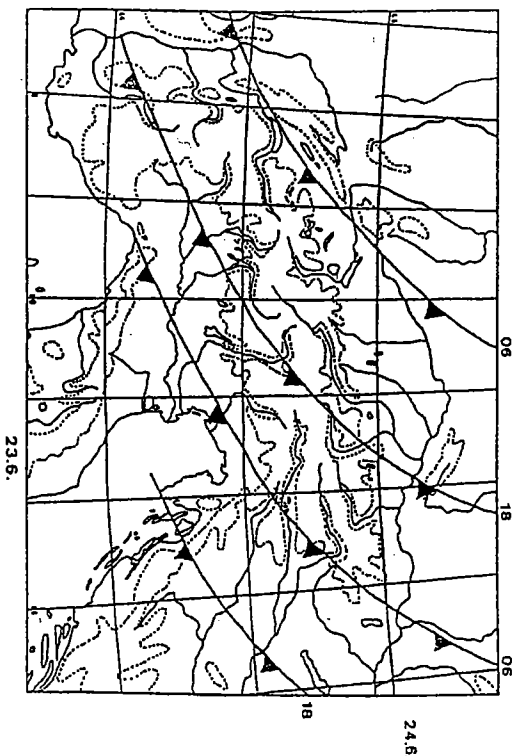
a) statističke metode Osnova je korelacija između meteoroloških elemenata dobivenih mjесnim mјerenjima i parametrima makrorazmjera koji se uzimaju kao prediktori. To znači da se najprije odredi (ispita) veza između nekog određenog elementa s karte s mјerenim vrijednostima, a kasnije se vrijednostima očitanim s karte pripisuju odgovarajuće prognozirane veličine.



Slika 28.11. Razniji procesi: a) atmosfera, b) morska površina (Fortak, 1971)

b) numerički modeli za ograničeno područje (limited area model-LAM; Modeli za begrenzte Gebiete) odnosno modeli s finom mrežom. Za razliku od karata makrorazmjera s korakom mreže (vodoravnom rezolucijom) > 100 km ovdje je rezo-

lucija 1-10 km. U mezorazmjerima se uskladjuju gibanja sinoptičkih razmjera njim uvjetima i tumače se u mјesno vrijeme.



Slika 28.12. Premještanje frontalne plohe, položaji hladnih fronti svakih 12 sati (23.6.1978. 06 UTC do 24.6.1978 18 UTC)

Općenito postoji više vrsta vremenskih prognoza ili predviđanja (weather forecast; Wettervorhersage):

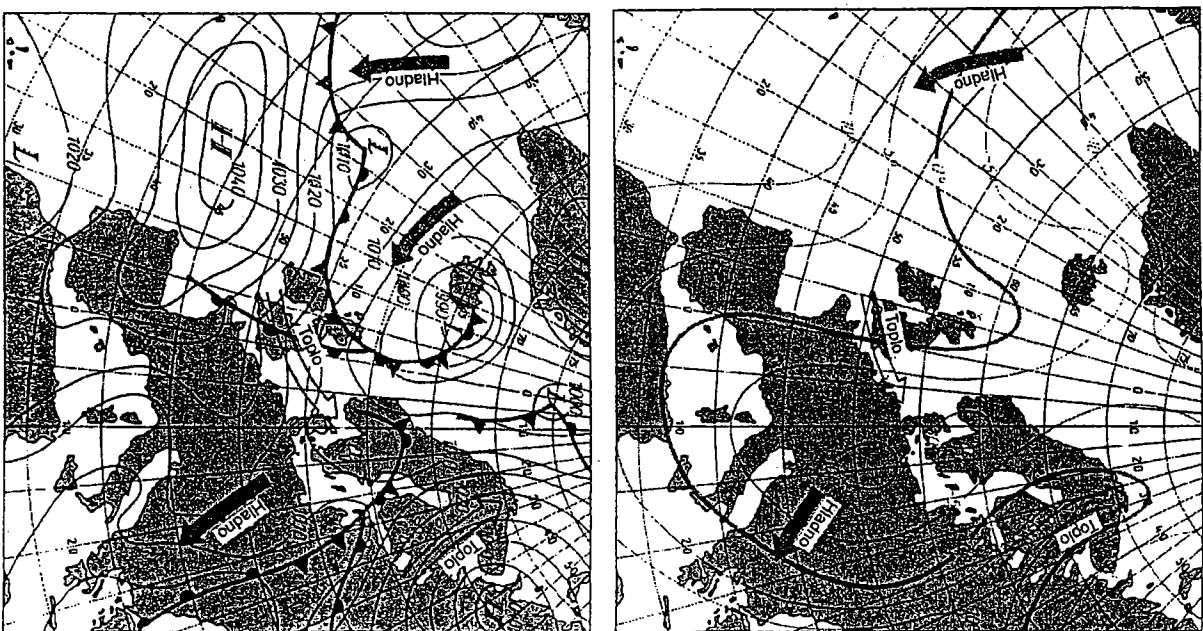
- a) ovisno o razdoblju za koje se daje (postoji više načina podjele razdoblja):
  - neposredni izgledi (vremena) (nowcast; Nowcast) → nekoliko sati unaprijed
  - vrlo kratkoročna prognoza (very short range forecast; sehr Kurzfrist) → pola do jedan dan
  - kratkoročna prognoza (short range forecast; Kurzfrist) → jedan do dva dana
  - srednjoročna prognoza (medium range forecast; Mittelfrist) → tri do sedam dana
  - dugoročna prognoza (long range forecast; Langfrist) → sedam do mјесec dana (sezona)
  - izgledi vremena (weather outlook; Wetteraussichten) → tјedan dana
  - daljnji izgledi (further outlook; weitere Aussichten) → više od tјedan dana
  - klimatska prognoza (climate forecast; Klima-Vorhersage) → godine do stotljeća
- b) ovisno o području za koje se daje:
  - mјesna prognoza ili lokalna prognoza (local forecast; Lokalvorhersage) → za neko mјесто ili vrlo malo područje

- područna prognoza (*area forecast; Vorhersagegebiet*) → za manja područja, dio države i sl.
- regionalna prognoza (*regional forecast; regionale Vorhersage*) → za velika područja, veći dio kontinenta ili oceana
- c) ovisno o vrsti i načinu na koji se daje:

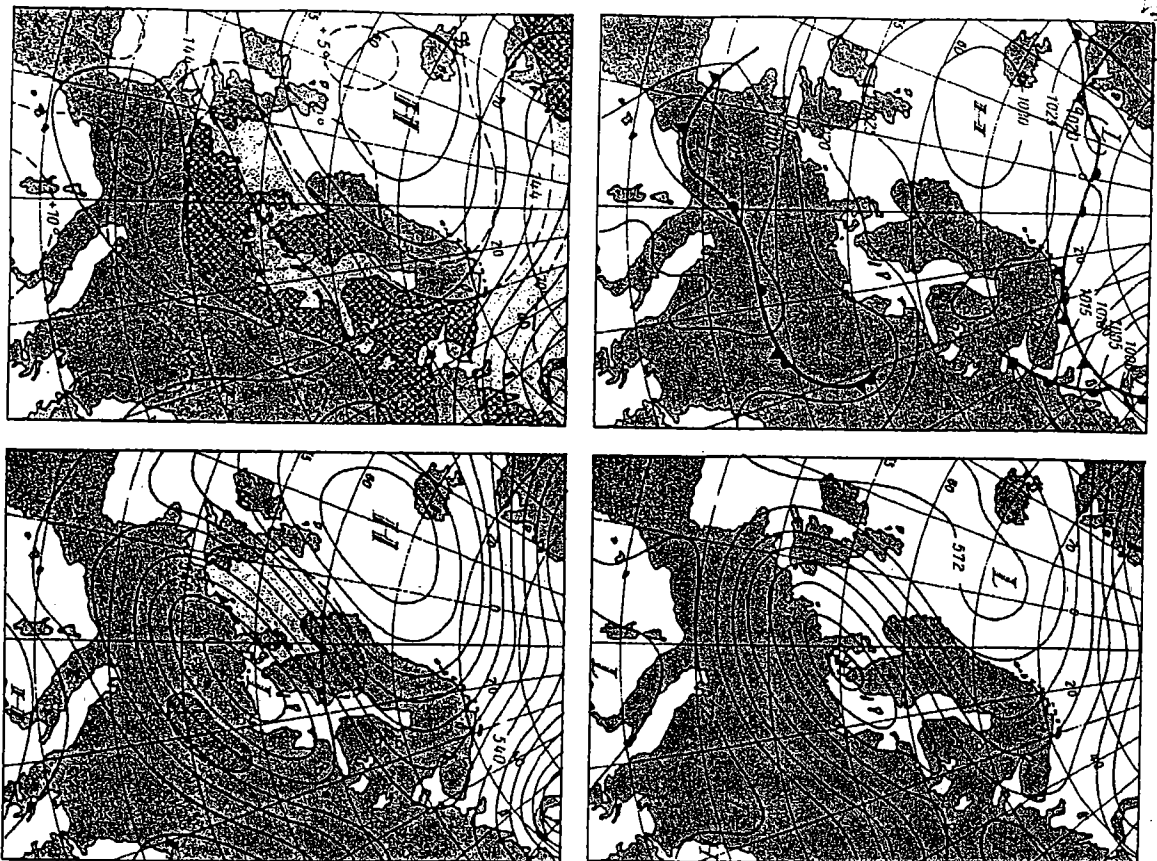
- opća prognoza (*general forecast; allgemeine Vorhersage*) → obično za šire pučanstvo
- posebna prognoza (*special forecast; spezielle Vorhersage*) → obično za određene korisnike
- sinoptička prognoza (*synoptic forecast; synoptische Vorhersage*) → uobičajeni oblik prognoze
- subjektivna prognoza (*subjective forecast; subjektive Vorhersage*) → dobivena procjenom prognostičara - meteorologa
- objektivna prognoza (*objective forecast; objektive Vorhersage*) → dobivena kao rezultat numeričke prognoze
- numerička prognoza (*numerical forecast; numerische Vorhersage*) → dobivena rješavanjem primitivnih jednadžbi pomoću računala
- statistička prognoza (*statistical forecast; statistische Vorhersage*) → uvažavanje statističko-klimatoloških veza unutar raznih meteoroloških parametara
- prognoza po ustrajnosti ili perzistencijska prognoza (*persistency forecast; Per-sistenzvorhersage*) → oblik uvažavanja statističko-klimatoloških veza unutar raznih meteoroloških parametara
- vjerojatnosna prognoza (*probability forecast; Wahrscheinlichkeitsvorhersage*) → mogućnosti ostvarenja prognoze u postocima.

Čitanje i tumačenje vremena s meteoroloških karata pokazuje kakvo je vrijeme i kakav se razvoj vremena može očekivati. Općenito, na prednjoj (istočnoj) strani ciklone topli zrak se prenješta prema polu, dok na stražnjoj (zapadnoj) strani struji hladni zrak prema ekvatoru. Kod anticiklone je obrnuto, strujanjem na zapadnoj (stražnjoj) strani topli zrak ide prema polu, a na istočnoj (prednjoj) strani hladni zrak struji prema ekvatoru.

Primjeri strujanja u cikloni i anticikloni na prizemnoj karti prikazani su na slici 28.13. dolje, uz pripadne izotermne na plohi 850 hPa, slika 28.13. gore. Na stražnjoj strani ciklone iznad jugoistočne Europe i na istočnoj strani Azorskog grebena visokog tlaka je hladni zrak, koji je prodro daleko prema jugu. Izoterna 0 °C (gornja slika) teče daleko prema jugu do alžirske i tunijske obale. Naprotiv, na mjesto hladnog zraka postoji snažni prodor toplog zraka na zapadnoj strani anticiklone iznad sjeverne Europe. Izoterna 0 °C ide do vrha Norveške. Daljnji prodor toplog zraka nalazi se na prednjoj strani ciklone kod Islanda iznad zapadne Europe. Izoterna 0 °C nalazi se pritom do Færøerskih otoka. Na stražnjoj strani ove ciklone iznad sjevernog Atlantika ističe se novi prodor hladnog zraka. Ovi, jedan pokraj drugog, prodori toplog i hladnog zraka su tipični za unjerske širine. Tako se objašnjavaju velike vremenske razlike, koje su česte na području Europe, ali i na drugim područjima Zemlje.



Slika 28.13. Prizemna vremenska karta za 12. travnja 1977. 00 UTC, dolje; izotermne na visinskoj karti AT 850 hPa, gore (England i Ulbricht, 1980)



Slika 28.14. Prizemna vremenska karta za 23. travnja 1976, 00 UTC, gore lijevo AT 850 hPa (izohipse u gpdm) i izotermne, dolje lijevo RT 500/1000 hPa (izohipse u gpdm), gore desno AT 500 hPa (izohipse u gpdm), dolje desno (England i Ulmrich, 1980)

Drugi primjer tumčenja vremenskog stanja prikazuje odvajanje ciklona iznad sjeveroistočne i srednje Europe. Na prizemnoj karti od zapadne Rusije do južne Francuske proteže se plitko područje niskog tlaka, slika 28.14, gore lijevo. Između ovog područja niskog tlaka i izraženog visokog tlaka iznad Sjevernog mora postoji preko sjeveroistočne i srednje Europe sjeveroistočno strujanje zraka. Sjeverno od područja visokog tlaka nalazi se područje niskog tlaka koje se sa svojim frontama premiče prema istoku.

Na plohi AT 850 hPa također se prepoznaje plitko područje niskog tlaka, otprilike na istom području kao i na prizemnoj karti. Crtane izotermne ukazuju na jaki prodor hladnog zraka, sjeverno od područja niskog tlaka, koji je došao od sjeveroistoka do zapadne Europe. Ovo dobro ističe područje obrubljeno izotermom  $-5^{\circ}\text{C}$ . Najhladniji zrak nalazi se iznad zapadnog istočnog mora, slika 28.14, dolje lijevo. Topli zrak napreduje kroz područja niskog tlaka, koja su sjeverno od rba visokog tlaka, prema sjevernoj Skandinaviji. Drugi prodor toplog zraka je istočno, od plitkog područja niskog tlaka prema sjeveru i gotovo dostiže prostor Petrograda. Ova dva razdvojena prodora toplog zraka dovest će do procesa odvajanja ciklona.

Slika 28.14, gore desno prikazuje kartu RT 500/1000 hPa s izraženim eliptičnim područjem hladnog zraka iznad sjeverne Srednje Europe sa zatvorenim izohipsama. Dobro su prepoznatljiva dva prodora toplog zraka.

Slika 28.14, dolje desno prikazuje kartu AT 500 hPa s vrlo izraženim poljefti visinskog niskog tlaka. Položaj njegovog središta dobro se razlikuje od položaja središta prizemnog niskog tlaka. Nalazi se tamo, gdje je u donjoj troposferi najhladniji zrak. Zatamnjene površine u području visinskog niskog tlaka označavaju područja u kojima je brzina vjeta  $\geq 30\text{ m s}^{-1}$  (mlazne struje).

Životni vijek ovakve visinske jezgre hladnog zraka, tj. hladne kaplje (*cold air drop, cold low, Kaltluftirropfen*) iznosi više dana, pa i preko tjedan dana (točka 19.2.). Hladna kaplja je kružnog ili eliptičnog oblika (oko koje je topliji zrak) i često je povezana s izraženim vremenskim procesima. Primjer joj je nekoliko stotina pa i preko 1000 km. Prije svega u zimi, a također i ljeti, opažene su velike hladne kaplje, koje se mogu zadržati više tjedana uvlačenjem uvijek novih hladnih zračnih masa. Na prizemnim kartama je slabo uočljiva ili je nema. Porastom visine hladna kaplja je sve uočljivija, zbog temperaturnih gradjenata nagibi izobarnih ploha su veći, a također jačaju i vjetrovi i smicanja vjeta.

Kako je visinska ciklona vezana uz hladni zrak, ona će dati odgovarajući smjer strujanja hladnog zraka. Za procjenu smjera promjene položaja hladne kaplje važna su strujanja u donjoj troposferi. Većinom se primjenjuje prizemna karta, no važna je i karta AT 850 hPa s ucrtanim izotermama. Za brzinu promjene položaja hladne kaplje može se staviti 80% gradijenta vjeta, izračunatog iz prizemne karte. Zbog stalnih promjena prizemnog polja tlaka putanje hladne kaplje često imaju nepravilni razvoj. Prateći ih nekoliko dana, trajektorije često pokazuju oblik petlje. Zato je vremenska prognoza teška u vezi s hladnom kapljom. Premiče li se hladna kaplja preko nekog područja, neće se opaziti neke značajne promjene tlaka.

U području hladne kaplje postoji široko rasprostranjeno uspravno gibanje. Gledajući u smjeru njezina gibanja na prednjoj strani je spuštanje, dok se zrak na stražnjoj strani diže, tako da tamo često nastaju procesi zaledivanja. Za objašnjenje zaledivanja na stražnjoj strani hladne kaplje može poslužiti slika 28.14, dolje lijevo. Nad područjem, gdje preko istočne Europe prema sjeveru napreduje topli zrak, na tlu postoji hladno sjeverois-

točno strujanje te nastaje jako uspravno smicanje vjetera. Zbog toga je topli zrak prisiljen na penjanje preko široko rasprostranjenog i debelog prizemnog hladnog zraka (slično kao pri toploj fronti). Uvažavajući uspravna gibanja i s njima povezane vremenske pojave, oni su u hladnoj kaplji obrniti nego kod putujućih ciklona.

Prostrane i goleme oblačne nakupine u području hladne kapije ne vežu se s frontama. One nastaju uspravnim smicanjem vjetera i labilnim premještanjem. Ako je sadržaj vodene pare u toplom zraku velik i nalazi se izvan jakog zaledivanja, može nastupiti dugotrajna i jaka kiša odnosno snijeg. Na prednjoj strani hladne kapije zbog spuštanja vrijeme je često bezoborinsko i vedro. Zbog toga često dolazi do potječivanja vremenskog djelovanja nailazeće hladne kapije.

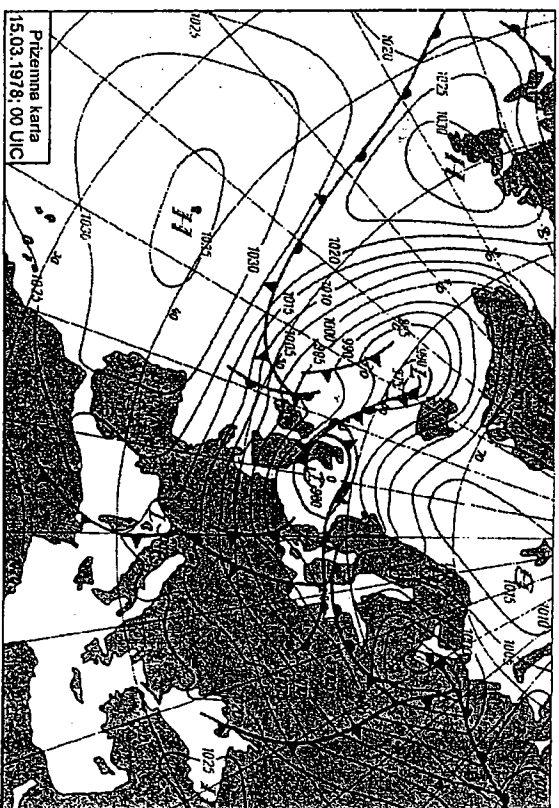
U ljetu, iznad kopna u središnjim područjima hladne kapije, katkad će hladni zrak postati od lja jako labilan zbog termičke konvekcije te nastaje jaki razvoj oblaka, pljus-kovi ili gmljavina s izraženim dnevnim hodom. U zimi hladne kapije većinom zauzima-ju veća prostranstva nego ljeti. Zbog nedostatka izražene labilnosti iznad hladnog kopna postoji slojevitaa naoblaka, posebno u središnjim područjima i na stražnjoj strani hladne kapije.

Prinijer prikaza vremenskog stanja (15. ožujka 1978. 00 UTC), tj. vremenska analiza koja uključuje prizemnu i visinske karte dan je na slikama 28.15-18.

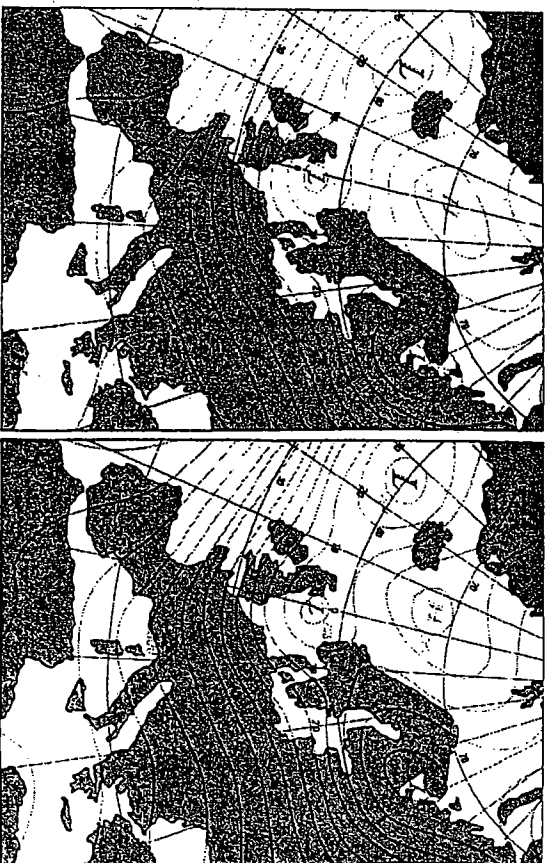
Prizemna karta s poljem atmosferskog tlaka i frontama, slika 28.15, pokazuje prostrano polje niskog tlaka iznad većeg dijela sjevernog Atlantika i Europe. Središta tog niskog tlaka protežu se jugozapadno od Islanda do u Sjeverno more, te istočno od Skandinavije, vjertujući jako zapadno strujanje s frontalnim sustavima koji se gibaju prema istoku. Karta pokazuje i prostrana područja visokog tlaka. Tako greben prostrane Azorske (suprportske) anticiklone prelazi Pirinejski poluotok, dok se drugo područje visokog tlaka (završna anticiklona) nalazi istočno od New Foundlanda. Područja blize polu (Greenland) također imaju visoki tlak (stacionarna anticiklona).

Na nižim visinskim kartama (AT 850 i 700 hPa, slika 28.16.) raspodjela geopotencijala prati prizemnu kartu te su središta niskog i visokog tlaka približno na istim mjestima kao u prizemlju. Iznad Europe postoji dolina niskog tlaka (os doline približno na meridijanu 10° E). Stoga je iznad zapadne Europe zapadno strujanje uz slabo razliženje, dok na prednjoj strani doline tj. iznad srednje i istočne Europe postoji jugozapadno strujanje.

Na srednjim (AT 500 hPa, slika 28.17. dolje) i visim (AT 300 hPa, slika 28.17. gore, AT 200 hPa, slika 28.18. dolje) kartama raspodjela geopotencijala ne prati prizemnu kartu, osobito s porastom visine, premda je osnovna slika raspodjele tlaka sačuvana. Prije spomenuta dolina porastom visine nalazi se sve zapadnije (os doline na AT 200 hPa je blizu 0° E), baš slično kao i barička središta. Zbog slabog grebena iznad istočnog Atlantika, prijašnje zapadno strujanje iznad zapadne Europe postaje sjeverozapadno, dok je iznad srednje Europe jugozapadno strujanje koje se nad istočnom Europom povija na zapadno i dalje sjeverozapadno strujanje, tj. dobiva valne oblike. Važno je upozoriti da je na kartama AT 300 i 200 hPa gustoća izohipsa prividno manja, međutim, promjena geopotencijala nije 4 gpm nego je 8 gpm (izvlačenja je svaka druga izohipsa). To znači da na tim visinama postoji strujanje velikih brzina, koje se proteže od američkog kopna, iznad Atlantika i preko Biskajskog zaljeva do južne Francuske, gdje zakreće prema sjeveroistoku i preko Alpa dolazi do Poljske, prelazeći na zapadno do sjeverozapadno strujanje preko južnog dijela Rusije, gdje konačno završava. To se najbolje vidi na karti



Slika 28.15. Prizemna karta, 15. ožujka 1978. 00 UTC (England i Ulbricht, 1980)

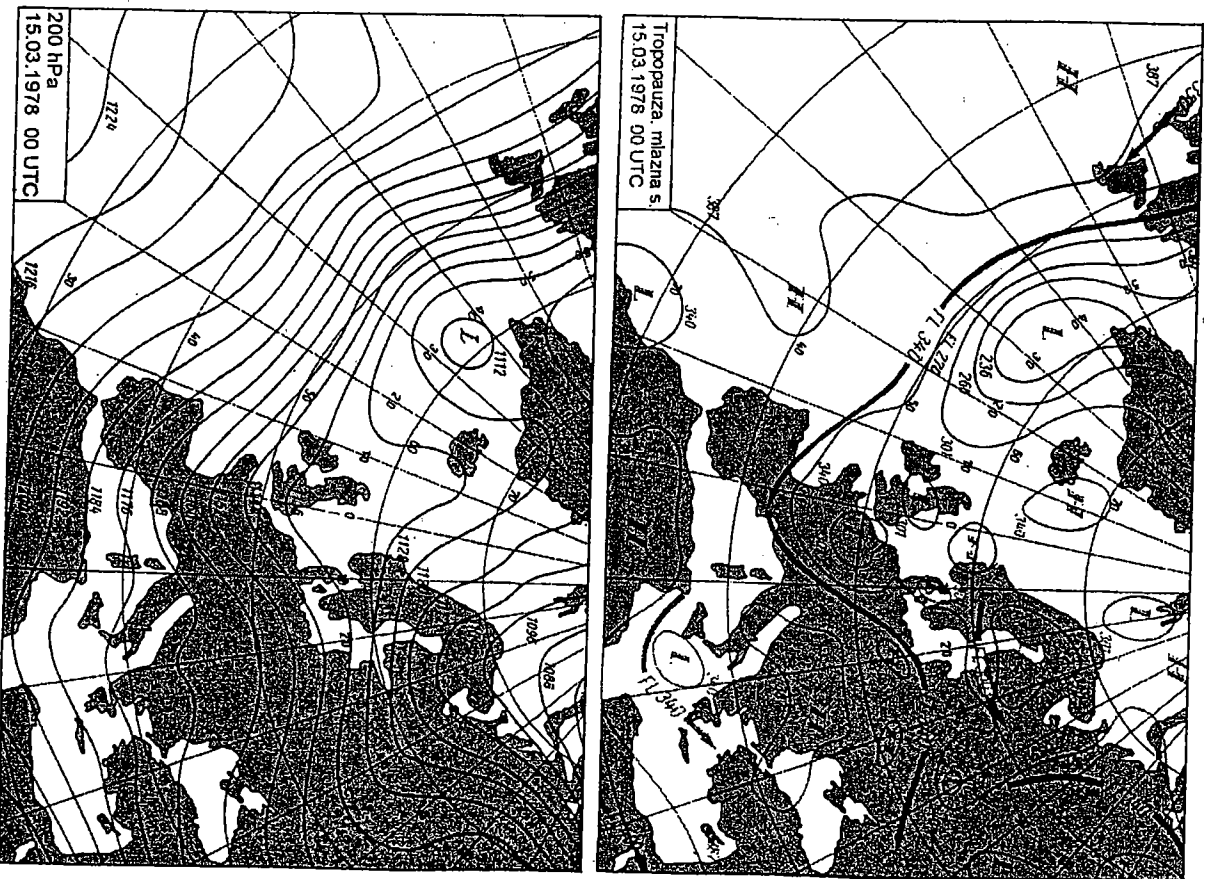


Slika 28.16. Visinska karta AT 850 hPa lijevo i AT 700 hPa desno, (geopotencijal u gpm) 15. ožujka 1978. 00 UTC (England i Ulbricht, 1980)

116



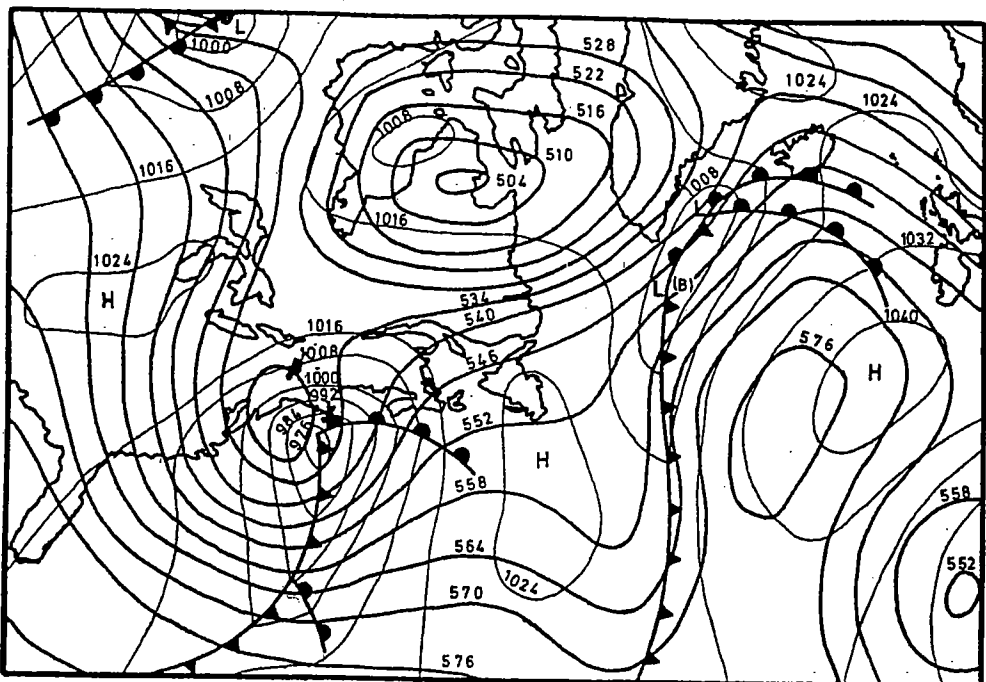
Slika 28. 17. Visinska karta AT 500 hPa dolje i AT 300 hPa gore, (geopotencijal u gpdm) 15. ožujka 1978. 00 UTC (England i Ulbricht, 1980)



Slika 28. 18. Visinska karta AT 200 hPa dolje, karta tropopauze i mlazne struje gore, (geopotencijal u gpdm) 15. ožujka 1978. 00 UTC (England i Ulbricht, 1980)

tropopauze i mlazne struje, slika 28.18. gore, koja se najčešće rabi u zrakoplovstvu pa su visine dane po razinama leta (*flight level* - FL; *Flughöhe*), npr. FL 300 = 30 000 ft = 9144 m. Obzirom na drukčiji raspodjelu temperature, očito barički sustavi iznad tropopauze imaju drukčije oblike nego ispod tropopauze.

Prenjštavanje i donekle razvoj vremena na prizemnoj karti može se pratiti primjenjujući istodobno prizemnu i visinsku kartu, npr 500 hPa, slika 28.19.



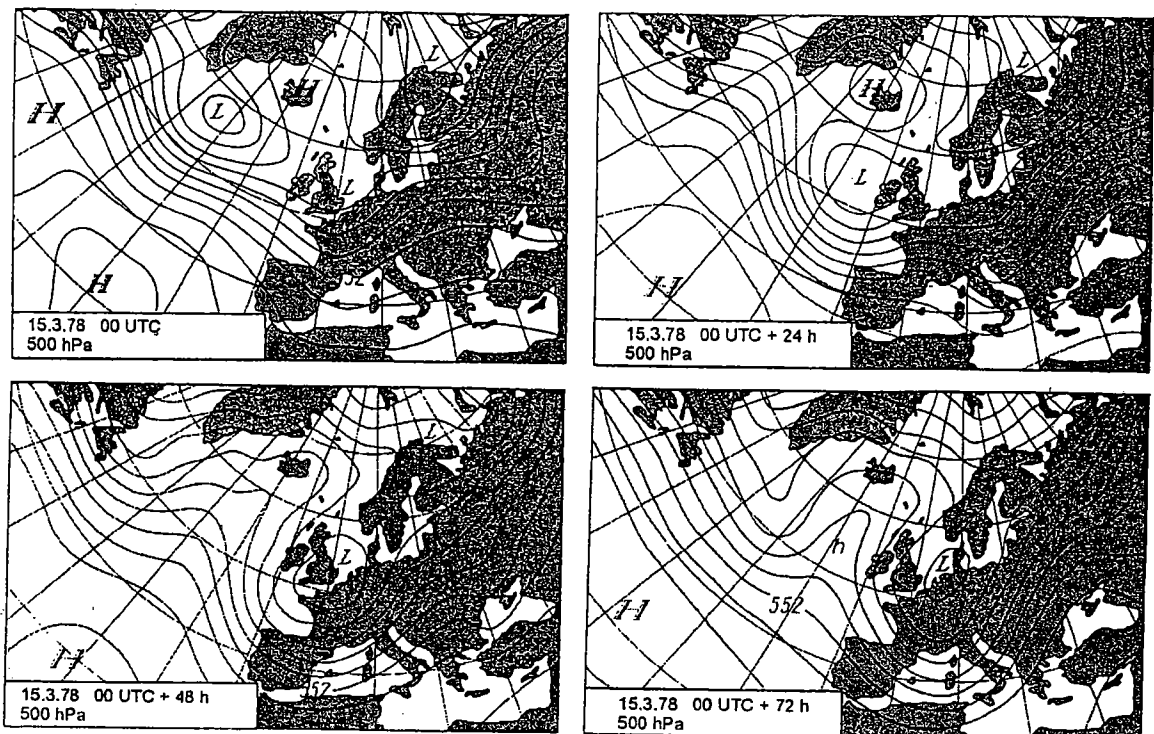
Slika 28.19. Prizemna karta (fronte i izobare, tanke crtkane) i karta AT 500 hPa (izohipse u gpdm, debele crte, središta baričkih sustava su pisana koso) 10. veljače 1960. 00 UTC (McInosh i Thom, 1973)

Vidljivo je da se središta prizemnih i visinskih baričkih sustava ne podudaraju. Uvažavajući smjer gibanja na visinskoj karti (označeno strijelicom) slijedi da na njoj središta baričkih sustava zaostaju, tj. postoji naglo osi koja spaja središta prizemnih i visinskih sustava. To se dobro vidi kod ciklone istočno od američkog kopna i kod anticiklone u istočnom Atlantiku. Ovo istodobno znači da se prizemni frontalni sustavi gubeju približno u smjeru visinskih strujanja.

Tumačenje prognostičkih karata prikazano je na slici 28.20., gdje primjer prikazuje visinsku kartu (AT 500 hPa), kao što bi bilo i za druge visinske karte, a slično i za prizemne. Tipično je označavanje prognostičkih karata, gdje nakon datuma i termina analize postoji oznaka, npr. +24h, koja znači prognozu za sljedeći dan. Slično je za druge prognoze (+48h, +72h). Ovim kartama pripadaju i analitičke karte prikazane na slikama 28.15-18. Uspoređujući sve četiri karte na slici 28.20. uočava se iz dana u dan pomak središta baričkih sustava te promjene njihovih vrijednosti, ako se obrati pažnja na izohipsu 552 gpdm.

Primjer tumačenja vremena za naše područje: Iznad Atlantskog oceana i Europe otkriva se jako prevladavajuće zapadno visinsko strujanje (postoji meandriranje toka). Prodor vlažnog zraka s Atlantika zahvatio je područje Alpa i zapadno Sredozemlje. U Genovskom zaljevu nastala je pilika ciklona (slika 28.15), koja je uvjetovala naoblacenje na sjevernom Jadranu, u Gorskome kotaru i Lici te mjestimičnu kišu. Istodobno visinska dolina niskog tlaka iznad Europe proteže se od Velike Britanije do zapadnog Sredozemlja uvjetujući jugozapadno strujanje iznad naših krajeva i lagano različenje izohipsi (slika 28.20. analiza, gore lijevo), što na visini znači dizanje zraka, a u prizemlju oborine ukoliko je zrak dovoljno vlažan. Nakon 24 h očekuje se, da će os doline biti iznad srednje Europe, da će zahvatiti naše sjeverne krajeve te će se protezati preko Italije do afričke obale (slika 28.20. gore desno). To će uvjetovati brzo premještanje frontalnog poremećaja preko naših krajeva na sjeveroistok i dat će prolazno jače naoblacenje s kišom mjestimice. Snijeg je moguć u gorskim krajevima višim od 1000 m nadmorske visine. Umjerene oborine su moguće ponegdje na sjevernom i srednjem Jadranu te u Gorskome kotaru i Lici. Oborina će slabiti uz prolazno kidanje naoblake, a prizemni vjetar će nakon jugozapadnog smjera preći u kratkotrajni sjeverni do sjeveroistočni.

Izgledi vremena za sljedeća dva dana (+48h, +72h). Ciklona koja se nalazi južno od Islanda je posljednja iz obitelji ciklona, koje su uvjetovale povremene prodore vlažnog zraka, budući da je prati jaka anticiklona. Stoga dolazi do stvaranja Rossbyevih valova, tj. do jačanja termičkog grebena zapadno od Britanskog otočja i visinske doline iznad srednje Europe (slika 28.20. dolje). Kako se prethodna dolina premjestila prema istoku, a iz zapadnog Sredozemlja nalazi nova dolina, iznad naših krajeva jačat će jugozapadno visinsko strujanje uz prijećanje toplog i vlažnog zraka s područja Sredozemlja. Stoga se očekuje umjerenje do pretežito oblačno vrijeme s kišom povremeno, osobito na Jadranu i u zapadnim krajevima, gdje će ponegdje biti i jačih oborina. Na Jadranu južno u pojačanju i bit će jako, na udare i olujno ( $\geq 17.2 \text{ m s}^{-1}$ ). Uočljivo je da se očekuje spuštanje izohipse 552 gpdm iz viših u niže zemljopisne širine pa će biti malo hladnije.



Slika 28.20. Karta AT 500 hPa (u gđm) 15. ožujka 1978. 00 UTC, gore lijevo; prognoza AT 500 hPa za 15. ožujka 1978. 00 UTC + 24 h, gore desno; prognoza AT 500 hPa za 15. ožujka 1978. 00 UTC + 48 h, dolje lijevo; prognoza AT 500 hPa za 15. ožujka 1978. 00 UTC + 72 h, dolje desno (England i Ulbricht, 1980)

#### 28.4.1. Vremenske karte i dijagrami u meteorološkoj službi

U svom svakodnevnom radu meteorološke službe koriste različite tipove meteoroloških karata (analize, prognoze), zatim različite dijagrame (aerološki dijagram, presjeke atmosfere) i druge materijale. Nekoliko najrazvijenijih službi u svijetu priprema glavniinu tih materijala i stavlja ih na raspolaganje drugim državnim službama da temeljem njih pripremaju vlastite materijale. Ujedno meteorološke službe međusobno razmjenjuju karte, dijagrame i slične materijale, što se osobito odnosi na prognoze. Na temelju pripremljenog "meteorološkog materijala" služba izdaje odgovarajuća upozorenja, izvješća i prognoze prema potrebama raznih korisnika. Primjer skraćenog "meteorološkog materijala" za jedan dan koji se prima, obrađuje i razmjenjuje u Državnom hidrometeorološkom zavodu u Zagrebu, prikazan je u prilogu 20. U ovom slučaju odabran je 31. siječanj 2000. u 00:00 UTC, nazovimo ga "danasnji dan".

u prilogu 20.1. dane su satelitske slike vremenskog stanja za Europu 31.01.2000. u 00:57 UTC, koje je izdao Eumetsat i poslao u međunarodnu razmjenu; slika a) prikazuje infracrveni spektar (IR), dok je na b) spektar vodene pare (WV). U ovom terminu za navedeno područje ne postoji slika u vidljivom spektru (VIS), jer su to noćni sat pa nema sunca. Za tumačenje slika vidi točku 30.3.3.

u prilogu 20.2. dane su analize visinskih karata od AT-200 hPa do AT-850 hPa za Europu i zapadni Atlantik 31.01.2000. u 00 UTC, koje je izdala njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst* - DWD) sa sjedištem u Frankfurtu i poslala u međunarodnu razmjenu. Oznake na karti su uobičajene, ucrnani su podaci o temperaturi i rosištu zraka, vjetru, te sf izvučene izohipse.

- slika a) prikazuje kartu AT-200 hPa ( $\approx 11.8$  km),
- slika b) prikazuje kartu AT-300 hPa ( $\approx 9.1$  km),
- slika c) prikazuje kartu AT-400 hPa ( $\approx 7.1$  km),
- slika d) prikazuje kartu AT-500 hPa ( $\approx 5.5$  km),
- slika e) prikazuje kartu AT-700 hPa ( $\approx 3.0$  km),
- slika f) prikazuje kartu AT-850 hPa ( $\approx 1.4$  km).

Temeljna značajka vremena je vrlo jako visinsko strujanje ( $> 150$  kt, jugozapadno, zapadno, sjeverozapadno) iznad sjevernog Atlantika i sjeverne Europe.

u prilogu 20.3. dana je analiza prizemnog vremenskog stanja za Europu i zapadni Atlantik 31.01.2000. u 00 UTC, koju je izdala njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst* - DWD). Oznake na karti su uobičajene. Ucrnani su podaci o oblacima, pojavama, tlaku, temperaturi i rosištu zraka, vjetru, zatim, izvučene su izobare i naznačena barička središta te fronte. Dobro se uočavaju središta niskog tlaka (Grenland, Sjeverno more, vrh Skandinavije) s frontalnim sustavima koji se protežu preko sjevernog Atlantika i sjeverne Europe te ulaskom nad kontinent prodiru ili dalje na istok ili prema jugoistočnim područjima Europe. Područje visokog tlaka zahvaća Pirinejski poluotok i dijelove sjeverne Afrike.

prilozi 20.4. prikazuju niz prognostičkih karata za Europu i zapadni Atlantik za naredna tri dana. Na temelju analize od 30.01.2000. u 18 UTC dobivena je prognoza za 01.02.2000. u 00 UTC (18 + 30 h), slika a), na temelju analize od 31.01.2000. u 00 UTC dobivena je prognoza za 02.02.2000. u 00 UTC (00 + 48 h), slika b), (ove



119

karte izdala je njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst* - DWD)), Treću prognostičku kartu izdala je meteorološka služba Velike Britanije (EGRR UKMO) sa sjedištem u Bracknellu prema analizi od 31.01.2000. u 00 UTC, vrijedi za 03.02.2000. u 00 UTC (00 + 72 h), slika c). Ovdje nisu prikazane prognostičke karte, već samo neke. Oznake na kartama su uobičajene. Izvučene su izobare i naznačena barička središta te fronte. Na kartama DWD-a naznačena su područja značajne naoblake, dok su na karti EGRR izobise relativne topografije, prema istoku, stapanje i nastajanje novih baričkih središta te frontalnih sustava.

Alpsko područje, koje je izdala njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst* - DWD), na temelju analize od 31.01.2000. u 00 UTC. Prognoza najnižih temperatura dobivena je za razdoblje od 31.01. u 18 UTC do 01.02. u 06 UTC, tj. za što je prikazano na prognostičkoj karti za 01.02.2000. u 06 UTC (00 + 30 h), slika a). Prognoza najviših temperatura vrijedi za 01.02. za razdoblje od 06 UTC do 18 UTC, što je prikazano na prognostičkoj karti za 01.02.2000. u 18 UTC (00 + 42 h), slika b). Urtani su podaci o temperaturi zraka u točkama mreže. Dobro se uočavaju područja nižih i viših temperatura uz naznaku da treba uvažiti nadmorsku visinu i vrsto podloge (kopno, more).

prilozi 20.6. i 20.7. prikazuju prognostičke karte za Sredozemlje za sjedeća 48 h (2 dana), polazeći od 31.01.2000. u 00 UTC, tj. vrijede za 02.02.2000. u 00 UTC, a radi ih i šalje meteorološka služba Francuske (*Météo France*) sa sjedištem u Toulouseu. Ovdje su dane samo neke karte, koje se odnose na:

- a) tlak na morskoj razini te smjer i brzinu prizemnog vjetra (na 10 m), prilog 20.6.,
- b) relativnu vlažnost na AT-700 hPa, prilog 20.7.

Prizemni vjetar pokazuje manja područja konvergencije i vrtložnosti, kao mjesta mogućeg razvoja vremenskih procesa, dok visinska karta prikazuje razmjerno veliku relativnu vlažnost nad zapadnim Sredozemljem i širim Alpskim područjem te nešto na istoku Balkanskog poluotoka, što upućuje na razvoj naoblake.

prilozi 20.8., 20.9. i 20.10. prikazuju prognostičke karte za dio zapadne Europe, uključujući i naše područje, za sjedeća 48 h (2 dana), polazeći od 31.01.2000. u 00 UTC, te vrijede za 02.02.2000. u 00 UTC, a radi ih i šalje njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst* - DWD). Tu su također dane samo neke karte, a odnose se na:

- a) nisku naoblaku iskazanu u 1/8, prilog 20.8.,
- b) na vremenske procese (magla, kiša, snijeg, pljuskovi, grmljavine i dr.), prilog 20.9.,
- c) na količinu oborina palu tijekom 12 h, prilog 20.10.

Vidljivo je da veća naoblaka prati frontalne sustave uglavnom na privjetrini Alpa što je u vezi s vlažnošću na AT-700 hPa. Na istom području predviđaju se izražene vremenske pojave (oborine, grmljavine i dr.), koje se rezultiraju u umjerenoj količini oborina koje se predviđaju tijekom 12 h (mm), za razdoblje od 01.02. u 12 UTC do 02.02. u 00 UTC na dijelu zapadne Europe, a koja bi bila izmjerena 02.02.2000. u

00 UTC. Pokazuje se da se očekuju umjerenе oborine na području zapadne Europe uglavnom u privjetrini Alpa, ali i dijelu Sjevernog Atlantika.

u prilogu 20.11. dana je prognostička karta značajnog vremena (SWC) za Europu, koja se koristi u zrakoplovstvu, za razine između FL 100-450 za 31.01.2000. u 12 UTC, koju je izdao WAF C London i poslao u međunarodnu razmjenu, a temelji se na analizi od 30.01.2000. u 12 UTC.

I ovdje se ističe jako visinsko strujanje uz turbulenciju (mlazna struja iznad Sjevernog Atlantika i sjeverne Europe na razini FL 320 do 140 kt, dok je iznad Egipta na FL 370 brzine 160 kt), frontalne sustave i značajnu naoblaku i pojave, (vidi točku 34.2.7. - za oznake vidi prilog 18).

prilog 20.12. prikazuje emagram za Zagreb (postajni broj 14240) 31.01. 2000. u 00 UTC, tj. promjenu temperature i rosišta zraka te smjera i brzine vjetra s visinom od Zemljine površine do razine 100 hPa (visina oko 16 km odnosno 52 000 stopa).

Europe 31.01.2000. u 00:10 UTC, koju je izdao CERAD (mreža srednjo Europskih radara) i poslao u međunarodnu razmjenu; slika prikazuje mrežu radara koji mjere jačinu oborine (mm h<sup>-1</sup>). Za tumačenje slike vidi točku 30.1.2.

prilog 20.14. prikazuje vremenski presjek kroz atmosferu (HRID) do visine 10 km u području Zagreba, koji počinje 31.01.2000. u 00 UTC, i prognozira se razvoj vremena za sjedeća 48 h, a izrađen je u Zagrebu na temelju prognostičkih ulaznih podataka francuskog modela Aladin (*Météo France*). Slično postoji i za druga mjesta. Skup od šest dijagrama odnosi se na:

- a) temperaturu zraka i relativnu vlažnost  $\geq 60\%$  po visini, ujedno je dana i konveksijska razina (LCL),
- b) ekvipotencijalnu temperaturu i specifičnu vlažnost, te područje konveksijske nestabilnosti,
- c) vodoravne vektore vjetra i izotabe, te područje mlazne struje,
- d) temperaturu i rosište na 2 m,
- e) tlak na srednjoj morskoj razini,
- f) smjer i brzinu prizemnog vjetra.

prilog 20.15. prikazuje meteogram za Zagreb, tj. prognoze meteoroloških elemenata za sjedećih 7 dana, polazeći od 31.01.2000. u 00 UTC, a radi ih i šalje njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst* - DWD). Slične prognoze postoje i za druga mjesta. Prikazane su prognoze vjetra po visini od prizemnog do AT-300 hPa, temperature zraka na 2 m i temperature vjetra na 850 i 500 hPa, količine visokih, srednjih i niskih oblaka, visina razine mokre konvekcije, atmosferskog tlaka (na srednjoj morskoj razini) i količine oborine.

prilog 20.16. prikazuje meteogram za Zagreb, tj. prognoze meteoroloških elemenata za sjedećih 10 dana, polazeći od 31.01.2000. u 00 UTC, a radi ih i šalje Europski centar za srednjoročne prognoze vremena (*European Center for Medium Range Weather Forecasts* - ECMWF) sa sjedištem u Readingu, blizu Londona. Slične prognoze postoje i za druga mjesta. Prikazane su prognoze naoblake, temperature zraka na 2 m i temperature zraka na 850 hPa, atmosferskog tlaka (na srednjoj morskoj razini), količine oborine, te smjera i brzine vjetra.

prilozi 20.17. do 20.20. prikazuju niz prognostičkih karata za Europu i zapadni Atlantik za pojedine dane u 12 UTC do konatnog 10. dana, polazeći od 30.01.2000. u 12 UTC, (ECMWF). Ovdje nisu prikazane sve karte već samo neke, tj. za 1 dan, 2, 5 i 10 dana. Oznake na karti su uobičajene. Skup od četiri karte za pojedini dan (termin) odnosi se na:

- a) visinsku kartu, koja prikazuje izohipse i izotaha (mlazna struja je sjenčana) na AT-300 hPa,
  - b) visinsku kartu, koja prikazuje izohipse i izoterme na AT-500 hPa,
  - c) visinsku kartu, koja prikazuje izohipse i izoterme na AT-850 hPa,
  - d) prizemnu kartu s atmosferskim tlakom (na SMR), izohipse relativne topografije RT 500/1000 hPa, te relativnu vlažnost (> 60%) u sloju od 500 do 850 hPa.
- prognoza za 24 h (1 dan), tj. za 31.01.2000. u 12 UTC, dana je u prilogu 20.17,
  - prognoza za 48 h (2 dana), tj. za 01.02.2000. u 12 UTC, dana je u prilogu 20.18,
  - prognoza za 120 h (5 dana), tj. za 04.02.2000. u 12 UTC, dana je u prilogu 20.19,
  - prognoza za 228 h (10 dana), tj. za 09.02.2000. u 00 UTC, dana je u prilogu 20.20,
  - prilozi 21.21. do 20.24. prikazuju niz prognostičkih karata za šire područje Hrvatske za pojedine dane u 12 UTC do konatnog 10. dana, polazeći od 30.01.2000. u 12 UTC, (ECMWF). Ovdje nisu prikazane sve karte već samo neke, tj. za 1 dan, 2, 5 i 10 dana. Oznake na karti su uobičajene. Skup od dvije karte za pojedini dan (termin) odnosi se na:

- a) prizemnu temperaturu na 2 m i naoblaku (> 50%),
- b) oborine i prizemni vjetar na 10 m.

- prognoza za 24 h (1 dan), tj. za 31.01.2000. u 12 UTC, dana je u prilogu 20.21,
- prognoza za 48 h (2 dana), tj. za 01.02.2000. u 12 UTC, dana je u prilogu 20.22,
- prognoza za 120 h (5 dana), tj. za 04.02.2000. u 12 UTC, dana je u prilogu 20.23,
- prognoza za 228 h (10 dana), tj. za 09.02.2000. u 00 UTC, dana je u prilogu 20.24.

Na temelju prethodnih karata dana je vremenska prognoza za Hrvatsku za 31. siječanj 2000. godine i iduća dva dana.

*Hrvatski radio, radiopostaja Zagreb, 1. i 2. program (Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb)*

"U većini krajeva djelomice ili pretežno sunčano. Ujutro i prijepodne uz promjenjivu naoblaku ponegdje u istočnim predjelima može biti malo kiše. U sjevernom primorju ujutro mjestimice slijeviti oblaci ili magla. Puhat će slab do umjeren zapadni i jugozapadni vjetar, na Jadranu većinom jugo, a uz obalu ujutro slaba bura. Najviša dnevna temperatura zraka u većini krajeva između 9 i 14 °C."

Za tisk: *Večernji list* (Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb)

"*Kopno* – Dio prijepodneva oblačno, a zatim djelomice sunčano. Kratkotrajna slabija kiša moguća je ujutro ponegdje u Podravini, istočnoj Slavoniji i Baranji. Vjetar slab do umjeren, jugozapadni i zapadni. Najviša dnevna temperatura zraka između 9 i 13 °C.

*Primorje* – Prevladavat će sunčano. Puhat će slab do umjereni jugo, a samo uz obalu ujutro mjestimice bura. Najviša temperatura zraka bit će između 12 i 16 °C.

*Vrijeme u iduća dva dana*  
U utorku će prevladavati sunčano. U kopnenom području mjestimice će biti jutarnje magle. U srijedu postupno jače naoblakenje, a podkraj dana mjestimice malo kiše, u višem gorju snijega. Zadržat će se razmjerno toplo vrijeme. "

Za tisk: *Slobodna Dalmacija* (Pomorski meteorološki centar, Split)

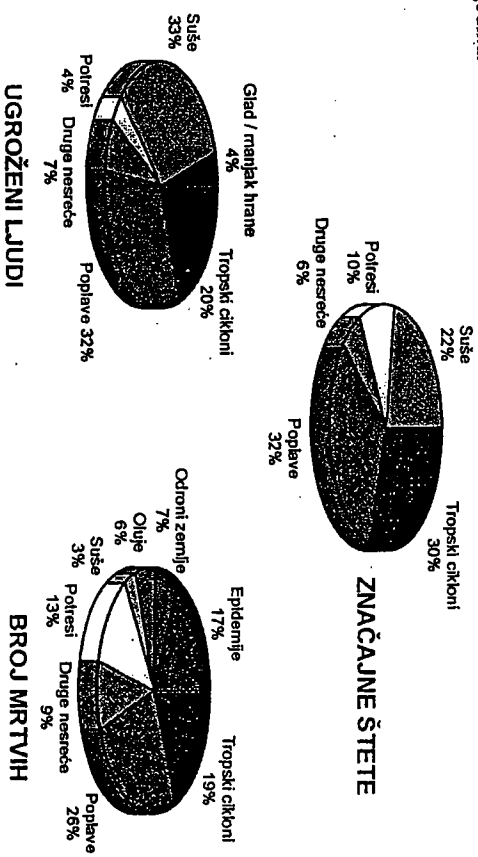
"U kopnenom području će u noći i dio prijepodneva biti uglavnom oblačno, zatim djelomično sunčano. Kratkotrajna slabija kiša je moguća u noći i ujutro, ponegdje u Podravini, istočnoj Slavoniji i Baranji. Vjetar slab do umjeren, jugozapadni i zapadni. Jutarnja temperatura zraka između 1 i 6, a najviša dnevna u većini krajeva između 9 i 14 °C.

*Jadran* – Pretežno vedro i malo toplije. Na sjevernom Jadranu umjereni oblačno. Slabo jugo. More malo valovito. Na sjevernom Jadranu sumaglica.

*Sutra* – Očekuje se novo jače naoblakenje, krajem dana i tijekom noći mjestimice slabija kiša."

#### 28.4.2. Korisnost vremenskih analiza i prognoza - upozorenja

Uspjehi petodnevnih vremenskih prognoza ostvarenih kroz posljednju dekadu i novi postupci u mnogim zemljama, svrstavaju ih u velika dostignuća ovog stoljeća. Ove prognoze, sada toliko dobre i bolje od trodnevnih prognoza od prije četiri ili pet godina, sačuvala su milione života preko upozorenja na tropske ciklone, poplave i druga olujna nevremena i bit će glavna pomoć pri proizvodnji hrane. Takav napredak bio je neshvatljiv prije 50 godina i samo tračak nade u očima maštovitih planera prije 30 godina.



Slika 28.21. Glavne nesreće s posljedicama na svijetu, 1963-1992. (WMO, 1994 a)

Tijekom 1980-tih godina preko 700 000 ljudi je izgubilo živote zbog izravnih posljedica vremenskih nepogoda, uključujući poplave ili suše (tabl. I-1.1.). Počeci 1990-tih godina ukazuju na još razornije procese. Nemoguće je, u financijskom obliku,

procijeniti cijenu ljudskih stradanja uzrokovanih ovim nesrećama. Ukupni troškovi protežu se ne samo na izravno oštećena područja već i do države kao cjeline, a često i na širu svjetsku zajednicu. Procijenjena šteta zbog nesreća uzrokovanih vremenom je oko 50-60000000000 \$ tijekom godine. Zahvaljujući pripremljenim shemama o nesrećama i osobito davanju upozorenja ljudima, gubici života zbog odgovarajućih nepogoda su bez sumnje u padu, slika 28.21.

Vremenska upozorenja (*weather warning; Wetterwarungen*) i prognoze, neovisno da li su za nekoliko sati ili više dana, upućuju ljude na određene postupke za čuvanje svojih i tuđih života, materijalnih dobara uključujući i ostali živi svijet. Naravno, tome mogu pripomoci i odgovarajući postupci pri umjetnom djelovanju na vrijeme (točka 1-14.).

## 28.5. Ustrojstvo meteorološke službe

Za učinkovita prikupljanja meteoroloških podataka, izrade analiza i prognoza te upozorenja potrebno je odgovarajuće ustrojstvo vremenske službe ili meteorološke djelatnosti (*weather service; Wetterdienst*). Stručno organizacijsku obradu vremenskih stanja obavlja Svjetska meteorološka organizacija (*World Meteorological Organization - WMO; Weltorganisation für Meteorologie*) uz podršku mnogih WMO sustava, preko svojih država članica. WMO, kao izvršni organ Ujedinjenih naroda, razradila je standarde i preporuke za rad u meteorologiji i skupila ih u odgovarajuće dokumente. Od država članica WMO se traži da udovolje zahtjevima postavljenim u WMO dokumentu Tehnička pravila (*Technical Regulations*), tj. uspostavljanje i održavanje odgovarajućeg ustrojstva meteoroloških - motrijskih postaja, meteoroloških ureda, sustava veza, školovanja osoblja, primjene istraživanja te razvoja tehnike i tehnologije.

- WMO izravno djeluje preko:
- svjetskih / područnih meteoroloških središta (*World / Regional Meteorological Centres - WMC / RMC; meteorologisches Weltzentrum / Regionalzentrum*) i državnih meteoroloških središnjica (*National Meteorological Centre - NMC; meteorologisches Nationalzentrum*), koji obuhvaćaju
  - meteorološke uredne (*weather bureau; Wetteramt*) raznih razina i meteorološke postaje (*weather station; Beobachtingstation*), radi što boljeg i bržeg prikupljanja i razmjene meteoroloških informacija (obavijesti) sa svim korisnicima. Tehnološki napredak (automatizacije i povezivanja sustava s automatskim motrenjima i obradom podataka) daje meteorologiji nove mogućnosti.

Svjetska i područna meteorološka središta - WMC i RMC pripremaju opće meteorološke podatke za mnoge korisnike uključujući i državne meteorološke službe. WMC radi vremenske prognoze za cijeli svijet u većim razmjerima, koja uključuje: prizemne i visinske karte s temperaturama, oborinama, vjetrovima, tropopauzama i drugim parametrima u brojčanom i/ili slikovnom obliku. Ova središta uz međusobnu suradnju primaju/šalju (putem telekomunikacijskih mreža satelita, računala, dalekopsača, faksmila, kao i drugim sredstvima) meteorološke podatke, informacije, analize i prognoze, dokumentaciju i drugo od/prema državnih meteoroloških središta.

Državna meteorološka središnjica - NMC je ovlaštena državna ustanova ili institucija koja organizira meteorološku službu na području države. U njoj je to Državni hidrometeorološki zavod, osim za potrebe zrakoplovstva koji obavlja Hrvatska kontrolna zračne plovidbe.

Državna prognostička središnjica prima/šalje (putem mreža satelita, računala, dalekopsača, faksmila i drugo) meteorološke podatke, informacije, analize i prognoze, dokumentaciju i drugo od/prema pripadnog svjetskog i/ili područnog meteorološkog središta, koje obraduje i proslijeđuje drugim meteorološkim uredima. Ona priprema vremenske analize i prognoze prizemnih i visinskih karata za područje države, šalje ih drugim meteorološkim uredima, kao i druge meteorološke podatke, također putem mreža računala, dalekopsača, faksmila i drugim sredstvima.

Zadatak meteorološke službe (uz uspostavu, održavanje i razvoj meteoroloških sustava te ostalog) je da:

- osigura potrebne podatke i informacije za planiranja i izvođenja raznih djelovanja (prikazivanjem i izvještavanjem stvarnog vremena, prognoza i upozorenja; uz primjenu dokumentaciju)
- odašlje vremenske informacije uz davanje upozorenja (stalno bdjenje, posebno o opasnim pojavama za rad i život ljudi u obliku upozorenja, zaštitu ljudi i drugog živog svijeta, objeakata i opreme).

Meteorološki uredi, kojih ima više razina, posredno suraduju s meteorološkim postajama i drugim službama. Oni daju podatke o vremenskim uvjetima i prognoze za područje na kojem se nalaze te pribavljaju podatke za sva ostala područja. U svom radu daju vremenske iskaze, savjete i dokumentaciju ili druge meteorološke informacije (vremenske karte, izvješća, prognoze, slike meteoroloških radara i satelita). Također daju upozorenja o opaženim i/ili očekivanim opasnim vremenskim pojavama na svom području koje su opasne za ljude, objekte i uređaje.

Meteorološke postaje obavljaju meteorološka motrenja (mjerenja i opažanja) kao temelj svih meteoroloških djelatnosti (točka 29.). Motrenja daju osnovne elemente meteoroloških izvještaja koji imaju određeni oblik i namjenu što ih je propisala WMO, obavljaju se redovito u propisanim terminima, a po potrebi rade se i posebna (specijalna) motrenja. Nakon temeljne obrade, postaja proslijeđuje meteorološke podatke odgovarajućim meteorološkim službama i pojedinim korisnicima.

Sustavi/središta WMC, RMC i NMC djeluju uz potpunu suradnju sa sustavom svjetskoga meteorološkog bdjenja - WWVW, tj. sa svjetskim sustavom motrenja, obrade podataka i veza uz dopunu svjetskog klimatskog programa (*World climate programme - WCP*) (točka 29.). Ovome se mogu pridodati mnogi znanstveni projekti kao svjetski atmosferski istraživački program (Global Atmospheric Research Program - GARP), Alpski eksperiment (ALPEX) i drugi.

### Dopunska literatura

Defant, F. i H.T. Mörth, 1978: Compendium of Meteorology, Synoptic Meteorology. WMO, Geneva, 252.

- 122  
DHMZ, 1994: Priručnik za šifriranje prizemnih meteoroloških motrenja. DHMZ, Zagreb, 115.
- Dom, W., 1975: *Meteorology*. McGraw-Hill, inc, New York, 518.
- England, J. i H. Ulbricht, 1980: *Flugmeteorologie*. VEB Verlag für Verkehrsvesen, Berlin, 420.
- Haltner, G., i R.T. Williams, 1980: *Numerical Prediction and Dynamic Meteorology*. John Wiley & Sons, New York, 477.
- Orlanski, L., 1975: *A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes*. Bull. Am. Met. Soc., 56, 527-530.
- Pettersen, S., 1956: *Weather Analysis and Forecasting, I i II dio*. McGraw-Hill, inc, New York, 428 + 266.
- Vorobiev, V.I., 1983: *Praktikum po sinoptičeskoj meteorologii*. Gidrometeoizdat, Leningrad, 288.
- WMO, 1994 a: *On the Front Line: Public Weather Services*. WMO. No. 816, Geneva, 36.
- Zverev, A.S., 1968: *Sinoptičeskaja meteorologija*. Gidrometeoizdat, Leningrad, 774.

## UREDAJI I METODE ZA ISPITIVANJE ATMOSFERE

### 29. POJAM, JEDINICE MOTRENJA, METODE I INSTRUMENTI

#### 29.1. Meteorološke postaje i motrenja

Metode ispitivanja u meteorologiji temelje se na mjerenjima i opažanjima, te se nešto razlikuju od ostalih grana fizike, u kojima se eksperimentira. Laboratoriji je za meteorologa (vremenoslovca) atmosfera i u njemu ne može kontrolirati sve procese, nego ih može samo promatrati, pa tek onda donosi pojedine sudove i zaključke (točka 1-1.2.). Stoga meteorologija prikuplja podatke širom Zemlje i prikazuje ih na vremenskoj karti (točka 28.1.), dijagramima, tablicama i drugim načinima, primjenjuje ih tvoreći određene zaključke, zakonitosti i slično.

Zbog uspješnijeg i brzog prikupljanja meteoroloških podataka postoji odgovarajuće ustrojstvo pojedine vremenske službe te je Svjetska meteorološka organizacija - WMO razradila standarde i preporuke za rad u meteorologiji unutar svjetskoga meteorološkog bdjenja (engleski: *World Weather Watch* - WWV; njemački: *Welt Wetter Watch*) sa svjetskim sustavom:

- motrenja (*Global Observing System* - GOS; *globales Beobachtungssystem*)
- obrade podataka (*Global Data-processing System* - GDPS; *globales Datenverarbeitungssystem*) i
- veza (*Global Telecommunication System* - GTS; *globales Fernmeldesystem*).

Brojne meteorološke postaje (*weather station*; *Beobachtungsstation*) uspostavljene su širom svijeta nad kopnom i morem kao dio svjetskog sustava motrenja - GOS, gdje se obavljaju odgovarajuća meteorološka motrenja (*observation*; *Weiterbeobachtung*). Motrenja obuhvaćaju meteorološka mjerenja, tj. podaci se dobivaju izravnim mjerenjima pomoću raznih meteoroloških instrumenata (npr. temperatura zraka se mjeri termometrom), a meteorološko opažanje predstavlja procjenu vremenskog stanja (npr.

pada slaba kiša). Opseg i program rada meteoroloških postaja nije jednak, postoje mreže postaja (*meteorological observing network, Stationsnetz*), koje imaju samo elementarna mjerenja, a druge motre mnoge meteorološke elemente i pojave, što ovisi o namjeni podataka.

Meteorološke postaje nalaze se na kopnu (*land station; Landstation*) i moru (sea station; *Seestation*), a opećento se dijele na prizemne i visinske.

**Prizemne meteorološke postaje** (*surface weather station; Bodenstation*) obavljaju mjerenja za najniži sloj troposfere (do visine oko 10 m, uz opazanje oblaka).

Postoji više vrsta prizemnih postaja:

- sinoptičke (*synoptic station; synoptische Station*)
- klimatološke (*climatological station; Klimastation*)
- kišomjerne (*precipitation station; Niederschlagsstation*), kao vrsta klimatoloških i druge specijalne meteorološke postaje kao:
- zrakoplovno meteorološke (*aeronautical meteorological station; Flugmeteorologische Station*)
- agrometeorološke (*agricultural meteorological station; agrarmeteorologische Station*)
- radiometrijske postaje (*radiation station; radiometrische Station*).

Sinoptičke postaje, koje imaju obimniji program rada, iznad Europe i dijela sjeverne Amerike su na međusobnoj udaljenosti 50 - 80 km, dok je na ostalima područjima Zemlje ta udaljenost mnogo veća, posebno iznad oceana južne poluke, gdje se udaljenosti mjere tisućama kilometara. Program rada klimatoloških, odnosno kišomjernih postaja je manji, u pravilu su međusobno bliže, što posebno vrijedi za kišomjerne postaje obzirom na veliku prostornu promjenjivost oborina. Zrakoplovno meteorološke postaje uz zrakoplovno-meteorološka mjerenja obično obavljaju i sinoptička (klimatološka) mjerenja. Slično vrijedi za agrometeorološke i druge meteorološke postaje, u što se uključuju i raznovrsna mjerenja na mnogim opservatorijima.

Dio sinoptičkih postaja smješten je na brodovima kojima je osnovni zadatak meteorološko i oceanološko mjerenje na oceanima, to su oceanske meteorološke postaje (*ocean weather station, weather ship; Seewetterstation, Wetterschiff*), ili na plutućama (*ocean data buoy; Wetterboje*), dok mnogi brodovi na svojim putovanjima šalju dopunska mjerenja, to su dopunske brodske postaje (*supplementary ship station; Ergänzungs-Schiffstation*). Prizemne meteorološke postaje na brdima ili planinama su planske postaje (*mountain station; Bergstation*) i razlikuju se od visinskih postaja.

Uz meteorološke postaje s ljudskom posadom postoji i čitav niz raznih automatskih postaja (*automatic station; automatische fernmelnde Station*) s raznim opsegom mjerenja i obično s automatskim odasiljanjem podataka.

**Visinske postaje** (radiosondazne postaje) (*upper-air station; aerologische Station*) uz prizemna mjerenja imaju mjerenja viših slojeva atmosfere (do visine oko 40 km). Meteoroloških radiosondaznih postaja ima manje nego običnih prizemnih meteoroloških postaja, nalaze se na međusobnoj udaljenosti 200 - 300 km (oceani i preko 1000 km). Proces mjerenja je složeniji, a mjere se temperature, vlažnosti i vjetrovi na visinama koje pak odgovaraju određenim tlakovima. Vrlo često se takve postaje nalaze u okviru raznih opservatorija, odnosno smještene su na meteorološkim brodovima.

Naravno, prethodnim podacima se pridodaju mjerenja pomoću meteoroloških radara (*weather radar; Wetterradar*) te geostacionarnih i polarnokružnih satelita (*geostationary satellite, polar orbiting satellite; geostationarischer Wettersatellit, polar Wettersatellit*) koji daju razne podatke (temperature, vlažnosti, oblaci, strujanja i drugo). Također se pridodaju i dopunska mjerenja iz zrakoplova, meteoroloških/lebdjećih balona (*meteorological/floating balloon; Schwebelballon*) i meteoroloških raketa (*meteorological rocket; meteorologische Rakete*).

Svako mjerenje obavlja se u određenim vremenskim terminima (*standard observation time term; Termin*), po svjetskom vremenu, obično u 00, 03, 06, ... 21 UTC, osim klimatoloških postaja koja imaju mjerenja po mjesnom (lokalnom) vremenu obično u 07, 14 i 21 LT. Visinska mjerenja rade se obično u 00, 06, 12 i 18 UTC.

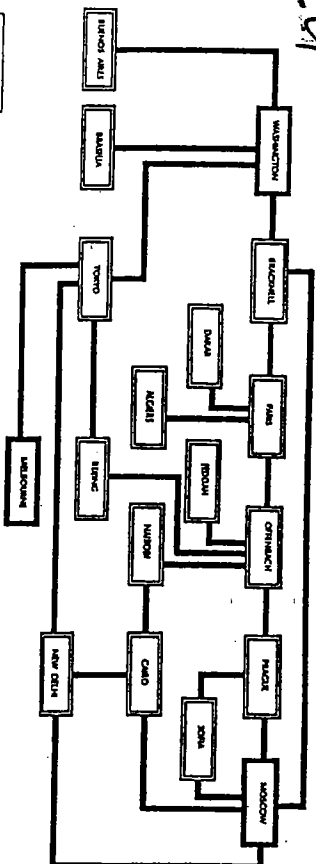
Meteorološki podaci se prikupljaju izravno oko okolice postaje. Smještaj postaje i njezinog instrumentarija mora omogućiti dobar pregled i kontrolu svih meteoroloških parametara, tj. moraju biti reprezentativni. Odmah po mjerenju meteorološki podaci se na postaji šifriraju primjenjujući odgovarajuće meteorološke ključeve (*meteorological code; Wetterschlüssel*), koji su temelji pri prijenosu mjerenih meteoroloških podataka od motritelja do meteorologa, koji ih primjenjuje u analizi vremenskog stanja. Svaki izvještaj obvezno sadrži oznaku tipa izvještaja, mjesto i vrijeme sastavljanja izvještaja (po svjetskom vremenu - UTC). Postoji mnoštvo meteoroloških ključeva, koji su sabrani u odgovarajućim priručnicima. Postaje šalju svoja šifrirana izvješća o mjerenju određenim državnim sabilnim središtima telefonom, radiopostajom, dalekopislačem, računalom ili drugim sredstvima. Uz prethodne oblike izvještaja, postoje posebni oblici i namjene izvješća, koja zahvaćaju šira područja.

Skup svih izvještaja čini *temeljne meteorološke podatke* "*basic meteorological data*". "Basic" - podaci uključuju prizemna i visinska mjerenja, radarska i satelitska mjerenja, opazanja iz zrakoplova, s brodova te drugo.

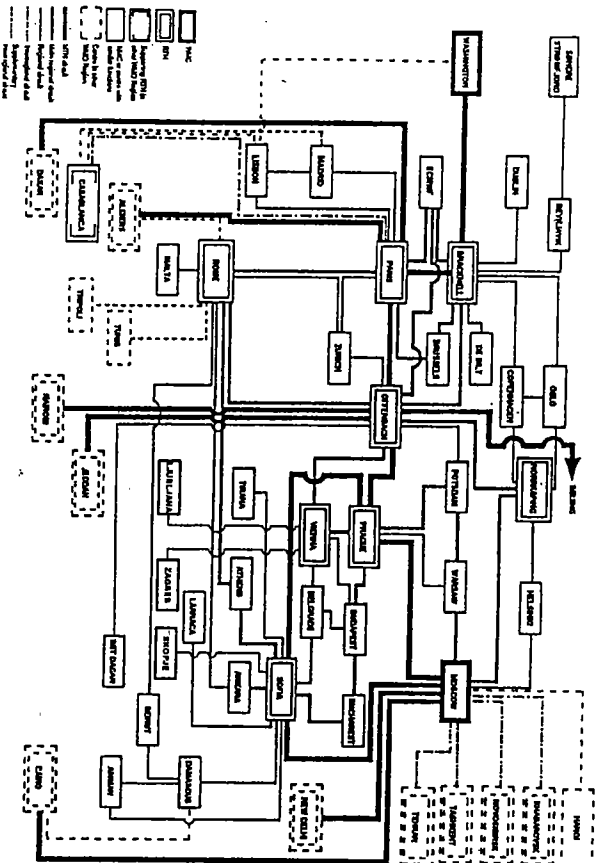
Strom svijeta su uspostavljena središta za sabiranje i obradu podataka, kao dio svjetskog sustava obrade podataka - GDPS. Postoji više razina takvih središta, tj. središta za vremensku analizu i prognozu. To su svjetska i područna meteorološka središta - WMC i RMC, te državne meteorološke središnice - NMC. Svjetska središta se nalaze u Washingtonu, Moskvi i Melbourneu, dok su Europska područna središta u Bracknellu, Offenbachu, Stockholmu, Rimu i Moskvi. Za potrebe zrakoplovstva zajedno s WMO djeluje svjetski prognostički sustav (*World Area Forecast System - WAFS*) također preko svjetskih (London, Washington) i područnih prognostičkih središta (*World/Regional Area Forecast Centre - WAFCR/RAFC; Welt-/regionale-vohersagezentrum*).

Prema WMO Zemlja je podijeljena na šest područja (regions I-VI) i Antarktik, a ovi se dalje dijele na manja područja. Državna sabirna središta (postoji više razina) proučavaju meteorološka izvješća s postaja do NMC, RMC i WMC kao dijelova GDPS. Rok prijama izvješća s postaja u odgovarajuće sabirno središte je 15 min nakon mjerenja.

Meteorološki podaci se unašaju ručno ili automatski (računalom) na zemljopisne karte (na kojima su označene meteorološke postaje) u obliku brojeva i simbola, podaci se analiziraju ručno ili računalom, te se dobiva pregled vremena nad tim područjem. Tako za razmjerno kratko vrijeme zemlje članice WMO imaju na raspolaganju potrebne meteorološke podatke.



Slika 29.1. Ustrojstvo glavne telekomunikacijske mreže s WMC i RTH



Slika 29.2. Ustrojstvo telekomunikacijske mreže u području VI (Europa)

Svjetski sustav veza - GTS ima tri razine: glavne, područne i državne telekomunikacijske mreže (*Main/Regional/National Telecommunication Network - MTN/RM-TN/NMTN*); (*Haupt-/Regional/nationale FernmeldeNetz*) te povezuje WMC/RMC/NMC

preko područnih telekomunikacijskih čvorovišta (*Regional Telecommunication Hub - RTH*; *regionale Fernmeldezentrale*) u sustav za brzu razmjenu informacija, slika 29.1. i 29.2. Zadaća GTS je omogućiti brzi i kvalitetnu primopredaju podataka s meteoroloških postaja i rezultate proizvodnje WMC/RMC/NMC. GTS predstavlja vrlo brze zemaljske i/ili satelitske telekomunikacijske veze s pouzdanim prijenosom izuzetno velikog broja podataka pomoću računalnog sustava veza.

## 29.2. Prizemna meteorološka motrenja

Cilj motrenja je da se zapanji i zabilježi razvoj vremena koji se odražava na meteorološkim instrumentima i čulima motritelja. Motrenja na meteorološkim postajama su u načelu neprekidna, kako bi se dobila što potpunija slika stanja i razvoja vremena. Neprekidnost motrenja je osigurana mehaničkim i elektronskim instrumentima tipa autografa (termograf, barograf itd.).

U motrenju mogu nastati dvije vrste pogrešaka: sistematske i slučajne. Sistematske pogreške mogu biti instrumentalne i pogreške zbog lošeg postupka motritelja. Slučajne pogreške motrenja nastaju uvijek nekim propustom motritelja. Najveći broj pogrešaka nastaje uslijed nepažnje i nedovoljnog znanja motritelja. Pogrešni podatak više je od šeste nego kad ga uopće nema. Pogreške pri prizemnom mjerenju ne smiju biti velike, mogu biti  $\pm 0,1$  do 1hPa za tlak zraka,  $\pm 0,1$  do  $0,5^{\circ}\text{C}$  za temperaturnu zraku,  $\pm 1-2\text{ m s}^{-1}$  za brzinu vjetra,  $\pm 10^{\circ}$  za smjer vjetra.

Osnovni uvjeti kojima trebaju udovoljiti meteorološki instrumenti su točnost, pouzdanost i jednostavna konstrukcija. Meteorološki instrumenti se razvrstavaju u sprave, sustave i autografe. Sprave ili instrumenti pomoću osjenjaka (senzora, dijelovi osjetljivi na promjene meteoroloških elemenata) izravno mjere ili bilježe određeni meteorološki element. Sustav je skup instrumenata s više osjenjaka kojima se određuje nekoliko meteoroloških elemenata (npr. radiosonda). Autografi su uređaji koji neprestano bilježe meteorološke elemente. Instrumente koji se rabe na postajama treba povremeno provjeravati, odnosno umjeravati (baždariti) s normalnim instrumentima.

Zbog velikih uspravnih promjena vrijednosti meteoroloških elemenata u blizini zemljine površine, nužno je standardizirati uvjete pod kojima se mjere ti elementi.

Meteorološki instrumenti na meteorološkoj postaji su smješteni na nekoliko načina. Neki od njih su unutar meteorološkog objekta gdje boravi i radi motritelj (razni pokazivači) ili su u posebnoj prostoriji (barometar). Drugi su smješteni u motritelju (*meteorological yard*; *Beobachtungplatz*), od kojih je dio unutar termometrijske kućice/zaklona (*thermometer screen/shelter*; *Termometerhitte/Wetterhitte*), a dio na meteorološkom stupu/tornju (*meteorological mast/tower*; *meteorologischer Mast/Turm*). Naravno, ima i uređaja čiji su pojedini dijelovi izvan neposredne okolice postaje, slika 29.14.

Motrenja trebaju početi 10 min prije predaje izvješća. Oni elementi koji se brže mijenjaju kao temperatura, vlaga i tlak zraka očitavaju se što bliže utvrđenom terminu. Da bi se motrenje moglo izvršiti ispravno i na vrijeme, prije početka treba izvršiti pripreme. Za svako pojedino motrenje potrebno je procjenjivati koliko će vremena iziskivati i kojim se redom treba obavljati.

### 29.2.1. Temperatura zraka

Termometrijska kućica ili zaklon (obično na brodu) služi zaštiti termometara, termografa i higrografa od vanjskih nepoželjnih utjecaja. Kućica je drvena sa zidovima od rebrunica, obojena je u bijelo da se što manje zagrijava. Kroz kućicu zrak može slobodno strujati, a toplinske zrake ne mogu izravno padati na termometre što znači da su temperature izmjerene u hladu. Termometrijska kućica je smještena u motrištu na visini obično oko 2 m iznad tla. Vrata kućice su okrenuta prema sjeveru da sunce izravno ne zagrijava instrumente kada su vrata otvorena, slika 29.3.

#### Jedinice

Kelvin je jedinica za mjerenje temperature (točka I-5.1.). Veza između Kelvinove i Celsiusove ljestvice (reške se rabi u svakodnevnom životu) dana je izrazom I-5(1). U Celsiusovoj ljestvici pod normalnim uvjetima 0 °C označava ledište vode, a 100 °C vrelište vode.

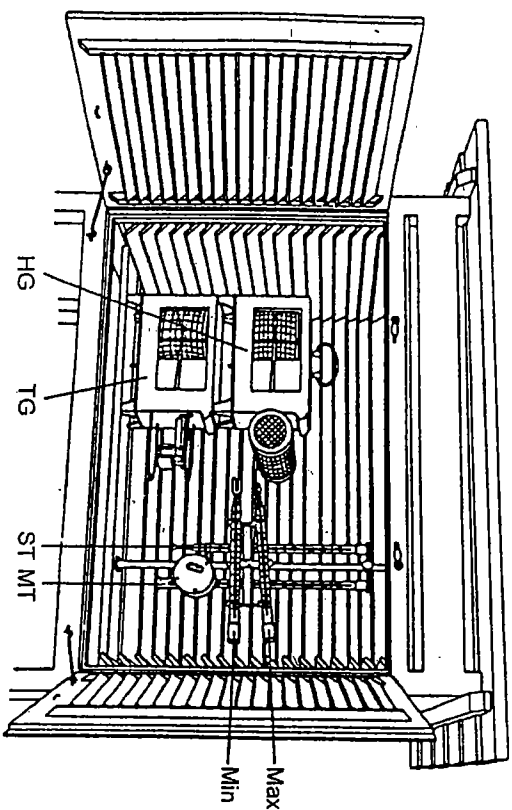
U anglosaksonskom području rabi se Fahrenheitov stupanj (°F). Tu 32 °F označava ledište vode, a 212 °F vrelište vode, te za pretvaranje Celsiusovih u Fahrenheitove stupnjeve i obrnuto vrijedi:

$$1\text{ }^{\circ}\text{C} = 9/5\text{ }^{\circ}\text{F} \quad \text{odnosno} \quad 1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5\text{ }^{\circ}\text{C} + 32 \quad \text{odnosno} \quad ^{\circ}\text{C} = 5/9\text{ }(^{\circ}\text{F} - 32)$$

29(1)

Primjer:  $20\text{ }^{\circ}\text{C} = 9/5(20) + 32 = 68\text{ }^{\circ}\text{F}$ ;  $95\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9(95 - 32) = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$



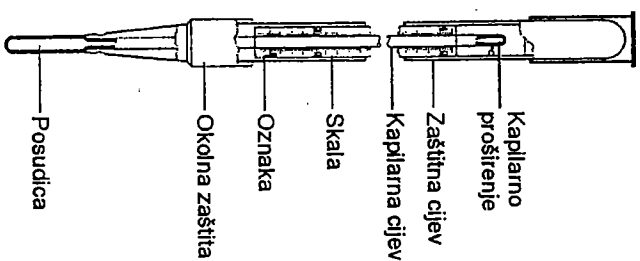
Slika 29.3. Termometrijska kućica s instrumentima: ST suhi i MT mokri termometar, Max maksimalni i Min minimalni termometar, TG termograf i HG higrograf

Temperatura zraka se mjeri termometrima i termografima. Termometri pokazuju trenutnu vrijednost temperature zraka, a termografi neprekidno bilježe njene vrijednosti.

Termometri (*thermometer*; *Thermometer*) koji se rabe za meteorološke svrhe su:

- obični (suhi); u paru postoji drugi termometar (mokri) za mjerenje vlažnosti
- maksimalni i minimalni termometar ili zajedničko ime ekstremni termometri.

Obični termometar mjeri temperature zraka po Celsiusu. Postavlja se na stalak u uspravnom položaju. Puni je živom. Skala mu je podijeljena na cijele i dijelove celizjusa. Svaki 10-i celzijus označen je brojkom, a svaki 5-i strelicom, svaki cijeli duljom crtom, dok svaka kraća crta znači 0.2 °C. Skala ovog termometra obuhvaća one temperature koje kod nas dolaze u obzir, a to su od -35 °C do 50 °C. Kod očitavanja termometra potrebno se držati odgovarajućih uputa, slika 29.3. i 4.



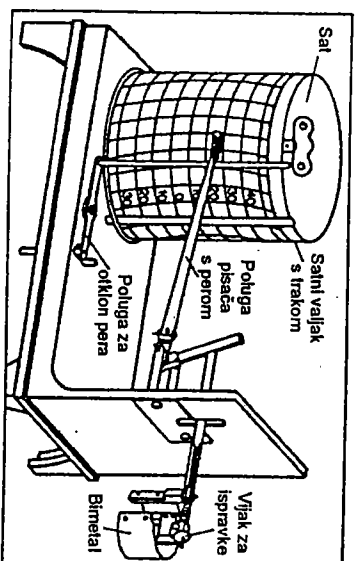
Slika 29.4. Običan termometar

Maksimalan termometar mjeri najviše temperature u određenom razdoblju, odnosno najvišu temperaturu koja je postignuta tijekom 24 h od 21 LT prethodnog dana do 21 LT dotičnog dana (dnevni maksimum). Puni je živom, ima kaplarno ograničenje koje sprječava pad žive u cijevi kad temperatura pada, te se postavlja vodoravno, slika 29.3. Poslije očitavanja najviše temperature zraka postignute do trenutka motrenja, termometar treba tresiti dotle dok ne pokaže onu temperaturu koju pokazuje običan termometar.

Mimimalan termometar mjeri najnižu temperaturu unutar određenog razdoblja, odnosno unutar 24 h od 07 LT prethodnog do 07 LT doćnog dana. Punjen je alkoholom, ina unutar kapilare škapitć (desni kraj pokazuje najnižu temperaturu) oko kojeg prolazi tekućina kad temperatura raste, a postavlja se također vodoravno, slika 29.3. Nakon očitavanja treba ga uspraviti s rezervoarom uvis, tako da škapitć može polako kliznuti do kraja alkohola (meniskusa).

Iako se općenito najniža temperatura zraka mjeri na visini 2 m, najniža temperatura zraka za zemljinu površinu se mjeri termometrom postavljenim 5 cm iznad tla.

**Termograf (thermograph, Thermograph)** stalno bilježi promjenu temperature zraka. Sastoji se od dva glavna dijela, osjetnika i pisaca u odgovarajućem kućištu. Osjetnik je najčešće bimetalni prstena ili traka ili "Bourdonova" cijev (cijev punjena plinom). Pisać je valjkasti satni mehanizam te se na plati valjka stavlja papirna traka, a sustav poluga prenosi promjene na osjetniku do pera koje po traci piše promjene temperature, slika 29.3. i 29.5. Traka se naziva termogram te ima skale za temperaturu i vrijeme. Iz termograma se mogu čitati međuterminalske vrijednosti temperature i ekstremne temperature po pogrešaka, te ga je potrebno uspoređivati i ispravljati prema termometru u terminima motrenja, tako se dobivaju terminalske popravke termografa.



Slika 29.5. Termograf

Naravno, postoji čitav niz vrsta električnih instrumenata (ali i drugih tipova) za mjerenje i bilježenje temperature na manjim ili većim udaljenostima od mjesta rada motritelja, slika 29.21.B.

Temperatura tla mjeri se posebnim termometrima, bilo da dopiru do određenih dubina ili se vade iz dubine, obično su na dubini 5, 10, 20, 50 i 100 cm.

## 29.2.2. Vlažnost zraka

### Jedinice

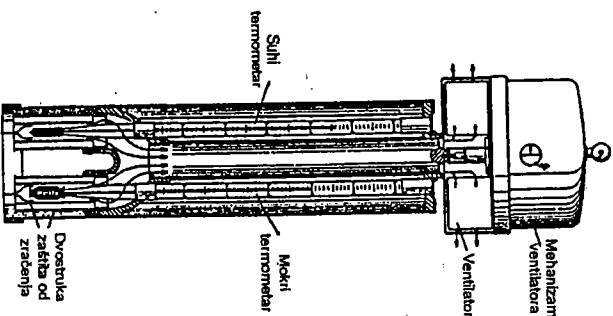
Vlažnost zraka se predstavlja na više načina, ovisno koji se tip vlažnosti mjeri (točka 7.3.). Može se izraziti temperaturom (jedinica očitavanja je u °C), svojstvima tijela u

vlažnom zraku (jedinica je u %), djelovanjem vodene pare u zraku (jedinica u hPa) te odnosom pojedinih veličina (jedinica je bezdimenzionalna ili u  $\text{g kg}^{-1}$ ,  $\text{kg kg}^{-1}$ ,  $\text{g m}^{-3}$ ). Vlažnost zraka se mjeri psihrometrima, higrometrima i higrografima. Psihrometri i higrometri pokazuju trenutnu vrijednost vlažnosti zraka, a higrografi neprekidno bilježe njene vrijednosti. Neke veličine vlažnosti zraka se izračunavaju.

**Psihrometar (psychrometer; Psychrometer)** je osnovni instrument za mjerenje vlažnosti zraka, sastoji se iz dva termometra, mokrog i suhog, slika 29.3. i 29.6. Suhli termometar je običan termometar za mjerenje temperature zraka ( $t$ ). Spremnik mokrog termometra obavljen je čarapicom (musklijskom krpicom), koja se prije mjerenja moći destiliranom vodom. S čarapice isparava voda, pritom se troši latentna toplina, temperatura mokrog termometra ( $t'$ ) pada, te je općenito  $t' \leq t$  (ponekad kod temperatura oko 0 °C može biti  $t' > t$ ). Isparavanje je brže ako postoji strujanje zraka (odatle osjećaj hladnoće kada puše vjetar na vlažni prst), tako se standardizirani termometar nalazi u struji zraka ( $2.5 - 5 \text{ m s}^{-1}$ ) stvorenoj malim ventilatorom (aspirator). Razlika temperatura suhog i mokrog termometra je veća što je u zraku manje vlage. U zasićenom zraku nema isparavanja te oba termometra pokazuju istu temperaturu ( $u = 100\%$ ).

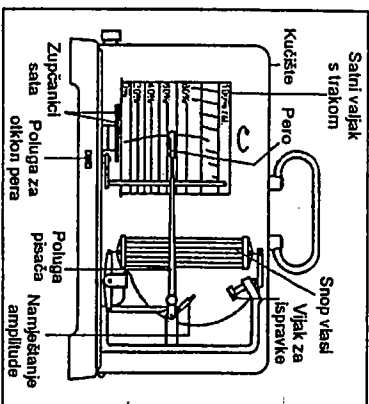
Kao i pri mjerenju temperature, za mjerenje s (aspiracijskim) psihrometrom treba primjeniti odgovarajući postupak. Posebno treba utvrditi stanje čarapice (voda ili led). Znatne poteškoće pri mjerenju javljaju se u polarnim, odnosno tropskim područjima.

Higrometar mjeri relativnu vlažnost. Radi na načelu higroskopičnosti nekih organskih tvari (vlasi ljudske kose), koje upijanjem vodene pare mijenjaju dimenzije (produžu se).



Slika 29.6. Aspiracioni psihrometar (Ammannov)





Slika 29.7. Hygrogaf

Hygrogaf (*hygrogaph*, *Hygrogaph*) neprekidno bilježi promjene relativne vlažnosti. Osjetnik hygrogafa se sastoji iz snopa vlasi. Povećanje ili smanjenje dužine snopa vlasi, sustavom poluga pero bilježi na traci slično kao kod termografa, a zapis vremenske promjene vlage je hygrogram, slika 29.3. i 29.7. Podaci dobiveni s hygrograma moraju se ispravljati prema psihrometru, slično kao što se radi kod termografa.

Određeni (električni) instrumenti mogu osigurati izravno čitanje ili bilježenje rosišta, mrazišta ili drugih veličina vlažnosti, slika 29.21.B.

Osim vlažnosti zraka mjeri se i isparavanje vode (točka 29.2.10.), kao količina isparane vode (mm) s neke površine u jedinici vremena.

#### Određivanje pojedinih veličina vlažnosti zraka

Sve veličine koje određuju vlažnost zraka se ne mjere, već se one dobivaju računanjem odgovarajućih izraza (točka 1-7.3.) ili uporabom odgovarajućih "psihrometrijskih ili higrometrijskih" tablica (u praksi), odnosno primjenom računala koja imaju takve programe.

Iz izmjerenih vrijednosti temperatura suhog (t) i mokrog termometra (t') primjenom tablica izravno se očitavaju tlak vodene pare (e) i relativna vlažnost (ϕ). Rosište (t<sub>d</sub>) se dobiva polazeći od tlaka vodene pare (koji već znamo) i traži se (u drugom dijelu tablica) temperatura na kojoj bi tlak bio zasićen.

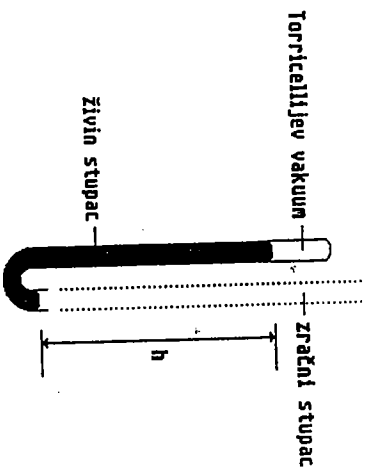
#### Gustoća zraka

Veza između gustoće zraka i temperature (tlaka) u meteorologiji je značajna zbog utjecaja na uspravna gibanja u atmosferi, dok je u drugim primjenama meteorologije, npr. u zrakoplovstvu važna pri određivanju svojstava leta zrakoplova. No gustoća zraka se ne mjeri, već se izračunava iz temperature i tlaka zraka, izraz 1-5(12).

#### 29.2.3. Tlak zraka

Tlak se mjeri kao težina stupca zraka, tj. dovodi se u ravnotežu s težinom stupca neke tekućine, npr. žive, slika 29.8. Živa se upotrebljava zbog velike specifične težine pa

je za dobivanje ravnoteže dovoljno uzeti stupac žive duljine oko 3/4 m (vodeni stupac bio bi duljine oko 10.33 m). Prvo mjerenje tlaka zraka stupcem žive izveo je talijanski fizičar Torricelli (1643). Težina žive jednaka je umnošku obujma, gustoće i ubrzanja sile teže, te se mjerenje tlaka zraka u praksi svodi na mjerenje visine stupca žive u barometarskoj cijevi.



Slika 29.8. Tlak zraka drži težinu živinog stupca

#### Jedinice

Jedinica za tlak je paskal (Pa), no u meteorologiji se uzima sto puta veća jedinica (hPa), a iznimno je dopušten i milibar (mb ili mbar), (točka 1-6.1.).

U praksi se zbog raznoraznih razloga upotrebljavaju i druge jedinice: mm Hg i inch Hg, te postoje međusobne veze hPa, mb, mm Hg i inch Hg:

$$1 \text{ hPa} = 1 \text{ mb} \quad 29(2)$$

$$1 \text{ hPa} = 0.750062 \text{ mm Hg} \approx 3/4 \text{ mm Hg}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 1.333224 \text{ hPa} \approx 4/3 \text{ hPa}$$

$$1 \text{ in Hg} = 25.4 \text{ mm Hg}$$

$$1 \text{ hPa} = 0.029530 \text{ in Hg}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 0.039370 \text{ in Hg}$$

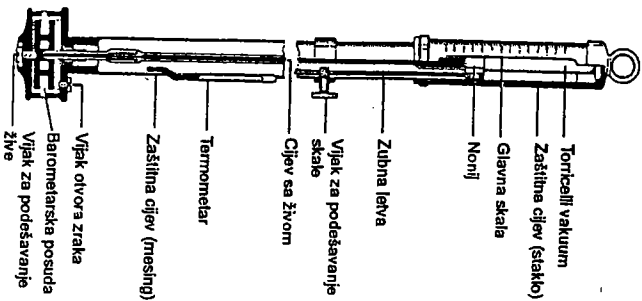
$$1 \text{ in Hg} = 33.8639 \text{ hPa}$$

Za njihovu pretvorbu na meteorološkim postajama postoje tablice.

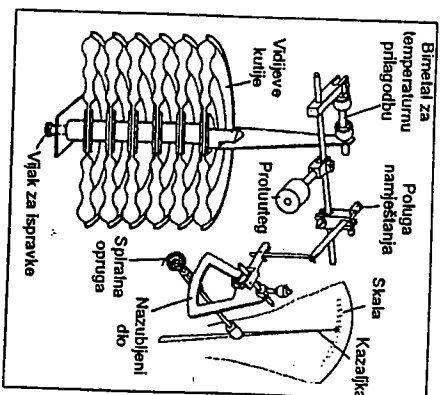
Tlak zraka se mjeri barometrima, aneroidima i barografima. Barometri i aneroidi daju trenutnu vrijednost tlaka zraka, a barografi neprekidno bilježe njegove vrijednosti.

Barometar (*barometer*, Barometer) je osnovni instrument za mjerenje tlaka zraka, tj. postajnim barometrom se tlak mjeri visinom stupca žive (mm Hg). Barometar se sastoji od posude sa živom i staklene cijevi dugacke oko 90 cm, to je barometarska cijev. Ona je na gornjem kraju zatajena, a donjim otvorenim krajem uronjena je u živu. Visina živinog stupca se mjeri 0.1 mm točno, čemu pomaže vizir (metalni prsten oko barometarske cijevi, koji klizi uzduž nje i pomiče se posebnim vijkom). Na barometru se nalazi termometar (temperatura barometra), slika 29.9.

124



Slika 29.9. Barometar

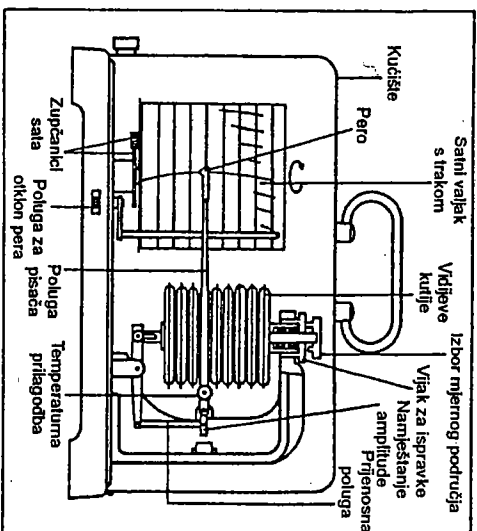


Slika 29.10. Aneroid

Aneroid (*aneroid*, *Aneroid*) mjeri izobličćenja (deformacije) šupljih elastičnih metalnih tijela (*Vidielne kutije*) zbog promjena tlaka. Nema tekućine, lako se njime rukuje,

male je mase pa se lako prenosi (tlak se može mjeriti tijekom prijenosa), slika 29.10. Aneroid nije apsolutni instrument za mjerenje tlaka. Upotrebljava se kad mu je skala umjeravana pomoću živinog barometra. Osim za mjerenje tlaka zraka aneroidejni barometar se može koristiti za određivanje visine (altimetar je aneroide kojiemu je skala označena u metrima, vidi točku 32.2.).

Barograf (*barograph*, *Barograph*) neprekidno bilježi vrijednosti tlaka zraka (načelo rada aneroida). Osetnik su niz *Vidielne kutije*. Promjene obujma kutija, zbog tlaka, prenose se pomoću poluga na pero slično termografu, a zapis vremenske promjene tlaka zraka je barogram, slika 29.11. Lako su vidljivi ekstremi i tendencija tlaka. Podaci dobiveni s barogramom moraju se ispravljati prema barometru, slično kao što se radi kod termografa.



Slika 29.11. Barograf

**Ispravci i svodenje tlaka zraka.**

Slično kao pri mjerenju temperatura i vlažnosti zraka, tako i za mjerenje tlaka zraka treba primijeniti odgovarajući postupak. No dobivena, tj. očitana vrijednost tlaka nije odmah uporabiva, potrebno ju je temperaturno ispraviti (korigirati) za određeni iznos, a zatim preračunati po visini (svodenje, točka 1-6-2.) ovisno kakav se tip tlaka zraka treba primjenjivati. Dodatni ispravak (stalan za određenu postaju) je određivanje sile teže na mjestu postaje ili motenja (točka 1-2.1.).

Temperaturni ispravak (korekcija) uvažava promjene visine živinog stupca u barometarskoj cijevi (osim promjena tlaka) zbog promjene temperature, što treba uvažiti, te se prilikom očitavanja barometra ( $P_1$ ) čita i temperatura barometra ( $t_1$ ). Smisao je preračunati visinu živinog stupca na temperaturu  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , a izvodi se prema izrazu:

$$P_0 = P_1 + c_1$$

29(3)

gdje je  $p_0$  tlak pri  $0^\circ\text{C}$ ,  $p_1$  tlak pri  $t_1$ ,  $C_1 = -0.000163 p_1 / t_1$  (temperaturni ispravač se dobiva kao razlika između kubnog koeficijenta žive i linearnog metala od kojega je napravljen tijelo barometra). Ispravač se dodaje ( $t_1 < 0^\circ\text{C}$ ) ili oduzima ( $t_1 > 0^\circ\text{C}$ ) pročitanoj vrijednosti  $p_1$ , da se dobije stanje barometra pri  $0^\circ\text{C}$  (npr. za temperaturu barometra  $20.0^\circ\text{C}$  i tlak  $750$  mm Hg slijedi ispravač  $-2.4$  mm Hg). U praksi se temperaturni ispravač na  $0^\circ\text{C}$  dobiva iz tablica.

Svođenje tlaka zraka, tj. promjena tlaka zraka s visinom opisana je u točki 1-6.2. Tlak zraka  $p_0$  (ispravač na  $0^\circ\text{C}$ ) na visini  $z_0$  je manji od tlaka na srednjoj morskoj razini (SMR)  $p_{smr}$  za iznos  $\Delta p$ , te je:

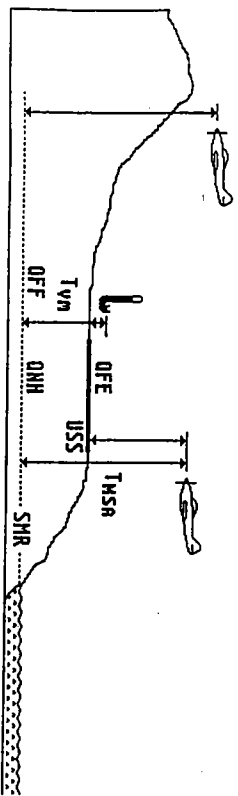
$$p_{smr} = p_0 + \Delta p \quad 29(4)$$

$\Delta p$  ovisi prvenstveno o nadmorskoj visini postaje i o temperaturi stupca zraka od postaje do SMR. Kako su postaje obično iznad SMR  $\Delta p$  je pozitivna veličina. Tlak na SMR se može izračunati iz:

$$p_{smr} = p_0 e^{g(z_0 - z_1) / RT_{vm}} \quad 29(5)$$

gdje je  $z_0$  visina postaje i  $z_1$  razina svođenja (za SMR  $z_1 = 0$ ). Slijedi da vrijednost tlaka na SMR  $p_{smr}$  ovisi o izmjenenom tlaku na postaji  $p_0$ , poznatoj razlici visine između postaje i SMR ( $z_0 - z_1$ ) i o srednjoj virtualnoj temperaturi  $T_{vm}$  zamišljenog stupca zraka. Problem je  $T_{vm}$ , jer ne postoji stvarni zračni stupac, već se prepostavlja njegovo proticanje od razine postaje (barometra) kroz zemlju do SMR. Kod svođenja tlaka zraka na SMR postoje različiti standardi, tj. uzima se da u zračnom stupcu vladaju određeni uvjeti kao u atmosferi. Kao rezultat svođenja tlaka zraka na SMR dobiva se atmosferski tlak, čija se vrijednost unša u meteorološke karte.

Na običnim meteorološkim postajama pri svođenju tlaka zraka na SMR (QFF tlak) primjenjuje se izraz 29(5) uz uvjete: izmjenjenoj temperaturi na postaji pridružuje se temperaturna stopa  $\gamma = 0.006 \text{ K m}^{-1}$ , uz uvažavanje vodene pare, slika 29.12. U praksi se za SYNOP i SHIP izvještaje rabe tablice, tj. iz poznatog tlaka zraka  $p_0$  i temperature  $t$  dobiva se  $p_{smr}$ . Postaje s nadmorskom visinom  $< 500$  m obično rade svođenje tlaka na SMR. Planinske postaje ne rade svođenje na SMR, već na neku drugu standardnu razinu.



Slika 29.12. Svođenje tlaka zraka: QFF tlak, QFE tlak, QNH tlak

U zrakoplovstvu se za svođenje tlaka zraka na SMR koristi ICAO međunarodna standardna atmosfera (točke 1-3.4. i 32.2.), tj.  $T_{msr}$ , to je QNH tlak, slika 29.12. QFE

tlak je tlak na razini uzletno stazne (piste). QNH tlak se dobiva dodajući QFE tlaku razliku tlaka  $\Delta p$  nastalu zbog nadmorske visine piste u uvjetima standardne ICAO atmosfere. Vлага se isključuje.

## 29.2.4. Prizemni vjetar

Vjetar kao vektorska veličina potpuno je određen kad poznamo njegov smjer i brzinu (točka 1-9.1.). Pod smjerom vjetra podrazumijeva se strana svijeta otkuda vjetar puše. Obično se ne određuje trenutni nego srednji smjer vjetra za određeno razdoblje (najčešće 2-min ili 10-min srednjač). Pod brzinom vjetra se podrazumijeva put što ga prevali čest zraka u jedinici vremena. Mjeri se srednja brzina vjetra, slično smjeru vjetra, ali se mjeri i trenutna brzina. U pomnjanju uređaja za mjerenja procjenjuje se jačina vjetra.

### Jedinice

Smjer vjetra se određuje ružom vjetrova prema glavnim zemljopisnim stranama na 8 (sjeverni-N, sjeveroistočni-NE, istočni-E itd.) ili 16 smjerova (sjeverni-N, sjeveroistočni-NNE, sjeveroistočni-NE, istok-sjeveroistočni-ESE itd.). Također se mjeri u stupnjevima ( $^\circ$ ), obično po  $10^\circ$  azimuta od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ . Azimut (kur) se računa od sjevera (N) preko istoka (E), gdje je  $90^\circ$  istočni,  $180^\circ$  južni,  $270^\circ$  zapadni, a  $360^\circ$  sjeverni vjetar. Izostanak vjetra se označava s 0 (nije sjeverni vjetar), dok je promjenjivi smjer vjetra obilježen s 99 ili VRB (od varijable).

Brzina vjetra se izražava u jedinicama brzine:  $\text{m s}^{-1}$  i  $\text{km h}^{-1}$ . U zrakoplovstvu i pomorstvu rabi se nautička milja na sat ( $\text{Nm h}^{-1}$ ) i čvor - knot (kt). No u anglosaksonskom području rabi se još i milja na sat (M  $\text{h}^{-1}$ ),  $1 \text{ M} = 1609.344 \text{ m}$ . Medusobne veze između brzina su:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kt} &= 1 \text{ Nm h}^{-1} & 1 \text{ Nm} &= 1852 \text{ m} \\ 1 \text{ kt} &= 0.514 \text{ m s}^{-1} & 1 \text{ m s}^{-1} &= 1.944 \text{ kt} \end{aligned} \quad 29(6)$$

Smjer vjetra se mjeri vjetrovijom, a brzina anemometrima, dok se oboje mjeri anemografima. Vjetrovlja i anemometar pokazuju trenutnu vrijednost smjera odnosno brzine vjetra, a anemografi neprekidno bilježe njegove vrijednosti.

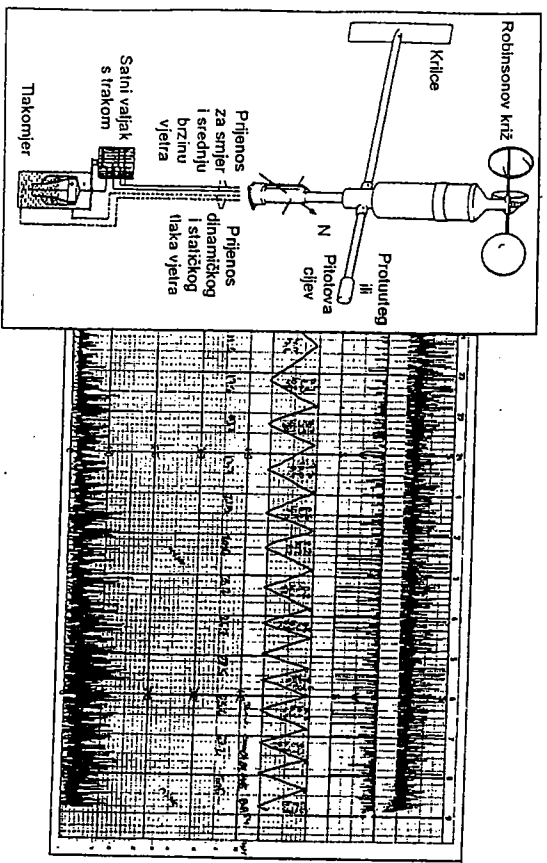
Vjetar se znatno mijenja s visinom, što osobito vrijedi za brzinu, koja raste s udaljenošću od podloge i to najbrže u donjih desetak metara (točka 1-9.6.). Zbog toga se instrumenti za mjerenje vjetra postavljaju na stupu visine 10 m iznad tla. Moguće prepreke trebaju biti na udaljenosti 10 - 20 njezinih visina.

Vjetrokazom (vjetrovijom) (*wind vane; Windfahne*) se određuje smjer vjetra. To je vodoravni štap pričvršćen na uspravnoj osovinu oko koje se okreće, te na jednom kraju ima krilce, a na drugom protueg, slika 29.13. Zbog djelovanja vjetra strjelica se postavi u smjer otkuda vjetar nadolazi. Ispod vjetrokaza je križ s oznakom strana svijeta.

Anemometar (*anemometer; Anemometer*) mjeri brzinu vjetra. Mogu biti prenosivi (ručni) i stalni. Postoji nekoliko tipova anemometara, koji mjere trenutne i/ili srednje brzine vjetra. Obično su mehanički ili električni. Osjetnik sustava za mjerenje brzine vjetra je obrtnog tipa ili radi na razlikama dinamičkog i statičkog tlaka, no ima i drugih

130

tipova. Obrtni osjetnik ima tri ili četiri čašice (šuplje polukugle - Robinsinov križ) simetrično učvrštene na uspravnu osovinu oko koje se vrte i pokreću sustav instrumenta, slika 29.13. Umjesto čašica može se upotrijebiti elisa. Okretaji se prenose na mali električni generator struje (struja odgovara brzini vjetra) ili se mjeri broj okreta (optoelektroničko načelo) ili se mjeri prednji put vjetra. Razlike između dinamičkog i statičkog tlaka u Pitotovoj (ili Prandtlovoj) cijevi se prenose do odgovarajućeg tlakomjera (razlika tlaka je razmjerna brzini vjetra).



Slika 29.13. Anemograf s anemogramom. Na anemogramu je smjer vjetra (gore), srednja (sredina) i trenutna brzina vjetra (donji dio anemograma)

Izmjerena svojstva vjetra mogu se prikazati na odgovarajućem pokazivaču (kod električnog anemometra na znatnoj udaljenosti) ili se mogu prenijeti na anemograf. Podaci su trenutne i/ili srednje vrijednosti vjetra u razdoblju obično 2 ili 10 min.

Anemograf bilježi neprekidno smjer i brzinu vjetra, slika 29.13., 29.14.A i 29.21. A. U osnovi to je anemometar uz dio za bilježenje. Smjer vjetra se mjeri vjetrokazom kao dijelom anemografa. Okretaji vjetrokaza i Robinsinovog križa (elise), odnosno promjene tlaka u Pitotovoj cijevi prenose se odgovarajućim sustavom na pera slično termografa, a zapis vremenskih promjena vjetra je anemogram. Lako su vidljivi udari i srednje vrijednosti smjera i brzine vjetra.

**Jaćina vjetra**  
U nedostatku instrumenata za mjerenje brzine vjetra služimo se procjenom jačine vjetra. Jačina vjetra se procjenjuje po Beaufortovoj ljestvici (*Beaufort scale*; *Beaufort-skala*) na osnovu učinka vjetra na predmete u vidnom krugu motritelja, prilog 20. Učinci vjetra su različiti za kopnena područja ili otvoreno more, odnosno za pribalje, pa pos-

toje različiti opisi učinaka. Između jačine i brzine vjetra (visina 10 m iznad podloge) postoji izvjesna empirijska veza, uz uvažavanje subjektivne procjene motritelja. Tako se jačine vjetra po Beaufortovoj ljestvici mogu pretvoriti u  $\text{km h}^{-1}$ , odnosno u druge jedinice za mjerenje brzine vjetra.

**29.2.5. Naoblaka i visina podnice oblaka**

Pri motrenju oblaka određuje se njihova količina, kakvi su i na kojoj se visini nalaze (donja i po mogućnosti gornja granica). Dodatno se mjeri njihov smjer i brzina gibanja. Osnovne podjele oblaka dane su u točki 1-10.3., a obilježje naoblake i podnice oblaka u točki 1-10.4. Podrobnije spoznaje o razredbi oblaka treba potražiti u Međunarodnom atlasu oblaka.

**Naoblaka** (*cloudiness*; *Bewölkung*), kao količina oblaka koja pokriva nebo, se procjenjuje u osminama ili desetinama neba (klimatologija). Potpuno vedro je prikazano s 0, a potpuno oblačno s 8/8 (odnosno 10/10). Pri određivanju razdiobe naoblake postoje vedri dani kad je naoblaka  $< 2/8$  ( $\leq 2.5/10$ ), odnosno oblačni dani s naoblakom  $> 6/8$  ( $\geq 7.5/10$ ). Općenito stanje neba (*sky state*; *Himmelsansicht*) se može prikazati određenom količinom naoblake, tablica 29.1.

Tablica 29.1. Stanje neba, izraženo u osminama

0	vedro ( <i>clear</i> ; <i>wolkenlos</i> ; <i>heiter</i> )
1, 2	pretežno vedro ( <i>mainly clear</i> ; <i>bewölkt</i> )
3, 4, 5	umjerenno oblačno ( <i>partly cloudy</i> ; <i>bewölkt</i> )
6, 7	pretežno oblačno ( <i>cloudy</i> ; <i>bewölkt</i> )
8	potpuno oblačno ( <i>overcast</i> ; <i>bedeckt</i> )
9	u oblaku ( <i>in cloud</i> ; <i>in Wolke</i> ), nebo se ne vidi

Kod opažanja, tj. određivanja naoblake sve oblake koji se u času motrenja nalaze na nebu treba u mislima sakupiti na jedno mjesto i procijeniti koliki dio neba oni prekrivaju. Velu pažnju treba usmjeriti na oblake iznad motritelja nego na oblake pri obzoru. Razlog je preuveličavanje naoblake u blizini obzora, jer pri kosom gledanju udaljeni oblaci više zaklanjaju slobodan dio neba, te naoblaka izgleda veća. Nadalje, naoblaku donje trećine neba treba uzimati manje u obzir od one na većoj visini, zbog prividne spljoštenosti nebeskog svoda (čini se da je sredina neba na  $22^\circ$  iznad tla, a ne na  $45^\circ$ ).

Kad se procjenjuje ukupna naoblaka, ona ne zavisi od broja slojeva pojedinih oblaka već se određuje prema stanju naoblake svih slojeva zajedno i ne može biti veća od 8/8. Pri procjeni naoblake pojedinih oblaka ili slojeva oblaka treba smatrati kao da nema drugih oblaka ili slojeva oblaka. Tada se može dogoditi da zbroj vrijednosti naoblake pojedinih slojeva oblaka bude veći od ukupne naoblake (npr. cijelo nebo je pokriveno neprekidnim slojem altostratusa (As), a ispod njega je 3/8 stratusa (St), tada je ukupna naoblaka 8/8, iako je zbroj naoblake svih slojeva 11/8). Procjena naoblake višeg sloja

može se odrediti ako se neko vrijeme motri gibanje i razvoj višeg sloja naoblake, jer se kroz otvore nižeg sloja može ocijeniti naoblaka višeg sloja.

Noću se naoblaka procjenjuje prema veličini prekrivenih dijelova neba na kojima se ne vide zvijezde. Kad postoji magla kroz koju se vidi nebo, naoblaka se određuje na uobičajeni način. Ako se kroz maglu vidi Sunce, Mjesec ili zvijezde, a ne zapažaju se oblaci, smatra se da je nebo vedro, odnosno da je naoblaka 0/8.

Podjela oblaka prema obliku, koja na izvjestan način uvažava i podjelu prema postanku i posebnim vrstama, je vrlo zahijevna te traži iskustnog motritelja, uz pripomoć Medunarodnog atlasa oblaka. Prema obliku oblaci se dijele na rodove, vrste i podvrste, a postoji i dodatno obilježje oblaka-odlike, te pridruženi oblaci. Detaljni opis oblaka dan je u točki I-10.3. te može poslužiti određivanju osobina pojedinih oblaka.

Rodovi oblaka su glavne skupine oblaka, kao: Cirrus (Ci), Cirrocumulus (Cc), Cirrostratus (Cs), Altocumulus (Ac), Altostratus (As), Nimbostratus (Ns), Stratocumulus (Sc), Stratus (St), Cumulus (Cu) i Cumulonimbus (Cb).

Vrste oblaka su: fibratus (fib), uncinus (unc), spissatus (spi), castellanus (cas), floccus (flo), stratiformis (str), nebulosus (neb), lenticularis (len), fractus (fra), humilis (hum), medicus (med), congestus (con), calvus (cal) i capillatus (cap) i čine podjelu pojedinih rodova. Ista vrsta oblaka moguća je u više rodova, tablica 29.2.

Podvrste oblaka su: intortus (in), vertebratus (ve), undulatus (un), radiatus (ra), lacunosus (la), duplicatus (du), translucidus (tr), perlucidus (pe) i opacus (op) te su daljnja podjela oblaka. Ista podvrsta oblaka moguća je u više rodova, tablica 29.3.

Dodatna obilježja - odlike oblaka: incus (inc), mamma (mam), virga (vir), praecipitatio (pra), arcus (arc), tuba (tub); pridruženi oblaci su: pileus (pil), velum (vel) i pannus (pan), tablica 29.4.

Pri motrenju oblaka određuje se njihova podjela po visini: niski, srednji i visoki oblaci te oblaci uspravnog razvoja, tabl. I-10.4., kako bi se lakše odredila njihova podjela po obliku.

Tablica 29.2. Mogućnosti pojave vrste oblaka za određeni rod oblaka

Rod	fib	unc	spi	cas	flo	str	neb	len	fra	hum	med	con	cal	cap
Ci	x	x	x	x	x									
Cc				x	x	x		x						
Cs							x							
Ac				x	x			x						
As														
Ns														
Sc				x				x						
St									x					
Cu										x		x		
Cb													x	x

Tablica 29.3. Mogućnosti pojave podvrste oblaka za određeni rod oblaka

Rod	in	ve	un	ra	la	du	lr	pc	op
Ci	x	x		x		x			
Cc			x		x				
Cs			x			x			
Ac			x	x	x	x	x	x	x
As			x	x		x	x		
Ns									
Sc			x	x	x	x	x	x	x
St				x				x	
Cu									x
Cb									

Tablica 29.4. Mogućnosti pojave dodatnih obilježja oblaka i pridruženi oblaci za određeni rod oblaka

Rod	mam	vir	pra	pan	pil	vel	arc	tub	inc
Ci	x								
Cc	x	x							
Cs									
Ac	x	x							
As	x	x	x	x					
Ns	x	x	x	x					
Sc	x	x	x						
St			x						
Cu	x	x	x	x	x	x	x	x	
Cb	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Kako se iz oblaka javljaju pojedine vrste oborina, njihova veza s rodom oblaka prikazana je u tablici I-11.2.

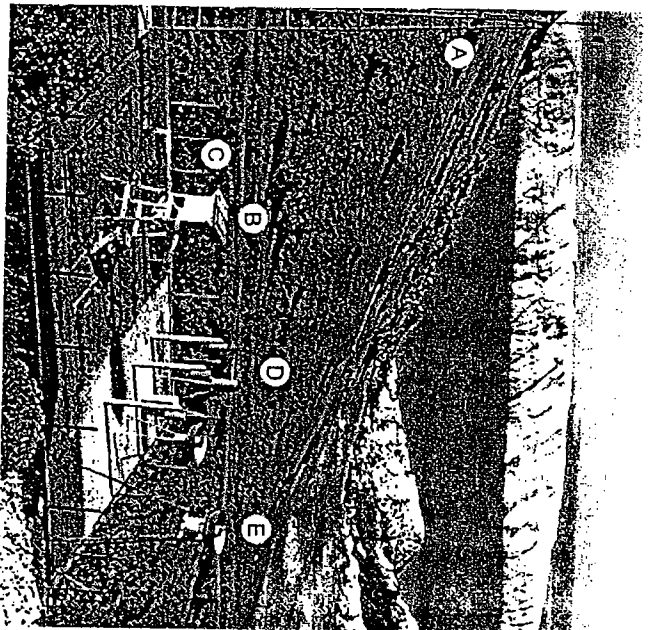
Podnica oblaka (*cloud base*; *Wolkenhöhe*), kao donja granica oblaka (ili podnice zato što neki oblaci čak istog roda ili vrste imaju podnice na različitim razinama), određuje se opažanjem - procjenom ili mjerenjem. Pod visinom oblaka podrazumijeva se visina njegove donje granice ili podnice iznad Zemljine površine (kopno, more).

Pri vizualnoj (bezinstrumentalnoj) procjeni visine podnice, koristimo se veličinom oblaka i elemenata, te usporedbom s visokim objektima ili brdima u blizini ili daljoj okolici motritelja. Pomoć mogu pružiti pilioti zrakoplova te obaviti opažanja podnice oblaka.

Instrumentalno mjerenje podnice oblaka obuhvaća mjerenja puštanjem pilotbalona, odraza snopa svjetlosti od oblaka, radarom i mjerenje podnicomjerom.

Mjerenja pilotbalonima temelje se na dizanju malog balona punjenog vodikom u atmosferi pri čemu se prati trenutak kad će balon ući u oblak; iz poznate brzine dizanja balona može se izračunati visina podnice oblaka.

Za određivanje podnice oblaka noću mogu se koristiti obasjavala za oblake (*ceiling projector*; *Wolkenscheinwerfer*). S određene točke reflektor se usmjeri uvis na podnicu oblaka, te se trigonometrijskom metodom može izračunati podnica oblaka.



Slika 29.14. Meteorološka postaja: A - anemograf, B - termometrijska kućica, C - termometri za temperaturu tla, D - kišomjer, E - kišomjer (totalizator)

Uporaba podničomjera (*ceilometer; Wolkenhöhenmesser*) je najbolji način mjerenja podnice, uz napomenu da daje vrijednosti visine podnice iznad jedne točke, tj. podničomjera, a obzirom na moguće znatne promjene podnice na razmjerno malim udaljenostima, slika 1-10.2., visina za okolna područja se mora procijenjivati. Podničomjeri se koriste laserskim zrakama. Svjetlosni snop predajnika usmjeren je uvis, odbija se na donjim dijelovima oblaka te dio povratne svjetlosti dolazi u prijemnik. Mjeri se vrijeme potrebno svjetlosnim zrakama da prevale put predajnik - oblak - prijemnik, te polovica vremena uz brzinu svjetlosti daje visinu podnice. Visina podnice oblaka se pokazuje na pokazivaču i bliježi, obično svakih 15-30 s, na pisaku, slika 29.21.E.

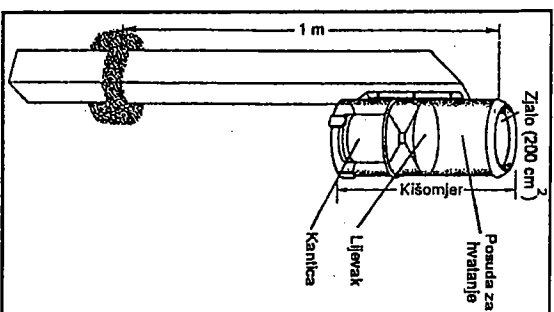
### 29.2.6. Oborina

Oborina (*hidrometeor*) se u pravilu mjeri količinom vodenog taloga (*amount of precipitation; Niederschlagsmenge*) (tekućeg ili krutog) koji padne na ravnu podlogu pri Zemljinoj površini u nekom razmjerno dugem razdoblju (dan, godina). Može se mjeriti i jačina (intenzitet) oborine koja predstavlja količinu vodenog taloga koji padne u manjoj jedinici vremena, npr. 2.5 mm min<sup>-1</sup> (točka 1-11.3.). Vrste oborina su dane u točki 1-11.2., a njihov opis je u točki 1-13. Nadalje, u tablici 1-11.2. prikazani su rodovi oblaka i

vrste oborina koje najčešće padaju iz njih. Vidljivo je da jedino visoki oblaci (Ci, Cc, Cs) ne daju oborine.

Jedinica oborine je njena visina i obično se izražava u milimetrima, što odgovara broju litara vode na jediničnoj površini (1 m<sup>2</sup>).

Oborina se mjeri kišomjerima i ombrografima. Kišomjeri pokazuju ukupnu količinu oborine pale tijekom nekog vremena, obično 24 h, a ombrografi neprekidno bilježe padanje oborine, te daju i jačinu oborine. Visina snijega mjeri se snjegovjermom letvom.



Slika 29.15. Kišomjer

Kišomjer (*rain gauge; Regemesser*) je osnovni meteorološki instrument. Ima ih nekoliko vrsta. Hellmannov kišomjer je valjkasta posuda s otvorom na vrhu, slika 29.14. D i E te slika 29.15. Iz posude za hvatanje voda se slijeva kroz lijevak u kanticu smještenu u donjem dijelu. Otvor gornje posude ili zjalo omeđen je oštirim mjedenim obrućom ili prstenom. Površina zjala je 200 cm<sup>2</sup>, tj. promjer otvora je 159,6 mm. Kišomjer se postavlja na stup tako da mu je zjalo vodoravno i 1 m iznad tla. Oko kantičice u kišomjeru je zračni prostor (toplinska izolacija) da se što više sprječji isparavanje vode. Oborina sakupljena u kantičici pri njenom mjerenju se pretaje u posebnu menzuru sa skalom u milimetrima i desetinkama milimetara.

Ombrograf (*recording rain gauge; Niederschlagsstreiber*) bilježi padanje oborine, te uz količinu oborine bilježi i jačinu padanja. Postoji više tipova ombrografa među kojima su pluviograf i nifograf. Prvi radi na načelu plivača, a drugi na načelu vage.

U Hellmann-Fussovom pluviografu (*syphon rain recorder; Niederschlagsstreiber mit Schwimmer*) oborinska voda se preko zjala i lijevka slijeva u valjkastu posudu u kojoj podiže plivač, te se porast razine vode u posudi sustavom poluga prenosi na satni

valjak s trakom, po kojoj pero bliježi padanje oborine. Kad se posuda s plovkom napuni vodom, preko teglice se automatski isprazni, te se plovak i pero vrata na nulti položaj, pri čemu pero zabliježi uspravnu crtu. Pražnjenje nastupa kad se u posudi nakupi 10 mm oborine. Ako oborina i dalje pada, posuda se ponovno puni i prazni, tako da kod jačih i dugotrajnijih oborina bude i po nekoliko pražnjenja, te zapis, tj. ombrogram ima plitasti izgled. Prema nagibu zabliježene crte može se odrediti jačina oborine u određenom razdoblju. Nedostatak pluvvografa je što tijekom pražnjenja posude ne bliježi oborinu i što ne bliježi krutu oborinu. Zbog toga se instrument zimi grije. Snijeg se nakon pada u pluvniograf topi i dalje slijedi kao za kišu.

Padanje snijega, a također i kiše, bliježi se nitografima (*balance rain recorder*; *Niederschlagsmesser*) koji mjere težinu palog snijega.

Visina snježnog pokrivača mjeri se snjegomjermom (stalni i pokretni). To je drvena letva s centimetromom podjelom, duljine 1-3 m, što ovisi o mogućoj visini snijega. Mjesta za mjerenje visine snježnog pokrivača mora biti prostrano, ravno i potražnjeno, da nije u sjenci i nije izloženo vjetrovima. Mjeri se "stari" i "novi" snijeg u posjednja 24 h. Za mjerenje novog snijega rabi se i snjegomjerna daska, obično veličine 50x50 cm, na koju pada novi snijeg.

Osim visine snijega mjeri se i njegova gustoća ili količina vode u snijegu (ledu).

### 29.2.7. Vidljivost

Vidljivost, ponekad izražena kao meteorološka propusnost atmosfere, je pojam koji se rabi da se opiše propusnost ili neprozirnost atmosfere, te predstavlja vodoravnu vidljivost u krugu 360°. Pri instrumentalnom mjerenju predložuje meteorološki optički doseg (*meteorological optical range - MOR*; *meteorologische Sichtweite*). Osnovna tumačenja o vidljivosti dana su u točki 1-12.5, uz naznaku podjela vidljivosti i načela kako se mjeri. Očito jedinica vidljivosti odgovara jedinici duljine, te se vidljivost izražava u metrima ili kilometrima, odnosno ponekad stopama (zrakoplovstvo, uspravna vidljivost).

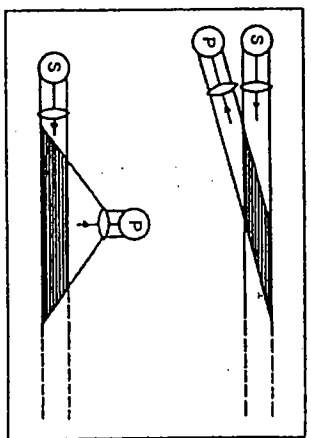
Vidljivost se može određivati procjenom vizualno ili mjeriti odgovarajućim instrumentima (vizibilimetrima, transmisometrima) uz bliženje na traci. Mjesto motrenja vodoravne vidljivosti treba omogućiti pregled u svim smjerovima, a izabire se istodobno s izborom repeta kojima se vidljivost ocjenjuje. Repeti se uctavaju u zemoljovid kako se vide s meteorološke postaje u smjeru i na udaljenosti na kojoj se nalaze.

Postoji više tipova instrumenata za mjerenje vidljivosti. Jedan od njih (*gold visibility meter*) koristi postojana svjetla, a sastoji se od optičkog predmeta klimnastog oblika (pomično stakalice čija se prozirnost mijenja od potpune propusnosti na jednom kraju do potpune nepropusnosti na drugom), okulara i skale. Tijekom gledanja u svjetlo stakalice se pomiče do nestanka svjetla. Vidljivost se određuje čitanjem skale i tablice umjerenja- nja koja je osobna za svakog motritelja. Pogodan je za motrenja noću, ali je potrebna prilagodba motritelja na tamu od nekoliko minuta.

Vizibilimetar ili transmisometar (*transmissometer*; *Sichtweitemesser*) je instrument za mjerenje vodoravne vidljivosti i treba davati vrijednosti vidljivosti kao i ljudsko oko. Ima ih više izvedbi.

Izvor svjetlosti stalne jačine i prijemnik s fotoelektričnim ćelijama su odvojeni. Udaljenost između njih predstavlja osnovnu crtu transmisometra (*transmissometer base line*), koja ovisi o namjeni (za veće/manje vrijednosti vidljivosti osnovna crta je većama/nja), a iznosi 150 do 50 m. U prijemniku se mjeri slabljenje svjetlosnih zraka pri prolazu kroz sloj zraka. Jačina svjetlosti pretvorena u primjerenju jedinicu za vidljivost prikazuje se na pokazivaču i bliježi na traci.

Druga mogućnost je da su predajnik i prijemnik u jednom (slično kao podnicomjer, odnosno na sličan način radi elektronski mjerjač pojave, slika 29.21.D), pri čemu prijemnik mjeri povratno ili bočno odbijenu svjetlost na česticama zraka, slika 29.16.



Slika 29.16. Transmisometar; povratno odbijanje svjetlosti (gore), bočno odbijanje (dolje) S - izvor svjetlosti, P - prijemnik

Transmisometar može dati prihvatljive rezultate za vidljivost do 8 km, ali nedostaci su pri promjenljivoj vidljivosti, npr. vidljivost u magli u krpama. Instrument se može koristiti kako danju tako i noću.

Uspravna vidljivost (*vertical visibility - VV*; *Senkrechtsticht*) je najveća udaljenost do koje se dani objekt može vidjeti po visini. Smanjenje uspravne vidljivosti uzrokovano je smanjenjem propusnosti atmosfere. Načelo određivanja je slično kao i za vodoravnu vidljivost. Može se procijeniti prema reperima (visoke zgrade, tornjevi, brda), zatim odrediti pilotbalonom kao visina iznad tla do koje se on još vidi. Instrumenti za mjerenje uspravne vidljivosti su podnicomjeri (*ceilometer*; *Wolkenhöhenmesser*) slično kao pri mjerenju podnice oblaka.

U zrakoplovstvu osim vodoravne i uspravne vidljivosti postoje druge vrste vidljivosti i shodno tome odgovarajući načini mjerenja (točka 33.1.).

### 29.2.8. Pojave

Motrenje pojava obuhvaća određivanje vrsta (oblika), jačine (intenziteta) i trajanja pojave (sati, minuta), odnosno njen početak i završetak. Atmosferske pojave ili meteori svrstani su u četiri skupine: hidrometeori, litometeori, fotometeori i elektrometeori (točka 1-13.). Prema dogovoru svaka vrsta pojave ili meteora ima svoj znak ili simbol, koji se u ameteorologiji obvezno mora upotrebljavati.

**1231** Često je određivanje vrsta pojava vrlo zahtjevno te traži iskusnog motritelja, uz pomoć Međunarodnog atlasa oblaka, gdje su uz oblake dana tumačenja i opis pojava. Nadlje, motritelji treba dobro poznavati simbole (znakove) pojave, da bi ih mogao pravilno bilježiti. Opis pojava - meteora dan je u točki 1-13. te može poslužiti određivanju osobina pojedinih pojava.

Procijenjena jačina pojava označava se brojevima 0, 1 i 2 (slab, umjeren, jak). Ako su pojave tako slabe da se jedva primjećuju, jačina se označava s "tr" što znači pojava u tragovima.

Važno je utvrditi i zabilježiti točno vrijeme (sat i minutu) kad je neka pojava počela i kad je prestala, uz naznaku termina kad je mijenjala jačinu. Eventualno se rabe oznake kao "n" - noću, "rj" - rano jutro i slično. Ako je pojava bila s učestalim prekidima označava se s kraticom "pr".

Pod pojmom izvanrednih pojava podrazumijevamo vremenske poremećaje ili elementarne nepogode izuzetne jačine ili trajanja, rijetke i neočekivane pojave, bilo po mjestu javljanja ili dobu godine u kojem se javljaju. Sve meteorološke pojave mogu se javljati kao izvanredne.

Iz prije navedenog izlazi da pojave procjenjuje motritelji, te primjenom "sadašnjeg vremena" u SYNOP ili SHIP ključu može prikazati 100 različitih pojava uključujući i njihove jačine.

Ipak zadnjih godina mjerenja pojava ostarjavaju se automatskim putem. Postoje odgovarajući meteorološki instrumenti kao elektronski mjerač pojava, slika 29.21.D, koji radi na sličnom načelu kao o transmissometar, slika 29.16. Svjetlosni snop "prepoznaje" vrstu pojave, njenu jačinu uz vrijeme pojavljivanja. No zadovoljavajuća točnost prepoznavanja svih pojava nije potpunja, stoga se ovakvim uređajima pridržavaju i posebni osjetnici za pojedine vrste pojava (kiša, snijeg i slika). To je razlog što se u automatskih meteoroloških postaja ne rabi isti oblik "sadašnjeg vremena" kao u običnim postajama s motriteljima.

Važno je istaći da suvremeni, pogotovo elektronski instrumenti, unatoč većim mogućnostima točnog mjerenja još uvijek ne mogu u punini dati rezultate kao obični klasični instrumenti. To je važno zbog usporedbe mjerenja "danas" s onima unazad 100 ili 200 godina, kako bi rezultati bili usporedivi, a razlike u brojkama bi pokazivale samo promjene u vremenu.

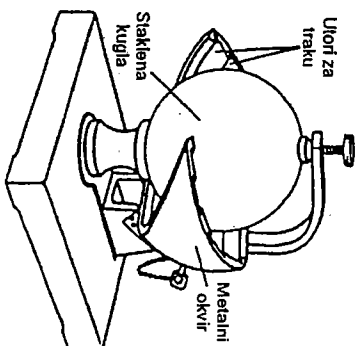
### 29.2.9. Sunčevo zračenje

Pri motrenju Sunčeva zračenja određuje se osunčavanje ili trajanje sjanja sunca te vrsta i količina zračenja koja dolazi od Sunca, zatim zračenje atmosfere i Zemljine površine te ono koje je odbijeno od nje. Podrobnije veličine zračenja su navedene u točki 1-4.5.

Jednice za mjerenje osunčavanja su sati (h) ili njihovi dijelovi, dok se zračenje iskazuje u energiji (J) po jedinici površine ( $m^2$ ) u jedinici vremena (npr. dan, sat, min) te imamo  $J m^{-2} h^{-1}$  odnosno neku drugu izvedenu jedinicu kao  $W m^{-2}$ .

Instrumenti za osunčavanje su heliografi, a za zračenje piranografi i mnogi drugi.

**Heliograf (heliograph; Heliograph)** ima kuglastu leću pomoću koje se pri sijanju sunca žari papirnata traka, te se po progorjevanju trake očitava vrijeme osunčavanja, slika 29.17.



Slika 29.17. Heliograf

**Piranograf (pyranograph; Pyranograph)** mjeri i bilježi kratkovalno zračenje između 0,4 i 3  $\mu m$ , većinom pomoću termočlanka sa zacrmljenom vodoravnom pločicom pod odgovarajućom staklenom kupolom. Okrenut uvis prima ukupno (globalno) Sunčevo zračenje, ako mu je Sunce zasjenjeno nepomičnim ili pomičnim sjenilom, prima raspršeno (difuzno) Sunčevo zračenje, a okrenut prema tlu odbijeno Sunčevo zračenje. Ono se najčešće iskazuje energijom koju je primila jedinična površina tijekom nekog vremena.

Slični instrumenti bez staklene kupole (filter), mogu primati zračenje valnih dužina i većih od 3  $\mu m$ , što znači ukupno zračenje, dolazno od Sunca i atmosfere i odlazno s tla. To su tzv. pirradiografi (pyrradiograph; Pyrradiograph).

Komponente zračenja koje se izravno ne mjere, računaju se iz mjerenog zračenja. Izravno Sunčevo zračenje mjeri se pirheliometrom (pyrheliometer; Pyrheliometer), gdje je osjetnik u dnu tubusa (cijevi) usmjerenog u Sunce, a iskazuje se isključivo kao gustoća energije primljene u minuti. Standardiziranim filterima moguće je dobiti i podatke o zračenju u dijelovima spektra. Svi se radiometri moraju standardizirati međunarodnim etalonima.

### 29.2.10. Isparavanje

Isparavanje se većinom mjeri sa slobodne vodene površine iz sniženja njezine razine. Pritom se uvažavaju veličine koje utječu na isparavanje kao: količina oborine, srednja brzina vjetera i temperatura vode. Jedinica isparavanja je milimetar (mm) s točnošću na desetinku milimetra.

Instrumenti za isparavanje su isparivači, evaporimetri, lizimetri i druge vrste.

Isparivač ili evaporimetar (evaporimeter; Evaporimeter) A-razreda se najčešće upotrebljava za mjerenje isparavanja s vodene površine. To je posuda promjera oko 120



cm, dubine 25 cm napunjena vodom te se mjeri visina vodene razine. Ujedno se mjeri temperatura vode i vjeter na visini 2 m. Poteškoće nastaju zimi kad se voda smrzne.

Picheov isparivač je staklena cijev sa skalonom, napunjena vodom, promijera 1 cm, dužine oko 30 cm, zatvorena na jednom kraju, na drugom zavrnuta i s otvorom slično barometru, slika 29.8. Na otvor se stavija papir kroz koji voda isparava.

Lizimetar (*lysimeter*, *lysimeter*) mjeri isparavanje iz tla tako da se uzorak tla uzastopno važe, ali se istodobno mora mjeriti i napadala i procijedena količina oborinske vode.

### 29.3. Visinska meteorološka mjerenja

Visinskim mjerenjima određuje se stanje slobodne atmosfere pomoću uređaja smještenih na tlu, instrumentima i sustavima upućenim u atmosferu balonom, zrakoplovom i raketom, odnosno posebnim uređajima za daljinska mjerenja kao radar, lidar i sodar te instrumentima i uređajima na umjetnim Zemljinim satelitima (točka 30.). Sva ta mjerenja su proširio i vremenski mnogo rjeđa od onih koja se provode u mreži prizemnih postaja. Rutinska mjerenja obuhvaćaju pilotbalonsko i radiosondazno mjerenje.

Visinska mjerenja temperature, vlage i tlaka zraka te vjetera na pripadnim visinama moraju zadovoljavati određenu točnost mjerenja. Pogreška mjerenja temperature zraka ne smije prelaziti 0,5-1 °C u troposferi, odnosno 1-2 °C u stratosferi, dok pogreška mjerenja vlažnosti zraka mora biti manja od 10%. Pogreška mjerenja brzine vjetera ne smije prelaziti 1-2 m s<sup>-1</sup> u troposferi, odnosno 2-3 m s<sup>-1</sup> u stratosferi.

#### 29.3.1. Meteorološki baloni

Pilotbalonska mjerenja su najjednostavniji način mjerenja vjetera u slobodnoj atmosferi. Manji gumeni baloni (težine 20, 30 ili 100 g) napunjeni određenom količinom vodika dižu se praktično stalnom brzinom i oklanjaju od okomice u stranu kud ih zanosi vjeter. Balon se prati optičkim teodolitom. U jednaki vremenski razmacima očita se kutna visina (elevacija) pod kojom se balon vidi prema obzoru (horizontu) te kut azimuta balona prema zemljopisnom sjeveru. Pomoću izmjerenih kutova i poznatih visina balona u uzastopnim minutama mogu se trigonometrijski proračunati vodoravne projekcije putanje balona, a odatle i smjer i brzina vjetera u sloju između uzastopnih visina mjerenja. Uпотреba pilotbalona ograničena je na povoljne vremenske prilike, a preptostavlja stalnu brzinu dizanja balona, što ponekad nije slučaj. Taj nedostatak se može otkloniti upotrebom dvaju teodolita. U noćnim satima balon nosi malu svjetiljku.

**PILOT** izvješće sadrži podatke o smjeru i brzini vjetera na visini. Sastoji se od 4 dijela (A, B, C, D) i 6 odjeljaka. A i C dio sadrže podatke o visinskom vjetru na standardnim plohanama (A dio: od tla do 100 hPa, C dio: iznad 100 hPa), a B i D dio podatke na značajnim plohanama (B dio: od tla do 100 hPa, D dio: iznad 100 hPa).

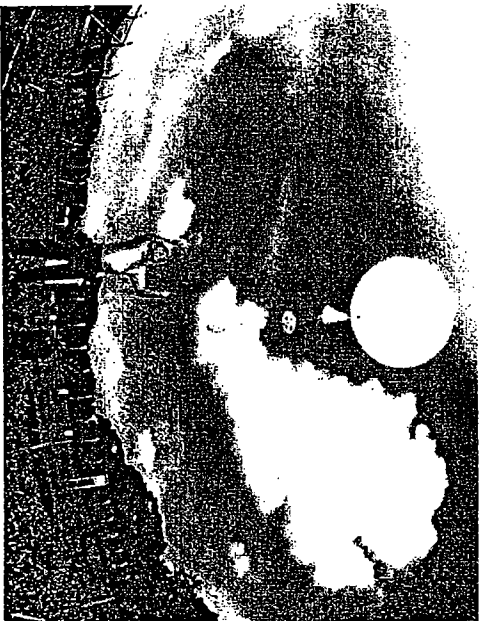
Odjeljci 1 do 6 sadrže sljedeće informacije:

- 1 - oznaka izvješća i meteorološke postaje
- 2 - smjer i brzina vjetera na standardnim plohanama

- 3 - najveća brzina i smicanje vjetera
- 4 - smjer, brzina i smicanje vjetera na značajnim razinama
- 5 - određuje se područnim dogovorom
- 6 - određuje se državnim dogovorom

#### 29.3.2. Meteorološke sonde

Visinska mjerenja temperature, vlažnosti i tlaka zraka te smjera i brzine vjetera na visini, radi se praćenjem meteorološkog balona koji nosi malu sondu i pušta se s "visinske postaje". Baloni mogu biti opremljeni i s drugim vrstama instrumenata (npr. za savitav i kakovu zraka, zračenje). Osim instrumenata, ovi meteorološki baloni nose uređaj koji promijene meteoroloških veličina pretvara u električne veličine, te radiopredajnik s baterijom, pa se stoga naziva radiosonda (*radiosonde*; *Radiosonde*). Radiosonda je obješena na dužoj uzici o veliki balon napunjen vodikom, koji se podiže dok ne pukne, a potom se radiosonda malim padobranom spušta na zemlju, slika 29.18. Pripadni radioprijemnik se nalazi na zemlji u okviru visinske postaje. U pravilu sonda mjeri više od jednog elementa, stoga posebna naprava (pri određenom poznatom tlaku) prebacuje ciklički jedan osjetnik za drugim u električnom krugu predajnika.



Slika 29.18. Radiosonda

Sonda se obično pušta jedan sat prije termina mjerenja te je čitavo mjerenje završeno i pripremljeno za razmjenu odmah poslije sinoptičkog termina. Za brzinu dizanja sonde oko 300 m min<sup>-1</sup>, potreban je jedan sat da se uzdigne od morske razine do 100 hPa (16 000 m). Elementi atmosfere za koja se daju izvješća su na standardnim razinama tlaka 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 i 100 hPa u donjoj atmosferi i 70, 50, 30, 20 i 10 hPa u stratosferi. Na aerološke dijagrame se za razne izobarne razine iznad

Postoje ucrtavani temperatura, rosije i vjetar okolne atmosfere, pomoću kojih se mogu odrediti razne meteorološke veličine za bilo koju točku (izobarna ili visinska razina iznad postaje) (točka 1-8.3.).

Postoje sondažna mjerenja vjetra (bez mjerenja temperature i vlage) to je *ravin (ravin, Radarwind)*, gdje se elektronskim putem prati balon, te se izračunava smjer i brzina vjetra.

TEMP izvješće sadrži podatke o visinskim mjerjenjima tlaka, temperature, vlage i vjetra s visinskih meteoroloških (aeroloških) postaja. Podijeljeno je u 4 dijela (A, B, C, D) i 10 odjeljaka. A i C dijelovi sadrže podatke o temperaturi, vlazi i vjetru na standardnim izobarnim plohama (A dio: od tla do 100 hPa, C dio: iznad 100 hPa), a B i D dijelovi na značajnim razinama (B dio: od tla do 100 hPa, D dio: iznad 100 hPa). U međunarodnu razmjenu obvezno se uključuju A i B dijelovi TEMP-a.

Odjeljci 1 do 10 sadrže sljedeće informacije:

- 1 - oznaka izvješća i meteorološke postaje
- 2 - standardne izobarne plohe
- 3 - razina tropopauze
- 4 - razina najveće brzine i uspravnog smicanja vjetra
- 5 - značajne razine za temperaturu i vlagu
- 6 - značajne razine za vjetar
- 7 - .....
- 8 - oblaci
- 9 - određuje se podnatčnim dogovorom
- 10 - određuje se državnim dogovorom.

Postoje i dodatne skupine. Skupina koja počinje sa 66 koristi se kad se najveća brzina vjetra javlja na vrhu sondiranog sloja atmosfere. Skupina sa 77 koristi se za označavanje podataka o najvećoj brzini vjetra unutar sondiranog sloja atmosfere. Skupina s 88 koristi se za označavanje podataka o tropopauzi.

Neka visinska mjerenja rade se i vezanim balonima (*kite balloon; Fesselballon*), koji nose meteorološke instrumente na visine nekoliko stotina metara ili koji kilometar. No pri jačem vjetru takav način mjerenja je otežan, te se mogu koristiti meteorološki zmajevi (*meteorological kite; meteorologischer Drachen*). Postoje i posebne vrste balona (*constant volume balloon; Driftballon*) koji lebde u atmosferi i više mjeseci te ih vjetrom mogu nositi preko golemih prostiranja (preko 10 000 km).

### 29.3.3. Meteorološki zrakoplovi i rakete

Osim mjerenja dobivenih raznim vrstama balona, postoje motrenja iz zrakoplova. Osnovni oblik čine opažanja pilota tijekom leta zrakoplova, no također postoje i zrakoplovi opremljeni mnoštvom meteoroloških instrumenata i uređaja za razne vrste ispitivanja atmosfere. Motrenja zrakoplovima čine neprocjenjiv doprinos meteorologiji (i za razne druge potrebe).

Meteorološki podaci s velikih visina (iznad 30-40 km), koji nisu u dosegu balona ili zrakoplova, prikupljaju se meteorološkim raketama. U pravilu takva mjerenja su isključivo za istraživačke potrebe.

### 29.4. Motrenja na morima i oceanima

Motrenja uz morske obale, na morima i oceanima obuhvaćaju procese koji se javljaju između dva fluida, tj. atmosfere i hidrosfere (mora i oceani). Ova motrenja ulaze u plitke slojeve morske vode (vrlo male dubine). Iako je to područje oceanologije (oceanografije), procesi u atmosferi zavise o stanjima na površini i unutar morske vode. Također i procesi unutar morske vode zavise o procesima u atmosferi. Prema tome postoji čvrsta obostrana veza procesa u atmosferi i moru.

#### 29.4.1. Posebnosti motrenja meteoroloških elemenata

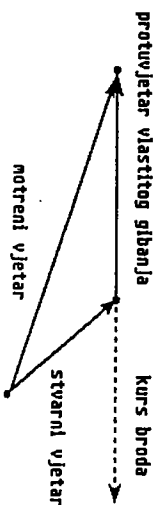
Brodski meteorološki zaklon služi za smještaj instrumenata slično kao termometrijska kućica na kopnu. Na njegov smještaj treba paziti obzirom na znatni udjecaj brodske trupa i drugih brodskih sustava. Način motrenja osnovnih meteoroloških elemenata (temperatura i vlažnost zraka, naoblaka, oborina, vidljivost i pojave) je sličan kao i na kopnu.

Temperatura mora (općenito vode) mjeri se termometrom s posebno oblikovanim posudicom termometra, koja treba imati veći toplinski kapacitet, jer nakon vađenja termometra iz mora i njegovog očitavanja ne smije doći do bime promjene temperature. Temperatura vode mjeri se na dubini 0.5 m. Druga mogućnost je većom posudom zahvatiti morsku vodu i izmjeriti njenu temperaturu. Pogreška u mjerenju temperature mora treba biti manja od 0.5 °C.

Postoje i termometri smješteni u usisnoj cijevi kroz koju se crpi voda za potrebe strojarnice ili se mjeri temperatura mora pomoću termoelemenata ugrađenih u pramcu broda.

Za mjerenja temperatura morske vode u dubini rabe se posebni tipovi termometara (obrtni termometar, batiernograf, hidrografska sonda, električni termometar sa zapisom), što je izravna zadaća oceanologije.

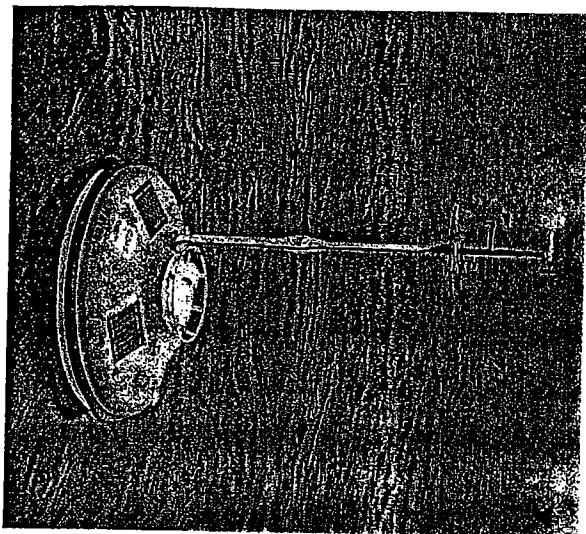
Tlak zraka na brodu mjeri se najčešće aneroidom, jer običan živin barometar zbog valjanja broda zahijeva poseban i dosta složen način postavljanja. Pri mjerenju barometarske tendencije postoje poteškoće zbog plovitbe - promjene položaja broda. Tlak izmjerjen "sada" i pred tri sata nije na istom mjestu. To je razlog što se u SHIP izvještaju s broda treba navesti smjer i brzina plovitbe u zadnja tri sata.



Slika 29.19. Trokut vjetra za određivanje stvarnog vjetra na brodu.

Mjerenje vjetra na brodu u načelu je slično kao i na kopnu, ali pri plovitbi broda mora se uzeti kurs (smjer) i brzina broda (kurs plovitbe broda i smjer vjetra općenito

se razlikuju za  $180^\circ$ , tj. vjetar puše "iz", a brod plovi "prema"). Poznajući pravi smjer (kurs) i brzinu broda motrene vrijednosti smjera i brzine vjetra treba preračunati primjenjujući oduzimanje vektora, slika 29.19. Brzina vjetra se većinom procjenjuje jačinom po Beaufortovoj ljestvici. Osim mjerenja uz obale mora ili na brodovima, sve više se obavljaju mjerenja na raznim platformama ili plutućima koje mjere i automatski šalju podatke sabirnim središtima. Izgled jedne plutuće dan je na slici 29.20.



Slika 29.20. Meteorološka plutuća

### 29.4.2. Morske struje

Gibanja morske (oceanske) vode u nekom smjeru čine morske struje (točka 36.2.). Kao i vjetar, to je vektorska veličina te je određena smjerom i brzinom gibanja morske vode. Pod smjerom morske struje podrazumijeva se strana svijeta prema kuda teče struja, dakle suprotno od vjetra. Način određivanja smjera morske struje je isti kao i određivanje smjera plovidbe broda. Strujanje na površini oceana uzrokovano je prvenstveno vjetrom, zatim morskim mljenama, atmosferskim tlakom, djelovanjem temperature i gustoće morske vode te drugim čimbenicima.

#### Jedinice

Smjer struje se određuje prema zemljopisnim stranama, prema kuda teče struja. Također se mjeri u stupnjevinama ( $^\circ$ ), od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ . Brzina struje se izražava u jedinicama brzine:  $m\ s^{-1}$  i nautička milja na sat (Nm  $h^{-1}$ ), odnosno čvor - knot (kt). Medusobne veze između brzina su dane s izrazom 29(6).

Smjer i brzina morske struje određuje se posredno mjerenjem temperature i stanosti morske vode, te visine morske razine, odnosno izravnim mjerenjem kao npr. praćenjem plutućih boca (radioplutače, drifter), strujomjerom uključujući praćenje iz satelita.

Drifter je plovak nošen morskim strujama čiji se položaj određuje u pravilnim vremenskim razmacima. Razlikuju se površinski drifter, najčešće praćen sa satelita, i dubinski drifter, koji se prati uz pomoć obalnih hidrofona ili periodički izlazi na površinu radi veze sa satelitom.

Ekmanov strujomjer se uključuje i isključuje na određenoj dubini, preko kričica se usmjerava u smjer struje, a okretanje elise daje brzinu struje (slično vjetrokazu). Pri okretanju elisa propušta metalne kuglice, koje padaju na magnetnu iglu (ploču) s kanalima, kotrljaju se po njima i ulaze u odjeljke u krugu. Broj kuglica daje brzinu struje, a u kojem su odjeljku, smjer struje.

Autonomni strujomjer (*Kanderaa*) ima kričice, rotor, kompas i sat te šalje električni signal. Točnost mjerenja je prilična: brzina  $\pm 0,01\ m\ s^{-1}$ , smjer  $\pm 5^\circ$ , vrijeme  $\pm 2\ s\ dan^{-1}$ .

Najnoviji strujomjeri mjere Dopplerov pomak zvučnih valova koji se odbijaju na plutućim česticama u moru.

### 29.4.3. Morski valovi

Morska razina (*sea level*, *Meeresniveau*) kao granična ploha između atmosfere i mora mijenja svoj položaj u prostoru i vremenu (točka 36.1.). Te promjene položaja nastaju zbog mnogih uzroka. Promjene morske razine su spore (dugoperiodične,  $\geq 1\ min$ ), to su npr. morske mljene koje se mjere mareografom ili brze (kratkoperiodične,  $< 1\ min$ ), to su valovi koji se mjere valomjerom. Uzroci kolebanja (oscilacija) morske razine mogu biti slobodna (trenutni uzrok: mrtvo more, seši i drugi valovi) ili prisilna (stalni utjecaj vanjske sile: vjetar, morske mljene) gibanja.

Mareograf mjeri dugoperiodička kolebanja ( $\geq 1\ min$ ) morske razine. Klasični mareograf bliježi položaj plovka u zdencu koji je uskom cijevi povezan s morem. Tlačni mareograf bliježi tlak pri dnu mora, odakle se primjenom hidrostatičke jednadžbe može odrediti visina stupa fluida.

Valomjer (*wave recorder*: *Wellenregistrergerät*) mjeri kratkoperiodička kolebanja ( $< 1\ min$ ) morske razine. Ima ih više vrsta: obrtni ultrazvučni dubinomjer postavljen na dnu mora mjeri kolebanja razine, zatim postoji akcelerograf ugrađen u površinsku plutuću, itd. Pojedinačnim uređajima mjere se vjetrovni valovi neovisno o smjeru gibanja. Za dvodimenzionalni valni spektar, potrebna su mjerenja nizom instrumenata ili nekim posebnim tehnikama.

Najčešći su vjetrovni valovi (*wind wave*: *Windwelle*) tj. valovi živog mora kao posljedica djelovanja vjetra na morsku površinu. To su istodobno i kratki valovi. Valovi mrtvog mora (*swell*: *tole Dünung*) postoje daleko izvan područja puhanja vjetrova ili nakon njihovog prestanka puhanja. Naravno, postoje i druge vrste morskih valova (točka 36.3.).

Elementi vala su smjer, period, visina i dužina vala, a ukupno stanje se opisuje jes-tvicom stanja mora. Tako su i odgovarajuće jedinice mjerenja različite. Smjer se iskazu-

je po stranama svijeta ili u stupnjevima ( $^{\circ}$ ) od kuda dolaze valovi, period (vrijeme od vrha brjega do vrha brjega vala) u sekundama (s), visina (razlika između visine brjega i doline vala) i duljina (udaljenost od vrha do vrha brjega vala) vala u metrima (m). Pri motrenju valova obično se uvažavaju brjegov valova, jer su uočljiviji od drugih dijelova valova.

Pri postojanju više valnih sustava, motri se prevladavajući valni sustav ili neki pojedinačni.

**Smjer vala (wave direction: Wellenrichtung)** je smjer iz kojeg dolaze valovi (slično vjetru), određuje se po smjeru fronte valnih bregova. Okomica na frontu valnih bregova je smjer valova. Smjer valova se može odrediti i prema smjeru pravog vjetra, ali se općenito smjerovi valova i vjetra uvijek ne podudaraju, posebno ne pri promjeni vjetra.

**Period vala (wave period: Wellenperiode)** je vrijeme potrebno nekom plutajućem predmetu (ili pjegi pjene pri vjetru  $\geq 6 \text{ Bf}$ ) da prijeđe od jednog do sljedećeg vrha brjega vala. Uzima se prosjek više mjerenja.

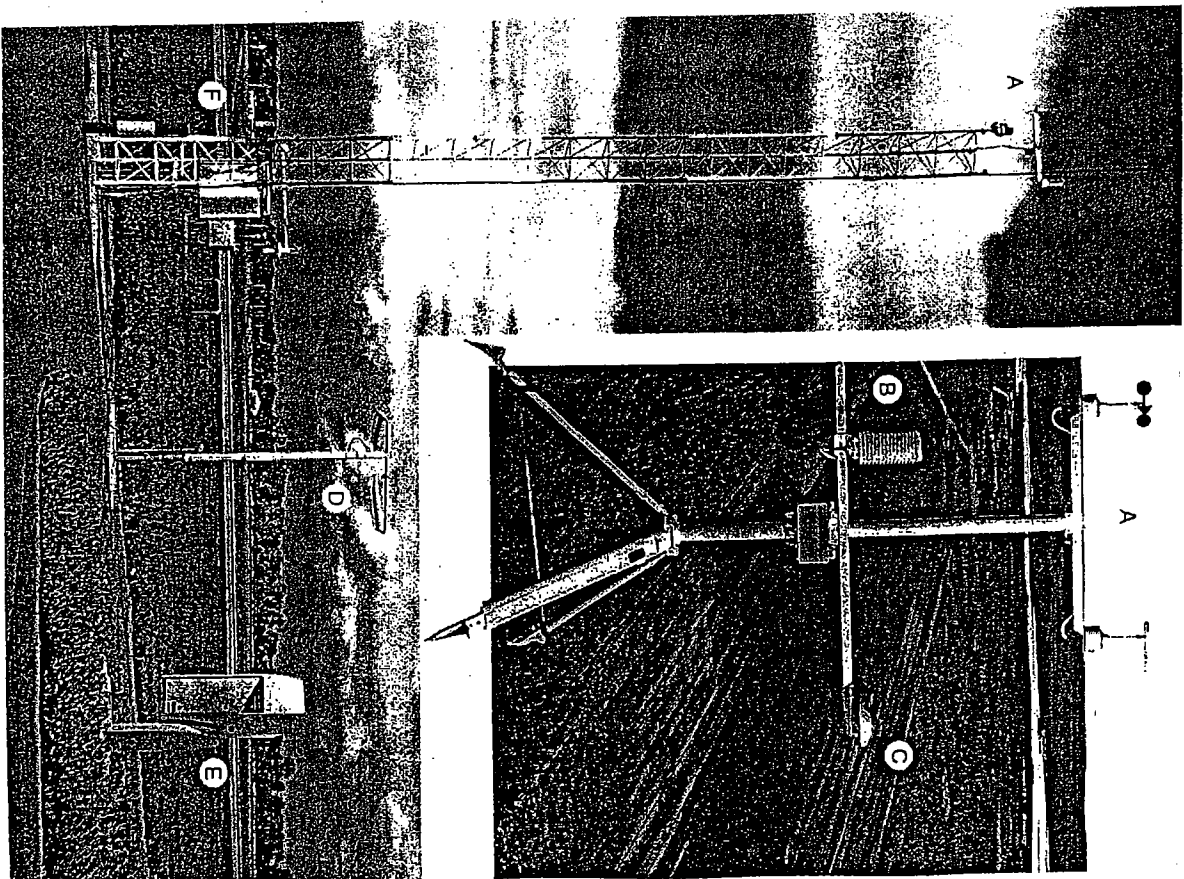
**Visina vala (wave height: Wellenhöhe)** mjeri se ili procjenjuje ovisno o veličini. Ako je visina vala dosta manja od broda, uz slab vjetar i slabo postranje broda ili bez njega, najlakše se mjeri uz zaustavljanje broda s pramacem u valove. S pramca se spusti u more uteg ručnog dubinomjera. Prema podjeli na uzici očita se najviša i najniža razina mora, koja daje visinu vala. Uzima se prosjek više mjerenja. To je pogodno za mjerenja u luci, s doka ili platforme. Visinu visokih valova motritelji lakše procjenjuju prema brodu, ako se nalazi što niže na srednjem dijelu privjetrinske strane broda. Visinu valova većih od broda motritelji procjenjuju, ako se nalazi na odgovarajućoj visini na nadgrađu broda (jarbolu), kad je brod u dolini vala i uspravan na ravnoj kobilici, a vrh dolazećeg vala se vidi u ravni horizonta. Visina vala odgovara visini motriteljeva oka iznad morske razine.

**Duljina vala (wave length: Wellenlänge)** se najtočnije procjenjuje prema duljini broda, kad brod plovi valovima u pramac ili krmu. Također, tegljenjem koluta za spasavanje po krmu može se odrediti valna duljina. Kad je brjega vala ispod kreme, a kolut na drugom brjegu, duljinom tegljene uzice (ima oznake podjele) procjenjuje se valna duljina. Ako valovi dolaze pod nekim kutom, procjenjena valna duljina množi se kosinusom toga kuta da se dobije prava valna duljina.

**Stanje mora (state of sea: Sezustand)** određuje se odgovarajućom ljestvicom, prema uočenim pojavama na morskoj površini, tj. procijenjenoj visini valova, prilog 1. Stanje vrijedi pri potpuno razvijenom moru, tj. kad su ispunjeni uvjeti najmanjeg prostranstva ili razgona (*Fetch: Anlaufstrecke des Windes*) i najmanjeg trajanja vjetra određene brzine (točka 36.3.). Ako jedan od elemenata nije ispunjen valovi su slabije razvijeni. To vrijedi na Jadransu za sve vjetrovne valove, osim za Jugo. Zato za zatvorena mora postoje posebne ljestvice.

Omjer visine i duljine vala za vjetrovne valove je oko  $1/12$  i ne mijenja se mnogo. Za valove mrtvog mora taj odnos može znatno odstupati (npr. za valnu duljinu 300 do 600 m visina vala može biti 0,3 m). Nadalje, oceanski valovi se najčešće gibaju u skupinama (između su valovi mrtvog mora) pri čemu su središnji valovi najizraženiji, dok je brzina skupine valova upola manja od pojedinačne brzine vala. U plitkoj vodi (dubina vode manja od polovice valne duljine) brzina valova je manja, dolazi do njihova skretanja, a visina poraste uz lom vala.

Satelitska mjerenja izvode se pomoću mikrovlnnih uređaja.



Slika 29.21. Automatska meteorološka postaja: A – anemograf, B – daljinski termometar i osjetnik vlage (u štitniku), C – piranograf, D – mjerac pojava, E – podniconjmer, F – tlak, upravljačka kutija

## 29.5. Automatske meteorološke postaje

Mnoga područja Zemljine površine nisu naseljena, da se i ne govori o golemim oceanskim prostranstvima. Unatoč toga s takvih područja su neophodni meteorološki podaci za dobivanje cjelovitije slike vremena. Stoga se primjena automatskih meteoroloških postaja nameće kao vrlo logična potreba. S druge strane i u naseljenim područjima ima teškoća pri odabiru pouzdanih i dobrih meteoroloških motritelja, a troškovi nadziranja s ljudskom posadom su razmjerno visoki.

Automatske meteorološke postaje izvedene su obično u modularnom sustavu. Niz osjetnika za meteorološke elemente preko pomoćnih uređaja i sklopova (poprimgnuth mikroprocesorima), spojen je u cjelinu koja daje izmjerene i/ili izvedene veličine, slika 29.20. Meteorološki podaci se automatski pohranjuju (magnetne ili druge vrste jedinica) i/ili šifriraju te prenose radio (telefonskim) putem u sabirna središta, slika 28.1. Prijenos može biti stalan ili po pozivu. Za pogon takvih postaja koristi se javna električna struja, baterije ili akumulatori, a u nedostatku javne struje, struja iz vjetrovnog generatora ili sunkane ćelije.

Automatske meteorološke postaje postavljaju se na teško pristupačnim mjestima (planine, šume, pustolje i slično), na osamljenim otocima i hridima, plućacima, na visokim tornjevima, u zrakoplovnim i morskim lukama, općenito prometnicama i drugim mjestima. Pored teškoća s napajanjem električnom energijom, rad postaja često otežavaju vrlo teški klimatski uvjeti (niske i visoke temperature, velike vlažnosti, električna izbijanja, zaledjavanja, vjetrovi i drugo) i nemogućnost pravodobnog otklanjanja kvarova.

### Dopunska literatura

- Berth, W., W. Keller i U. Scharnow, 1979: *Wetterkunde*. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 404.
- Byers, H.R., 1974: *General Meteorology*. McGraw-Hill, inc. New York, 461.
- Frampton, R.M. i P.A. Uttridge, 1988: *Meteorology for seafarers*. Brown, son & Ferguson, Glasgow, 137.
- Penzar, I. i B. Penzar, 1985: *Agroklimatologija*. Školska knjiga, Zagreb, 274.
- Poje, D., 1982: *Meteorološki uređaji*. Tehnička enciklopedija, No. VIII, JLZ, Zagreb, 484-496.
- Rehallaek, B.J., 1984: *Compendium of Lecture Notes for Training Class IV Meteorological Personnel*. WMO, Geneva, 455.
- Volarić, B. i I. Penzar, 1967: *Osnove meteoroloških mjerenja i mjerenja*. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 243.
- WMO, 1994: *Observing the World s Environment: Weather, Climate and Water*. WMO, No. 796, Geneva, 42.

## 30. DALJINSKA MJERENJA

### 30.1. Meteorološki radari

Meteorološki radari (*meteorological radar*; *meteorologische Radar*) služe za otkrivanje i određivanje položaja te svojstava pojedinih meteoroloških elemenata i pojava. Riječ RADAR je skraćena koja ima puno značenje "*Radio Detection and Ranging*", tj. radio otkrivanje i određivanje udaljenosti. Primarni radari se koriste odbijenim i raspršenim radio valovima, a sekundarni radari povratno odaslanim (retansmitiranim) valovima koje šalje poseban uređaj responder ili transponder. Meteorološki radari služe za dvije glavne namjene: utvrđivanje osnovnih svojstava sustava oblaka, oborina i nekih drugih pojava, te mjerenja visinskog vjetra. Pri određivanju mikrofizičkih svojstava oblaka i oborina, kapljice u oblacima, kišne kapi, ledeni kristali, snježne pahulje i zrna tuče raspršuju radarske valove i time pobuduju radarske odjeke.

Za određivanje visinskog vjetra (RAVIN) radar automatski prati reflektor-metu, koju nosi uvis poveći balon napunjen vodikom. Meta se, zbog boļjeg odbijanja radarskih valova (valna duļina 10 cm), sastoji od međusobno okomitih ploha u obliku dvostrukog tetraedra, prevučeni tankom metalnom folijom. Određivanje visinskog vjetra ne ovisi o meteorološkim elementima kao kod radio sonde, te se izravno računa preko kose udaljenosti te kutova azimuta i nagiba.

#### 30.1.1. Širenje radarskih valova

Elektromagnetni valovi se dijele prema valnoj duļini, tabl. 1-4.1., pri čemu su valne duļine radara između 1 i 20 cm (30 - 1.5 GHz). Valovi raznih duļina pokazuju različita svojstva prilikom prostiranja u atmosferi, tako da se u primjeni radarskih mjerenja mogu koristiti isključivo valovi odgovarajućih duļina. Postoji nekoliko pojasa valnih duļina λ odnosno frekvencija ν, tablica 30.1.

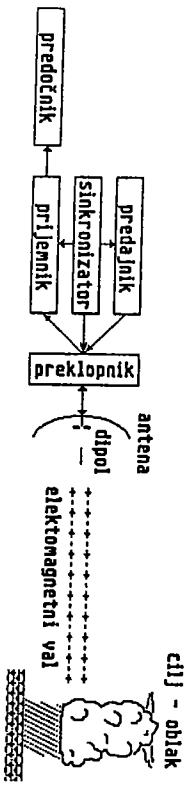
Tablica 30.1. Podjela valnih duļina radara

Valna duļina (cm)	Frekvencija (MHz)	Pojas
1	30 000	K
3	10 000	X
5	6 000	C
10	3 000	S
20	1 500	L

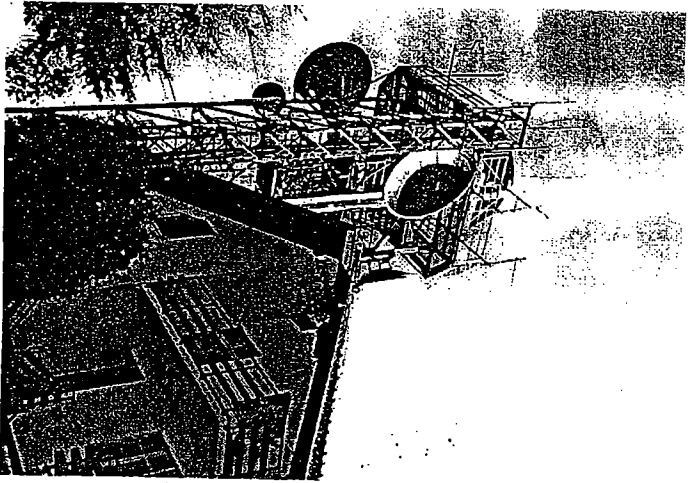
Radar približno svake tisućinke sekunde ( $t_2 \approx 1$  ms) šalje u prostor elektromagnetne valove u vrlo kratkim impulsima ( $t_1 \approx 1$  μs), ali razmjerno velike snage (0.05 - 1 MW), u smjeru u kojem je usmjerena antena. Taj se val, kojeg zrači dipol - antena, nalaskom na cilj - objekt "odbija" od njega i vraća približno istim putem do antene odnosno pri-

jernika, koji ga prima. Povratni val je male snage ( $10^{-12}$  -  $10^{-14}$  W) zbog jakog slabljenja vala na putu i slabog "odbijanja" vala na cilju. Mjerenje udaljenosti cilja od radara razmjerno je brzini elektromagnetnog vala ( $\approx 300\ 000\ \text{km s}^{-1}$ ) i polovici vremena koje impuls prevari do cilja i nazad do radara. Prilikom proširivanja kroz prostor elektromagneti (radarski) valovi nailaze na razne prepreke: oblake, kišu, snijeg, tuču, maglu i slično, zatim zrakoplove i druge čvrste prepreke kao planine, građevine, brodove i slično. Prepreke, tj. ciljevi, ove valove dijelom slabe, a dijelom odbijaju.

Blok shema radara prikazana je na slici 30.1., gdje sinkronizator preko preklopnika upravlja s radom predajnika odnosno prijemnika, tj. preko antene šaljbe, odnosno prima radarske valove.

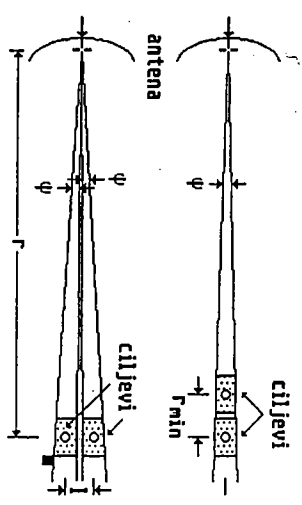


Slika 30.1. Blok shema radara



Slika 30.2. Antena meteorološkog radara

Radarska antena se sastoji od dipola i reflektora. Dipol čine dva vodica fizičke dužine  $l/4$   $\lambda$  na kojoj radi predajnik. Reflektor meteorološkog radara je paraboličnog oblika kako bi se pojačao i usmjerio predajni, odnosno prijemni radarski signal, te postigao uski radarski snop širine  $1-3^\circ$ , pogodan za pretraživanje prostora. Slika 30.2. Energija snopa je najveće uzduž osi snopa i opada na polovicu u vrijednosti kod kuta koji odgovara polovici širine snopa. Također postoje i sporedni (bočni) snopovi čija je energija zanemariva. Antenski reflektori mogu imati i druge oblike, ali tada snop tli dijagram zračenja antene neće biti simetričan već će imati neki drugi oblik. Veličina i oblik antene su vrlo važni jer određuju širinu snopa radara, odnosno kutno razdvajanje (kutna točnost radara) koje ovisi o širini dijagrama zračenja antene  $\psi$ . Za manji kut kutno razdvajanje i dvaju bliskih ciljeva je manje. Također je veoma važno i vrijeme-trajanja impulsa  $t_1$  kojeg šalje predajnik, jer određuje daljinsko razdvajanje, tj. daljinsku točnost mjerenja radara dvaju bliskih ciljeva  $r_{\text{min}}$ . Za  $t_1 = 1$   $\mu\text{s}$  daljinsko razdvajanje je oko 150 m, slika 30.3. Slijedi da radar šalje impuls koji ima izvjesne fizičke dimenzije (slični malom valjku ili knjem stošcu).



Slika 30.3. Daljinska (gore) i kutna (dolje) točnost razdvajanja radarskog snopa

Radarski valovi imaju slična svojstva kao i svjetlost te se uglavnom šire po pravcu. Međutim, u atmosferi kod određenog tlaka, temperature i vlažnosti zraka, tj. gustoće zraka, ne šire se po pravcu već se lome, tj. imaju izvjesnu zakrivljenost. Standardni indeks loma radarskih valova uz Zemljinu površinu je 1,0003. Tako mogu dopirati i izvan dometa crte obzora pa se domet može znatno povećati. Kad ne bi bilo atmosfere, putanja valova bila bi pravac koji bi imao relativnu zakrivljenost prema Zemlji  $1/R$ , gdje je  $R$  polunijer Zemlje. Zbog atmosfere, zakrivljenost je manja od  $1/R$  kad indeks loma opada s visinom. Kod proučavanja je zgodno smatrati putanje pravcima pa se u razmatranja uvodi prividna Zemlja s efektivnim polunijerom  $R'$ . Za standardni indeks loma i njegovu promjenu s visinom, efektivnim polunijerom  $R'$  je približno  $4/3 R$ . Npr. na udaljenosti 40 km zbog utjecaja loma može doći do odstupanja 10 do 50 m po visini, tj. cilj izgleda da je viši. Slično vrijedi za lom svjetlosti (točka I-12.5.).

Pri udaru radarskog vala u cilj, dio energije se upija (kao toplina), a dio se troši na stvaranje izmjenične struje visoke frekvencije, pa se cilj pretvara u antenu koja zrači valove. Snaga, frekvencija, faza, polarizacija te smjer proširivanja "odbijenih" valova od cilja ovise od mnogih čimbenika koji su uvjetovani upadnim valom i osobinama samog cilja. Stoga se pod "odbijanjem" podrazumijeva čitav proces udaranja elektromagnetnih

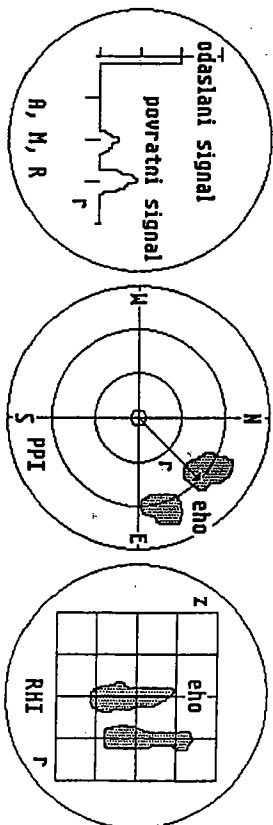
valova radara u ciljeve koji se induciraju i pretvaraju u predajnike - antene te zrače elektromagnetne valove. To zračenje je općenito u svim smjerovima te samo dio zračenja dolazi do antene - prijemnika radara, gdje se bilježi.

Snaga odbijenog vala ovisi od dimenzija, oblika i vrste materije cilja. Ciljevi koji dobro provode električnu struju jače odražavaju valove nego oni koji su nevodljivi. Snaga odraza malo ovisi od valne dužine, kad su dimenzije cilja mnogo veće od valne dužine. Ciljevi koji su mali u usporedbi s valnom dužinom, loše odbijaju valove, jer ih valovi dobro obilaze. Za ciljeve dimenzija znatno manjih od valne dužine odbijena snaga je vrlo mala i mijenja se obrnuto razmjerno s četvrtim stupnjem valne dužine. Radi toga se primjenjuju valovi čija je valna dužina većiina istog reda ili manja od dimenzija cilja koji se otkriva. Važna je glatkost površine cilja u odnosu na valnu dužinu upadnog vala. Ako je visina neravnina ravne površine znatno manja od valne dužine ( $\Delta h/\lambda = 1/10$  do  $1/16$ ) ili ako se dijelovi površine, dimenzija bliskih valnoj dužini malo razlikuju od površine, takva površina odbija valove kao zrcalo. Zrcalne površine odbijeni val usmjeravaju prema anteni samo pri upadnom kutu nula. Površina cilja je hrpava, ako je visina neravnina istog reda kao i valna dužina. Tada je to raspršeno odbijanje. Takve površine pri bilo kojem upadnom kutu usmjeravaju dio energije prema anteni. Za ocjenu snage raspršenog odbijanja uvodi se ekvivalentna površina ili koeficijent raspršenog odbijanja. Omjeri dimenzija ciljeva povezani su s ravninom polarizacije.

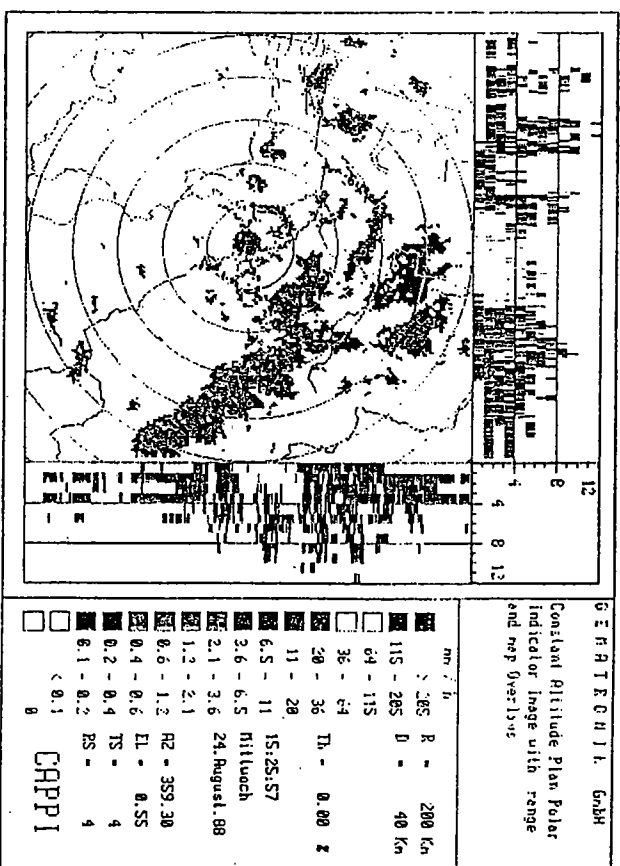
Elektromagnetni val je skup električnog i magnetnog polja koji osciliraju, a međusobno su okomiti. Ravnina u kojoj leži vektor električnog polja i pravac prostiranja je ravnina polarizacije vala. Ako ta ravnina ne mijenja položaj, val je površinski ili linijski polarizirani val. Osim linijske polarizacije postoji i kružna i eliptična polarizacija, kad se ravnina polarizacije okreće oko pravca prostiranja, izvršavajući pun okret tijekom trajanja perioda visoke frekvencije. Tada kraj vektora električnog polja opisuje kružnicu ili elipsu bilo u lijevu ili desnu stranu, ako se promatra u smjeru prostiranja vala. Val pri udaru i odbijanju na cilju mijenja polarizaciju, a to je zgodno za određivanje osobna cilja. Pri udaru na kružni cilj polarizacija mijenja smjer okretanja. Učinak promjene smjera okretanja javlja se pri odbijanju valova od kišnih kapi, koje imaju približno kuglasti oblik. Vodoravni dipol zrači vodoravno polarizirani val, i ujedno najbolje prima vodoravno polarizirane valove, dok uspravno polarizirane ne prima. Vodoravno polarizirani val nailaskom na cilj, čija je vodoravna dimenzija znatno veća od uspravne, odbit će se s najvećim odrazom (odjekom ili ehom) (*echo: Echo*). Ako isti takav val naiđe na uspravnu prepreku, odjek će mu biti najmanji. Slično vrijedi i za uspravno polarizirani val. Ciljevi složene oblika nejednoliko odbijaju okomite komponente polja kružno polariziranog vala pri čemu se mijenja odnos njihovih amplituda i fazni pomak. Tako se odjek odbijen na složenom cilju može razlikovati od odjeka odbijenog od kiše. Kod odbijanja vala na prepreci brljeg vala prelazi u dol i obratno.

Dopplerov učinak se javlja kod gibanja cilja bilo da se giba uzduž neke crte ili se okreće oko težišta, što se očituje u promjeni frekvencije odbijenog vala. Giba li se cilj prema anteni, sve "češće" se susreće s nadolazećim valovima, a frekvencija induciranih struja u cilju poraste. Ako se pak cilj odmiče od antene njegova sve "rjeđe" susižu nadolazeći valovi, pa frekvencija opadne. Primjenom Dopplerovog učinka radarom se mjeri brzina gibanja dijelova oblaka (oblačnih čestica), dok se istodobno sam oblak giba kao posebna cjelina. Vrnja cilja utječe istodobno na amplitudu, fazni pomak, frekvenciju i polarizaciju odbijenog vala. Stoga radarski valovi odbijeni na cilju nose razne inform-

cije o cilju kao: položaj cilja u prostoru, gibanje dijelova ili cjeline u odnosu na antenu, vrtnju, oblik i površinu cilja, materijal iz kojeg je izgrađen cilj i drugo. Ako dva radara rade na bliskim frekvencijama, jedan radar može utjecati na drugi, te se javlja interferencija.



Slika 30.4. Radarski predočnik - A, PPI i RHI



Slika 30.5. Radarski predočnik - CAPP1

Val odbijen od cilja dolazi do antene koja ga prima i proslijeđuje u prijemnik, a ovaj u predočnik (zaslon) (katodna ili Braunova cijev). Najjednostavniji tip predočnika služi za mjerenje udaljenosti cilja u određenom smjeru (amplitudni predočnik tipa A ili R ili

M). Međutim, pri vrtnji antene, tj. kad pretražuje cijeli obzor, slijedi panoramski predložnik - PPI (*plan position indicator*), što znači predložnik u ravnini za razliku od predložnika koji je u pravcu. Mijenja li antena kunnu visinu dobiva se predložnik uspravnog presjeka - RHI (*range height indicator*), slika 30.4. Postoji i predložnik tipa CAPP - (*Constant Altitude Plan Polar Indicator*), koji prikazuje podatke obradene računalom, slika 30.5. Osim radarskih signala uvode se i drugi pomoćni signali, za lakše rukovanje radarom. Tako se mogu ubaciti signali za udaljenost, za obrise kopna, obala, rijecka, poje-dinih granica, mjesta i slično.

Snaga povratnog radarskog odjeka  $P_r$  na ulazu u prijemnik može se prikazati kao:

$$P_r = \frac{P_t A_p^2 A_t}{9\pi\lambda^2 r^4} \quad 30(1)$$

gdje je:  $P_t$  snaga predajnika,  $A_p$  površina otkrivanja antene,  $A_t$  površina cilja,  $\lambda$  valna duljina,  $r$  udaljenost (polumjer kugle pretraživanja). Svi ciljevi ne odbijaju jednoliko, a ekvivalentna površina odbijanja cilja EPO prikazuje sposobnost cilja da rasprši valove. Pod EPO podrazumijeva se površina plohe  $s$ , smještena u točki cilja okomito prema radaru, koja odbija jednolično na sve strane svu energiju koja je pala na nju i stvara u točki prijema istu takvu gustoću toka kao i stvarni cilj. Jedinice za mjerenje su  $m^2$  i dB (decibel). Veza ja dana s:

$$\sigma [dB] = 10 \log \sigma [m^2] \quad 30(2)$$

Stoga se umjesto površine cilja  $A$ , uvodi EPO  $\sigma$ . Ciljevi koje radar otkriva su: poje-dinačni (zrakoplov ili brod), skupni (gato ptica, skupina zrakoplova) i obujmeni (oblak, kiša) ciljevi. No, u meteorologiji se ne promatra kap vode, nego njihovo veliko mnoštvo raznih dimenzija koje daju zajednički odraz  $\Sigma\sigma_n$ , tj. radarsko odbijanje (refleksiju) i označava se s  $\eta$ . Tu se zbrajaju sve čestice unutar obujma  $V_m$  koji tvori radarski impuls (slični malom valjku ili krnjem stošcu):

$$V_m = \pi \left( r \frac{\psi}{2} \right) \left( r \frac{\varphi}{2} \right) h \quad 30(3)$$

gdje je:  $\psi$  vodoravni, a  $\varphi$  uspravni kut snopa radara, dok je  $h$  visina (duljina) impulsa. Znači da je srednja snaga vala, odbijenog od obujma na danoj udaljenosti, jednaka zbroju snaga valova odbijenih od svih čestica, čiji je ukupni broj  $n$ .

$$\overline{P_r} = \frac{P_t A_p^2 \psi \varphi h}{72\lambda^2 r^2} \sum_{i=0}^n \sigma_i \quad 30(4)$$

EPO se može jako mijenjati pri gibanju cilja, promjeni njegove orijentacije ili me-dusobnom pomicanju pojedinih dijelova složenog cilja. Promjena površine cilja izaziva promjenu snage i vrste polarizacije odbijenih signala. Analiza tih promjena može dati svojstva prirode cilja, ocjene brojnog sastava skupnog cilja i gibanja ciljeva. EPO je određena fizičkim osobinama elementarnih čestica, prirodnom procesa međusobnog djelovanja između njih, gustoćom čestica, polarizacijom i valnom dužinom radara. U pravilu ne ovisi o kutu pod kojim je cilj zračen. Na temelju poznate EPO može se odre-diti jačina oborina (kiša, snijeg). Snijeg ima manju EPO od kiše. Pri padanju snije snije-že čestice ili čestice tuče često prolaze kroz slojeve povišene temperature. Čestice se tope i smanjuju te se pritom obavijaju s tankim slojem vode. EPO ovakvih oborina pre-masuje veličnu odgovarajuće EPO kiše. To može pomoći pri određivanju nulte izoter-me.

EPO se može odrediti za kuglaste čestice (Mieova teorija, točka I-4.1.), te slijedi:

$$\overline{P_r} = \frac{\pi^5 P_t A_p^2 \psi \varphi h}{72 \lambda^6} \frac{Z}{r^2} |K|^2 \quad 30(5)$$

$$Z = \sum d_i^6 \quad 30(6)$$

gdje  $|K|^2$  obilježava neku tvar (za  $\lambda = 10$  cm: vodene kapljice  $\approx 0,93$ , ledene čestice  $\approx 0,19$ ),  $d_i$  je promjer čestice. Veličina  $Z$  je faktor odbijanja (refleksije) mjerena u  $mm^6 m^{-3}$ . Važnost veličine kapljica - čestica jasno se vidi iz 30(6). Oblak je sastavljen od velikog broja kapljica raznih veličina. Općenito najviše ima sitnijih kapljica, a manje krupnijih, a o tome ovisi  $Z$ , što znači da mali broj velikih kapi doprinosi više nego veliki broj sitnih kapljica.

Pri radu s radarom dobiva se neka veličina  $Z$ . Međutim, nije poznato da li je odjek dobiven od oblaka velikog broja sitnih kapljica ili malog broja velikih kapi. Neka se val-nom dužinom  $\lambda_1$  izmjeri  $Z_1$ , a valnom dužinom  $\lambda_2$   $Z_2$ . Tako se dobivaju dvije jednačbe s dvije nepoznate, koje se mogu riješiti i tako dobiti odgovor o prosječnom broju i veličini kapljica u oblaku.

U izrazu 30(6) većina veličina je poznata ili se mogu lako izmjeriti, a slabo se mije-njaju. Tako se navedeni izraz ili radarska jednačba može pisati u jednostavnijem obli-ku:

$$\overline{P_r} = C |K|^2 k_1 k_2 \frac{Z}{r^2} \quad 30(7)$$

gdje  $C$  obuhvaća sve radarske konstante,  $k_1$  je koeficijent popunjenosti impulsnog obuj-ma s česticama,  $k_2$  koeficijent gušenja valova u nekom sredstvu na njihovom putu. Nai-me, gušenje valova se javlja pri njihovom prolazu kroz atmosferu, tj. na plinovima, kroz oblak i oborine. Mnogi suvremeniji meteorološki radari imaju ugrađene sklopove, koji automatski uvažava gušenje na atmosferskim plinovima.



Oblaci i oborine guše radarske valove. Općenito prihvaćen način mjerenja - gušenja radarskih valova izražava se u decibelima (dB):

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_r}{P_t} \quad 30(8)$$

Radarski valovi raznih duljina, tablica 30.1., pokazuju različita svojstva prilikom prostiranja u prostoru. Postoje značajne razlike pri širenju, gušenju i odbijanju radarskih valova. Valovi većih valnih duljina (S pojas) dobro se šire kroz prostor, tj. imaju malo gušenje, ali se slabo odbijaju od sitnih čestica oblaka ili oborina, za razliku od valova manjih valnih duljina (X pojas) koji se slabo šire kroz prostor, jer imaju veliko gušenje, ali mogu dati odjek i od malih čestica oblaka ili oborina. Općenito, što je manja valična čestica to mora biti kraća valna duljina i što je kraća valna duljina to je veće gušenje snage vala. Zato radar S pojasa ne "vidi" citrusne vrste oblaka, za razliku od X ili K pojasa, koji imaju tu mogućnost. No, radar X pojasa u pravilu ne "vidi" oblak iza oblaka, dok radar S pojasa može "vidjeti" oblak iza oblaka, ako su dobro izraženi. U pravilu, S radari primjenjuju se za otkrivanje i praćenje olujnih oblaka (Cb), npr. u obrani od tuče, dok X radari služe za ispitivanje ustrojstva oblaka.

Jakina gušenja radarskog signala na oborinama za razne valne duljine dana je u tablici 30.2., dok tablica 30.3. prikazuje širinu područja oborine određene jakine koja daje gušenje 10 dB za razne valne duljine.

Tablica 30.2. Gušenje radarskih valova na oborinama (dB km<sup>-1</sup>)

Jakina kiše (mm h <sup>-1</sup> )	Pojas - valna duljina (cm)			
	S - 10	C - 5.7	X - 3.2	K - 0.9
1	0.0003	0.002	0.007	0.22
5	0.0015	0.015	0.061	1.1
10	0.003	0.033	0.151	2.2
50	0.015	0.215	1.25	11.0
100	0.030	0.481	3.08	22.0

Tablica 30.3. Širina oborine (km) određene jakine koja daje gušenje 10 dB za razne valne duljine

Jakina kiše (mm h <sup>-1</sup> )	Pojas - valna duljina (cm)			
	S - 10	C - 5.7	X - 3.2	K - 0.9
1	33000	4500	1350	45
5	6600	690	164	9.1
10	3300	310	66	4.5
50	600	47	8	0.9
100	300	21	3.2	0.4

Ispitivanja su pokazala da tuča izyjesne razdiobe s najvećim promjerom 2.9 cm uz suhi led ima gušenje: za  $\lambda = 3$  cm  $\rightarrow$  1.66 dB km<sup>-1</sup>, odnosno za  $\lambda = 10$  cm  $\rightarrow$  0.03 dB

km<sup>-1</sup>, tj. gušenje za X pojas je oko 50 puta veće. Za oblak polumjera 5 km gušenje je 16.6 odnosno 0.3 dB.

Snaga povratnog radarskog signala koji dolazi u prijemnik određuje se u odnosu na razinu šuma prijemnika. Posebnim sklopom tzv. "atenuatorom" primljeni signal se umjetno guši, a dobivena mjera gušenja predstavlja jakinu odjeka oblaka ili oborina. Ovo gušenje može biti ručno ili automatsko. Ovisno o načinu mjerenja radarska slika jakina odjeka predstavlja vodnost oblaka ili jakine oborine, odnosno i druge podatke.

Jakina oborine, odnosno njena količina, tijekom nekog vremena, može se mjeriti s radarom. Preko izraza 30(6) jakina oborine  $P_r$  (mm h<sup>-1</sup>) je određena s:

$$Z = a P_r^b \quad 30(9)$$

gdje su  $a$  i  $b$  konstante, određuju se obično pokusima, a ovise o vrsti oborine:

kiša	stratiformna	$Z = 200 P_r^{1.6}$	30(10)
	konveksijska	$Z = 300 P_r^{1.35}$	
snijeg		$Z = 1780 P_r^{2.21}$	

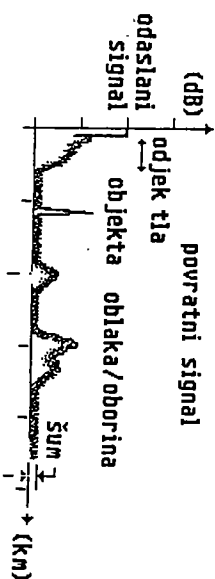
Općenito, postoje i tehnička ograničenja za radare raznih valnih duljina. Radari S pojasa imaju velike radarske antene (reflektore), jer je veličina antene (promjer 3-5 m) razmjerna s valnom duljinom. Istodobno oni šalju radarske impulse vrlo velike snage, pa traže veće izvore električne energije, a kako im radarski valovi imaju slabije gušenje, njihov domet pretraživanja, naravno za dobro razvijene oblake, je vrlo velik (500-800 km). Radari X pojasa imaju male antene (promjer  $\approx$  0.5 m), radarske impulse manje snage i manje izvore električne energije, te manje domete pretraživanja (50-100 km). Zbog manjih dimenzija i mase, a ujedno i cijene, ovi radari se obično ugrađuju u zrakoplove i manje brodove. Iz svih navedenih razloga izbor tipa radara jako ovisi koja mu je namjena. Za sada se u meteorološkoj praksi najčešće koriste radari C pojasa, kao kompromis mnogih suprotnosti.

### 30.1.2. Mjerenja i tumačenje radarskih slika

Pri pretraživanju prostora radarom, potrebno je uzvaziti određene preduvjete. Općenito radarska antena može bez ograničenja kružiti mijenjajući azimut od 0 do 360°, a promjena kutne visine je između -3 i 90°. Kako radarski snop ima malu širinu (1-3°), a duljina radarskog impulsa iznosi nekoliko kilometara, na udaljenostima preko 100 km, obujam radarskog impulsa je reda veličine 10 km<sup>3</sup> ( $\approx$  2<sup>3</sup> km<sup>3</sup>). Vrijeme pretraživanja prostora, koje ovisno o brzini vrtnje i promjeni elevacije antene traje do 10 min, može se određenim postupkom skratiti, jer prostor nije potpuno popunjen oblacima i oborinama.

Oblik povratnog radarskog signala (odjeka) na A predodniku ovisi o ciji na kojem dolazi do odbijanja radarskih valova. Za građevine, zrakoplove, brodove odjek ima oblik izraženog-šijjika, za razliku od skupnog cilja (oblak, oborina), slika 30.6. U ovim slučajje-

vima jačina odjeka se određuje u odnosu na razinu šuma radara, čija je jačina poznata. Vrlo često se na radarskim predočnicima uočavaju i blize ili dalje orografske prepreke, čije slike treba napraviti tijekom vedrih dana, kako bi se lakše razlikovale od odjeka oblaka ili oborina.



Slika 30.6. A predočnik, oblici radarskih odjeka i razina šuma

Radar s CAPP1 predočnikom uključuje obradu podataka s računalom, gdje nakon ciklusa pretraživanja prostora (do 10 min) računalo priprema odgovarajuću sliku(e). Središnji dio slike odgovara PPI pokazivaču, dok sa strane postoje uspravni presjeci (projekcije) kroz atmosferu obično u smjeru zapad-istok i sjever-jug, slika 30.5. Ovi presjeci zahvaćaju topofseru i donje slojeve stratosfere. Jačina povratnog signala izražena u dB odgovara određenoj jačini pojave (za oborine u mm h<sup>-1</sup> za oblake sadržaju vodnosti oblaka, brzini strujanja i slično) te se pojedini pojasevi jačina označavaju uod-rajnom bojom za lakše prepoznavanje. Veliki gradiljeni izoeha područja ukazuju i na druge pojave, npr. turbulencije, položaj izotermne 0 °C.

Unatoč tome što je domet radara razmjerno velik, oni se povezuju i odgovarajuće radarske mreže (*radar network*; *Wetterradarnetz*), prilog 20.13. Postoji više razloga. Orografske prepreke su općenito najvažniji razlozi, jer radar ne može "vidjeti iza brda", postoje tzv. radarsko-orogeneiske sjene. Već prije je spomenuto da radar "loše vidi oblak iza oblaka", u radarskoj mreži takve poteškoće se znatno ublažavaju, jer se isti oblak može pretraživati s dva ili više radara. Naposljetku kvar na jednom radaru u uvjetima radarske mreže manje dolazi do izražaja. Svaki radar tvori svoju radarsku sliku, no primjenom telekomunikacijskih mreža i računala iz više radarskih slika radi se jedna zbirna tzv. kompozitna radarska slika za široko područje. Učestalost radarskih snimanja koleba od 10 min do 1 h, ovisno o potrebama i općem vremenskom stanju.

Na zrakoplovima postoje prilagođeni meteorološki radari koji imaju ograničene mogućnosti promjene azimuta i elevacije ("gleda" ispred zrakoplova). Ovisno o valnoj duljini ovi radari imaju mogućnost otkrivanja i praćenja gibanja i razvoja većih i manjih oblaka (olujnih) sustava, oborina i turbulencije, što znatno doprinosi sigurnosti letenja.

Na brodovima postoje navigacijski radari koji u većinom emaju mogućnost promjene elevacije, a radarski snop im je razmjerno visok, što ima za posljedicu pretraživanja na malim visinama (povećava se s udaljenošću zbog Zemljine zakrivljenosti). Ovisno o valnoj duljini ovi radari imaju mogućnost otkrivanja i praćenja gibanja i razvoja većih oblaka (olujnih) sustava i oborina, što pomaže sigurnosti plovidbe.

### 30.2. Sodari i lidari, sferici

Sodar (*sodar*; *Sodar*) i lidar (*lidar*; *Lidar*) su uređaji za daljinska mjerenja, slični su radaru te imaju sličnu tvorbu imena: "*sonic detecting and ranging*", odnosno "*light detecting and ranging*". Sodar primjenjuje zvuk i zakonitosti širenja zvuka, a lidar svjetlost. Ovi uređaji mjere promjene temperature i vlažnosti zraka u nekom smjeru, obično s visinom, temeljeći se na načelu loma i odbijanja njihovih valova. Također, mjere strujanja zraka malih razmjera (turbulencija), a mogu poslužiti i pri mjerenju onečišćenja zraka. Mjerno područje im je ograničeno na visine od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara.

Sodar čine više usmjerivača zvuka (visine oko 3 m) koji šalju kratke zvučne signale trajanja 100 ms u usko usmjerenom snopu. Na atmosferskim grančnim slojevima zvuk se odbija te se dio zvučne energije prima u prijemniku. Primjenjuje se i načelo Dopplerovog učinka. Sodar je pogodan za otkrivanje grančnih slojeva, snimanje uspravnih profila vjetrova, za mjerenje turbulencije i mjesta nevidljivih dimnih perjanica.

Lidar tvori izvor koherentnog svjetla u obliku jakog laserskog impulsa. Zbog malih valnih duljina može mjeriti vrlo sitne čestice u atmosferi, zatim turbulenciju, oblake, silo-jeve prašine, dimne perjanice kao njihov raspodjelu gustoće.

Sferici (atmosferici) su elektromagneti valovi nastali pri električnim praznjenjima (munja) iz gromovinskih oblaka. Mogu se otkriti na udaljenostima više tisuća kilometara, a odgovarajućim uređajima (radiologometar) i smjer iz kojeg dolaze signali. Obično postoji mreža takvih uređaja (međusobno su udaljeni više stotina kilometara) kako bi se dobio točan položaj oluje.

### 30.3. Meteorološki sateliti

Krajem pedesetih godina ovog stoljeća započelo je svemirsko doba lansiranjem umjetnih Zemljinih satelita (4.10.1957.), da bi se nakon nekoliko godina lansirao satelit za meteorološke potrebe. Time je omogućen novi oblik daljinskog proučavanja Zemlje i njezine atmosfere. Prvi meteorološki satelit bio je Tiros-1 (1.4.1960. - SAD) na visini 700 km uz kut presjecanja ravnine ekvatora 58°, tj. polarnokružni satelit. Prvi sateliti serije TIROS (*Television and Infrared Observation Satellite*) imali su televizijske kamere za snimanje oblaka. U sljedećim godinama došlo je do brzog razvoja instrumentalne satelitske opreme (skanerski radiometri, spektrometri), koja omogućuje mjerenje meteoroloških elemenata, i dostavljanje izmjenjenih podataka i snimaka postajama na Zemlji, te primopredaju drugih meteoroloških podataka, informacija i karata korisnicima s jednog na drugi dio Zemlje.

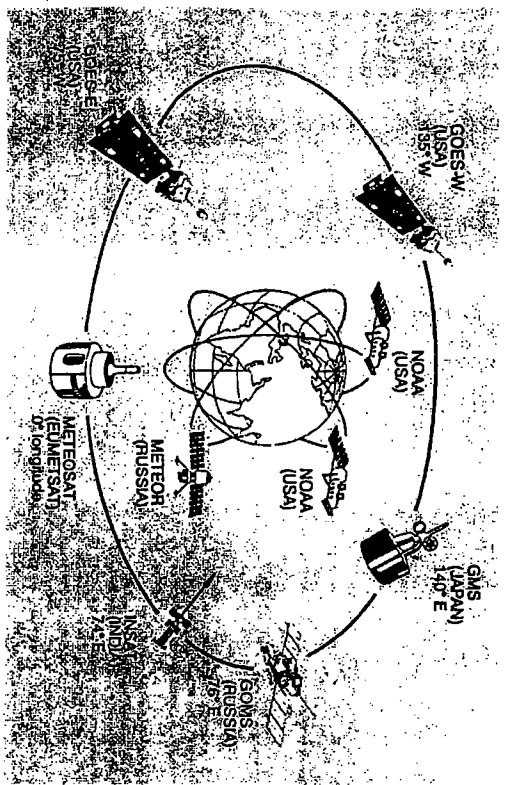
Postoje dva osnovna satelitska meteorološka sustava: polarnokružni i geostacionarni sateliti. Sateliti šalju snimke Zemljine površine i oblaka u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra. Satelitska mjerenja objedinjena su u svjetski sustav, što su GOS-a te čine satelitski sustav mjerenja (*space-based sub-system*; *Satellitenbeobachtungssystem*).

Polarnokružni sateliti (*polar orbiting satellite*; *polarnumlaufende Wettersatellit*) kruže oko Zemlje na visinama 500 do 1500 km po putanjama koje presjecaju ravninu ekvatora pod izvesnim kutom, te dolaze u blizinu polova. Zemlju obdu za 1,5 do 2 h.

14511

Manja visina satelita omogućuje bolje razlučivanje Zemljine površine i oblaka, no manje područje pretraživanja. Tako sateliti s visine 850 km (posljednjih godina najčešće primjenjivana visina) snimaju pojas širine do 3000 km. Sateliti sada imaju pitanje sinhrono prema Suncu (*synsynchronous*; *somsynsynchron*), tj. svako područje Zemlje prelijeću u isto mjesno vrijeme dvaput dnevno. Na taj način dva satelita omogućuju sakupljanje podataka s cijele Zemlje svakih 6 h. Sredinom devedesetih godina u kruženju oko Zemlje su tri satelita (dva "NOAA" SAD, jedan "Meteor" Rusija), slika 30.7.

Geostacionarni meteorološki sateliti (*geostationary satellite*, *earth synchronous meteorological satellite* - *SMS*; *geostationäre Wettersatellit*) se nalaze iznad određenih točaka Zemlje na visini 35 800 km u ravni ekvatora. Vrijeme kruženja oko Zemlje jednako je vrtmji Zemlje oko svoje osi. Prvi takav satelit (ATS-1, SAD) lansiran je 1966. godine i nalazio se iznad središta Tihog oceana. Kasnije su lansirani i drugi sateliti na drugim položajima u cilju prekrivanja mjerenja oko cijele Zemlje. Kako se nalaze na velikoj visini omogućeno je mjerenje cijelog Zemljinog diska, ali podaci visokih zemljopisnih širina ( $> 60^\circ$  N i S), zbog niskog kutu mjerenja, nisu najbolji pa se ta područja upotpunjuju mjerenjima s polarnokružnim satelitima. Ovi sateliti mjere i šalju podatke svakih 30 min, a imaju sustav za sakupljanje i odašiljanje podataka.



Slika 30.7. Meteorološki sateliti

Sredinom devedesetih godina Zemlju pokriva 5 geostacionarnih meteoroloških satelita u okviru sustava WWV na položajima:  $0^\circ$  - METEOSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* - *EUMETSAT*),  $76^\circ$  E - GOMS (Rusija) do  $82^\circ$  E - INSAT (Indija),  $140^\circ$  E - GMS (Japan),  $75^\circ$  W - GOES-E i  $135^\circ$  W - GOES-W (*Geostationary Operational Environmental Satellite* - *SAD*), slika 30.7. Kad neki satelit prestane s radom u okviru međunarodne suradnje nadomještava ga drugi satelit. Tako su sateliti GOES zamjenjivali satelit INSAT, odnosno METEOSAT, METEOSAT-4 je

zamjenjivao GOES-E, a METEOSAT-5 je zamjenjivao INSAT. Slično vrijedi za satelit GOMS.

### 30.3.1. Satelitska mjerenja

Za snimanje Zemljine površine i oblaka. Sunčevog i drugog zračenja sateliti nose televizijske kamere, skanerske radiometre, spektrometre i druge tipove uređaja (radar). Podaci se dobivaju mjerenjem pomoću radiometra (osjetljivi na zračenje u pojasevima). Kod geostacionarnih satelita prijem podataka je svakih 30 min, a kod polarnokružnih za vrijeme preljetanja satelita iznad prijemne postaje na Zemlji. Ovo učestalo mjerenje je unutar živahnog vijeka procesa srednjih i velikih razmjera i pogodno je za dobivanje vrlo kratkoročnih prognoza.

Općenito se primjenjuju tri područja spektra: vidljivi ( $0.4-1.1 \mu\text{m}$ ), infracrveni (toplinski) ( $10.5-12.5 \mu\text{m}$ ) i spektar vodene pare (apsorpcijski) ( $5.7-7.1 \mu\text{m}$ ).

Vidljivi dio spektra - VIS ( $0.4-1.1 \mu\text{m}$ ) omogućava dobivanje snimaka isključivo tijekom osunčavanja (općenito najbolje u 12 UTC za Meteosat), kad postoji odbijanje zraka svjetlosti od oblaka i Zemljine površine. Tlo općenito boje odbija nego oceani, dok bolje odbijanje imaju pustije nego kišne (tropske) šume. Na snimkama se veće odbijanje očituje kao područje veće svjetline (bijelo), to su debeli oblaci, zatim led i snijeg. Jačina odbijanja je obrnuto razmjerita sa "sivim razinama" (*grey levels*), tabl. 30.4., te se za lakše prepoznavanje jačine odbijanja primjenjuje umjetno bojenje pojedinih sivih razina spektra. Tako je npr. more tamno plavo, vegetacija je zeleno, pustije su svjetlo smeđe, niski oblaci su žuti, visoki oblaci (C) su svjetlo plavi, a debeli (oborinski) oblaci su bijeli. Ovisno o mogućnostima i potrebama postoje i drukčiji načini bojenja primjenjujući više nijansi i jačina boja za određivanje skupina (kategorija) procesa ili pojava. Naravno, svaka siva razina ima svoju jačinu, odnosno brojčani iznos izražen u odgovarajućim jedinicama.

**Infracrveni (toplinski) dio spektra - IR** ( $10.5-12.5 \mu\text{m}$ ) daje temperature tla, oceana i oblaka, a ne ovisi mnogo o ujecaju atmosferskih plinova. Mjerenja su moguća tijekom dana i noći. Osunčavanje najviše utječe na temperaturu tla, zamjetno manje na temperaturu mora, dok na temperaturu oblaka, oceana gotovo i nema utjecaja. Jačina zračenja ovisi o temperaturi izvora. Topla područja se prikazuju tamno, a hladna su svijetle boje, što znači da je toplije tlo tamno, dok su hladni oblaci svijetli. Općenito, niski oblaci su razmjerno topli, a visoki hladni, tako temperatura omogućuje razlikovanje oblaka pa su najviši i najhladniji oblaci najbijeli i mogu biti pridruženi s grmljavinama, tablica 30.4. Kako se radi o zračenju raznih jačina, odnosno raznih "sivih razina", ista se mogu prikazati odgovarajućim bojanjem. Tako su pustije najčešće obojene u crveno kao najtoplije, naročito u podne. Postoje i poteškoće kod otkrivanja oblaka i magle. U slučaju bliskih temperatura Zemljine površine i niskih oblaka podaci se iz IR dijela spektra dopunjuju s vidljivim spektrom.

**Spektar vodene pare (apsorpcijski) - WV** ( $5.7-7.1 \mu\text{m}$ ) omogućuje određivanje vodene pare, koja se nalazi na visini 5-10 km (600 do 300 hPa), tj. u gornjoj troposferi. U dijelu infracrvenog pojasa od 5.7 do 7.1  $\mu\text{m}$  vodena para u gornjoj troposferi ima sposobnost jakog upijanja zračenja i jakog odašiljanja zračenja. U tom IR spektralom

području nema zračenja koje s niskih razina može proći izravno u svemir. Zračenja sa Zemljine površine i malih visina upijaju molekule plinova u visjoj atmosferi i ponovno ih zrače. Kao rezultat, zračenje se može otkriti na radiometru satelita i prikazati na WV slici, nastaloj od viših razina atmosfere. Jakost zračenje odgovara temperaturi izvora, odnosno vodenoj pari u visokoj atmosferi. Zračenja vodene pare raznih jačina odgovaraju raznim "svim razinama", tablica 30.4., što se može prikazati odgovarajućim bojama, slično prethodnim slučajevima. Na slikama tamnija područja su visoke snižice. Javljuju se i bijele grudice, često s oštrim rubovima, to su visoki grudasti oblaci. WV slike imaju i prostrana, svijetlo obojena izdužena oblića, tako da pokazuju tok visinskog vjeha. Podaci pokazuju da oboriva voda u tom dijelu atmosfere (to je sloj vode pri Zemljinoj površini kad bi se sva vodena para kondenzirala) koleba od 0,5 do 5,0 cm. U odsustvu oblaka (područja do  $\phi = 45^\circ$  N i S) pokazuje se da polja relativne vlažnosti kolebaju od ispod 10 do preko 70%, omogućavajući učinak staklenika.

Tablica 30.4. Vrste spektra i prepoznavanje parametara

Sive razine	Očitovanje	Prikazivanje
Svijetlo Sivo	veliki albedo	debeli oblaci, površina tla
Tamno	mali albedo	tanki prozirni oblaci
Tamno	skoro bez odbijanja	voda i vegetacija
Svijetlo Sivo	niske temperature	hladni (visoki) vrhovi oblaka
Sivo	srednje temperature	srednji vrhovi oblaka
Tamno	visoke temperature	toplo tlo ili morska površina
Svijetlo Sivo	tekuća voda	oblaci
Sivo	vodena para	vodena para promjenjive jakosti
Tamno	neznatna vodena para	suha gornja troposfera

Usporedba tri spektralna područja za vidljivi (VIS), infracrveni (IR) i spektar vodene pare (WV) za istu vremensku situaciju pokazuje razlike, koje se mogu vidjeti i običnim pogledom na odgovarajuće snimke, slika 30.8.:

"A" označava oblačni pojas hladne fronte koja se pruža od sjeverne Afrike preko Alpskog područja prema Ukrajini, a prikazuje hladnu frontu s valnim obilježjem iznad Alpa.

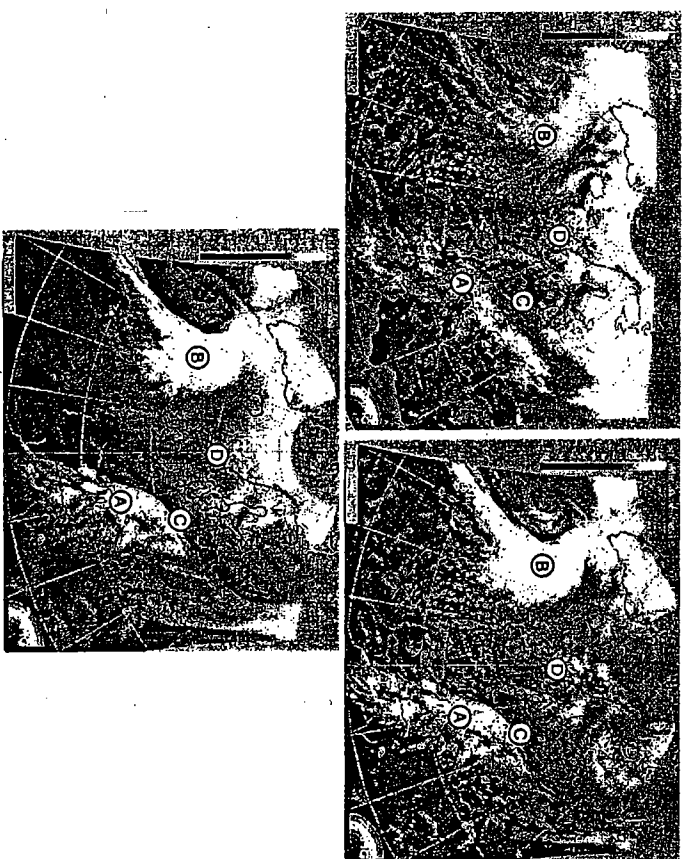
"B" označava oblačni pojas, ogromnu oblačnu lepezu i izrazitu oblačnu spiralu iznad Atlantika prikazujući frontalni sustav sastavljen od hladne, tople i okludirane fronte.

"C" označava oblačnu spiralu malih razmjera koja se pruža od Švedske preko Danske prema Nizozemskoj, prikazujući dobro razvijen "zarez" sustav.

"D" označava prostrano područje ćelijaste naoblake različita uspravna razvoja prikazujući strujanje hladnog zraka iznad toplog tla.

Za jednoznačno određivanje neke pojave ili procesa, potrebna je međuviznost VIS, IR ili WV zračenja, no ni to nije uvijek dovoljno. Zato se koriste dodatni uski kanalni zračenja. Tako se podaci s geostacionarnih satelita nadopunjuju s podacima polarnokružnih. Polarnokružni satelit NOAA ima skanirajući radiometar (*Advanced Very High Resolution Radiometer* - AVHRR) uz razlučivanje 1 km s više kanala: k1 — 0,66  $\mu$ m, k2

— 0,85  $\mu$ m, k3 — 3,74  $\mu$ m (za noć), k3a — 1,68  $\mu$ m (za dan), k4 — 10,8  $\mu$ m, k5 — 12,0  $\mu$ m. Poteškoće se javljaju pri razlikovanju niskih oblaka ili magle iznad tla pokrivenog sa snijegom ili ledom. U VIS spektru snijeg, led i niski oblaci se ne razlikuju, a kod niskih oblaka malo se razlikuju temperature tla i vrha oblaka. Pomoć pruža IR zračenje 3,74  $\mu$ m, - kojeg led, snijeg, vodene površine te ledeni oblaci i vodeni oblaci s velikim kapljicama upijaju, a vodeni oblaci s malim kapljicama (dimenzije čestica  $\approx \lambda$  (valna duljina)) raspišuju to zračenje.



Slika 30.8. Satelitske snimke Sjevernog Atlantika i Europe za 19. 10. 1998. u 12.00 UTC; a) vidljivi spektar (VIS), b) infracrveni spektar (IR), c) spektar vodene pare (WV)

Razlučivanje satelitske snimke (promjer najmanjeg vidljivog elementa snimke) ovisi o visini satelita i tehničkim svojstvima radiometra. Tako radiometar Meteosat (Zemlju vidi pod vidnim kutom 18°) pretražuje Zemlju u pojasevima širine 5 km na ekvatoru (pojasevi su veći prema polovima zbog zakrivljenosti Zemlje) od juga prema sjeveru u 2500 pojaseva uz razlučivanje 5 km u IR i WV spektru s gustoćom zapisa 2500x2500 točaka. U VIS spektru moć razlučivanja je 2,5 km s gustoćom zapisa 5000x5000 točaka. Čijieli postupak pretraživanja traje 25 min. Polarnokružni sateliti imaju razlučivanje 1 km.

Uz prijem zračenja sa Zemljine površine i oblaka (valnih duljina za koje je atmosfera propusna - instrument AVHRR) postoje i druga mjerenja iz satelita. To je satelitska

sondaža atmosfere (*Tiros Operational Vertical Sounder - TOVS*) za dobivanje isprav-  
nog ustrojstva atmosfere → temperature i relativne vlažnosti iznad određenog mjesta na  
temelju zračenja određenih valnih duljina koje atmosfere upija i zrači. Uz televizijske  
kamere, radiometre i spektrometre sateliti nose i radare. Tako polarnokružni sateliti  
ERS-1 (*European Remote Sensing Satellite*) uz ostale uređaje ima radar, te s visine 780  
km snima Zemlju, čija radarska slika pokriva područje širine 100 km. Radar omogućuje  
dobivanje pojava smjera i brzine vjetera na morskoj razini te spektar oceanskih valova  
(energija vala kao funkcija valne duljine i smjera). Tu je i radarski visinomjer za potrebe  
općeg oceanškog kruženja (ciklulacije), topografije te obujma kopnenog leđa.

Umjeravanje (kalibracija) radiometra ili nekog drugog instrumenta na satelitu je  
nužno radi pouzdanosti podataka. To naročito vrijedi za sondažu atmosfere. Umjeravanje  
uključuje postojanje na Zemljinoj površini više objekata s poznatim svojstvima, (npr. ja-  
čina izvora i valna duljina zračenja, svojstva odbijanja i sl.) Kako elektromagnetni  
valovi na putu kroz atmosferu imaju izvjesno slabljenje, lom i druge promjene (točke I-  
4.1. i I-12.5.), bitno je da satelitski radiometar "mjeri" svojstva zračenja poznatog izvora  
na Zemljinoj površini, radi određene isprave svojih mjerenja, koja se odnose na dijelo-  
ve Zemljine površine, oblake, oborine i slično.

Razvoj satelitske tehnike i tehnologije je vrlo brz. Tako će nova generacija geo-  
stacionarnih satelita (METEOSAT - MSG) imati oko 20 puta više podataka od dosadaš-  
nje generacije, uz prijem podataka svakih 15 min, umjesto do sada 30 min. Nadalje,  
različiti radiometri na satelitu nove generacije je znatno bolje te iznosi 3 km, a  
postoji 12 kanala (VIS 0.6 — 0.56-0.71  $\mu\text{m}$ , VIS 0.8 — 0.74-0.88  $\mu\text{m}$ , IR 1.6 — 1.50-1.78  
 $\mu\text{m}$ , IR 3.8 — 3.40-4.20  $\mu\text{m}$ , IR 8.7 — 8.30-9.10  $\mu\text{m}$ , IR 10.8 — 9.80-11.80  $\mu\text{m}$ , IR 12.0  
— 11.00-13.00  $\mu\text{m}$ , VW 6.2 — 5.35-7.15  $\mu\text{m}$ , VW 7.3 — 6.85-7.85  $\mu\text{m}$ , IR 9.7 — 9.38-  
9.94  $\mu\text{m}$ , IR 13.4 — 12.40-14.40  $\mu\text{m}$ , HRV 0.5-0.9  $\mu\text{m}$ ), umjesto dosadašnjih 3.

### 30.3.2. Satelitske postaje i razmjenjena podataka

Prijam satelitskih podataka na Zemlji ovisi o sustavu satelita i namjeni podataka.  
Za polarnokružne satelite neophodne su usmjerene UKV antene koje automatski slijede  
satelit (mogu biti i nepokretne). Prijam snimaka i podataka s takvih satelita na zemaljs-  
kim postajama moguće je samo unutar vidljivosti satelita. Za prijam s geostacionarnih  
satelita rabe se uređaji sa stalno usmjerenim paraboličnim antenama promjera 1-4.5 m  
ovisno o vrsti uređaja.

Snimke i podatke s polarnokružnih satelita na zemaljskim postajama izravno prima  
više isusita razmjerno jednostavnih APT-postaja (*Automatic Picture Transmission*). Ob-  
rada i pohrana slika obavlja se na jednostavnim računalima. Snimke (analogne slike)  
imaju razlučivanje oko 4 km, a pokrivaju područje u promjeru 2000 do 3000 km. Od juž-  
nog do sjevernog pola radiometar izdvoji 2500 pojaseva. Pri tome je razlučivanje u IR i  
VW spektru 5 km. Viša razina sakupljanja podataka s ovih satelita (nije u stvarnom vre-  
menu, već nešto kasne) obavlja se pri svakom prolazu satelita iznad dviju glavnih uprav-  
ljackih i sakupljackih postaja (Wallops otok, Virdinija i Gilmore Creek, Aljaska, SAD).

Snimke i podatke s geostacionarnih satelita (*Meteosat*) primaju dva tipa zemaljskih  
postaja, PDUŠ-postaje (*Primary Data User Station*) i SDUS-postaje (*Secondary Data*

*User Station*). PDUŠ -postaje imaju složene uređaje s antenama u promjeru 3-4.5 m,  
primaju digitalne i analogne podatke (visokog razlučivanja). Podaci se najprije sa  
satelita šalju u prizemna računala središta, gdje se umjeravaju (kalibriraju), ispravljaju  
za poremećaje položaja i visine satelita, unose se obalne crte i zemljopisne mreže, te se  
ponovno šalju na satelit (unutar nekoliko minuta) za daljnju razmjenu korisnicima.  
PDUŠ-postaje su obično u okviru državne meteorološke službe ili drugih ovlaštenih  
institucija te primaju sirove ili malo obrađene podatke pogodne za daljnju obradu i  
istraživanja. SDUS-postaje imaju manje uređaje, antene su u promjeru 1-2 m, te primaju  
analogne podatke (satelitske slike i karte u APT formatu). U okviru ovog sustava su  
Weather Facsimile - WEFAX slike: analogni podaci (vlastite slike i slike drugih satelita,  
te poruke sa zemlje). SDUS-postaje su namijenjene raznim korisnicima meteoroloških  
podataka.

Nadalje, sateliti prikupljaju i prenose razne podatke motrenja u okviru sustava  
DCP (*Data Collection Platform*), tj. s automatskih meteoroloških postaja, oceanološko-  
meteoroloških plutaca, zatim brodova, zrakoplova i balona, posebno automatskih radio-  
sonda. Tako satelit Meteosat ima 66 kanala za skupljanje podataka (područje rada 402  
MHz).

Automatske meteorološke postaje s vrlo udaljenih mjesta obično šalju svoje podat-  
ke satelitu, koji ih prima, te prenosi zemaljskoj satelitskoj postaji na daljnju obradu. To  
su obično smjer i brzina vjetera, atmosferski tlak, temperatura zraka i tla, relativna  
vlažnost, oborine, Sunčevo i drugi oblici zračenja, debljina snijega, električna izbijanja,  
vidljivost i drugo. Uređaji se napajaju iz električnog izvora od 12 V (sunčane ćelije,  
baterije), dok je kontrola rada postaje obično svakih 6 mjeseci. Na morima postoje ocea-  
nološko-meteorološke plutake (*buoy*; *Boje*), koje imaju promjer  $\approx 3$  m, visinu  $\approx 4$  m nad  
morem, težinu  $\approx 3$  t, a napajaju se iz električnog izvora od 12 V, trajanja oko 15 mjeseci.  
Osjenici se mijenjaju svakih 6 mjeseci, a plutaca svakih 12 mjeseci. Slično kao i na  
kopnu mjerenja su svakih 3 h, koja uključuju vjeter, tlak, temperature zraka i mora,  
visine i periode valova. Nakon motrenja i prijenosa preko satelita podaci ulaze u GTS za  
razmjenu, te su nakon 20 min raspoloživi za analizu i daljnju obradu.

Uz uobičajena motrenja i izvješća s brodova postoje i automatske radiosonde na  
trgovackim brodovima (*Automated Shipboard Aerological Programme - ASAP*). Takve  
sonde punjenje helijem dosežu visine 16-21 km, a rezultati mjerenja se automatski dos-  
tavljaju preko satelita na daljnju obradu. Takav način mjerenja je višestruko niže cijene u  
odnosu na klasične radiosonde brodskih postaja. Nadalje, mnogi širokoprtni zrakoplovi  
u okviru navigacijske opreme imaju ugrađene meteorološke uređaje s antenom na trupu  
(*Aircraft to Satellite Data Relay - ASDR*), koji tijekom leta obavljaju mjerenja svakih 7  
min te šalju podatke o položaju zrakoplova (zemljopisna širina i duljina), vremenu, tlaku  
na razini leta, temperaturi zraka, smjeru i brzini vjetera te turbulenciji. Pri dizanju/spu-  
štanju zrakoplova dobiva se uspravni profil atmosfere. Predaja prikupljenih podataka na  
satelit obavlja se svaki sat. Podaci se sa satelita prenose u GTS razmjenu. Npr. podaci s  
Pacifika su u Europskim centrima za 60-90 min poslije termina motrenja. Područje  
mjerenja proteže se između 80° N i S.

Obradeni satelitski meteorološki podaci iskazuju se u odgovarajućim meteorološkim  
ključevima i prenose se obično u glavnim meteorološkim terminima u 00, 06, 12 i 18  
UTC. Ključ SATOB (FM 88-X) sadrži podatke o vjetru prema gibanju oblaka, tempera-  
ture Zemljine površine (tlo, oceani i mora), ukupnu naoblaku, vlagu u gornjoj troposferi,

te zračenja. Ključ SATEM (FM 86-VIII Ext) uključuje tlak, temperaturu i vlažnost gornje troposfere do 0.1 hPa, ključ SAREP (FM 85-IX) je za oblake (sinoptičko tumačenje), dok je SARAD (FM 87-VIII Ext) za zračenje.

Uz izravna mjerenja sa satelita, te automatska prikupljanja motrenih podataka sa Zemlje, satelitima se pridodaju i drugi obrađeni podaci (SYNOP, SHIP, PLOT, TEMP, SATOB, SATEM, SAREP, SARAD i drugi), zatim slike WEFAX-a (visine vrhova oblaka), GDPS-a (meteorološka središta ECMWF, Brecknell, Offenbach i druga) te informacije koje su u raznimjenu u okviru GTS-a. Neki podaci se šalju po zahtjevu (niz klimatoloških podataka u 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 i 21 UTC, indeks oborine u 00 UTC). Na satelitu Meteosat postoje dva kanala za razmjenu podataka (rade na 1691 i 1694,5 MHz) za potrebe Europe, Afrike i dijela Južne Amerike. Za potrebe zrakoplovstva u okviru WMO postoji od 1990. godine sustav MDD (*Meteorological Data Distribution*, radi na 1695 MHz s 2400 bits s<sup>-1</sup>) s dvije glavne postaje (Bracknell, Rim) za prijenos podataka za Afriku i Srednji Istok. To su digitalni faksimilni podaci/karte (bit kodirana grafika) te podaci motrenja u alfanumeričkom obliku. Sličan sustav npr. SADS uvodi se u okviru ICAO.

### 30.3.3. Tumačenja satelitskih mjerenja

Razvoj satelitske meteorologije je vrlo snažan. Za razliku od mjerenja na Zemlji -noj površini koja su točkasta, mjerenja sa satelita pokrivaju veća područja. Od početnih televizijskih sustava prešlo se na praćenje oblaka i drugih procesa sa skenerskim radio-metrima, spektrometrima s uskim spektrom, te radarinima. Istodobno procjena oblaka i pojava zamjenjuje se s automatskom obradom podataka i razmjenu podataka u digitalnom obliku. Satelitske informacije o vremenu zajedno s radarskim podacima čine temelj kratkoročne i vrlo kratkoročne prognoze (*nowcasting*) potrebne u mnogim djelatnostima, a pogotovo u prometu.

Tako meteorološki sateliti omogućuju stalno snimanje Zemljine površine i naoblake s njezinim razvojem i premještanjem na velikim prostansvima tijekom dana i noći, tj. određivanje vjetrova na razinama vrhova oblaka, zatim mjerenja visine i debljine oblaka (albedo), temperatura vrhova oblaka, temperature Zemljine površine (posebno oceana i mora), rasprostranjenosti magle, snijega i leda, analiza oborina, analiza vlage visokih atmosferskih slojeva, te određivanje vjetrova na visini na temelju gibanja oblaka ili iz sondaža temperatura, zatim podataka o obratnu zračenja u sustavu Zemlja - atmosfera uz Sunčevo zračenje svih oblika, npr. protok protona.

Uz prije spomenute podatke tu su mjerenja za potrebe oceanologije tj. mjerenja površinske temperature oceana i mora, određivanje termalne fronte (granice toplih i hladnih vodenih masa), dizanje/spuštanje morske vode, položaj morske razine, za praćenja morskih struja, valova živog i mrtvog mora (otvorenog mora i probalja), ledenih polja Arktika i Antarktika, gibanje ledenih bregova, rasprostranjenosti snijega i leda, glečera, onečišćenja mora, nalaznju planktona u moru i pomoć u ribolovu itd.

Satelitski podaci osim za potrebe meteorologije prikupljaju se i za druge grane znanosti kao za hidrologiju (poplave kao posljedice jakih oborina, topljenja snijega uz uvažavanje stanja tla), za geologiju (rasjedi, vrste tla), zatim za gospodarske djelatnosti

kao poljodjelstvo (površine, vrste i razvoj vegetacije, evapotranspiracija), za zaštitu od požara (sumskih) i širenje dima, zatim upozorenja na djelovanja vulkana i širenja pepela (vrlo važno za zrakoplovstvo) i drugo.

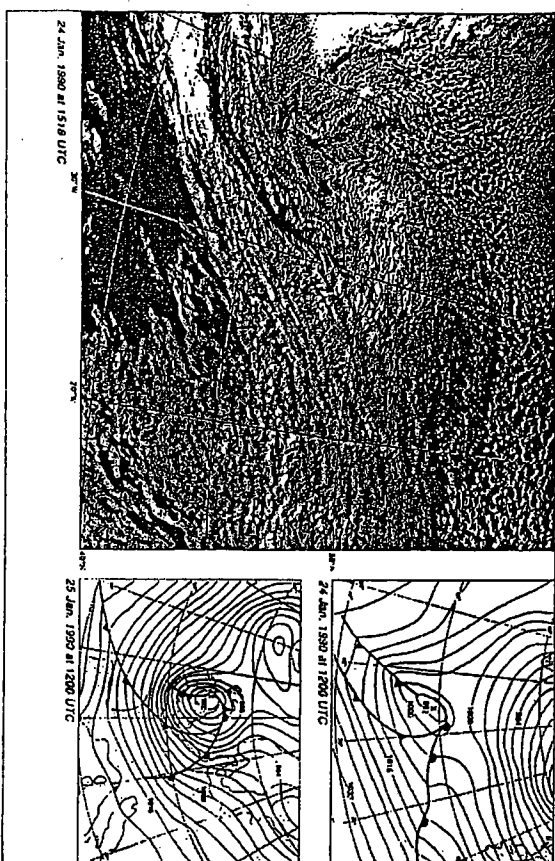
Promatranja sa satelita prvo su obuhvatila oblakne sustave, ujedno su oni najviše proučavani, a najvažniji su za vremenska zbivanja na Zemlji. Količina naoblake danju se lako određuje prema VIS snimkama, no ima teškoća u razlikovanju oblaka blizu tla od magle, te oblaka od Zemljine površine pokrivene s ledom i snijegom. Tada su, kao i u noćnim satima, potrebna mjerenja u IR spektru. U razredbi tipova oblaka primjenjuje se više satelitskih kanala, jer male razlike između dva kanala daju građu slike, odnosno oblaka, no tip oblaka ovisi i o dobi dana, sezoni i mjestu. Oblaci se ne razvrstavaju na isti način kao pri motrenju sa Zemlje, često se govori o nekoliko tipova oblaka na nekoliko razina za određeno područje (jedinično područje je veličine jedan do par desetaka kilometara), ali razvijaju se metode koje razlikuju i po 20 vrsta i podvrsta oblaka te stanje na tlu. U razvrstavanju se primjenjuju podaci o temperaturi (visini) vrhova oblaka. Primjerice, postoje tri razine visina vrhova: > 5500 m uz uspravni razvoj, > 5500 m ali samo Ci, te oblaci debljine 3000 - 5500 m. Vrhovi oblaka se određuju prema IR zračenju, tj. mjeri se temperatura iz koje se određuje visina (uvažava se i vlažnost), dodatno se provode usporedbe s klasičnom sondom (ponekad i s prognostičkim kartama). Razlike između temperatura dobivenih satelitskim mjerenjima i temperatura iz sondeže su do 1,5 °C, a prema mjerenjima sa zrakoplovom razlike su ≈ 1 °C za niske i do 3 °C za visoke oblake. Postupak određivanja temperature vrha oblaka uključuje: prijem i umjeravanje (kalibraciju) sirovih podataka i pretvorbu u "sive razine" IR spektra odnosno odgovarajuće intervale temperature, te određivanje oblaknih elemenata kojima se određuje temperatura vrha oblaka. Magla je u biti oblak na Zemljinoj površini, razrijeto je male debljine te je razlika temperatura vrha magle i podloge mala, stoga se za razlikovanje magle od oblaka blizu tla primjenjuju zračenja raznih dijelova spektra (npr. λ = 3.74 μm). Nadalje, postoji veza vrha magle i temperature inverzije. Iznad kopna magla je obično u dolinama, te poznavanje oblika reliefa pomaže pri razlikovanju magle od oblaka blizu tla.

Oborina se teško mjeri iz satelita, jer je "sakrivena" ispod oblaka, stoga se mjerenja oborina temelje na uspravnom razvoju i trajanju pojedinog oblaknog sustava. U tom smislu mogu znatno pomoći satelitski radarski uređaji. Razmjerno dobri rezultati (70% vjerojatnosti) dobivaju se za višednevne kiše praćenjem trajanja hladnih oblaka (temperature vrhova oblaka su -40, -50, -60 °C). Naime, postoji pojačanje kiše kad vrhovi oblaka postaju hladniji, a albedo postaje veći, tada konvekcijski oblaci s velikom oborinom odbijaju više Sunčeva zračenja u mješani kanal, nego oblaci s malom oborinom. Problem je rosulja. Za kratkoročnu vremensku prognozu oborina potrebno je sadašnje stanje te vodopravno i uspravno strujanje zraka uz polje vlage.

Uz vrstu oborine, važno je određivanje pokrivenosti određenog područja sa snijegom i ledom. Poznavanje rasprostravanja snijega pokrivenosti i njegove temperature važno je za promet, hidrologiju, poljodjelstvo, turizam. Satelitska mjerenja također pomažu za otkrivanje uvjeta za maglo topljenje snijega koje može uzročiti snježne lavine i poplave, kao i otkrivanje uvjeta lomljenja i gibanja ledenih polja na moru i rijekama.

Olujni procesi, pogotovo većih razmjera, lako se uočavaju na satelitskim snimkama. Razvoj gmipljavinske oluje uočava se prema padu temperature, odnosno porasta vrha olujnih oblaka (Cb). Vrhovi Cb-a brzo rastu (nekoliko desetaka cm s<sup>-1</sup>), a uz dugotrajnije postojanje oblaka javljaju se i jačaji oborine. Takve se oluje polako gibaju, traju ne-

koliko sati, te na pojedinim područjima daju jake kiše. Goleme oluje razvijaju se od povezanih skupina olujnih oblaka koje se međusobno potpomazu i razvijaju u ogromnu superceljsku oluju. Npr., na Sredozemlju oluje mogu imati promjer 50 - 100 km, uz kišu jačine 400 mm/6 h, te uvjetuju na kopnu jake poplave. Vrlo su važna i upozorenja na brzi razvoj oluje u uvjetima gdje je promjena atmosferskog tlaka  $\geq 24$  hPa/24 h. Primjerice, 24/25.01.1990. tlak je pao od 992 hPa na 952 hPa, dakle za 40 hPa, dok je istodobno vjeter od 40-50 kt porastao na 70-80 kt, te je uz jake oborine uvjetovao velika razaranja i štete, slika 30.9.

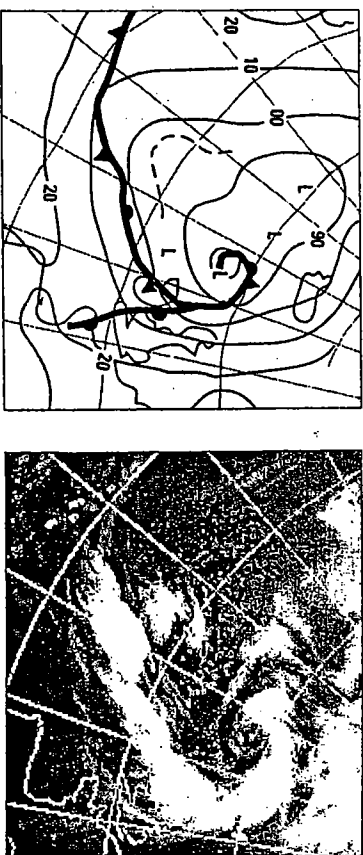


Slika 30.9. Satelitska VIS snimka za 24.01.1990. u 15:18 UTC i sinoptičke karte za 24. i 25.01.1990. u 12.00 UTC

Satelitska snimka (slika 30.9.) u grubo pokazuje dva tipa naoblake, jedno je tipična grudasta (čeljusta) naoblaka (gornji dio slike), a drugo je slojasta naoblaka (sredina slike i prema desno) unutar koje ima i oblaka drugih svojstava. Na ostalim dijelovima slike, osim izražene vedrine (crno područje), ima uz slojastu naoblaku i oblaka razvijanih po visini (bijelo). Sukladno osnovnim tumačenjima u točki 30.3.1. za pojedine spektre, odgovarajući oblici oblaka su povezivani s baričkim sustavima na Zemlji. Grudasta (čeljusta) naoblaka ukazuje na prodor hladnog zraka sa sjevera unutar frontalnu naoblaku, konvekcije i razvoja kumulusa (točka 23.1.). Drugo područje pokriva frontalnu naoblaku, gdje se slojasta naoblaka podudara s toplom frontom, dok veće prugaste svjetline (bijelne) ukazuju na debele (visoke) oblake vezane uz hladnu frontu.

Frontalni sustavi s izobarama, izotermama i vjetrovima pokazuju međuovisnost i podudarnost s oblacima, što se dobro vidi na slici 30.10, gdje se vide prostrane i duboke (visoko razvijene) oblačne mase kako se razvijaju uzduž frontalnih sustava (topla, hladna

i okludirana fronta) i iznad toplog isjeka Atlantske ciklone. Slika prikazuje prostrano područje konvektivskih oblaka, koje se nalazi unutar hladnog polarnog zraka iznad Atlantika na oko 50° N, 25° W udruženo s dolinom označenom s crtkanom izobarom. Postupno se dolina i popratni oblaci razvijaju i približavaju se izdžutoj hladnoj fronti. Tako se uz pad tlaka na atmosferskoj fronti razvija ciklona uz porast količine oborine.



Slika 30.10. Prizemna sinoptička karta i satelitska IR snimka za 29.03.1993. u 1200 UTC

Oblaci sustavi koji se učestalo snimaju, mogu se kasnije pomoću računala oživiti (animirati). Na tome se temelje vrlo kratkoročne prognoze (*nowcasting*), gdje razlike položaja i oblika oblačnih sustava između dva termina ukazuju na razvoj i gibanje oblaka. Važan podatak predstavlja temperatura vrha oblaka koju možemo dobiti iz IR spektra. Tako npr. u umjerenim širinama temperatura vrha oblaka koja je  $< -30$  °C često puta otkriva grmljavinke i tučonosne procese. S druge strane, slike oblaka u IR spektru pri vedrini daju temperature podloge. Premještanje oblaka je temelj određivanja smjera i brzine vjetra. Tako se dobiva srednje strujanje obično na razinama koje odgovaraju vrhovima oblaka. No bitno je uvažiti da veliki olujni sustavi ne podliježu općem strujanju u slobodnoj atmosferi i da u njihovoj okolini postoji strujanje koje je dio strujanja tog oblačnog sustava. U područjima bez oblaka, vjeter se može izračunati iz WV spektra satelitske sondaze atmosfere, kad se mjeri njezina temperatura i vlažnost, te se dobiva odgovarajući uspravni profil, gdje razlike između temperatura zraka dobivenih satelitom i sondazom ne prelaze 1.5 °C. Tako se mogu računati vjetrovi npr. od razina 850 do 200 hPa. U nekim područjima unutar prostrane oblačne mase nastaju pruge vedrine koje ukazuju na postojanje jakog spuštanja zraka i njegovog adijabatskog grijanja te nestajanja naoblake (obale Antarktika u odnosu na visoku unutrašnjost kopna od oko 2-3 km, imaju adijabatsko grijanje 20-30 °C). Za vedra vremena mjeri se prizemna temperatura, te se bolji rezultati dobivaju iznad oceana i mora, nego iznad kopna. Prikazivanje rezultata mjerenja je i ispod 1 °C, te su ovi podaci, kao i drugi izmijereni elementi sa Zemljine površine uz uspravno sondiranje atmosfere, pogodni za primjenu u numeričkoj prognozi.

Satelitski podaci o vodenoj pari u gornjoj troposferi osim analize vlažnosti, razvoja oblaka, te pojava oborina i polja vjetra u pojedinim slučajevima pokazuju na postojanje

mlaznih struja. Naime, često se u polju vlage pojavljuju razmjerno uske i duge više tisuća kilometara svijetle pruge, koje ukazuju na položaj mlaznih struja. To su pruge cirnuse naoblake (točka 22.3.).

U uvjetima prašinske ili pješčane oluje velike količine prašine i pješčaka, koje nosi jaki vjetar, nalaze se ne samo iznad dijelova kopna, nego i iznad oceanских područja, čak na udaljenostima do 1500 km od obale (npr. blizina Sahare). Naravno, gustoća tih čestica se smanjuje udaljavanjem od obale. To se dobro može vidjeti na satelitskim slikama. Slično vidi se za vulkanski pepeo, koji se širi niz vjetar i osim ugrožavanja stanovništva posebno je štetan za zrakoplovstvo. U istoj skupini su požari i dim.

Sateliti omogućuju razmjerno jednostavna mjerenja zračenja izvan Zemljine atmosfere, te se dobivaju podaci o vrsti i iznosu pojedinih spektra (dolazno Sunčevo i odlazno Zemljino zračenje) i u konačnici obracun zračenja sustava Sunce - Zemlja (atmosfera) (točka 1-4.5.). Ukupno (globalno) Sunčevo zračenje može se teorijski izračunati u uvjetima bez atmosfere, te ga usporediti s mjerenim izravnim zračenjem na Zemljinoj površini uz dodatak odbijenog kratkovalnog zračenja na Zemljinoj površini, na oblaci-ma, molekulama plinova i aerosola (mjereno sa satelita).

Npr. u travnju 1985. odbijeno Sunčevo kratkovalno zračenje bilo je između 0 i 300  $W m^{-2}$ , uz glavne površine odbijanja UTPK, područja ciklona u umjerenim širinama, Sahara, snijeg u Rusiji. Slabo odbijanje je iznad vjernih oceana, kao i na južnoj polutki (Jesen). Zemljino dugovalno zračenje (iziravanje) bilo je 100 do 350  $W m^{-2}$ , najviše u dva široka pojasa visokih temperatura (suprotropi). UTPK ima slabo iziravanje, zbog razvijenih oblaka, a najmanje iziravanje je nad hladnim Antarktikom. U srpnju 1991. do zemljopisne širine 45° bilo je iziravanje (za 4-100  $\mu m$ ) od 200 do 320  $W m^{-2}$ . Općenito postoji veliki utjecaj naoblake na razlike između zračenja vedrine (IR i WV) i stvarnog stanja, što daje znatna dnevna kolebanja Zemljina zračenja. Prodiri hladnog zraka iz visokih zemljopisnih širina na satelitskim snimkama vide se kao konveksijski procesi (grudice oblaka), slika 30.9. Tada se blizu ledenog ruba bezoblačne pruge pretvaraju u uske oblačne trake te onda u čelije. U godišnjem prosjeku 10% NE Atlantika je pokriveno toplim oblacima, koji uključuju 20% ukupne topline iz oceana u atmosferu, te izmjenjivost doseže do 2000  $W m^{-2}$  (protuzračenje oceanских oblaka).

Prije mjerenja albeda potrebno je umjerenje radiometra, obično se "mjeri" albedo poznatog cilja u Sahari (gdje je vedro). Pri mjerenju albeda Zemljine površine isključen je utjecaj oblaka (uzet je najmanji albedo u mjesecu), te dobivene mjesečne vrijednosti za lipanj 1989. (12 UTC) iznose za oceane oko 1%, plodno tlo 15-20%, pustinja 30-40%. Satelitski podaci (VIS, IR i WV) se pohranjuju za daljnje analize za stvaranje klimatoloških podataka, obično po mjesecima. Analize oblaka obuhvaćaju ukupnu naoblaku, podjelu oblaka po visini, temperature vrhova oblaka, optičku debljinu atmosfere, oborivu vodu i albedo. Temperatura Zemljine površine je vrlo važna osobito mora, pri čemu se vrijednosti temperature mogu odrediti samo za vedra vremena, gdje zamjetno niže temperature ukazuju na postojanje oblaka (oblačne točke). U klimatske podatke spadaju i vlažnost gornje troposfere, vjetrovi gibanja oblaka, te oborinski indeks. Na temelju ovih podataka i njihovih promjena mogu se prikazati odgovarajuće klimatske zone.

Satelitska slika sama za sebe ne može dati točno poznavanje budućeg atmosferskog razvoja, ali ga može dati kad je udružena s poznavanjem razdiobe ostalih fizikalnih osobina zraka (temperatura, tlak, vjetar, konvergencija, vrtložnost). Očito je da satelitska

mjerenja ukazuju na postojanje, položaj, jakinu i premještanje depresija, dubokih ciklona i fronta u umjerenim širinama (koje prati jaka kiša, vjetar i drugo). Posebno su vrlo važni cikloni u tropskom području, jer rano satelitsko otkrivanje ciklona, njegov razvoj i gibanje omogućuje davanje odgovarajućih upozorenja.

Satelitske informacije imaju sve veću ulogu u vremenskoj analizi i prognozi. Normalna mreža postaja iznad dijelova kopna iznosi 250 km, te jedva zadovoljava osnovne potrebe, dok je iznad oceana, planina, pustinja i polarnih područja gustoća postaja vrlo rijetka i nezadovoljavajuća. Tu sateliti mnogo pomažu, jer omogućuju mjerenja svakih 100-50 km. Razmijena satelitskih podataka je brza i operativnija od podataka klasičnih mjerenja. U ECMWF oko 30% podataka dobivenih klasičnim mjerenjima ne dolazi na vrijeme. U numeričkoj prognozi uz opća motrenja rabi se kao dopuna uspravno temperaturno ustrojstvo s vjetrovima na razinama oblaka, zatim razdioba vodene pare, oboriva voda u oblacima, oborinski indeks, prizemni vjetar i temperatura površine mora i kopna. Satelitska mjerenja osim za vremensku analizu i prognozu važna su razna istraživanja međudjelovanja oceana i atmosfere, zatim oceanaska kruženja, prijenos topline između oceana i atmosfere, ravnoteža mase leda Arktika i Antarktika, struje i valovi, obalni procesi i onečišćenja, razni oblici promjena kopna, podaci za prognozu i drugo. U prometu, posebno u zrakoplovstvu i pomorstvu, primjena satelitskih informacija je važna iz više razloga. Ponekad se brodovi i zrakoplovi nalaze iznad dijelova Zemljine površine (npr. sredniji južni Tih ocean), gdje nema odgovarajućih "normalnih" veza s meteorološkim ili plovidbenim službama. Tada jedina veza koja se ostvaruje je posredstvom satelita i prijemom odgovarajućih informacija ili snimaka. Satelitske slike i informacije, dopunjene s radarskim mjerenjima, koriste se i u svakodnevnom TV vremenskom izvješću.

#### Dopunska literatura

- Bader, M.J., G.S. Forbes, J.R. Grant, R.B.E. Lilley i A.J. Waters, 1995: Images in Weather Forecasting. A practical guide for interpreting satellite and radar imagery. Cambridge University press, 449.
- England, J. i H. Ulbricht, 1980: Flugmeteorologie. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 420.
- Frampton, R.M. i P.A. Uttidge, 1988: Meteorology for seafarers. Brown, son & Ferguson, Glasgow, 137.
- HMSO, 1994: Handbook of Aviation Meteorology. HMSO, London, 401.
- Houghton, D.D., 1985: Handbook of Applied Meteorology. John Wiley & Sons, New York, 1461.
- Poje, D., 1982: Meteorološki uređaji. Tehnička enciklopedija, No. VIII, JLZ, Zagreb, 484-496.
- Sauvegeot, H., 1992: Radar meteorology. Artech House, inc, Boston, 327.
- Vorobiev, V.I., 1983: Praktikum po sinoptičeskoj meteorologii. Gidrometeorizdat, Leningrad, 288.



# PROMETNA METEOROLOGIJA

## 31. METEOROLOŠKA GLEDIŠTA PROMETA KOPNOM, VODOM I ZRAKOM

Vremenske prilike utječu na sve grane prometa uključujući od razine planiranja, projektiranja, gradnje i održavanja prometala i objekata za odvijanje prometa do neposrednog odvijanja prometa (utjecaj meteoroloških parametara na aktivne i pasivne učesnike u prometu, prometala i objekata za odvijanje prometa) i s gledišta sigurnosti (prometne nesreće), ekologije, dopunskih izvora energije i prometnog gospodarstva. Meteorološke obavijesti mogu se povezati s vremenskom koordinatom: podaci iz prošlosti daju klimatološke podatke, tj. prosječno stanje vremena na nekom određenom području, podaci "sadašnjosti" su zapravo podaci iz neposredne bliške prošlosti (stari su do nekoliko sati) koji se tumače kao sadašnji, dok podaci za budućnost predstavljaju vremensku prognozu.

Općenito se grane prometa odvijaju u pojedinoj sredini (zrak, voda, kopno). S obzirom na razne grane prometa postoji i njihova različita ovisnost o vremenu, koja se mijenja s općim razvojem tehničkih sredstava prometa, a prema načinu odvijanja prometa govori se o pojedinim granama prometa prikazanih u tablici 31.1.

Tablica 31.1. Sredina u kojoj se odvija pojedina vrsta prometa

Sredina	Zrak	Voda	Kopno
Vrste prometa	- VFR (Vizualno letenje) - IFR (instrumentalno letenje)	- pomorstvo (oceani, mora) - unutarnja plovidba (jezera, rijeke i kanali)	- ceste - željeznice - pošta, komunikacije - unutarnji promet - cjevovodi, žičare

Pri neposrednom odvijanju prometa sudionici imaju važnu ulogu, što se naročito odnosi na aktivne sudionike (posade u zrakoplovima i na brodovima, vozači na kopnenim prometnim sredstvima, te prateće kontrolorske i uslužne službe) za koje se potreba općeg i posebnog poznavanja meteorologije očituje u posjedovanju odgovarajućih dozvola i ovlaštenja. Za pasivne učesnike (putnici, uključujući i životinje) vremenski uvjeti su bitni posebno sa stanovišta medicinske meteorologije, dok za teret u nekim slučajevima mogu imati značajnu ulogu (u pravilu otežavajuću) u odvijanju prometa.

#### *Primjedba:*

U daljnjem tekstu daju se vrlo kratki osvrti na pojedine meteorološke elemente i pojave, čija su tumačenja i njihova međuovisnost dana u prethodnim točkama. Tek novi pojmovi i procesi, koji su u načelu bitni za određenu granu prometa, bit će podrobnije objašnjavani.

## ZRAKOPILOVNA METEOROLOGIJA

Suvremeno zrakoplovstvo postaje sve više neovisno o vremenu kao čimbeniku ograničenja, ali se pojavljuje sve veći broj i sve više raznovrsnih letjelica koja trebaju ili će trebati pouzdanu i brzo pristupačnu meteorološku obavijest. Zračni promet se odvija u širokom spektru raznih letjelica raznih namjena, oblika, dimenzija, tehničkih svjstava, brzina, visine leta i doleta. Postoje pojedine vrste zrakoplovstva:

- komercijalno (klipni i mlazni zrakoplovi): podzvučno (subsonično) i nadzvučno (supersonično)
- posebne namjene: helikopteri i druge letjelice
- djelatno: poljoprivreda, požari, fotografimetrija
- rekreativno-sportsko: laki i ultra laki zrakoplovi
- bezmotorno: jedrilice, zmafjevi, baloni, padobranci.

Komercijalno zrakoplovstvo manje ovisi o vremenskim uvjetima, nego proteklih decenija, ali još uvijek ekonomičnost i redovitost letenja ovisi o tome, pri čemu je posebno bitno vrlo brzo dostavljanje meteoroloških obavijesti. Međutim, istodobno se naglo povećavaju druge vrste zrakoplovstva s uglavnom manjim letjelicama, što traži razvoj meteorologije, a time povećanje sigurnosti.

Zrakoplovna meteorologija materijalno učestvuje u sigurnosti, redovitosti i učinkovitosti zračnog prometa. Vrijednost meteoroloških obavijesti kod planiranja letova je postala značajna i poslije velikog poskupljenja goriva. Zrakoplovna meteorologija pružava meteorološke elemente i pojave s gledišta njihovog utjecaja na zrakoplovnu tehniku i uvjete letenja, te ujedno razrađuje i usavršava načine i oblike meteorološkog osiguranja i pomoći letenju. Vremenski uvjeti ponekad otežavaju, a u drugim, pri pravilnoj i pravodobnoj procjeni, pomažu učinkovito izvršavanje letackih zadataka (obveza). Zanemarljivanje vremenskih uvjeta može dovesti do neispunjavanja letackih zadataka, dapače ponekad i do nesreća.

Činjenica je da je vrijeme veoma važan čimbenik sigurnosti zračnog prometa, što je vidljivo iz rezultata analiza uzroka zrakoplovnih nesreća u svijetu. Vremenske nepogode su na trećem mjestu kao uzrok nesreća. Podaci pokazuju da su u SAD-u (1964-1969) vremenske prilike imale udjela u nesrećama približno s 25 do 45% svih nesreća (≈ 35%). Posebno su pojedini meteorološki elementi bili prisutni u nesrećama, pri čemu je niska podnica oblaka djelovala u ≈ 43% nesreća sa smrtnim ishodom, a turbulencija s ≈ 42%.

## 32. DJELOVANJE METEOROLOŠKIH ELEMENTATA I POJAVA NA ZRAKOPILOVSTVO

Svim letjelicama (osim raketa) za gibanje je potrebna atmosfera, te se u donjim slojevima atmosfere tj. u troposferi i nižim slojevima stratosfere odvijaju skoro svi letovi

koplovstvu i našalost nesrećama (mlazna struja, CAT, smicanje vjetera, zavjetrinski - planinski valovi, niska silazna strujanja).

#### Dopunska literatura

- Brinch, F., 1993: Flight Meteorology. 22-15.  
 Eichenberger, W., 1990: Flugwetterkunde. Schweizer Verl.-Haus, Zürich, 355.  
 England, J. i H. Ulbricht, 1980: Flugmeteorologie. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 420.  
 Gelo B., 1992: Meteorološko osiguranje zrakoplovstva. Promet, 4, 1, 103-110.  
 Gelo B. i B. Gelo, 1995: Zrakoplovne meteorološke informacije, ključevi i karte. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 77.  
 HMSO, 1994: Handbook of Aviation Meteorology. HMSO, London, 401.  
 Houghton, D.D., 1985: Handbook of Applied Meteorology. Aviation. John Wiley & Sons, New York, 1461.  
 ICAO, 1992: Meteorological Service for International Air Navigation. Annex 3, To the Convention on International Civil Aviation. 11. ed., Montreal.  
 ICAO, 1993: Manual of Aeronautical Meteorological Practice (Doc. 8896-AN/893/4), 4. ed., Montreal.  
 Retallack, B.J., 1978: Compendium of Meteorology, Aeronautical Meteorology. WMO, Geneva, 54.  
 Retallack, B.J., 1984: Compendium of Lecture Notes for Training Class IV Meteorological Personnel, WMO, Geneva, 455.  
 WMO, 1992: Technical Regulations (TR-49), Volume I - General meteorological standards and recommended practices, Volume II - Meteorological service for international air navigation, Volume III - Hydrology, Geneva.

## POMORSKA METEOROLOGIJA I METEOROLOGIJA UNUTARNJIH VODA

Suvremeni promet vodenim površinama odnosi se na:

- pomorsku (oceani i mora) i
- unutarnju plovidbu (jezera, rijeke i kanali), te postaje sve više neovisan o vremenu kao čimbeniku ograničenja, ali zbog sve većeg broja i sve raznovrsnijih plovlila potrebe su pouzdane i brzo pristupačne meteorološke obavijesti. Taj promet se odvija putem širokog spektra raznih plovlila raznih namjena, oblika, dimenzija, tehničkih svojstava, brzina i drugog te načina plovidbe:
- linjska i slobodna plovidba (otvoreno more): putnički brodovi, ribarice, tankeri, tramperi
- obalna i priobalna plovidba (uključujući turističko-rekreacijsko-sportsku plovidbu): putnički, trajekti, ribarice, sportska plovidba, bezmotorna plovidba (jedrilice, čamci)
- obalna i priobalna plovidba i djelovanje; podvodne djelatnosti; brodska potpora priobalnog djelovanja; helikoptersko djelovanje; pokretne plovoče bušilice; nepužne platforme; gjevovodi i tankerski terminali; plovlila posebnih namjena
- plovidba jezerima, rijekama i kanalima.

Pomorska plovidba i unutarnja na velikim jezerima podliježu sličnim vremenskim utjecajima, a glavna razlika je u nejednakoj slanosti vode. Plovidba rijekama i kanalima odvija se uzduž strogo određenih putova - koridora u prisustvu vodene struje bilo uzvodno ili nizvodno. Nadalje, razina vode znatno koleba tijekom godišnjih doba u ovisnosti izraženih suša (mali dotok i protok vode te niski vodostaj) ili jakih oborina odnosno topljenja snježnog pokrivača (veliki dotok i protok vode te visoki vodostaj) kad dolazi do opasnosti od poplava.

Za razliku od meteoroloških morskih (maritimnih) učinaka koji se odnose na plovidbu morima, plovidba rijekama je vezana uz meteorološke kopnene (kontinentalne) učinke. Tipične razlike postoje u dijelu godine, odnosno dana, kad se najčešće pojavljuju magle i oluje.

Poseban problem su ušća velikih rijeka u more gdje se miješaju načela plovidbe morima s onima na rijekama. Na takvim mjestima nailazeća vodena masa rijeke u dodiru s morskim nujenama i valovima znatno otežava plovidbu.

Komercijalno pomorstvo je jako smanjilo ovisnost o vremenskim uvjetima, ali ekonomičnost i redovitost plovidbe još uvijek ovisi o tome, pa je bitno brzo dostizavanje meteoroloških obavijesti. Međutim, istodobno se naglo povećava opća - rekreacijska plovidba i mnoge druge plovne djelatnosti, koje traže razvoj meteorologije u smislu sigurnosti.

Pomorska meteorologija te meteorologija unutarnjih voda (jezera, rijeke, kanali), materijalno učestvuju u sigurnosti, redovitosti i učinkovitosti vodenog prometa. Pomorska meteorologija proučava meteorološke elemente i pojave s gledišta utjecaja na plovi-

nu tehniku i uvjete plovidbe. Ona razrađuje i usavršava načine i oblike meteorološkog osiguranja i pomoći plovidbi. Vremenski uvjeti ponekad otežavaju, a u drugim, pri pravilnoj i pravodobnoj procjeni, pomažu plovidbu. Zanimatiranje vremenskih uvjeta dovodi do neispunjavanja plovidbenih zadataka, dapače ponekad i do nesreća.

Činjenica je da su vremenske nepogode važan čimbenik sigurnosti prometa vodom što se vidi iz rezultata analiza uzroka nesreća. U nas u pomorskom prometu vremenske nepogode su uzrok oko 20% nesreća većih brodova odnosno 40% manjih brodova i kamaca, dok su u unutarnjoj plovidbi uzrok u oko 50% svih nesreća.

#### *Primjedba:*

U daljnjem tekstu daju se vrlo kratki osvrti na pojedine meteorološke elemente i pojave, čija su tumačenja i njihova međuovisnost dana u prethodnim točkama. Tek novi pojmovi i procesi bit će podrobnije objašnjavani, koji su u načelu bitni za odvijanje plovidbe.

## 35. METEOROLOŠKI ELEMENTI I POJAVE VAŽNI ZA POMORSKU I UNUTARNJU PLOVIDBU

### 35.1. Temperatura, vlažnost i atmosferski tlak

Temperatura zraka iznad oceana i mora općenito je pod velikim utjecajem temperature vode. Stoga prosječne mjesečne temperature zraka u niskim zemljopisnim širinama dosežu oko 32 °C, a povećanjem širina smanjuju se do temperature smrzavanja morske vode  $\approx -1,5$  °C, pa i znatno niže. Ipak, ponekad u pojedinim područjima pri određenim vremenskim uvjetima temperature mogu znatno odstupati, unatoč činjenici da je prosječna temperatura zraka najnižih slojeva nešto niža od prosječne temperature morske vode. U tropskom području ta razlika iznosi oko 0,7 °C, dok su najveće razlike u umjerenim širinama gdje mogu prosječno dosizati 3,0 do 4,5 °C, što znači da općenito postoji prijenos topline iz mora u atmosferu. U uvjetima s toplijim zrakom u odnosu na more, postoji stabilnost atmosfere. Temperatura zraka prilikom plovidbe broda dolazi do izražaja pri ekstremnim vrijednostima, odnosno pri pojedinim temperaturnim pragovima (npr. ispod 0 °C je moguća pojava prehladnih oborina). U plovidbi u zemljopisnim područjima s dugotrajnijim visokim temperaturama ( $\approx 35$  do 45 °C), osim poteškoća za osoblje, isje se odnose na prijevoz robe koja ne smije biti izložena visokim temperaturama (ponekad i vlagi), a brod nema odgovarajućih rashladnih uređaja, dok u područjima s niskim temperaturama ( $\approx -30$  do  $-10$  °C) led na moru onemogućava plovidbu.

Temperatura vode, osobito velikih vodenih masa, slabo se mijenja, odnosno more je ogroman toplinski spremnik. Srednje mjesečne površinske temperature morske vode u niskim zemljopisnim širinama dosežu 32 °C, a povećanjem širina smanjuju se na  $-1,6$  °C, no u zatvorenim morima pri određenim vremenskim uvjetima temperature mogu znatno odstupati (41 °C). Temperatura vode u plovidbi broda dolazi do izražaja za poje-

dine temperature pragove (0 do  $-2$  °C), kad se javlja zaledjivanje vode. Slatka voda (rijeka, jezero) općenito se počinje smrzavati pri 0 °C, ali zbog raznih primjesa te gibanja i miješanja vode (rijeka) učinkovito zaledjivanje nastupa s izvjesnim zakašnjenjem i pri nešto nižim temperaturama. Morska voda se smrzava isključivo pri negativnim temperaturama, najčešće između  $-1,7$  i  $-2,0$  °C, što ovisi o njezinoj slanosti (salinitetu) i stanju mora (miješanje) (točka 36.5.). Veća slanost znači nižu temperaturu smrzavanja. Stvaranje leda u moru (kopneni, morski led) postoje veće poteškoće u plovidbi ili se plovidba prekida.

Vlažnost zraka pri plovidbi u zemljopisnim područjima s visokim vrijednostima vlažnosti (relativna, specifična, apsolutna, točka 1-7.3.), osobito ako je povezana s visokim temperaturama, vrlo nepovoljno utječe na osoblje i teret, te je u nepostojanju uređaja za klimatizaciju potrebno provjetravati skladišni prostor, međutim, moguće provjetranje kao i vrijeme provjetravanja treba uskladišiti s povojnim odnosom temperature i vlage da količina vlažnosti bude najmanja. Ponekad treba izbjegavati provjetravanja. Naime, kakvoća pojedinih vrsta tereta (pogotovo ako imaju svojstva jačeg upijanja vlage) ovisi o sadržaju vlažnosti u teretu. Nepovoljno djelovanje visoke relativne vlažnosti naročito dolazi do izražaja pri višim temperaturama kad je specifična odnosno apsolutna vlažnost visoka (tropska područja). Ako tada dođe do pada temperature za nekoliko celzijusa vrlo lako može nastupiti ukapijivanje znatnih količina vodene pare te lako stvorena voda nepovoljno djeluje na teret. Npr. zrak u suprotropskim krajevima s temperaturom 38,0 °C i rosištem 2,0 °C, gdje je rosišna razlika 36,0 °C, a relativna vlažnost 11% sadrži veće količine vlage, jer je specifična vlažnost 4,3 g/kg, nego zrak u polarnim područjima s temperaturom  $-5,5$  °C i rosištem  $-6,0$  °C, gdje je rosišna razlika 0,5 °C, iako je relativna vlažnost 96%, obzirom da je specifična vlažnost 2,4 g/kg.

Atmosferski tlak u plovidbi nema posebno izraženu ulogu, osim kao meteorološki element u smislu analize i prognoza vremenskih procesa, odnosno u smislu najava pojedinih nepovoljnih vremenskih stanja (raznih oluja i tropskih ciklona). Uočiti nalaska oluje atmosferski tlak izrazito pada (2 do 5 hPa/3 h) da bi nakon oluje porastao. Promjena atmosferskog tlaka uvjetuje promjenu morske razine. Smanjenje tlaka za  $\approx 1$  hPa daje dizanje razine vode za oko 1 cm (razina "inverznog barometra"), što znači da u izuzetno jakim ciklonima može nastati dizanje vode za 0,5 do 1 m. Obrnuto je za visoki tlak.

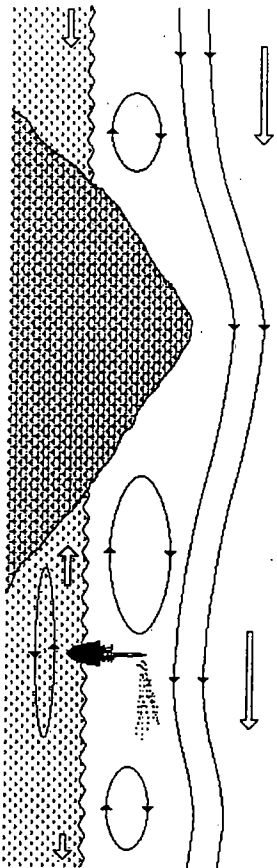
### 35.2. Vjetar i turbulencija

Prizemni vjetar je u proteklim stoljećima u pomorstvu imao najvažniju ulogu, bilo kao pokretač, tj. "motor" plovidbe, ili kao prijeleća opasnost. Tipični vjetrovi pogodni za plovidbu jedrenjaka su pasati (točka 24.2.), dok su razorni vjetrovi u velikim tropskim olujama (cikloni) s brzinom 30 pa i 60 m s<sup>-1</sup>. Uloga prizemnih vjetrova, osobito jakih i dugotrajnih, je pri stvaranju velikih valova i morskih struja. Promjene smjera vjetra uz njegove jake udare (smicanja vjetra), neuredena gibanja zraka u svezi s olujama i silaznim strujanjima (propad), te pojava planinskih - zavjernih valova, znatno otežavaju plovidbu osobito manjih brodova i brodica. Uz obale mora i u područjima s mnoštvom otoka, osobito uz strme obale i visoka brda, strujanja zraka su izrazito izobličena te je utjecaj vjetra na plovidbu znatno složeniji. Vjetar s mora odnosno kopna koji tijekom dana mijenja smjer može ugroziti neiskusnu posadu manjih rekreatcijskih plovila. Kad u

većerjim satima zapuše vjeter s kopna može čamce i slična plovila odnijeti na pučinu dovoljno daleko da im je sigurnost ugrožena.

**Turbulencija** je značajna u pomorskom prometu. Opća tumačenja definicije, nastajanja i vrste turbulencije dana su u točkama 33.2.1. i 33.2.2. Kako su pomorske prometne djelatnosti vezane uz Zemljinu površinu, utjecaj turbulencije na njih pretenzivno je vezan uz turbulenciju uvjetovanu orografskim preprekama te djelomice olujnim oblacima.

Orogenetska turbulencija nastaje prilikom strujanja zraka oko ili iznad orografske prepreke - izražena orografija u priobalnom području, otok, rt. Tada u planinskom području dolazi do znatnog izobličenja strujanja na privjetrinskoj ili zavjetrinskoj strani brda, sl. 33.15. i 33.16., stvaraju se planinski odnosno zavjetrinski valovi i vrtložna (rotorna) gibanja. Često je turbulencija obilježena s vrlo jakim silaznim gibanjima (bura). Mjesta morske struje izazvane vrtložanjem vjetera puta teku suprotno od očekivanog smjera te mogu nepretnu posadu i brod dovesti do nasukavanja, slika 35.1.



Slika 35.1. Strujanja u području otoka.

Turbulencija oblaka naročito je izražena u oblacima uspravnog razvoja (Cu, Cb) u kojima su vrlo jaka uzlazna i silazna strujanja, slika 23.12. Područja turbulencije oko kumulonimbusa protežu se i više desetaka kilometara oko rjega (udarna fronta), dok ispod oblaka postoje jaka neuređena gibanja (propad), a ponekad vrtložna strujanja u slučaju pijavice. Natlaskom olujnog Cb oblaka vjeter u području širine nekoliko kilometara puše prema Cb te može zavarati posadu kao da se Cb - oluja udaljava od broda. Ovome se mogu pridodati turbulente pojave vezane uz frontalna područja, koje često povezuju više oblika turbulencije.

Na Jadranskoj buru i Jugo mogu imati iste brzine (i preko  $30 \text{ m s}^{-1}$ ), ali daju različite učinke na moru (točka 21.4.4.). Bura, kao hladni sjeveroistočni vjeter obilježen je jakim silaznim gibanjima niz obronke planina na obali, javlja se na udare, stvara morske valove (1-2 m), podiže kapljice vode tvoreći morski dim koji otežava disanje ako se čovjek nalazi uz morskou površinu - u čamcu, odnosi manja plovila, pa čak i veća, te lako dolazi do nasukavanja broda. Jugo (na otvorenom moru južni do jugozapadni, a uz obalu jugoistočni vjeter) donosi kišovito vrijeme uz slabu vidljivost, puše više dana i stvara veće valove (4-7 m). Jaka bura i Jugo te pripadajući valovi otežavaju plovidbu naročito tijekom pristajanja u lukama. Lako dolazi do havarija ako luka nema prirodnu ili umjetnu (lukobranu) zaštitu od sjeveroistočnog i jugoistočnog odnosno južnog vjetera. Bura često onemogućuje plovidbu, čime se prekida veza između otoka i kopna.

### 35.3. Oblaci i oborine

Oblaci nemaju jednako djelovanje na plovidbu. Niski oblaci s izrazito niskom podnicom (St, Ns) često su rastgnuti i razbacani po nebu s rasplinuom podnicom kojoj je teško odrediti granicu. To znati da donja granica niskih oblaka nije uvijek oštro određena pogotovo ako se nalaze na malim visinama, slika 1-10.2. Ponekad niski oblaci ili njihovi dijelovi dopiru do vodenih površina te se često govori o magli, što se povezuje sa slabom vidljivošću (točka 35.4.). Najniže podnice oblaka nastaju kad slab vjeter puše u razmjerno toplom i vlažnom zraku iznad hladne podloge (npr. hladne morske struje). Oblaci uspravnog razvoja dovode do oluja praćeni raznim poteškoćama. Kumulonimbus je vrlo neugodan pa i opasan kad prerasta u grmljavinsku oluju. Te se oluje posebno obraduju.

Oborine kad pređu određenu jačinu znatno ometaju odvijanje pomorskog ili riječnog prometa. To se odnosi na pojavu jake kiše (područje monsun) i snijega, kad se dodatno javlja smanjenje vidljivosti (točka 35.4.), a posebno je neugodna prehladna kiša koja dovodi do stvaranja leda i zaleđivanja broda bilo u plovidbi ili na vežu - sidru. Izuzetno jake oborine uz tropski ciklon (200-500 mm/12 h), pored velikih poplava na kopnu, uvjetuju i povišenje morske razine.

### 35.4. Vidljivost

Vodoravna (meteorološka) vidljivost (engleski: *horizontal visibility*; njemački: *Horizontalsicht*) kao najmanja vidljivost u krugu od  $360^\circ$  (na visini  $\approx 10 \text{ m}$  iznad mora) najčešće se primjenjuje (točka 1-12.5. i 33.1.1.). Danju se određuje motrenjem objekata ili predmeta za koje je poznat njihov smjer i udaljenost od mjesta motrenja, a noću motrenjem svjetala. Na moru to su planinski vrhovi na kopnu ili otocima, obale i hridine, svjetionici, crkveni tornjevi, industrijski dimnjaci, velike zgrade, mostovi i slično. U nedostatku odgovarajućih instrumenata (što je većinom u pomorstvu), a osobito na otvorenom moru, vidljivost se procjenjuje prozračnošću atmosfere, te je problem u točnosti mjerenja. Moguća odsupanja vidljivosti u nekom smjeru posebno se naznačuju.

Vidljivost određuje prisutnost magle odnosno sumaglice (u najvećem broju slučajeva), zatim razne oborine (uz ostale elemente povezana je i s niskom naoblakom), vjaverice, morskog dima, mutnoće, prašine ili dima, te sa svojim zemljopisnim, dnevnim i sezonskim promjenama, znatno utječe na plovidbu. Vrlo jake oborine (npr. kiša - monsun, snijeg) smanjuju vidljivost i dodatno otežavaju plovidbu. Magla na moru je većinom advekcijskog podrijetla te više otežava plovidbu u ljetnim mjesecima (npr. New Foundland), dok je uz rijeke radijacijskog podrijetla te otežava plovidbu u hladno doba godine.

Plovidba u magli i pri ograničenoj vidljivosti olakšava se palenjem odgovarajućih svjetala, u smislu "biti vidan" i davanjem zvuknih signala. Upotreba radara također olakšava plovidbu, što naročito vrijedi za priobalna područja i područja s povećanim prometom. Zbog toga svjetionici, bilo na pojedinih otocima, hridinama ili lučcima svjetla, olakšavaju plovidbu pri lošoj vidljivosti. Značaj slabije vidljivosti može se predočiti, ako se uvaži da je zaustavljeni put većeg broda približno 1 km pa i više. Slično vrijedi i za promjene smjera plovidbe.

156  
355. Oluje

Oluja kao gromjavinska nepogoda uz jaki razvoj konvektivske naoblake (Cu, Cb) praćena je jakim udarima vjetra (udama fronta, točka 23.3.), jakim uzlaznim, silaznim i vrtložnim zračnim strujanjima (propad, točka 23.3.), slabom vidljivošću, pljuskovitim i prehladnim oborinama (tuča), električnim praznjenjima (munjoni, točka 23.4.), naglim promjenama temperature i tlaka zraka te drugim popratnim pojavama, kao turbulencijom (točka 35.2.), zaleđivanjem (točka 36.5.) i raznim oceanskim pojavama, zbog čega znatno ometa plovidbu, te se daju odgovarajuća upozorenja.

Oluje unutar zračnih masa su razbacane, dok se frontalne protežu u više manje neprekidnim prugama dugim i stotine kilometara, te ih je teško zaobići. Na toplim morima i oceanima javljaju se opasne oluje kao olujne pruge, pruge nestabilnosti i vrtložni sustavi vjetrova - pljavnice, dok je tornado uglavnom na kopnu i ugrožava promet unutar-njim vodama. Olujni procesi na kontinentu (rijekama) su uglavnom u posljednjim satima, dok su na moru većinom tijekom noći ili jutra. Narčito opasne oluje odnosno barički sustavi su tropski cikloni, gdje se zbog naglih promjena tlaka zraka ( $\approx 100$  hPa/6 h) stvaraju vjetrovi brzina preko  $30 \text{ m s}^{-1}$ , a ponekad dostižu i dvostruku vrijednost. Ako brod nije uspio na vrijeme izbjeći glavni udar oluje, poduzimaju se postupci za što sigurnije održavanje broda uz izbjegavanje blizine obala.

**Električna praznjenja** (munje) u brod mogu oštetiti električne i elektroničke uređaje (radar, radio, kompas i sićno), posebno neuzemljene dijelove. Zaštita od munje na brodovima izvedena je s gromobranima postavljanjem "uzemljenja" pomoću bakrene ploče na vanjskoj strani oplata broda ispod vodene površine. Smetnje (krčaenje) u radio vezi su znatne, a mogu se pojačati s električnim nabojem - statičkim elektricitetom, koji se očituje obično na vrhovima jarbola i antenama, kao praznjenje u obliku vijenca (koro-ne) - vatra sv. Ilije.

Poteškoće za posadu i brod koje se javljaju unutar oluja su velike, a kojeg će biti oblika uz ostalo ovisi i o zemljopisnoj širini gdje se javljaju. U visokim širinama uz pojavu jakog vjetra, lošu vidljivost, nisku naoblaku i oborine (obično u snježnom obliku) te niskih temperatura, javljaju se razne dodatne i nepovoljne oceanske pojave kao visoki valovi (vjetrovni ili mrtvo more, točka 36.3.1.), led na moru (točka 36.5.) i na ograničenim područjima visoke i niske vode (točka 36.4.), koje otežavaju, prekidaju plovidbu ili čak u najnepovoljnijih slučajevima dovode do tragičnih posljedica. Morske struje (točka 36.2.) načelno posredno mogu utjecati na plovidbu zbog pojave advektivske magle, sakrivanja ledenjaka i promjene temperature mora. U nižim širinama vremenski uvjeti su drukčiji. Osnovna razlika u odnosu na visoke širine je što nema leda na moru. No pojava ciklona stvara najveće poteškoće i opasnosti, te ga obvezno treba izbjegavati ili u nemogućnosti poduzimati odgovarajuće zaštitne postupke (točka 37.5.).

## Dopunska literatura

Vidi literaturu uz točku 37.

## 36. POJAVE OPASNE ZA POMORSTVO I UNUTARNJU PLOVIDBU

Pojave koje se javljaju na moru i bime su za plovidbu, osim meteorološkog podrijetla, mogu biti i oceanološke (oceanografske). Zato su bitne pojave i procesi koji su nastali međudjelovanjem atmosfere i hidrosfere (oceana i mora), kao: vjetrovne struje i valovi, zatim izuzetno jake oborine i led u moru, dok postoje i pojave drugih uzroka kao morske mijene i seši. Neke od tih pojava mogu biti izrazito opasne, kao npr. valovi, dok je udjecaj drugih znatno slabiji (morske struje). Tako nastaju različiti oblici gibanja morske vode (vodoravna, uspravna, valna gibanja) nastali raznim uzrocima (npr. tropski cikloni). Odnos atmosfera/more u gustoći je reda  $1/1000$ , što znači da prosječnoj brzini vjetra od  $10 \text{ m s}^{-1}$  odgovara brzina morske struje  $0.01 \text{ m s}^{-1}$ , tj.  $1 \text{ cm s}^{-1}$ .

### 36.1. Morska razina

Morska razina (engleski: *sea level*; njemački: *Meeresniveau*) predstavlja graničnu plohu između atmosfere i oceana. Ona mijenja svoj položaj u prostoru i vremenu djelovanjem mnogih uzroka. Jednostavna djelovanja su: eustatski pomaci, tj. svjetske promjene srednje morske razine (promjene vodene mase u morima i oceanima zbog isparavanja mora, oborina, dotoka rijeka i podzemnih voda, stvaranja ili otapanja leda), viših/nižih atmosferski tlak koji utječe na nizu/višu razinu ( $1 \text{ hPa} \sim 1 \text{ cm}$ ), temperatura morske vode koja utječe na termičko rastezanje i stezanje vode. Složena djelovanja su pri: morskim mijenama (plima i oseka uz vodoravna gibanja vode/plimne struje), vjetrovima (struje, valovi), mrtvom moru (valovi), sešama (valovi u "bazenima"), olujnim usporima (ano-malno uzdignute/spuštanje morske razine, uzrokovano djelovanjem atmosferskog tlaka i vjetra na more), seizmičkim nemirima (tsunami valovi), zbog raspodjele temperatura i slanosti morske vode (gustoda i gibanje vode), površinskog tlaka (i gibanja) i stabilnosti (uspravna; i gibanje vode).

Promjene morske razine mogu biti spore (dugoperiodične,  $\geq 1 \text{ min}$ ), to su morska doba ili brze (kratkoperiodične,  $< 1 \text{ min}$ ), to su valovi. Uzroci kolebanja (oscilacija) morske razine mogu biti slobodnog tipa (trenutni uzrok: npr. val uzrokovan kamenom - mrtvo more, seši i drugi valovi) ili prisilnog tipa (stalni udjecaj vanjske sile: npr. djelovanje vjetra - vjetrovni valovi, morske mijene).

### 36.2. Morske struje

Morska struja (*current*; *Meeresströmung*) je gibanje morske (oceanske) vode u nekom smjeru. To je razmjerno uska struja vode (širine nekoliko desetina, po dubini više stotina metara, a dužine više tisuća kilometara) brzine  $0.1$  do  $4 \text{ m s}^{-1}$ , koja se javlja na površini i u raznim dubinama mora. Površinsko strujanje je mnogo izraženije nego strujanja s promjenom dubine. Kao i vjetar, strujanje je vektorska veličina određena smjerom i brzinom morske struje. No, za razliku od smjera vjetra koji puše iz određenog

smjera, morske struje teku prema određenom smjeru, tj. imena smjerova strujanja zraka odnosno vode su suprotna. To je isti smjer u kojem plovi brod. Struje pokazuju svojstvo meandriranja tj. znatne promjene smjera i brzine gibanja na raznjem malim područjima, što je izraženo u priobalnim područjima, slika 37.5.

Morske struje se dijele na tople i hladne, prema tome kakva je temperatura struje u odnosu na okolno more. Tople morske struje su npr. Gofška, Sjevernoatlantska i Norska, koje donose toplu vodu iz nižih do visokih zemljopisnih širina, slika 36.1. (Morske struje blizu Norveške obale ljeti imaju temperaturu oko 10 °C, u zimskim mjesecima temperatura je oko 3 °C, dok je temperatura Norveške obale između -4 i -10 °C). Hladne morske struje su npr. Grenlandska i Labradoraska koje uz hladnu vodu donose i ledenjake čak do širina 40° N. Tople i hladne morske struje mogu se na nekim mjestima međusobno dodirivati. Ta dodirna područja su vrlo pogodna za nastanak advokcijske magle (New Foundland, točka I-12.4.). Uloga morskih struja je golemu i razmjerni topline između ekvatorskih i polarnih područja. Tako prijenos vode u većoj morskoi struji nadmašuje za jedan do dva reda veličine količinu vode koju nosi Amazona, kao rijeka s najvećom količinom vode.

Slično kao i kod vjetra (točka I-9.1.) i pri morskim strujama postoji ruža struja (*current rose*; -) koja pokazuje ili prevladavajući smjer i brzinu struje ili njezine promjene. Ovisno o smjeru i brzini plovidbe broda te smjeru i brzini morske struje, one više ili manje utječu na plovidbu s gledišta sigurnosti (zanašanja broda u priobalnom području), trajanja plovidbe i potrošnju goriva pa se na to mora obratiti pažnja.

Morske struje mogu nastati kao posljedica meteoroloških ili nekih drugih prirodnih procesa na više načina. Struje u površinskom sloju nastaju pod utjecajem vanjskih sila: djelovanjem vjetra, zatim Mjeseca i Sunca, pobudom zbog kolebanja morske razine. No postoje i drugi uzročnici struja kao: temperatura i slanost morske vode (gustoća), atmosferski tlak, isparavanje i oborine, smrzavanje vode i topljenje leda, te drugo.

Morska vjetrova struja (*drift current*; *Driftströmung*) nastaje djelovanjem postojanog i jačeg zračnog strujanja (pasati, monsun). Npr. vjetar 8-10 m s<sup>-1</sup> daje struju ≈ 15 cm s<sup>-1</sup>. Morske struje će biti to jače ako je brzina vjetra veća (no bez većih promjena brzine i smjera), te kad puše dovoljno dugo iznad velike vodene površine bez nekih prepreka (otoci i obale kontinenta). Tada se vodena masa može dovoljno jako pokrenuti stvarajući jaku i postojanu struju. Bitno je istaći da morska struja potaknuta vjetrom ne teče u smjeru u kojem puše vjetar, već skreće 20 do 45° udesno od vjetra (sjeverna polutka), zbog prijenosa vodene mase udesno djelovanjem Coriolisove sile, kad nastupa ravnoteža između sile potezanja (trenja), djelovanjem vjetra i Coriolisove sile. Na južnoj polutki skretanje struje je ulijevo. Kut skretanja ovisi o iznosu trenja vode o morsko dno, koje je osobito veliko kod plitkih mora, a veće trenje daje manji kut. Tipičan primjer skretanja pokazuju plutanja ledenjaka u moru, koje nose morske struje, a ne vjetar koji puše na površini mora. U ekvatorskom području utjecaj skretanja struje je neznatan, te ona prati vjetar.

Posljedica puhanja vjetra je prijenos vode desno od smjera vjetra (sjeverna polutka), te dolazi do gomilanja vode i dizanja razine. Puše li vjetar paralelno s obalom, npr. južno na Jadranu, on uz istočne obale Jadrana podiže morsku razinu, a spušta uz zapadne obale (Italija). Tada nagomilana površinska voda uz istočne obale tone (*downwelling*), a uz zapadne obale gdje se spustila razina vode postoji dizanje dubinske vode (*upwelling*), koja treba nadoknaditi "manjak" površinske vode. Ciklonalno strujanje vjetra daje prije-

nos (transport) vode uz razilaženje (divergenciju) površinske vode i kao posljedicu spuštanje morske razine u središtu vrtloga. Sloga se manjak vode u središtu vrtloga nadomješta dizanjem podpovršinske vode (*upwelling*). Za suprotni anticiklonalni smjer vjetra postoji primicanje (konvergencija), dizanje razine i tonjenje površinske vode (*downwelling*). Zato u suprotropskom području uz istočne obale, pod djelovanjem pasatnih vjetrova, teku hladne struje zbog dizanja dubinske hladne morske vode. Uz zapadne obale zbog nagomilavanja tople vode postoje tople morske struje. Općenito izravnim djelovanjem vjetra na more nastala vjetrova struja je struja potiska, no s preraspodjelom polja mase nastaje promjena nagiba morske površine, i ujedno struja nagiba, relativna struja. Vjetrova struja prevladava u površinskim slojevima oceana, a kratkotrajno može prevladavati i strujnim poljem nekih obalnih mora (npr. Jadrano).

Struja nagiba nastaje zbog nagnutosti morske površine (≈ 1:10<sup>6</sup>) i vodoravne promjene tlaka. Struja je okomita na smjer nagiba morske površine, odnosno paralelna je s izobarama i dana je iznosom za geostrofičku struju (slično geostrofičkom vjetru). To je i relativna struja, jer je obično nepoznat točan položaj morske razine u odnosu na neku plohu p. Približavanjem morskome dnu zbog trenja iznos struje opada, a smjer struje sve više pada u smjer padajućih vrijednosti tlaka (sličnost sa strujanjem u atmosferi, sloj trenja do ≈ 1000 m).

Manje morske struje mogu nastati vrtloženjem vjetra u zavjetrini velike orografske prepreke, gdje puša teku suprotno od očekivanog smjera, te mogu neopreznu posadu i brod dovesti do nasukavanja, kao što je naznačeno na slici 35.1.

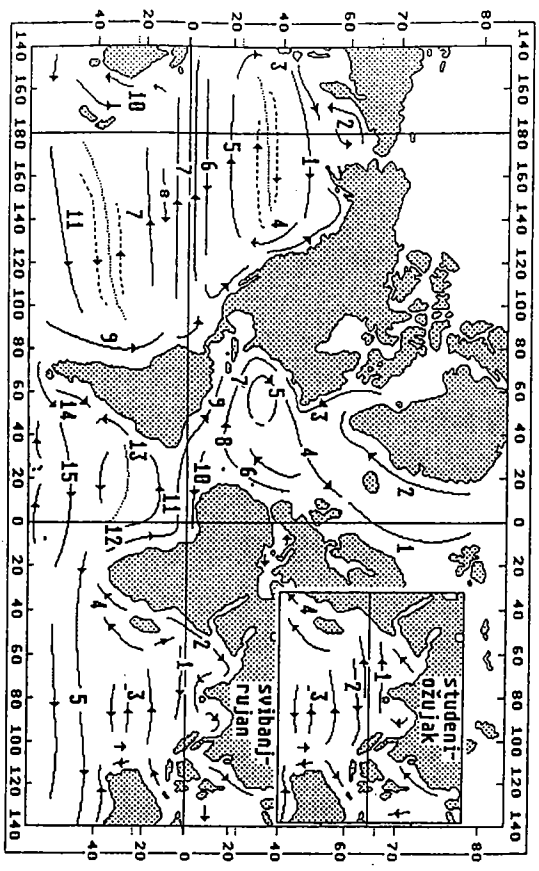
Temperatura i slanost (salinitet) morske vode određuju njenu gustoću, a raspodjela gustoće vode dovodi do nastajanja gradijentnih morskih struja. Promjena gustoće morske vode dubinom je mnogo veća od vodoravne promjene gustoće, zato na mjestima gdje je voda male gustoće postoji uzlazno strujanje, no postoje i točke tonjenja (silažna struja), zbog čega se javlja termohalino kruženje (cirkulacija). Tada postoji strujanje vode tipa "termalnog vjetra", te se voda niže gustoće (lakša) nalazi s desne strane struje (N polutka), tj. vrijedi pravilo "*light on the right*" ("lakša s desna"). Postoji sličnost s termalnim vjetrom u meteorologiji (vodoravna promjena temperature i promjena vjetra s visinom, točka I-9.5.). Termohaline struje su puno slabije od vjetrovnih. Ipak termohalino kruženje prevladava nad vjetrovnim strujom u nekim obalnim područjima i u dubljim slojevima oceana. No, vjetrova i gradijentna morska struja mogu djelovati zajedno te dolazi do postojanih morskih struja.

Postoje morske struje dvaju bazena, kad između bazena postoji stalna izmjena voda. Zbog viših temperatura zraka te pojačanog isparavanja vode u bazenu morska voda postaje gušća i teža te tone i izlazi pri dnu iz bazena u otvoreno more/ocean. Istoodobno manje slane vode otvorenog mora kao površinska struja ulaze u bazen. Primjer je izmjena vode Sredozemlja i Atlantika. Suprotan slučaj nastaje kad postoji dotok slatke vode u bazen, te površinska voda kao rjeđa izlazi iz tog bazena u otvoreno more, dok isodobno gušća voda otvorenog mora pri dnu ulazi u bazen. Tipičan primjer je izmjena vode Baltika i Atlantika.

Morske mijeane (plima i oseka) također, uvjetuju strujanja vode veće jačine. To su plimne struje (*tidal stream*; *Gezeitenstrom*). Djelovanjem Mjeseca i Sunca vodene mase se pokreću, dižu se ili spuštaju i ujedno se gibaju u određenom smjeru (točka 36.4.). Kako je izdignuće (spuštanje) vodene mase dosta veliko, i brzina takve struje je vrlo velika. U Sjevernom moru brzine su 1-2 m s<sup>-1</sup>, a dosižu i 4.5 m s<sup>-1</sup> (Lofotsko otočje).

1543

Osim velike brzine ove struje obilježava i promjena smjera gibanja (za 180°) vode sukla-dno s periodima morskikh doba. Važnost plimnih struja osobito dolazi do izražaja uz mor-ske obale s vrlo visokom plimom (više metara), kad se očituju kao vodeni zid koji nailazi velikom brzinom. Tada je svako uplovljavanje ili isplivljavanje broda vrlo neugodno, pa i opasno.



- |                        |                            |                         |                         |                        |                                |                                 |                         |                              |                |                          |                                 |                  |                 |                   |                                 |  |
|------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------------|--|
| <b>Atlantik:</b>       | 1 Norveška s.              | 2 Grenlandska s.        | 3 Labradorška s.        | 4 Sjevernoatlantska s. | 5 Goflška s.                   | 6 Kanarska s.                   | 7 Anitiska s.           | 8 Sjevernoekvatorijalna s.   | 9 Gvajnska s.  | 10 Ekvatorijalna protus. | 11 Južnoekvatorijalna s.        | 12 Benguelska s. | 13 Brazilska s. | 14 Falklandska s. | 15 Antarktička cirkumpolarna s. |  |
| <b>Pacifik:</b>        | 1 Sjevernopacifička s.     | 2 Oyahio s.             | 3 Kuroshio s.           | 4 Kalifornijska s.     | 5 Sjevernoekvatorijalna s.     | 6 Sjevernoekvatorijalna protus. | 7 Južnoekvatorijalna s. | 8 Južnoekvatorijalna protus. | 9 Peruanska s. | 10 Australška s.         | 11 Antarktička cirkumpolarna s. |                  |                 |                   |                                 |  |
| <b>Indijski ocean:</b> | 1 Sjevernoekvatorijalna s. | 2 Ekvatorijalna protus. | 3 Južnoekvatorijalna s. | 4 Agulhas s.           | 5 Antarktička cirkumpolarna s. |                                 |                         |                              |                |                          |                                 |                  |                 |                   |                                 |  |
| <b>studeni-ožujak</b>  | 1 SW monsunška s.          | 2 Somalijška s.         | 3 Južnoekvatorijalna s. | 4 Agulhas s.           |                                |                                 |                         |                              |                |                          |                                 |                  |                 |                   |                                 |  |
| <b>svibanj-rujan</b>   |                            |                         |                         |                        |                                |                                 |                         |                              |                |                          |                                 |                  |                 |                   |                                 |  |

Slika 36.1. Shema strujanja na površini oceana

Sastavni dio strujanja su:

**Inercijalno strujanje (osclacija)** je vodoravno kruženje česti u moru, kad je cen-trifugalna sila uravnotežena s Coriolisovom silom. Sjeverna polutka ima anticiklonsko kruženje. U umjerenim širinama period je oko 17 h, a polunjer kružnice ovisi o brzini gibanja česti i o zemljopisnoj širini (tipični polunjer ≈ 1 km). Na ekvatoru nema ovak-vih strujanja (nema Coriolisove sile). Ove oscilacije u moru uzrokuje vjetar; u atmosferi takva strujanja brzo zamiru.

Vrtlog je približno kružna tvorevina u fluidu, čije dimenzije u moru kolebaju od turbulentnih (centimetar i manje) do sinoptičkih (≈ 100 km) razmjera, a nastaju kao pos-ljedica nestabilnosti raznih valnih poremećaja u strujnom polju.

**Turbulencija** je nepravilno gibanje česti fluida. To su trodimenzionalni vrtlozi raznih dimenzija i promjenljive kinetičke energije. Turbulencija doprinosi prijenosu impulsa, topline i tvari u fluidima, a nastaje kao posljedica nestabilnosti.

Strujanje na površini oceana uzrokovano je prvenstveno vjetrom. Općenito postoji nekoliko kružnih tokova vode: subpolarni (ciklonski, samo N polutka), suprotropski (anti-ciklonski) i ekvatorski (ciklonski). U suprotropskom kružnom toku postoji pojačanje za-padnog strujanja. Poseban tok je zapadni oko ekvatora i izražena istočna struja na južnoj polutki oko Antarktika, slika 36.1. Na oceanima sjeverne polutke strujanja su općenito u smjeru kazaljke na satu sa svojsvenim dotokom hladne struje na sjeverozapadnim dijelovima oceana, i u vezi je sa strujanjima vode u dubinama oceana. Na južnoj polutki slika je simetrična. Strujanje na površini oceana ima sezonske promjene, koje su najbolje vidljive na Indijskom oceanu u razdobljima studeni - ožujak i svibanj - rujan, slika 36.1. Ove sezonske promjene strujanja uzrokovane su monsunskim vjetrovima. U priobalnom području zbog oblika obala i otoka dolazi do znatnih izobličenja struja. Morske mijene (plima i oseka) također, uvjetuju strujanja vode veće jačine (plimne struje).

U okrajnim morima (Sredozemlje, Baltik, Perzijski zaljev, Japansko more, Kaspijsko jezero, Zenevsko jezero, Mrtvo more) postojana (stacionarna) strujanja su u pravilu ciklonalna. Izuzetak je Aralsko more. Na Jadranu u odnosu na Sredozemlje u zimskim mjesecima prevladava ulazna struja, dok u ljeti prevladava izlazna struja. Tako pojavom bure jača zračenje i isparavanje vode koja postaje gušća, dok istodobno kopnene vode smanjuju gustoću, te tako uz istočnu obalu postoji jugoistočna struja. (Pravilo "light on the right").

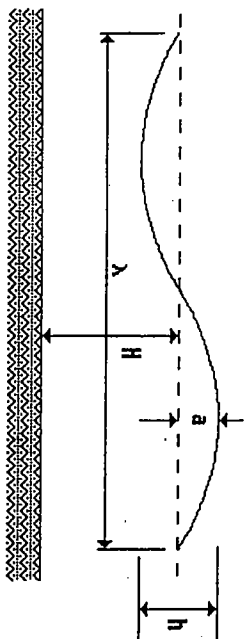
**36.3. Valovi**

Valovi (*waves*; *Wellen*) se uvijek javljaju na granici između dva fluida, kad postoji međusobno (relativno) gibanje, a elementi vala su prikazani na slici 36.2. Takva granica je između zraka i vode, kad između njih postoji trenje, dok unutar fluida s različitim gustoćama postoji sila kohezije. Val pokazuje periodičnost gibanja čiji su elementi:

- valna duljina -  $\lambda$  ("brjieg - brjieg", "dol - dol")
- visina vala -  $h$  ("brjieg - dol")
- amplituda vala -  $a$  ( $h/2$ )
- period -  $T$  (vrijeme od brjega do brjega)



Ovome se može pridodati smjer i brzina napredovanja vala i općenito na oceanima i morima ljestvica stanja mora (prilog 2), dok dubina mora -  $H$  ima važnu ulogu u svojstvima valova.



Slika 36.2. Elementi vala

Postoji cijeli niz poddjela valova prema raznim uzrocima nastanka i svojstvima valova. Prema silama koje uzrokuju kolebanja (oscilacije) morske razine, tj. valove, oni se mogu podijeliti na slobodne i prisilne valove. Slobodni valovi nastaju djelovanjem jednog impulsa, npr. kamen bačen u vodu, a kasnije širenje valova je neovisno o uzroku. Takvi valovi na moru nastaju lomom velikih ledenih gromada i njihovim padom u more. Toj skupini pripadaju i valovi mrtvog mora te seši, čiji period ovisi o dimenzijama uzemljene vode. Prisilni valovi nastaju djelovanjem stalnih vanjskih sila, to su npr. vjetrovni valovi i morske mijene. Period pokretacke sile (npr. vjetra) jednak je periodu nastalog prisilnog vala.

Postoje i druge vrste kolebanja morske razine na koje djeluju razne povratne sile, tj. sile koje vraćaju čest vode u ravnotežno stanje. Zvučni valovi nastaju zbog stlačivosti mora, premda je ona vrlo slaba. Kaplarni valovi na površini mora nastaju zbog površinske napetosti i imaju vrlo malu valnu duljinu. Tipična duljina im je nekoliko centimetara. Nastaju kad se iznad mirne vodene površine pojavi lagani dašak vjetra (za dulje valove prevladava sila teža kao povratna sila). Težinski (gravitacijski) valovi nastaju djelovanjem sile teže kao povratne sile. To je većina svih valova na moru. Mogu biti na površini ili u dubini mora (unutarnji valovi). Inercijalne oscilacije (strujanje) imaju Coriolisovu silu kao povratnu silu (točka 36.2.). Rossbyevi valovi su vrlo velike vodovrane oscilacije morske vode (struje), gdje je povratna sila razlika Coriolisove sile između dvije zemljopisne širine (slično dugim/Rossbyevim valovima u atmosferi, točka 21.5.2.). Morske mijene nastaju zbog privlačne sile Mjeseca i Sunca, a povratna sila je sila teža (točka 36.4.). Prema širenju postoje pokretni (prógresivni) i stojni (stacionarni) valovi. Pokretni valovi imaju različite faze, tj. česti su u orbiti nisu u istoj fazi, a brzina im je  $C = \lambda/T$ , dok stojni valovi imaju iste faze, tj. česti su u istoj fazi, ali su razne amplitude (postoji trbuh i čvor vala). Konacno, najčešća podjela valova je na kratke i duge valove (o njima u daljem tekstu).

Valovi na vodenoj površini, tj. granici između dvaju fluida zraka i vode, nastaju kao posljedica meteoroloških ili drugih prirodnih procesa, djelovanjem raznih sila, te dolazi do promjene položaja vodenih čestica, koje pak izazivaju promjene položaja susjednih čestica, tako se gibanje čestica prenosi od površine u dubinu. Tijelo koje pluta

ne giba se s valovima već oscilira gore-dolje i naprijed-nazad (eliptična staza - orbitarno gibanje). To znači da se čestice vode dižu/spuštaju, ali pritom jedan niz čestica kasni prema drugom nizu, te izgleda kao da se čestice gibaju (tiraaju) po kružnici → premješta se samo oblik vala (vjetar i žito u polju). Suprotno, val se širi u nekom smjeru - translacijsko gibanje, pri čemu je smjer tiranja okomit na smjer širenja. Val je ustvari potpunočaj stabilnosti granične plohe, a povratna sila je sila teža (osim za Rossbyeve valove).

Osnovne analize valova uvažavaju linearnost procesa, tj. uzimaju se valovi male amplitude u odnosu na valnu duljinu. To se izražava odnosom između visine vala ( $h$ ) i valne duljine ( $\lambda$ ), koji treba iznositi barem  $h/\lambda \approx 1/20$  do  $1/50$  ili i manje. To znači da val s valnom duljinom 200 m, može imati visinu 10 m, što je u svakom slučaju visoki val. Visina vala općenito ne ovisi o brzini vala, valnoj duljini i periodu, tj.  $h \neq h(C, \lambda, T)$ , izuzev pri lomu vala. Brzina vala  $C$  općenito je dana s:

$$C = \frac{\lambda}{T} = \frac{\sigma}{k}; \quad \sigma = \frac{2\pi}{T}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad 36(1)$$

gdje je  $\sigma$  kutna brzina,  $k$  valni broj.

Odnos valne duljine i dubine mora (vode) daje podjelu na površinske valove ili valove duboke vode, koji se nazivaju i kratki valovi uz uvjet →  $\lambda < 2H$  (npr. vjetrovni valovi, mrtvo more i unutarnji valovi), i valove po dubini vode ili valove plitke vode, koji se nazivaju i dugi valovi uz uvjet →  $\lambda > 20H$  (npr. morske mijene i potresni (tsunamni) valovi).

Brzina kratkih valova  $C_k$  ovisi o valnom broju (valnoj duljini):

$$\lambda = 2H \quad \rightarrow \quad C_k = \sqrt{\frac{g}{k}} \quad 36(2)$$

Brzina dugih valova  $C_d$  ovisi o dubini vode:

$$\lambda = 20H \quad \rightarrow \quad C_d = \sqrt{gH} \quad 36(3)$$

Brzine valova u području između kratkih i dugih valova, za koje vrijedi  $2H < \lambda < 20H$ , dane su odnosom između kutne brzine  $\sigma$  i valnog broja  $k$ . Tada vrijedi jednadžba rasapa ili disperzije (*dispersion relation*, -):

$$\sigma^2 = gk \operatorname{th}(kH); \quad C^2 = \frac{\sigma^2}{k^2} \quad 36(4)$$

$$C^2 = \frac{g}{2\pi} \lambda \operatorname{th}\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right) \quad 36(5)$$

Iz prethodnog izraza, odnosno jednadžbe rasapa, slijedi bitno svojstvo valova: valovi većih valnih duljina imaju veću brzinu prenošenja, ali i veći period, tablica 36.1. To znači, da ako na nekom mjestu nastaju valovi raznih valnih duljina, odnosno raznih perioda, oni će se s tog mjesta širiti na sve strane različitim brzinama, tj. najdulji i najdugoperiodičniji valovi prvi napuštaju mjesto nastajanja i prvi dolaze do nekih udaljenih obala oceana ili mora. Istodobno na nekom mjestu ne postoje samo valovi istih svojstava, već različiti, tj. valovi se javljaju u skupinama.

Tablica 36.1. Valna duljina i brzina vala u ovisnosti perioda

$T$ (s)	1	10	20
$\lambda$ (m)	1,6	156,1	624,5
$C$ (m s <sup>-1</sup> )	1,6	15,6	31,2

Osim po valnim duljinama, valovi se mogu razvrstati i po periodima, tablica 36.2. Iz navedenog slijedi da postoji ovisnost iznosa perioda valova i valnih duljina. Zato se npr. kratki valovi mogu nazvati i **kratkoperiodični valovi** (< 1 min), dok su dugi valovi **dugoperiodični valovi** (≥ 1 min).

Tablica 36.2. Podjela valova po periodama i valnim duljinama (Pond i Pickard, 1983)

Period	Valna duljina	Ime
0-0,2 s	cm	namreškano more
0,2-9 s	do 130 m	vjetrovni valovi
9-15 s	stotine m	mrtvo more, seš
15-30 s	više stotina m	dugo mrtvo more ili njihova preteča
0,5 min - sati	do nekoliko tisuća km	dugoperiodički valovi, tsunami
12,5-25 h itd.	tisuće km	morske mijene

Najjednostavniji oblik vala je sinusoidalni val, slika 36.2., koji se javlja kao površinski val u dubokoj vodi, obično nakon puhanja vjetra, te ima podjednake strmine vala (simetričnost). Njegova se amplituda smanjuje s dubinom, tablica 36.3. Kod unutarnjih valova, koji nastaju na raznim dubinama zbog promjena gustoće vode, amplitude opadaju i prema površini i prema dnu.

Tablica 36.3. Promjena amplituda vala s dubinom mora izražena valnom duljinom

dubina (razmjerna)	0	1/9 $\lambda$	2/9 $\lambda$	3/9 $\lambda$	8/9 $\lambda$
amplituda	1	1/2	1/4	1/8	1/256

### 36.3.1. Vjetrovni valovi i mrtvo more

Valovi najčešće nastaju djelovanjem vjetra na vodenu površinu, to su vjetrovni valovi (*wind wave, sea; Windwelle*) ili valovi živog mora. Kako se najbolje uočavaju na vodenoj površini zovu se i površinski valovi, odnosno zbog izravnog djelovanja vjetra to

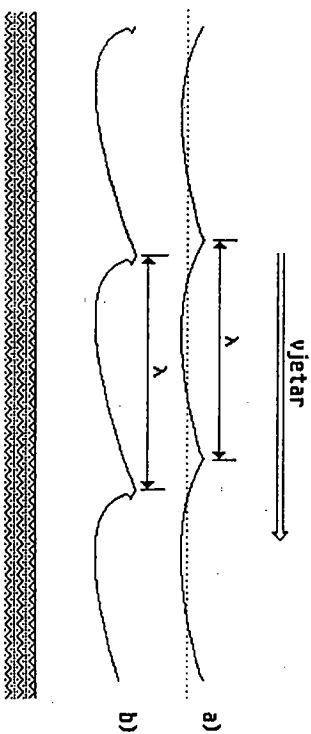
su i prisilni valovi. Kakva će biti svojstva valova ovisi o vjetru (kojom brzinom puše, kolika mu je stalnost brzine i smjera, kako dugo puše) i o vodenoj masi (prostranstvo vode, dubina vode, otoci u moru). U vjetrovne valove također spadaju kapilarni valovi (za vrlo male brzine) ili težinski, a očituju se kao kratkoperiodička (< 1 min) kolebanja (oscilacije) morske razine, no najčešće im je period između 2 i 9 s. Valne duljine su bitno manje od dubine mora (dubina > 200 m).

Valovi će biti to jači (viši) što je brzina vjetra veća (uz što manje promjene brzine i smjera vjetra) i ako puše dovoljno dugo iznad velike vodene površine (razgon) bez nekih prepreka, otoka. Razgon (*fetch; Wirklänge*) je prostor nad kojim vjetar puše. Male valiče vjetar stvara za nekoliko minuta, dok za najveće valove treba razgon preko 2000 km, uz višednevni vjetar brzine oko 100 km h<sup>-1</sup>, tablica 36.4.

Tablica 36.4. Ovisnost visine vala o razgonu, za vjetar 60 km h<sup>-1</sup>

Razgon (km)	5	10	20	50	100	500
Visina vala (m)	0,9	1,4	2,0	3,1	4,2	6,2

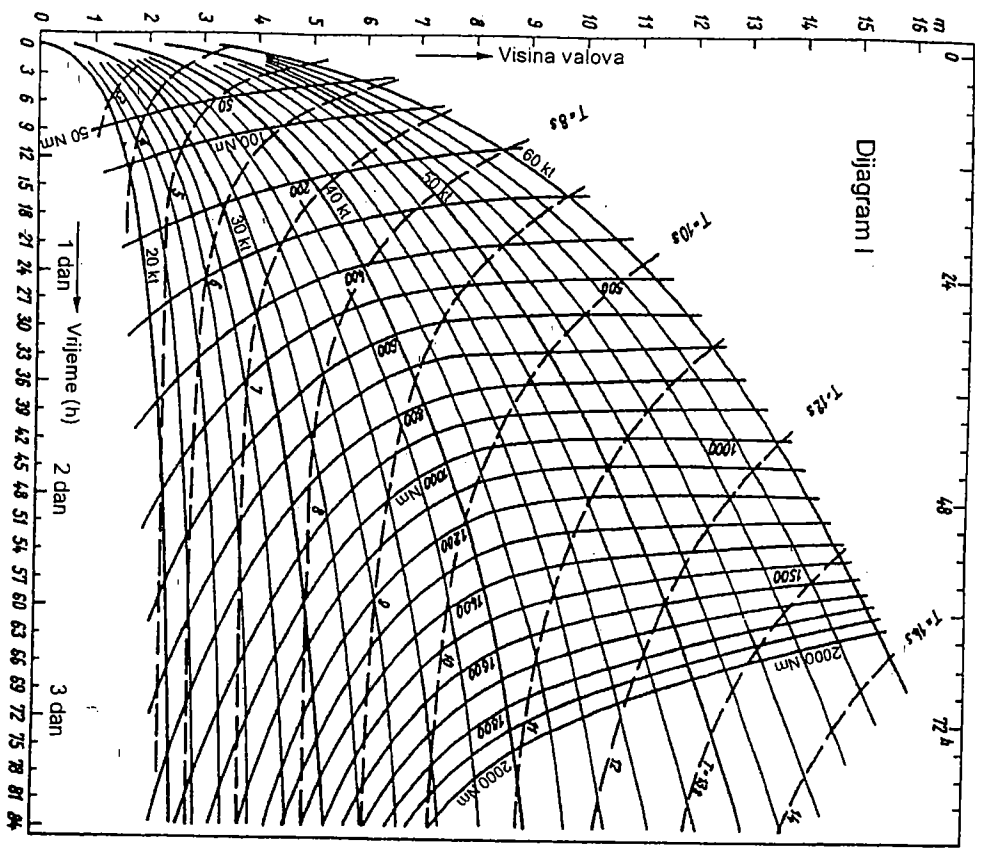
Vjetar ne stvara najveće valove uz obalu, već daleko na pučini. Na Jadranu vjetrovi bura i jugo mogu postizati iste brzine, međutim jugo stvara znatno više valove (5-7 m) od bure (1-2 m). Znatno viši valovi su u Sredozemlju, još viši na Atlantskom oceanu, a općenito najviši su na Tihom oceanu (više od 20 m). Tamo se vodena masa može dovoljno jako uznemiriti stvarajući jake i visoke valove. Dugi progresivni valovi nastaju najčešće u području velikih tropskih oluja - ciklona, kad se stvaraju jaki vjetrovi zbog nagle promjene tlaka (≈ 100 hPa/6 h).



Slika 36.3. Vjetrovni val; a) obični, b) lom vala

Vrlo maleni valovi (kad je ispunjeno  $a/\lambda = 1:100$  ili manje) teže sinusoidi. No vjetrovni valovi nemaju oblik sinusoida već trohoida. Trohoida ima strm i uzak brijeg, te plitku i široku dolinu (≈ 3/4 vala je iznad nulte crte), slika 36.3. a). Što je val razvijeniji (i sporiji od vjetra) to je gornji dio vala oštriji i lagano nagnut u smjeru vjetra, slika 36.3. b). Vjetar gura val pozadi i vuče ga sprjeda te potiskuje dolje, jer je u zavjetrini vala vrtloženje zraka. Pri vjetrovnom valu ipak dolazi do manjeg vodoravnog gibanja vode (vjetar djeluje jače na čestice vode u brijegu nego u dolu, te uzrokuje gibanje vode).

*Ne!*

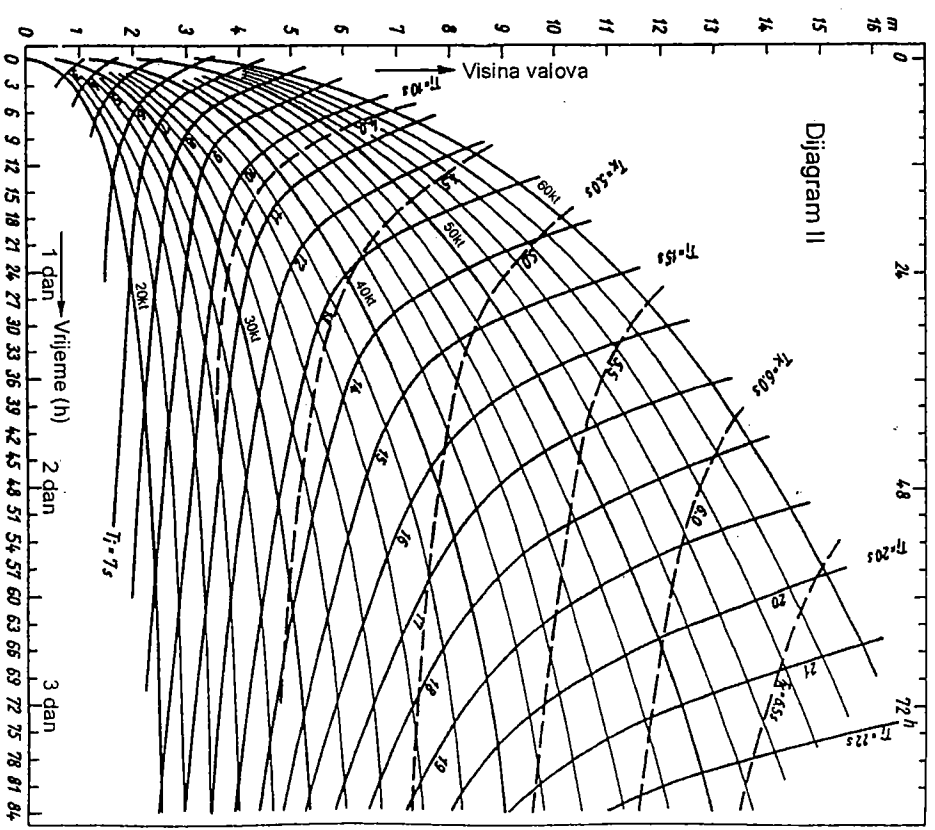


Slika 36.4. Odrđivanje vjetrovnih valova, objašnjenje u tekstu (Berth i drugi, 1979)

Opcenito je brzina vjetra veća od brzine valova, osim kad vjetar prestaje. Brzina vjetra je razmjerna veličini vala (dubina mora > 200 m) uz približnu vezu:

$$h_v = \frac{V}{3} \quad 36(6)$$

gdje je  $h_v$  visina vala (m),  $V$  brzina vjetra (m s<sup>-1</sup>). Odnos visine vala i drugih elemenata ne može se jednostavno prikazati. Najveći odnos visina vala/duljina vala (dobiven anali-



Slika 36.5. Odrđivanje valova mrtvog mora, objašnjenje u tekstu (Berth i drugi, 1979)

Uz poznavanje osnovnih svojstava vjetra kao njegove brzine, trajanja i razгона mogu se razmjerno dobro odrđiti visina vala i period, što je prikazano na slici 36.4. Na apscisi je dano trajanje vjetra u satima (h), dok je visina vala (m) dana na ordinati na

tičkim putom) je 1/7, no u prirudi, zbog prelamanja valova, je oko 1/12 ili manje. Visina vala ovisi o dubini vode, jer približavanjem plitkoj vodi visina vala znatno poraste. Obično se za odrđivanje visine valova, a također i drugih elemenata, rabe razni dijagrami. Na slikama 36.4. i 36.5. prikazana su takova dva dijagrama. Prvi se odnosi na valove uzrokovane vjetro, a drugi za mrtvo more.

lijevoj strani dijagrama 1. Idući od lijevo-dolje prema desno-gore uertane su krivulje (udesno zakrivljene), koje prikazuju brzinu vjetra u čvorovima (kt). Krivulje, koje se pružaju odozgo prema dolje i zakrivljene su udesno prikazuju razgon vjetra izražen u naučkim miljama (Nm). Crtkane krivulje prikazuju periode valova u sekundama (s). Primjer: za brzinu vjetra 36 kt koji puše 15 h očekuje se visina valova 4,2 m, a njihov period je 6,5 s. Ovome odgovara razgon od 200 Nm. Ako je razgon npr. 50 Nm, u istu brzinu vjetra, takovi valovi se ne mogu potpuno razviti, već bi visina vala bila 2,9 m, a period 4,8 s, koji bi se razvili za 6 h. Iz dijagrama se može odrediti koje se visine valova očekuju na određenoj udaljenosti uz poznatu brzinu vjetra. Za brzinu vjetra 30 kt na udaljenosti 1000 Nm slijedi visina vala 5 m i period 8 s.

Za stanje mrtvog mora rabi se dijagram II, slika 36.5. Koordinatni sustav je isti kao i u prethodnom dijagramu, a također su iste i krivulje brzine vjetra. Još postoje krivulje koje se pružaju od lijevo-gore prema desno-dolje i prikazuju približno najdulje periode ( $T$ ) dane u sekundama (s), dok su najkraće periode izvučene crtkano ( $T_c$ ). Poznajući periode valova mogu se izračunati ostali elementi valova.

Za duboke vode ( $\lambda < 20H$ ) pojednostavljeno vrijedi:

$$C_k = \frac{\lambda}{T}; \quad C_k = 1.56T; \quad \left( \frac{g}{2\pi} = 1.56 \right) \quad 36(7)$$

$$\lambda = 1.56T^2; \quad C_k^2 = 1.56\lambda$$

Tako za period 5 s vjetrovni valovi imaju brzinu 7,8 m s<sup>-1</sup> i valnu duljinu 39 m, dok za period 15 s postoje valovi mrtvog mora koji imaju brzinu 23 m s<sup>-1</sup> i valnu duljinu 350 m.

Za plitke vode ( $\lambda > 20H$ ) čestice vode opisuje položenu elipsu, a ne kružnicu, te vrijedi:

$$C_d = \sqrt{gH}; \quad \lambda = T\sqrt{gH} \quad 36(8)$$

Tako pri dubini mora 5 m dugi valovi imaju brzinu 7 m s<sup>-1</sup>, dok je za dubinu mora 20 m brzina 14 m s<sup>-1</sup>, što prikazuje zaustavljanje valova na plitini. Za dubinu mora 4000 m brzina valova je 200 m s<sup>-1</sup>. To su potresni valovi (tsunami) s valnom duljinom oko 200 km, kojima je odnos  $H/\lambda = 1/50$ , što znači da su to valovi "plitke vode". Period je oko 17 min.

Vjetrovne valove odlikuje "rasap valova", obzirom da valovi većih valnih duljina imaju veći period i veću brzinu prenošenja.

Mrtvo more (*swell*; *Dünung*) su gravitacijski valovi na površini mora, imaju razmjerno velike periode (10 do 20 s) i valne duljine više stotina metara (300 do 600 m, ponekad i do 1100 m). Nastaju po prestanku vjetra ili prije njegova nailaska ili na nekoj udaljenosti od mjesta puhanja, što znači da ovi valovi postoje bez prisustva vjetra. Prestankom puhanja vjetrova vodene mase još su neko vrijeme u gibanju, no kako sile trenja uljeću na vodu u gibanju, pomalo dolazi do gušenja valnih gibanja. S druge strane, vjetrovni valovi imaju razne valne duljine, te val veće valne duljine ima veću brzinu napredovanja, posljedica tzv. "rasapa". Takvi valovi mogu prijeći velike udaljenosti i čači u područja gdje nema vjetrova, to su tada valovi mrtvog mora. U slučaju tropskog

ciklona takvi valovi mogu prevaliti i 3500 km od njihovog mjesta nastajanja šireći se u svim smjerovima oko središta ciklona brzinom 17 do 21 m s<sup>-1</sup> (1500-1800 km dan<sup>-1</sup>), te su jedan od njegovih prvih sigurnih predznaka (točka 25.8.). Mrtvo more obilježeno je pravih valnim oblicima (sinusoidalni oblik vala). Visine valova također mogu biti velike, čak do 16 m, što ovisi o prostanstvima mora (Sredozemlje 5 m, Atlantik 12 m).

### 36.3.2. Putanje valova

Jednadžba rasapa 36(4) ukazuje da su najbrži najdulji valovi, npr. val s periodom 20 s ima brzinu oko 30 m s<sup>-1</sup> (na Atlantskom oceanu prosječna brzina valova je oko 8 m s<sup>-1</sup>). Ti valovi su obično oslabljeni s malom amplitudom. Kako je brzina nailaska valova većih valnih duljina velika, oni mogu uz obalu podignuti morskru razinu za 0,5 m u nekoliko minuta.

Dolaz vala na strmu obalu. Valovi se mogu odbijati (reflektirati) od obale pri čemu je kut upada jednak kutu odzraza, pritom se upadni i odbijeni valovi zbrajaju i mogu tvoriti ukršteni val (interferencija valova). Upadni i odbijeni valovi mogu stvarati stojne valove (tibavica), ako valovi dolaze okomito na obalu. U povoljnom slučaju mogu nastati vrlo visoki valovi s visokim bregovima, kad voda može doprijeti do visine 100 m. No, postoji i suprotnost, tj. nastajanje vrlo malih valova.

Interferencija je moguća i na otvorenom moru. Valovi koji se šire iz raznih područja mogu doći u neposredan dodir, te nastaje ukršćavanje (interferencija) valova. Ona nastaje kad vjeter promijeni smjer ili brzinu te se stvaraju novi valovi koji interferiraju sa stariim valovima. Ako se bregovi dvaju valova međusobno ukrste novi će val biti znatno viši, a ukršćavanjem brjega jednog s dolom drugog vala, visina novog vala bit će znatno manja. Takvi valovi su dosta opasni za plovidbu, jer nastupaju nenadno i vrlo su veliki. Nalaze se npr. jugoistočno od Madagaskara i gibanju se ususret Agulhaskoj morskoj struji, te postaju vrlo strmi i razorni. Ima ih na Atlantskoj obali Maroka, gdje postoji jako prelamanje i pjenušanje valova visine 10 m, koji traju danima, kao posljedica oluja na dalekom oceanu. Konačno vrlo visoki valovi su u ciklonskom oku, premda nema vjetrova, a posljedica su interferencije.

Dolaz vala na plitku obalu ( $H = 1/2 \lambda$ ). U ovim uvjetima nema odbijanja valova. Zbog plitčine i trenja s dnom mora period valova se ne mijenja, no brzina širenja valova se smanjuje, valne duljine su manje, tablica 36.5., dok se istodobno vrhovi valova izdižu, te dolazi do loma valova (pjenušavi valovi). Lom valova počinje kad omjer visine vala i valne duljine  $h/\lambda$  premaši odnos  $\approx 1/12$ , ali i prije ako je voda plitka, tj. kad je omjer između valne duljine i dubine mora  $h/H \approx 0,8$  ili veći. Tada je orbitalna brzina čestice vode veća od brzine vala.

Tablica 36.5. Smanjenje brzine i valne duljine u plitini za valove perioda 8 s i valne duljine 100 m u dubokoj vodi (Pond i Pickard, 1983)

H (m)	50	10	5	2
C (m s <sup>-1</sup> )	12,5	8,9	6,6	4,3
$\lambda$ (m)	100	71	53	35

Valovi usporavaju na dijelu puta bližem obali, te nastaje lom (refrakcija) valova, čija valne fronte zakreće i val napreduje prema obali, te nastoji postići paralelnost valne fronte i obale. Kako obale imaju različite oblike, uključivo rtove i zaljeve, do takvih obala valovi s otvorenog mora općenito dolaze pod nekim kutom. Zbog loma valovi se u zaljevima šire lepezasto, dok na rovima valovi udaraju s obje strane, sve neovisno o smjeru naiaska valova. U zaljevima se valovi šire pa je njihovo djelovanje slabije izraženo, za razliku od jačeg djelovanja na rovima.

**Skupine (grupe) valova.** Stvarni valovi na oceanima i morima nemaju "čiste" valne oblike, već imaju razne valne duljine, periode i amplitude. Ujedno imaju razne brzine. Može se pokazati da ovojnice ovih brojnih valova imaju oblik vala, koji se može opisati s dva vala istih amplitude te raznih valnih brojeva i frekvencija. Skupina valova zbog raznih brzina nalazi se pojedinih valova uvjetuje interferenciju i pjenušanje mora.

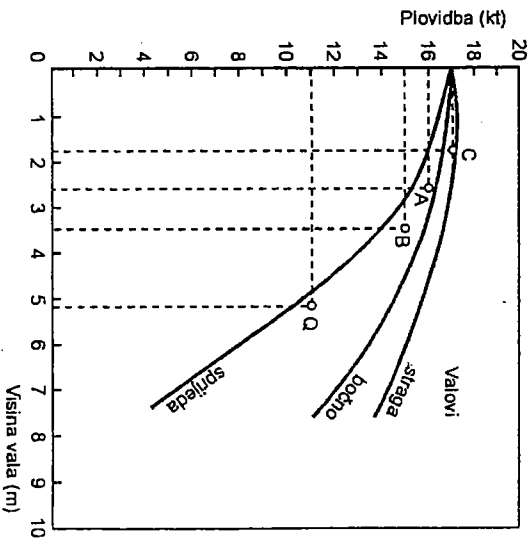
### 36.3.3. Utjecaj valova na plovidbu.

Valovi djeluju na brodove promjenom brzine i smjera plovidbe broda, izrazitim naginjanjima i preopterećenjima na brodu pa i izravnim oštećenjima. Najopasnije i najizraženije je naglo propadanje i naglo propinjanje uz izrazito naginjanje. Određeni val nema isti učinak na mali ili veliki brod, odnosno neki brod se drukčije ponaša na manjim odnosno velikim valovima. To znači da postoji izvjesna veza djelovanja valova određenih svojstava (visina vala, valna duljina, period, lom vala, smjer i brzina vala i drugo) na brod određenih svojstava (oblik i dimenzije podvodnih i nadvodnih dijelova broda, brzina broda, teret i drugo) u ovisnosti dubine mora (bolje reći plitčine) te oblika obale i otoka u blizini plovidbe. Tako valovi visine 2-4 m predstavljaju veliku opasnost za male brodove, dok veliki brodovi dujine stotinjak i više metara skoro i ne osjećaju utjecaj takvih valova. S druge strane, valovi valnih duljina nekoliko stotina metara čine velike poteškoće tom velikom brodu, a mala brodica ih lako svladava. Valna duljina ima važnu ulogu osobito kad je istog reda veličine kao i duljina broda. Ako dva brjega vala podupiru pramac i krmu broda, dok je sredina broda u dolu vala, ili kad su pramac i kрма u dolu vala, a sredina broda na brjegu vala, na brodu nastaju velika opterećenja, javljaju se poprečna savijanja broda.

Neposredni utjecaj valova na brod dobro se očituje na smanjenje brzine broda ovisno o visini valova i smjera iz kojeg nailaze. Općenito s povećanjem visine valova brzina broda se smanjuje. Brod koji plovi ususret nailazećim valovima gubi brzinu mnogo više nego pri bočnom nailasku valova. Najmanji gubitak je kad valovi nailaze straga. Zgodno je pripomenuti da pri nailasku malih valova straga, visine oko 1 m, brod dobiva neznatno ubrzanje. Prikaz brzine broda te smjer nailaska valova i njihov visina dan je na slici 36.6, koja vrijedi za određeni tip broda, što znači da su takvi dijagrami potrebni za svaki tip broda. Daljnje pojašnjenje je uz sliku 37.4.

Općenito, valovi ne pomažu, već u većoj ili manjoj mjeri otežavaju plovidbu. Svaka vrsta valova ako su izraziti predstavlja izravnu opasnost za plovidbu. Zbog složenosti djelovanja valova na brod, za svaki brod postoje određene preporuke i propisi kako brod treba voditi u uvjetima valovitog mora. Temeljno načelo plovidbe je da se manji brzina broda i pramac broda usmjeri prema nailazećim valovima. U nemogućnosti usmjeravanja pramca može se i kрма usmjeriti prema nailazećim valovima. Najlošije, pa i opasno,

je izlaganje boksa broda nailazećim valovima. Ponekad se pramac može otkloniti od smjera nailazećih valova, ali ne više od 10 do 20°. To se radi kad se na brodu pojave rezonantne pojave. Naime, smanjivanjem (tek izuzetno povećanjem) brzine broda i malim skretanjem broda od smjera nailazećih valova trebaju se rezonantne pojave ublažiti. Inače, brzina broda se obvezno smanjuje, ponekad se brod i zaustavi (motori obvezno rade), ali bitno je zadržati kontrolu nad brodom, tj. kormilo broda treba "slušati".



Slika 36.6. Brzina broda u ovisnosti visine i smjera nailaska valova (Barth i drugi, 1979)

Veći brod na vezu ili sidru, ako se očekuje nailazak olujnog vremena s visokim valovima (tropski ciklon, tsunami, oluja), a nema mogućnosti ulaska u zaštićeni dio luke, treba isploviti, jer se tako smanjuje opasnost neposrednog oštećenja broda.

Visoki valovi mogu osim na prirodan način nastati i na umjetni način. Neposredno iza velikih brodova javljaju se valovi koji mogu biti opasni na male plovne jedinice.

### 36.4. Ostale oceanske pojave - dugi valovi

Dugi valovi javljaju se po cijeloj dubini vode, tj. gibanje je po cijeloj vodenoj masi, uz uvjet  $\lambda > 20H$ , pa kako im je valna duljina izrazito velika u odnosu na dubinu oceana mogu se zvati i valovima plitke vode. To su valovi u kojima čestica vode opisuje položenu elipsu, pri čemu mala os elipse ne ovisi o dubini, dok velika os elipse ovisi o dubini (na dnu mora velika os = 0). Ovi se valovi ne raspršuju, a brzina im ovisi samo o dubini vode, te za njih vrijedi izraz 36(3). To su hidrostatički valovi, te im je amplituda stalna.

Olujni uspor (*storm surge*; *Flurwelle*) je anomalno podizanje (spuštanje) srednje morske razine uzrokovano djelovanjem atmosferskog tlaka i vjetera na more. To podiza-

1631

nje srednje morske razine, ovisi o jačini i udaljenosti uzroka poremećaja, npr. ciklone ili tropskog ciklona. Dok je tropski ciklon još razmjerno daleko od obale dizanje morske razine je 1 do 1,5 m iznad srednje morske razine, no kad je središte ciklona blizu obale poraste i preko 10 m. Takav olujni val je izraženiji kad središte tropskog ciklona nalazi okomito na obalu. Olujni uspor'val zahvaća nekoliko stotina kilometara morske obale, nastaje kao posljedica zbrojenih učinaka snažnih vjetrova na more, tj. gomilanjem vode, ne mase naterane valovima na obalu i tek manjim dijelom djelovanjem niskog atmosferskog tlaka, te povoljnog oblika i topografije obalnog dna i obale. Izuzetno razorni olujni uspori pred četiri decenija razorili su obale Nizozemske (sušili su zaštitne brane) i Njemačke, uzrokujući ogromne materijalne štete i mnoštvo ljudskih žrtava. Poznate su takve pojave i na Jadranu, posebno u svezi s poplavlivanjem Venecije. Atmosferski elementi mogu djelovati i u suprotnom smislu, dovodeći do pojave izuzetno niskih vodostaja mora.

**Morske mijene ili morska doba (tides; Gezeiten)** su kvaziperiodička gibanja vode na oceanima i morima zbog gravitacijskih sila privlačenja Mjeseca i Sunca zajedno s djelovanjem centrifugalne sile vezane uz revoluciju Zemlje i Mjeseca odnosno Zemlje i Sunca oko zajedničkog težišta. Obzirom na blizinu Mjeseca, njegovo djelovanje je oko 2,3 puta jače od djelovanja Sunca. Slično morskim mijenama postoje i atmosferske mijene (npr. kod dnevnog hoda atmosferskog tlaka, točka I-6.5.). Također, postoje i mijene čvrste Zemljine površine (tita).

Kad se Sunce, Mjesec i Zemlja u svom gibanju u svemiru nalaze na istoj crti (mladi ili puni Mjesec), zbog jačeg djelovanja gravitacijskih sila učinak morskij mijena je najveći. Kad su Sunce i Mjesec okomiti u odnosu na Zemlju (prva ili treća četvrt Mjeseca) učinak mijena je najmanji. Uz gibanja i djelovanja nebeskih tijela veliki je utjecaj Coriolisove sile, sile trenja, dubine vode, oblika bazena i drugih sila. Zato postoji velika složenost računa prognoza morskij mijena.

Morske mijene se očituju ponajprije u kolebanju morske razine i jakoj promjenjivosti smjera morskij struja. One uvjetuju visoku vodu (*high water; Hochwasser*) i nisku vodu (*low water; Niedrigwasser*), pri čemu se period dizanja vode naziva plima (*flod; Flut*), a spuštanja oseka (*ebb; Ebbe*). Ova dizanja i spuštanja vode su obilježena linjskim spektrom, uz glavna kolebanja vode s poludnevniim (12.42, 12.00, 12.66 i 11.97 h) i dnevnim periodima (23.93, 25.82, 24.07 i 26.87 h) koji odgovaraju Mjesečevom danu, ali postoje i kolebanja sa znatno dužim periodima. Prosjek trajanja je 12 h 25 min, i kasne  $\approx 50$  min za najvišim položajem (kulminacijom) Mjeseca. Na pojediniim dijelovima Zemljine površine morske mijene se javljaju pretežno s poludnevniim periodima, na drugim s dnevnim periodima, no ima i mješanih slučajeva. Mogu se prognozirati.

Morske mijene nisu svugdje jednako izražene. Općenito su najmanje u središnjim dijelovima oceana, gdje kolebanja morske razine iznose oko 1/3 m, te rasiu približavanjem obalama mora, osobito u plitkim i zatvorenim morima, gdje kolebanja razine mogu doseći i premašiti 10 m (npr. obale Velike Britanije i Japana). Kolebanja morske razine na Sjevernom moru dosežu 6,5 m, u Engleskom kanalu u uvali St. Malo oko 11 m, u zaljevu Fundy na istočnoj obali Kanade čak 15 m. Na Jadranu su 0,3 do 0,8 m.

Djelovanjem Mjeseca i Sunca vodene mase se pokreću (prisilni valovi s pojavom plime i oseke) te se periodički dižu ili spuštaju. Kako je dizanje (spuštanje) vodene mase dosta veliko, javlja se njezino vodoravno premještanje. To su plimne struje (*tidal currents; Gezeitenströme*), čije su brzine na otvorenom moru oko  $0,1 \text{ m s}^{-1}$ , dok blže obala-

ma ponegdje mogu biti vrlo velike (Seymour Narrows, zapadna Kanada, do  $8 \text{ m s}^{-1}$ , Okreyski otoci, Škotska  $5\text{--}6 \text{ m s}^{-1}$ ). Ove struje obilježava i izrazita promjena smjera gibanja vode sukladno s periodima morskij doba. Promjena smjera plimne struje nastupa oko 3 h nakon postizanja visoke ili niske vode, tj. za vrijeme srednje vode. Kao posljedica naglih promjena strujanja vode javljaju se plimni valovi (*tidal wave; Gezeitenwellen*), koji su kratki, strmi i šiljati. Takav plimni val približavajući se obali, uspori zbog trenja s dnom i dobiva na visini (npr. u zaljevu Fundy u istočnoj Kanadi val ima visinu do 15 m). Poteškoće nastaju premsrtno zbog naglog naliaska vode. Kako su morske mijene dugi valovi s izrazitim gibanjima čestice vode po izduženoj elipsi, pri dolasku u plice vode javlja se povećano izdignuće morske razine. Obično je vrijeme rasta vode kraće, nego pada. Plimne bore su brzi rast plime na ušćima plitkih rijeka. Tako npr. na rijeci Pettoodiac, istočna Kanada, postoji porast vode oko 1 m za 10 s i nastavlja rast 2 m u sljedećih 20 min. Velike bore su u Kini kod Shanghaia i iznose do 8 m. Postoje uz Amazonu (do 800 km uzvodno), uz rijeke Trent i Severn u Engleskoj, Seine u Francuskoj, zatim rijeke u zaljevu Fundy u Kanadi, oko uvale Cook u Aljaski, itd. Učinaci plimnih valova općenito se povećavaju pojavom rezonancije  $\rightarrow$  seš.

Vjetrovni valovi koji idu ususret plimnom valu stvaraju tzv. rjp valove.

Na morima postoje tzv. dvorne točke ili amfidromijske točke u kojima nema amplitude (ni plime ni oseke), a faza vala se naglo mijenja. Na sjevernoj polutki plimni val obilazi takvu točku u ciklonskom smjeru (suprotno kazaljci na satu). U tim točkama postoje snažne struje morskij mijena. Antiamfidromijske točke imaju najveće amplitude, a faza se malo mijena.

Seš (šćiga, šćiga) (*seiches; Seiches*) je kolebanje morske razine, koje nastaje u zatvorenim morima, zaljevima, kanalima i jezerima pobudom iz atmosfere ili s otvorenog mora. Ponekad se javlja kao jaka struja. Vanjski impuls izbacuje vodu izvan hidrostatske ravnoteže, te se vraćanje u stanje ravnoteže uvjetuje njihanjem vode, stvaraju se valovi. Opasnost nastaje interferencijom s drugim valovima (npr. tsunamij). To je stoji gravitacijski val nastao rezonancijom. Period ovisi o dimenzijama "bazena", te stoji val nastaje kad je valna duljina jednaka dvjema duljinama bazena. Period vala u zatvorenom bazenu duljine l je:

$$T = 2l\sqrt{gH} \quad 36(9)$$

dok je u otvorenom bazenu:

$$T = 4l\sqrt{gH} \quad 36(10)$$

Tako za Kaštelanski zaljev period iznosi oko 1 h uz amplitudu 20 cm, dok je za Jadransko more period oko 24 h, podjednako kao i morskij mijena, te može nastupiti interferencija.

Rosbyjev val ili planetarni val je osciliranje čestica atmosfere i mora pretežno u smjeru sjever-jug, podržavano promjenama Coriolisove sile sa zemljopisnom širinom (točka 21.5.2.). Valni oblik giba se od istoka prema zapadu. No zbog međudjelovanja sa zonalnom strujom smjer gibanja može se obrnuti. Duljine Rosbyjevih valova u atmosferi su veće od onih u moru, a za periode je obrnut odnos. To znači da je valna duljina u atmosferi oko 10 000 km, a u oceanima oko 100 km. Period u atmosferi je oko tjedan

dana, dok je u oceanima oko mjesec dana. Uloga Rosbyjevih valova u oceanima je u prijenosu vodenih masa.

**Potresni ili seizmički valovi (tsunami; Seebebenwellen)** nastaju kao posljedica tektonskih poremećaja (potresa) obično podmorskih, erupcijama podmorskih vulkana i odronima tla ili padom glečera - ledenjaka u more. Česti su na Tihom oceanu u području Japana, otkuda počinje ime tsunami. To su dugi progresivni gravitacijski valovi koji se pojavom jakog impulsa ili više njih šire koncentrično na sve strane. Tada je cijela vodena masa u pokretu (od površine do dna), gdje broj valova ovisi o broju impulsa.

Visina potresnog vala ovisi o jačini impulsa, njegovoj udaljenosti, dubini mora, obliku obale i drugim elementima. Na brodu koji se nalazi u području impulsa (hipocentar) to se osjeća kao udar(š) odozdo, kao da je brod udario u neku podvodnu klisuru, pa su moguća i znatna oštećenja. Udar se ne očituje kao valjanje broda. Visina vala na otvorenom moru (izvan hipocentra) je 1 do 2 m, pa često prolaze ispod broda, a da ih se na brodu ne osjeti. Pri nailasku tsunamija na obalu kolebanje morske razine se znatno poveća (5-10 m) uz moguće katastrofalne posljedice. Naime, u plitkoj vodi val gubi brzinu, smanjuje se valna duljina, a dobiva na visini, čak do 30 m (obale Japana i Čilea). Neposredno prije nailaska vala more se ponekad znatno povuče i nastupa tišina. Takvo zatišje traje od nekoliko minuta do 2 h. Povrat vode je postupan ili češće silovit. Pojavom tsunamija kolebanje mora može potrajati i satima, čak do dan dva. Tada brod može ostati ili na suhom ili ga more nabaci na obalu. Stoga je za brodove povoljno otvoreno i duboko more.

Potresni valovi imaju velike valne duljine (do 200 km), koje su znatno veće od dubine mora, pa su to tipični dugi valovi. Period im je oko 10 do 30 min, ponekad do 1 h, dok brzina gibanja vala ovisi o dubini mora, izraz 36(3). Općenito, brzina tsunamija je velika 70 - 250 m s<sup>-1</sup> (250 do 900 km h<sup>-1</sup>). Za dubinu vode oko 5 km brzina valova je 0.2 km s<sup>-1</sup>, znači da su sportiji od seizmičkih valova, koji imaju brzine 5 do 10 km s<sup>-1</sup>, stoga seizmički valovi mogu poslužiti za upozorenje o nailasku tsunamija (postaje za upozorenja na tsunamiji: Honolulu, Havaji).

Erupcija vulkana Krakatau u Indoneziji (1883.) stvorila je u hipocentru val visine 200 m, tada su valovi uništili 1000 naselja, a poginulo je oko 36 000 ljudi, dok je valni poremećaj dva puta obišao cijelu Zemlju. 1896. u Japanu je tsunami uništio 13 000 kuća i poginulo je 270 000 ljudi. Potres na Aleutima (1946.) stvorio je tsunami brzine 870 km h<sup>-1</sup>, koji je nakon 4,6 h na Havajima stvorio val visine 10 m, nakon 18,1 h valovi su zahvatili Valparaiso (Čile) uz visinu 1 m. Godine 1960. u Čileu je nakon potresa zbog valova poginulo oko 1000 ljudi, a nakon 23 h na obalama Japana uz visinu vala 1 m, još 100 ljudi.

### 36.5. Zaledivanje

Zaledivanje (icing; Vereisung) je pojava leda na površinama plovila i lučkim prostorima, koji nastaje nakupljanjem prehladne vode i snijega ili prelijevanjem i smrzavanjem vode (temperature oko 0 °C) preko hladne podloge broda ili obale (negativne temperature). Osobito je bitno i opasno zaledivanje nastalo smrzavanjem površinske vode, odnosno stvaranje ledenjaka.

Zaledivanje nakupljanjem nastaje u vlažnom zraku padanjem prehladne kiše - vode koja udara na površinu plovila ili druge plovne prostore, te se na njima zaledi. Padanje i taloženje snijega, susnježice ili smrznute kiše na brodskim površinama, lukama, također dovodi do zaledivanja, stvara se polledica. Oborine ili oblaci (Cb, Ns) uz koje se javlja zaledivanje obično su u svezi s frontalnim sustavima ili nestabilnim zračnim masama. Meteorološki čimbenici zaledivanja su dani u točki 33.3.2. Opasno zaledivanje nakupljanjem, osobito za manje brodove, nastaje prelijevanjem vode nošene jakim vjetrov ili valovima preko broda. Tako tijekom plovidbe uz jaki vjeter pri negativnim temperaturama, vjeter diže vodu s kriješta valova (morski dim), nosi vodene kapi koje se zalede udarajući o brod. Valovi u visokim ili višim zemljopisnim širinama tijekom zime pri prelijevanju preko broda mogu dovesti do najjačeg zaledivanja broda, a ako je njihov nailazak više s boka broda javlja se neuračunljiva opasnost broda uz pripadne opasnosti. To se na otvorenom moru događa kod negativnih temperatura, obično do -10 °C.

Zaledivanje kao pojava nakupljanja leda na površinama plovila može biti opasna za posadu, no pogoršava i ugrožava plovna svojstva plovila. Ono se očituje na palubi, nadgrađu, jarbolima, antenama i drugdje, kad sloj leda otežava kretanje po brodu, vidljivost kroz vetrobransko staklo postaje loša, otežava se radio veza, zatim se kod manjih brodova obiluje porast težine broda, stabilnost se pogoršava, smanjuje se brzina, uređaji prekriveni ledom teško su dostupni, javljaju se mehanička oštećenja i drugo. Prema jačini zaledivanja se dijeli na slabo, umjeren i jako; može trajati i nekoliko sati, ponekad i 24 h, a u hladnim morima uz jaki vjeter i niske temperature i više dana. Zaledivanje plovila može nastupiti u plovidbi ili na vezu - sidru.

U visokim i višim zemljopisnim širinama postoji led u moru, koji osobito tijekom zime i proljeća otežava plovidbu ili je potpuno onemogućuje. Taj led nastaje na dva načina, bilo na kopnu pa dospjeva u more - kopneni led (najviše) ili se more izravno smrzava - morski led.

Morski led (sea ice; Seeis) nastaje smrzavanjem morske vode, koje ovisi o temperaturi, slanosti i stanju mora (miješanje vode). Za razliku od slatke vode morska voda se zbog slanosti (saliniteta 25 do 35‰) najčešće smrzava između -1,7 i -2,0 °C, što ovisi o njezinoj slanosti i stanju mora (miješanje), tablica 36.6. Veća slanost znači nižu temperaturu smrzavanja. Tako se vode Baltičkog mora slanosti 5‰ smrzavaju kod -0,3 °C, otvorenog oceana slanosti 35‰ kod -1,9 °C, dok je gustoća leda oko 917 kg m<sup>-3</sup>, tablica 36.6. Postoje i prazovi smrzavanja morske vode kao posljedica količina i vrsta soli otopljenih u vodi. Pojedine soli snižavaju temperaturu smrzavanja vode, tako natrijev sulfat djeluje do -8,2 °C, natrijev klorid do -23 °C, a ostale soli do -55 °C. Pri smrzavanju morske vode unutar leda preostaju dijelovi vode druge slanosti.

Tablica 36.6. Ovisnost temperature smrzavanja i najveće gustoće vode o slanosti

Slanost (‰)	0	10	20	30	35
Ledšte (°C)	0,0	-0,5	-1,1	-1,6	-1,9
Najveća gustoća pri (°C)	4,0	1,9	-0,3	-2,5	-3,6

Smrzavanje morske vode počinje od površine. Prvi znak smrzavanja vode je njezin uljasti ili nepravilni izgled zbog stvaranja tankih ledenih pločica veličine oko 8 mm, čiji

168

broj sve više raste, tako se more prekriva s ledenom kašom, čija debljina raste i postupno prelazi u ledeni kolaj. Daljnjim hlađenjem more se prekriva ledom - mladi led (*young ice*; *junge Eis*), dok proces smrzavanja smiruje more. Premda je morska voda slana, led nastao njezinim smrzavanjem nije ili je malo slan, osobito ako je smrzavanja bilo polaganog i pri razmjerno višim temperaturama. Pri smrzavanju morske vode nastale ledene pločice ne sadrže soli, tek nadalje meža kristala tvori džepove u kojima je zarobljena voda. Brzo stvarajući led između kristala sadrži više soli nego led sporog rasta. Tek naglim smrzavanjem uz niske temperature led je slan, ali stari led postaje neslan (sol propada kroz led).

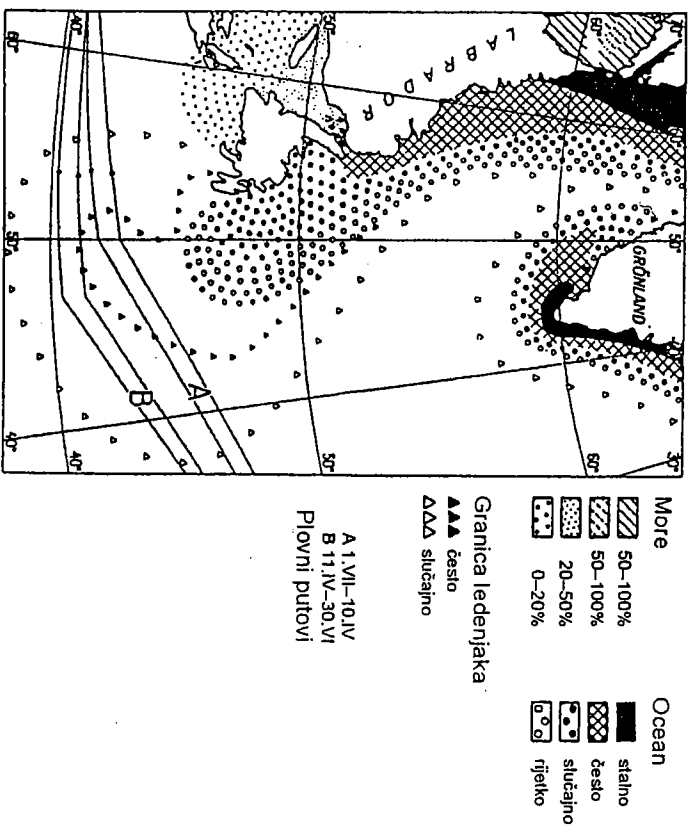
Morski led nastaje većinom u plitkacima, gdje se voda može prije ohladiti, a miješana voda s dubinskom razmjerno toplijom vodom su slabija. U razmjerno mirnom moru plastičan je i žilav. Prilikom smrzavanja tijekom prva 24 h morski led može imati debljinu 7 do 10 cm, dok u sljedeća 24 h dobiva još 5 do 8 cm, jer je led slabi voditi topline. Daljnji porast debljine leda još je manji, no kroz cijelu zimu led dosegne debljinu 120 do 150 cm. Tako nastala prvotna površina leda je obično ispod morske razine, valovi razbijaju takav led i na njegova nabacuju vodu koja se smrzava te nastaju deblji komadi leda - plovac (*pack-ice*; *Packets*), koji se gibaju nošeni morskim strujama i vjetrom. Osim plutajućeg leda postoji i obalni led (*fast-ice*; *Küsteneis*) koji je povezan s obalom ili glečerom. Tijekom zime debljina nastalog leda dosegne u prosjeku 2 do 5 m, uzastopnim otapanjem i smrzavanjem snježne vode, te djelovanjem tlaka nastaje led znatno većih debljina.

Gustoća leda je manja od gustoća vode, specifična težina je oko 890 kg m<sup>-3</sup>. Oko 11% leda viri iznad vode, no zračni mjehurici koji u ledu zauzimaju 1 do 10% objujna vodnog dijela leda 1:7-8, pa čak i 1:4.

Kopneni led (*Bergy water*; *Landeis*), kao što i samo ime kaže, nastaje na kopnu te nakon izvjesnog kraćeg ili dužeg vremena dolazi u more. Nastaje ili kao posljedica smrzavanja riječne (slatke) vode ili dugotrajnim taloženjem snijega ili leda na kopnu. Za razliku od morskog leda gustoća kopnenog leda je veća, jer općenito ne sadrži zračne mjehuriće, specifična težina je oko 920 kg m<sup>-3</sup>. Riječni led (*river ice*; *Flußeis*) se nalazi samo u Arktičkom području. Rijeke sjeverno azijskog i američkog, te nešto europskog kontinenta smrzavaju se tijekom zime, kad proces smrzavanja počinje od ušća rijeka, te se proširuje prema izvoru, dok odmrzavanje leda počinje od izvora. Tako nastali led rijeke nose u more gdje se gomila ili ga raznose morske struje. Plutajući led na rijekama može izazvati začepjenja toka rijeke, te osim ugrožavanja plovidbe (okovanost ledom, udar i oštećenja brodova, mostova) može dovesti da poplave.

Dugotrajnim taloženjem zbog povećanog tlaka snijeg postupno prelazi u čvrstu ledenu masu - glečeri (*glacier*; *Gletscher*), koja lagano klizi prema obalama mora. Glečeri klizu do 30 m dan<sup>-1</sup>, kidaju se u moru te nastaju ledenjaci (*iceberg*; *Eisberg*) i sante (*growler*; *Treibeis*). Padanjem sa strmih obala tvore valove visine do nekoliko desetaka metara. Ledenjaci su nepravilnih oblika, izranjaju do i preko 130 m, dugi su nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara (uvjetuju i promjene morske razine zbog smrzavanja vode odnosno otapanja leda). Ovi ledenjaci i sante nastaju najviše u dolina-

ma Grönlanda i Aljaske. Tako zaljev Disko (zapadni Grönland) godišnje daje oko 5400 ledenjaka i santi (nepravilnih su oblika i plavkaste boje), dok hladna Labradoriska struja nosi godišnje oko 7500 ledenjaka. Djelovanjem morskih struja, jer se veći dio leda nalazi pod vodom, te vjetrova, ovakovi izuzetno golemi komadi leda - ledenjaci i sante mogu doprijeti do umjerenih zemljopisnih širina i ugrožavati pomorski promet. Ponekad ledenjaci nošeni hladnom Labradorskom strujom u području New Foundlanda dopiru do 38° N. Sezona pojave ledenjaka je od siječnja do lipnja. Stoga se organizira praćenje ovakvih ledenih gromada i upozoravanje brodova na opasnost. To je služba *Ice Patrol Service*. Zbog izbjegavanja ledenjaka brodovi se koriste i odgovarajućih plovnih rutama, koje su u plovidbi između Britanskog otčja i New Yorka od srpnja do travnja. (1.7.-10.4.) sjevernije, jer su kraće, dok su od travnja do lipnja (11.4.-30.6.) južnije, čiji pomak iznosi oko 5° zemljopisne širine, slika 36.7.



Slika 36.7. Granica leda u sjeverozapadnom Atlantiku (proljeće) (Dietrich, 1978)

Iznad Antarktičkog kopna postoji led debelo do i preko 2000 m (glečeri), koji se tijekom ljeta ne otapa, no pomalo klizi prema obali mora (ledena fronta). Na obali led se lomi tvoreći veliko ledeno polje (ledene barijere). Taj ledeni prsten oko Antarktika širok je oko 320 km (kad bi bio ravnomjerno raspoređen po cijelom kopnu bio bi visok 1/3 m). Kao posljedica klizanja leda i njegovog loma nastaju ledeni otoci - ploče (*ice island*;



*Esirneš*) uz približno vodoravnu površinu leda. Veličina im je oko 1000 m, ali su i bimo veći, čak do 180 km (32 000 km<sup>2</sup>). Dosežu u visinu do 40 m, a u dubinu do 250 m. Led je porozan i bijeli.

Postoji mnogo vrsta leda, ovisno o njegovom nastanku i trajanju, zatim oblicima, vodoravnim dimenzijama, debljini i drugim svojstvima. Dio je prikazan u prilogu 18.

Uz polove postoji vječni led, koji se ni tijekom ljeta ne otapa. Za razliku od Antarktika, led na Arktiku se tijekom ljeta djelomično otapa, te je more oko ledenih gromada manje stanositi. U ljetnim mjesecima granica leda se povlači prema višim zemljopisnim širinama, dok se zimi širi prema nižim širinama. Koliko će se zaledjivanje mora proširiti prema nižim širinama ovisi o morskim strujama, tople struje će granicu leda potisnuti daleko prema jugu, za razliku od hladnih struja koje omogućavaju širenje ledenog pokrova, ledenjaka i santi čak do unjerenih širina. Kako hladne morske struje teku uz zapadne dijelove oceana, to će granica leda u tim područjima biti na nižim širinama, suprotno je uz istočne dijelove oceana, slika 36.1. Granica leda uz zapadne obale sjevernog Atlanti-ka je do 40° N, dok je uz istočne obale oko 75° N (Norveška). Na Tihom oceanu granica leda je do 42° N (Južnije od Kamatke), dok je uz obale Aljaskе oko 55° N. Na Antarktiku granica krajnjeg leda koleba između 53 i 57° S. Jadransko more se ne smrzava, osim kad pojedinih godina, prilikom prodora vrlo hladnog zraka uz vrlo jaku buru dolazi do rubnog zaledjivanja mora i dijelova obale, osobito u Senju.

Deblji ledeni pokrov dolaskom toplijih dana slabi te pod utjecajem raznih čimbenika (morske mjerne, valovi, tlakne sile) dolazi do njegovog lomljenja i gibanja, tj. plutanja morem, te nastaju ledene sante, koje se sudaraju i gomilaju u raznim oblicima. Razni ledeni grebeni narastu i do 15 m, no u dubljoj vodi su niži. Morske struje i vjeter utječu na gibanja leda. Djelovanjem vjetera pojedinačne ledene gromade gibaju se desno od smjera puhanja vjetera (N polutka). U odnosu na obalu, vjeter nagomilava ili odmiče led, tvoreći otvoreni vodu. Tada i temperatura zraka u vjetru ima važnu ulogu. Naravno, da tlakne i druge sile u njenim mjesecima uvjetuju i razdvajanje ledenih ploča tvoreći manje ili veće pukotine.

**Utjecaj leda na plovidbu.** Led smanjuje brzinu ili nameće promjenu smjera plovidbe brodova. Tanji ledeni pokrov ili komade takvog pokrova brod može lomiti i razmcati. Ponekad vremenski uvjeti, npr. snježne oluje, dovode do naglog i potpunog smrzavanja mora, osobito kad u moru pluta velika količina raznog nagonitog leda, pa u konvoju brodova osim čelnog treba biti i još koji ledolamac. Kako ledeni pokrov može biti debeo i više metara ni ledolomci ga ne mogu uvijek lomiti kako bi omogućili promet. Općenito, zaledjivanje broda se može izbjegavati ili ublažavati. Vjerojatnost zaledjivanja u određenim vremenskim uvjetima može se procijeniti prije isplavlivanja broda ili tijekom plovidbe, te treba promijeniti kurs broda primjenom klimatoloških i prognostičkih meteoroloških karata i drugih meteoroloških podataka. Ovisno o smjeru i brzini plovidbe broda te tipu i količini leda bitan je njegov utjecaj na plovidbu prvenstveno s gledišta sigurnosti, zatim na trajanje plovidbe i potrošnju goriva pa se na to mora obratiti pažnja.

## Dopunska literatura

Vidi literaturu uz točku 37.

## 37. METEOROLOŠKO OSIGURANJE PLOVIDBE

Postoji određeni broj meteoroloških pojava koje izravno ograničavaju i ugrožavaju odvijanje pomorskog (riječnog) prometa pa zato zaslužuju pozornost da se posebno obrade. To su: olujni procesi te s njima povezane fronte, niski oblaci i jake oborine, izuzetno su blini tropski cikloni i razni valovi, zatim vrlo loša vidljivost i led u moru. Ove pojave uglavnom su već obrađene, te preostaje prikaz prikupljanja podataka o njima i dostavljanje odgovarajućih obavijesti i upozorenja nadležnim službama (meteorološkim i pomorskim), odnosno izravnim korisnicima (pomorci, lučke kapetanije, djelatno osoblje u lukama i drugi). Za učinkovito odvijanje ovih poslova potrebno je i odgovarajuće ustrojstvo pomorske meteorološke službe.

### 37.1. Ustrojstvo pomorske meteorološke službe

Davno, već u starom vijeku uočio se značaj vremena za uspješnu i sigurnu plovidbu. No, za svoj razvoj meteorologija mora zahvaliti i pomorstvu, osobito tijekom velikih zemljopisnih otkrića pred više stoljeća, kad su spoznate brojne vremenske raznolikosti širom mnogih mora i oceana.

Svjetska meteorološka organizacija (engleski: *World Meteorological Organization* - WMO; njemacki: *Weltorganisation für Meteorologie*) i Međunarodna pomorska organizacija (*International Maritime Organization* - IMO; *Internationale Schifffahrtsorganisation*), pod okriljem Ujedinjenih naroda, prema Međunarodnoj konvenciji o spašavanju života na moru (*International Convention for the Safety of Life at Sea - SOLAS Convention*; *Konvention zum Schutze des menschlichen Lebens auf See beiger-terer*) postavili su i razradili (1929, 1963, 1974) standarde i preporuke za rad ove grane meteorologije te ih sakupili u više dokumenata. Od tada pa do danas izdano je više raznih dopuna koji su slijedili razvoj meteorologije i pomorstva. Od članica WMO se traži da zadovolje zahtjeve postavljene u WMO dokumentu Tehnička pravila (*Technical Regulations*), što prije svega znači uspostavljanje i održavanje odgovarajućeg tipa i ustrojstva motrilejskih postaja na kopnu i moru, pomorske meteorološke službe, raznih sustava veza, školovanja osoblja, primjene istraživanja i razvoja tehnike i tehnologije.

WMO i IMO djeluju u okviru sustava svjetskoga meteorološkog bdjenja - WWV (točka 29.), tj. sa svjetskim sustavom motrenja - COS, obrade podataka - GDPS i veza - GTS, te svjetskim klimatskim programom - WCP, te su prihvatili sustav meteoroloških upozorenja, obavijješćivanja i prognoza dan kroz svjetska, područna i državna središta.

Zadatak pomorske meteorološke službe (*Marine Meteorology Service* - MMS; *Seewetteramt*) je pribavljanje potrebnih klimatoloških podataka, analiza, prognoza i upozorenja za atmosferu i oceane. Oceani i mora podijeljeni su na područja u nadležnosti odgovarajućih MMS (područja - zone nadležnosti) koje određuje Komisija za pomorsku meteorologiju (*Commission for Marine Meteorology*) uvažavajući:

- međunarodnu plovidbu, ribarstvo te ostale pomorske djelatnosti za otvoreno more

168

b) razne djelatnosti za obalna i priobalna djelovanja te samu obalu.

Pomorska meteorološka služba svoje poslove i zadatke prikazuje u obliku biltena i upozorenja (meteorološke obavijesti) i iskazuje na više načina:

za otvoreno more (*services for the high seas*). Služba je namijenjena za velike i posebno za male brodove. Ie za ribolov na otvorenom moru. Tome se pridjeljuje služba opažanja leda.

za obalna i priobalna djelovanja (*services for coastal and off-shore areas*). Zadaća su slični kao i za otvoreno more, uz pridodavanje biltena za obalu; za mjesne prilike: valovi, zagađenja, rekreacija; posebne službe: platforme (helikopteri, brodovi za opskrbu), dinamički pokretana plovila (hidrokriha i lebdjelice) i posebni prijevoz.

za glavne luke i lučka područja (*services for main ports and harbour areas*). Velikina luke određuje stupanj službe. Uz prije spomenute djelatnosti, te posebno ti, služba može davati pomorske meteorološke vijesti, prikaz obavijesti za korisnike i javnost, te usmeno izlaganje za pomorce i ostale korisnike.

dobrovoljno meteorološko izvješćavanje s brodova (*Voluntary Observing Ships' Scheme - VOSS*) iz 1853. godine je dopunski dio meteorološke službe značajan za područja gdje nema meteoroloških postaja. Odabrani brodovi, s odgovarajućim instrumentarijem, šalju meteorološke podatke kao dopunu općih motrenja.

za službu traženja i spašavanja (*Search and Rescue, Suche und Rettung*). Meteorološke obavijesti su vrlo važne pri traženju i spašavanju brodova (i zrakoplova) u nevolji; obično su potrage preko Spasičkog koordinacijskog središta (Rescue Coordination Centre - RCC), na temelju Međunarodne nagodbe o traženju i spašavanju na moru (International Convention on Maritime Search and Rescue - IMCISAR) iz 1979. godine.

Meteorološku službu za pomorstvo organizira državna meteorološka središnjica (National Meteorological Centre - NMC; meteorologisches Nationalzentrum). U nas je to Državni hidrometeorološki zavod koji djeluje preko Pomorskog meteorološkog centra u Splitu i meteorološkog ureda u Rijeci, te meteoroloških postaja.

Meteorološku službu za unutarnju plovidbu (rijeke) organizira državna meteorološka služba, rabeći uz meteorološke i hidrološke podatke s hidroloških postaja. Tako se uz meteorološke obavijesti daju se podaci o vodostajima rijeka te najava visokih voda na temelju prognoze kiše ili topljenja snijega, najave niskih vodostaja za plovidbu i slika izravnu koordinaciju s brodovima održavaju odgovarajuće službe (1 lučke kapetani-je) odnosno lučki meteorolog (*port meteorological officer - PMO*).

Državna meteorološka središnjica prima meteorološke podatke (putem satelita, računalne mreže, dalekopisača, faksimila) te prati i prognozira meteorološke uvjete značajne za pomorstvo (unutarnju plovidbu), ako je potrebno daje posebna upozorenja o opasnim meteorološkim pojavama nad širim područjem za koje je zadužena, priprema analize i prognoze prizemnih i visinskih meteoroloških karata za svoje područje te ih prosjeđuje drugim meteorološkim službama ili uredima, kao i druge meteorološke podatke, putem računalne mreže, faksimil emisija i drugim oblicima veza.

Pomorska meteorološka služba (ured), odnosno lučki meteorološki službenik, tijesno suradnju s drugim meteorološkim jedinicama i službama, te daju potrebne obavij-

jesti, usmena tumačenja i savjete časniciima brodova i drugom djelatnom osoblju u luci, za potrebe nautičkog turizma te drugim zainteresiranim stranama. Služba (ured) raspolaže s analitičkim i prognostičkim kartama, izvješćima, prognozama, slikama meteoroloških satelita i radara, stoga priprema meteorološku dokumentaciju za plovidbu. Također, daje upozorenje o meteorološkim i/ili oceanološkim pojavama u području svoje nadležnosti, koje su opasne kako za plovidbu, sidrenja i vezivanja brodova tako i za ostale lučke djelatnosti, objekte i opremu.

Meteorološka postaja je osnovna jedinica meteorološke službe. Neke od njih obzirom na svoj smještaj (na kopnu, brodu, platformi i slično) more (mjere i opažanja) meteorološke (oceanološke) parametre bitne za plovidbu. Smještaj meteorološke postaje i njegovog instrumentarija mora omogućiti dobar pregled i kontrolu svih meteoroloških (oceanoloških) parametara. Nakon osnovne obrade, postaja prosjeđuje meteorološke podatke odgovarajućim službama (meteorološkoj službi, lučkoj kapetaniji) i drugim korisnicima u lukama.

Na oceanima su uspostavljene meteorološke postaje na oceanским meteorološkim brodovima (*ocean weather ship: Watterschiffstation*), na Atlantskom oceanu to su meteorološki brodovi označeni s A, B, C, D, E, I, J, K, L i M, na Tihom oceanu su N, P, V i T, koji se plutaju na istom položaju s kojih se motri vrijeme kroz cijeli dan i godinu. No, kako je cijena i održavanje takvih brodova dosta visoka, nastoji ih se zamijeniti s mjenjenjima sa satelita, koji daju novi pristup meteoroloških mjerenjima. Sada su na sjevernom Atlantiku u radu brodovi C, L i M.

**37.2. Meteorološki bilteni - upozorenja, izvještaji, prognoze i karte za pomorstvo**

Temelji meteoroloških djelatnosti su meteorološka motrenja. Stvarni meteorološki uvjeti koji su potrebni pomorstvu more se pojedinačno na moru i kopnu (uključena i automatska mjerenja), te na širem području mjerenjima meteorološkim radarom i satelitim (točke 29. i 30.). To sve čini temeljne meteorološke podatke (*Basic meteorological data*), koji sadrže prizemna i visinska motrenja, radarska i satelitska mjerenja, razna opažanja s brodova, iz zrakoplova te drugo.

Izmjereni i opaženi podaci čine elemente meteoroloških izvješća koji imaju određen oblik i namjenu što su ih propisali WMO i IMO. Svaki izvještaj, upozorenje, također i prognoza ili karta, meteoroloških i oceanoloških elemenata ili pojava obvezno sadrži oznaku tipa ili vrste, mjesto sazastavljanja (zemljopisne koordinate, luka), datum i vrijeme sastavljanja (iskazano u svjetskom vremenu - UTC ili mjesnom vremenu). Osnovno meteorološko izvješće je pomorsko meteorološko izvješće - bilten (*weather bulletin; Wetterbericht*), koji daje uvid u mogućnosti i uvjete plovidbe, prvenstveno s gledišta sigurnosti, a sadrži čimbenike učinkovitosti, tj. ekonomičnosti plovidbe uz ekološke elemente.

Meteoroloških (oceanoloških) izvješća ima više vrsta i sadrže razne podatke: to su redovni izvještaji (SYNOP - za kopno, SHIP - za more, točka 28.2.1.), za prijam i crtanje karata (IAC FLEET FM 46 - barički sustavi, fronte, izobare, opća vremenska stanja, tropski barički sustavi, valovi i temperature mora), za prognoze (MAFOR FM 61 - vje-

tar, vrijeme, vidljivost, stanje mora, temperatura zraka, valovi). Osnovna vremenska stanja su: smjer i brzina prizemnog vjetra te njegove promjene, vidljivost, naoblaka, vrste oblaka i njihove podnice, sadašnje i prošlo vrijeme, temperatura zraka i rosište, ekstremne temperature, temperatura pri tlu i stanje tla, atmosferski tlak i njegove promjene, oborine, sijanje Sunca i drugo. Ovome se na moru uz smjer i brzinu broda dodaje: temperatura mora, period, visina i smjer gibanja valova, zatim koncentracija, protezanje, debljina i brzina nakupljanja leda, te njegovo stanje i razvoj, morske struje i drugo. Postoje i vrlo važna izvješća (i prognoze), tj. upozorenja o značajnim i opasnim meteorološkim elementima i pojavama (oluje, jaki vjeter, zaledivanje i drugo), koja vrijede za neko područje. Ako pojedini meteorološki elementi ili pojave poprimne kritične vrijednosti, pristanište se može zatvoriti radi nedovoljne sigurnosti odvijanja pomorskog prometa.

Pomorsko meteorološko izvješće - bilten može biti za:

- otvoreno more (nadležnost odgovarajuće meteorološke službe)
  - priobalna područja (nadležnost odgovarajuće meteorološke službe)
  - potrebe pomorskih službi
  - otvoreno more (nije u nadležnosti odgovarajuće meteorološke službe).
- Oblik i sadržaj biltena je sljedeći:
1. Upozorenja o olujama (položaj, jačina, gibanje i razvoj oluje s podacima za: vjeter, opće vrijeme i valove); prestanak oluje mora se naznačiti
  2. Osnovni opis prizemne vremenske karte, te značajna svojstva odgovarajućih vjetera na pomorskoj površini (položaj, smjer i brzina gibanja baričkih sustava i tropskih poremećaja, navodi se središnja vrijednost tlaka i/ili jačina i njegove promjene, važne fronte, središta visokog tlaka, doline i grebeni, podaci o valovima, ledu, strujama i drugom)
  3. Prognoze (vjeter, vidljivost, vrijeme, zaledivanje, valovi).
- Tome se dodaje neposredno ili odvojeno:
4. Analiza i/ili prognoza u IAC FLEET ključu
  5. Odabrani izvješćaji s morskih postaja
  6. Odabrani izvješćaji s kopnenih postaja.

Bilten za otvoreno more, priobalna područja ili luke ovisno o potrebama uključuje razne podatke: smjer, brzinu i udare vjetera (mjesečno ime: maestral, bura, jugo i slika; ekstremnu brzinu vjetera za tropski ciklon), smjer, visinu i razdoblje valova (plimne valove uzrokovane tropskim ciklonom ili jakim ciklonama unjernih širina, posebno izražene sešće, razbijanje valova, valove u luci, na ruti i posebno u kanalima za brodove velikog gaza, velike plime i oseke), vidljivost (magla), oborine, oblake, temperaturu zraka i mora, vlagu, morske mijene i struje, anomalije razine vode zbog uoka rijeke, potresne i olujne valove, gustocu vode, led na moru i zaledivanje na konstrukciji, sijanje sunca i drugo.

Upozorenje (*Warning; Warning*) se daje izvan redovitih termina obuhvaćenih biltenom, a sadrži obavijesti o pojavi značajnih i opasnih meteoroloških i oceanoloških elemenata i pojava. To su oluje (za tropske ciklone i označavanje opasnih područja), jaki vjetrovi, veliki valovi (u ovisnosti o vjetru, udaljenosti od obale, dubini vode, struji, plimnim valovima, morskim mijenama), magla, ledeni pokrivač i zaledivanje (talozanje leda daje se za vjeter 22-27 kt, morski dim, temperaturu vode < 2 °C, temperaturu zraka

< 0 °C, prehladnu vodu), potresni valovi. Ovome se dodaje: tip i stanje poremećaja, položaj, smjer i brzina gibanja, te ostalo po potrebi. Upozorenje uz izvješćajni dio sadrži i prognostički dio, a također i upozorenja drugih disciplina i njihova međuvisnosti.

Meteorološka prognoza je sastavni dio meteorološkog biltena - izvješća odnosno upozorenja. Prognoze pripremaju zadružene meteorološke službe, služeći se i meteorološkim podacima koji nisu izravno pripremani za pomorstvo, a potrebni su. Prognoziraju se meteorološki (oceanološki) uvjeti nad određenim širim područjem ili na pojedinim ruta-ma plovidbe. U priobalnom i lučkom području uz upozorenja traže se i prognoze za 6 i 12 h.

Analize i/ili prognoze u IAC FLEET ključu (FM 46) su za prizemne karte, koje prikazuju baričke sustave, fronte, izobare, pojedina opća vremenska stanja, tropski barički sustav, visine valova, temperatura mora. Takvo vremensko obavješćivanje na brodovima pomalo gubi na važnosti uvedenjem faksimil-emisija i prijemom podataka i slike sa satelita.

Odabrani izvješćaji s morskih i/ili kopnenih postaja daju detaljnije obavijesti o vremenu za mala područja za opće vrijeme, vjeter, valove, maglu i drugo.

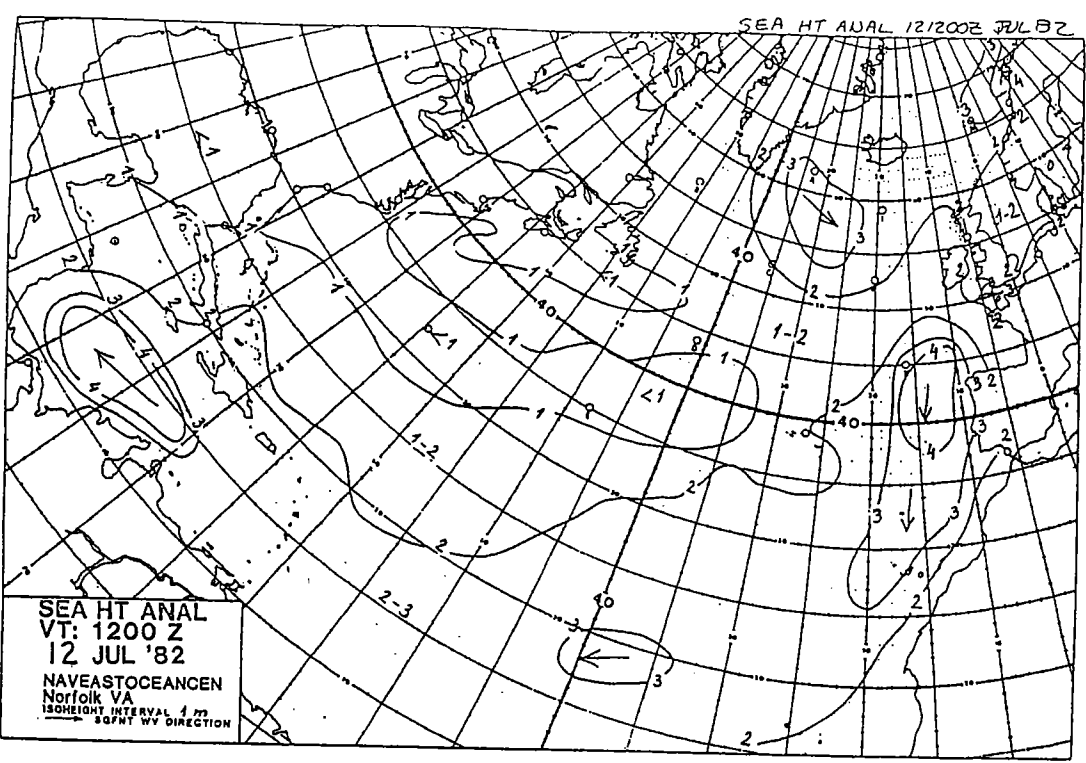
Meteorološke karte za pomorstvo su najčešće klasične meteorološke karte, dopunjene s kartama važnim za pomorstvo, kao karte valova, morskih struja, morskog leda i ledenjaka, temperatura i slanosti mora te drugo, slika 37.1. U potrebi su uglavnom tri vrste karata. To su analitičke i prognostičke prizemne i visinske (najčešće 500 hPa) meteorološke karte te u novije vrijeme karte značajnog vremena (*Significant Weather Chart - SWC*), preuzete iz zrakoplovstva.

Dodatne karte i obavijesti su slike i podaci meteoroloških (navigacijskih) radara odnosno satelitske slike, tj. sustav unjernih satelita za potrebe plovidbe - INMARSAT (*International Maritime Satellite Organization*).

Pomorsko meteorološka izvješća - upozorenja, izvješćaje o vremenu i moru, te razne druge obavijesti daju se na engleskom i/ili nacionalnom jeziku u otvorenom obliku uobičajenom meteorološko-pomorskom terminologijom, ili u šifri raznim telekomunikacijskim sredstvima te javnim sredstvima (uključujući radio, televiziju i druge oblike) najmanje dvaput dnevno. Za tropski ciklon postoji dodatna terminologija (tip upozorenja, pripadni vjeter, položaj, smjer i brzina gibanja, područje, valovi). Premda se izvješća daju prema programu određenom međunarodnim područnim sporazumom, sadržaj im je dan i nacionalnim potrebama. Izvješćaji se šalju brodovima na moru radioemisijama (Morseovom telegrafijom, radiotelefonijom, radioteleprinterom, radiofaksimilnim i govornim radioemisijama, te emisijama preko satelita). Obavijesti se mogu dobiti i temeljem zahtjeva koji se s broda upućuje radioputem nadležnoj meteorološkoj službi, obalnoj radio postaji (*coastal radio station; Küstenfunkstelle*) ili operativnom središtu svoje kompanije. U određenim uvjetima može se uspostaviti koordinacija sa sustavom navigacijskih upozorenja - NAVAREA upozorenja (upozorenja dobivaju prefiks MTS Warning). To je za vjeter brzine 48-55 kt ( $\geq 10$  BF), visine valova  $\geq 8$  m, vidljivost  $\leq 2$  km, jako zaledivanje, tropski ciklon sa smjerom i brzinom gibanja). NAVAREA čini svjetski sustav radio obavješćivanja za pomorce putem radionavigacijskih oglasa, u kojemu su mora i oceani podijeljeni u 16 područja, a za koje je odgovoran određeni koordinatni, jedna od obalnih država, dok METAREA čini područje meteoroloških radioizvješća za brodove određenih obalnih država. Obavijesti preko navigacijskog sustava NAVTEX također su vrlo korisne. Postoje još i vizualni signali za upozorenja na

169

oluje: to je najstariji način prijenosa obavijesti, ali gubi svoju važnost. Općenito su pomorska meteorološka izvješća, prognoze i karte podložna izmjenama i dopunama. Stoga su ovdje prikazane samo njihove osnovne značajke, detalji se moraju potražiti u odgovarajućim periodičnim izdanjima WMO ili IMO.



Slika 37.1. Karta valova (analiza)

Primer pomorskog meteorološkog izvješća - biltena dan je u tablici 37.1.

Tablica 37.1. Pomorsko meteorološko izvješće

Izvješće Pomorskog meteorološkog centra, Split, dan 18.12.1997. u 13 sati

**Upozorenje:**

Na otvorenom moru udari juga 35-45 čvorova.

**Stanje:**

Dolina duboke atlantske ciklone širi se prema srednjem Sredozemlju i Jadranu.

Vremenska prognoza za Jadran za prvih 12 sati:

Istočnjak i jugo 8-18, na otvorenom moru srednjeg i južnog Jadrana do 28 čvorova. More 2-3, na otvorenom 3-4. Vidljivost 10-20 km. Oblačno s mjestimičnom slabom kišom.

**Vremenska prognoza za daljnjih 12 sati:**

Umjereno do jako jugo. More umjereno valovito. Kiša.

**Vrijeme na Jadranu u 05.00 sati:**

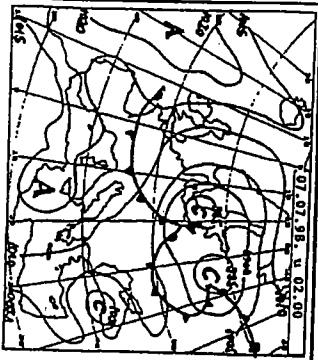
Postaja	Vjetar		More	Temperatura	Vrijeme	Tlak
	Smjer	Brzina				
Rovinj	SE	4	2	20	oblačno	1023
Mali Lošinj	SE	10	2	15	oblačno	1024
Zadar	-	-	-	-	-	-
Split	NE	10	1	20	vedro	1026
Palagruža	SE	18	3	10	oblačno	1024
Dubrovnik	N	4	2	20	¾ oblačno	1025

Članovi posade broda moraju poznavati vremensko stanje preko tumačenja meteorološke dokumentacije (meteorološki bilten), a po potrebi mogu zatražiti daljnja objašnjenja i savjete od stručnog osoblja u meteorološkoj službi. Ako lijepo vrijeme na širokom području traje dulje razdoblje meteorološki timbenici ne ograničavaju plovidbu. Ako vremenske prilike (pojedini meteorološki minimumi) ne dopuštaju sigurnu plovidbu, ista se ne smije započeti odnosno mora se prekinuti i valja zatražiti odgovarajuću zaštitu u lukama, uvalama i drugim zaklonima, ili se plovidba mora obavljati po pravilima za takve vremenske prilike. Brodovi na vezu ili sidru ponekad za vrlo lošeg vremena moraju isploviti i potražiti odgovarajuću zaštitu u drugim lukama, uvalama i zaklonima, ili kao u slučaju ciklona bolje im je biti na otvorenom moru.

U nas rad PMCG, uz organizaciju motrenja, obuhvaća osiguranje i drugih pomorskih djelatnosti. Sustavom veza primaju se podaci iz Europe, uključujući Sredozemlje i Sjeverni Atlantik, te dijelova Sjeverne Amerike, Azije i Afrike. Nadlje, primaju se prognostički podaci i karte iz Euroskog centra za srednjoročne prognoze vremena (ECMWF), njemačke (Offenbach), francuske (Toulous - ALADIN/LACE) meteorološke službe, satelitske slike i drugo. To je podloga za izradu redovitog biltena za brodove i luke, za Jadran i Sredozemlje, koji se objavljuje i u glavnim emisijama Hrvatskog radija. Priljezno vremenskog izvješća za Jadran dan je na slici 37.2. Po potrebi daju se savjeti, obavijesti za marine i brodogradilišta, za rukovanje teretom, istraživanje mora, podmorja

i morskog dna, za solane itd. PMS treba pratiti opći razvoj i nabavljati odgovarajuću tehničku opremu (mjernu, veze), obrazovati zaposlenike i korisnike te obavljati istraživanja.

REPUBLIKA HRVATSKA  
POMORSKI METEOROLOŠKI CENTAR - SPLIT  
Za: Meteorološko kvizište 07 srpanj 1998 u 06:00



OPĆA VREMENSKA SITUACIJA: Jadrana tla zraka slabi uslijed približavanja doline s oslabljenim frontalnim susretom s zapada.

VRJEME NA JADRANU U 05 SATI: Prešlo je vedro, mjestimice umjerena nadihlata. Slabo, na otvorenom moru srednjeg Jadrana umjereno južno. Vidljivost 20 km.

PROGNOZA VREMENA ZA JADRAN ZA 24 SATI: Vjeter s 1 SE 4-10 čv, na otvorenom moru srednjeg i južnog Jadrana 6-16 čv u popljetnju do kraja dana. More 1-2, na otvorenom 2-3. Vidljivost 10-20 km. Na sjevernom Jadrano morobolniji, a tijekom noći nevarni uz osvjetljenje.

RAZNOJ VREMENA ZA JADRAN DO 10.07.98.: Promjenljivo do prekižno oblačno. Mjestimice su još mogući kratkotrajni pljuskovi na južnom Jadrano. Na sjevernom i srednjem Jadrano postupno razvedranje, uz obilni otkuplje se smrtvanje vremena i porast dnevne temperature zraka.

Mjesto	Vrijeme	Vjeter čv	Širina mora	Vidljivost km	Tlak zraka hPa	Temperatura zraka °C	Temperatura mora °C	Obilje	Opis
ROVINJ	1/4 obl.	SE 4	2	20	1006	23			IZLAZ SIVKA
BUJICA									SEKT
ŠAB									ZALAZ SIVKA
SENJ	3/4 obl.	brno	1	30	1008	22			NAK
TRULI LOŠINJ	1/4 obl.	SW 8	2	20	1008	24			MAGROCI
ZADAR									MAJAK
KORČULI									3307, 1145
SIBENIK	vedro	brno	1	30	1009	22			PIVA, CENTR
SPLIT	vedro	brno	1	30	1010	22			337, 1147
HVAR	vedro	SE 8	2	35	1010	24			PIVA, DZSIC
KOMIŽA	vedro								337, 1147
PALAGIŽUA	vedro	SE 12	2	10	1009	23			337, 1147
PLOČE	vedro								ZARUKA, CENTR
DUBROVNIK	vedro	SE 4	2	20	1011	22			337, 1147

Slika 37.2. Vremensko izvješće za Jadrano

37.2.1. Faksimil i NAVTEX

Faksimil predstavlja foto- i/ili električni- i/ili mehanički postupak dobivanja i/ili prijenosa slika - karata, koji već pedesetak godina postoji u meteorologiji, a posebno je bitan u pomorstvu i slanju vremenskih karata. Ova razmjena karata, ali i drugih podataka, moguća je žičnim ili bežičnim putem. U predajnom središtu meteorološke službe posebnim uređajima razlaže se (skanira) određena karta i prevrtava u elektromagnetne impulse koje predajnik šalje korisnicima. U prijamnom središtu korisnika dobiveni impulsi se pretvaraju i ispisuju na odgovarajućem pisacu, te se dobiva odgovarajuća karta. Faksimilni uređaj radi na određenoj frekvenciji. Naravno, za prijam određene karte neophodno je znati koja meteorološka služba radi na određenoj frekvenciji (dnevna ili noćna frekvencija), u koje doba slijedi određena karta, koji su drugi parametri prijama te ostali potrebni podaci kao npr. upotrebljene kratice, simboli i slično. U tome odgovarajuće meteorološke službe izdaju pripadne obavijesti.

NAVTEX (Navigational Text) predstavlja navigacijski sustav za prijenos plovidbenih poruka brodovima. Najprije telegrafija, zatim telefonija i napokon satelitski sustav veza znake povijesne prekrutnice u razvoju pomorskih veza. Nastajanje NAVTEX poruke znači prikupljanje plovidbenih upozorenja, obavijesti o pogibelji na moru, te vremenske prognoze i upozorenja; izvori obavijesti su svi sudionici u pomorskom prometu. Obavijesti se obrađuju u odgovarajućim koordinacijskim središtima te šalju brodovima na frekvenciji 518 kHz.

Prijamni dio NAVTEX uređaja omogućava ispis pojedine poruke, koja ima svoj propisani oblik. Jedan oblik NAVTEX poruke koja se odnosi na meteorološko upozorenje dan je u tablici 37.2. dok je za vremensku prognozu dan oblik u tablici 37.3. Slično vrijedi za obavijesti o ledu. Osim slanja poruka na engleskom jeziku, države mogu organizirati NAVTEX službe i slati poruke na nacionalnom jeziku (490 ili 4209,5 kHz).

Tablica 37.2. NAVTEX - meteorološko upozorenje

ZCZC OB91  
PORTPATRICKRADIO  
GALE WARNING MONDAY 21 AUGUST 2200 GMT  
FAEROES GALE NOW CEASED BUT SOUTHWESTERLY GALE FORCE 8 EXPECTED SOON.  
NNNN

Značenje: OB91 → stanica "O" daje meteorološko upozorenje "B" ("C" je izvješće o ledu), čiji je redni broj 91. Obalna stanica Patrick daje upozorenje o jakom vjtru za ponedjeljak 21. kolovoza u 2200 UTC. Očioče FAEROES: jaki vjeter je prestao, ali se uskoro očekuje jaki jugozapadni vjeter snage 8 bofora.

ZCZC TE08  
041530 UTC JAN =  
OOSTENDERADIO WEATHER FORECAST 08/89 =  
MODERATE TO STRONG BREEZE 4 TO 6 AND LOCALLY NEAR GALE 7 FROM  
SW VEERING LATER ON TO W MODERATE TO GOOD VISIBILITY VARIABLE  
CLOUDINESS WITH SHOWERS +  
NNNN

Znacjenje: TE08 → stanica "T" daje vremensku prognozu "E", čiji je redni broj 08. Vrijedi za 04 siječnji u 1530 UTC= Obalna stanica Ostende daje vremensku prognozu, čiji je redni broj 08/89= Umjereni do jaki vjetar 4 do 6 Bf i mjestimice žestoki vjetar 7 Bf s jugozapada, skreće u smjeru kazaljke na satu na zapadni, umjereni do dobra vidljivost, promjenljivo oblačno s pljuskovima.

### 37.3. Meteorološka plovidba

Tablica 37.4. Shema meteorološke plovidbe i njene značajke

	Klimatske značajke	Vremenske značajke	Nevrijeme
Tip plovidbe	klimatološka plovidba	vremenska plovidba	plovidba u nevremenu
Morski put	sezonske standardne rute	slučajno promjenjive rute	povremeno odstupanje od planirane rute
Planiranje prema	klimatološke višegodišnje srednje karte	vremenske karte i razvoj vremena	vremenske karte i razvoj vremena
Osnove	mjesečne karte za tlak, vjetar, čestinu oluja, valove, struje, led	4 do 10 dnevnih prognostičke karte za tlak, vjetar, more	vremenske analize i prognostičke karte 12 do 24 h
Valjanost	neograničeno za određenu sezonu	samo za određenu pojedinu plovidbu	nekoliko sati do 1 ili 2 dana
Svojsvo	postojanost, tradicionalno	sloboda kretanja	dobro uvježbano, elastično

Meteorološku (oceanološku) dokumentaciju za plovidbu čine pomorska meteorološka izvješća - bilteni, upozorenja, izvještaji i prognoze (karte) vremena (mora) za područje ili rutu na kojoj se planira plovidba ili određena djelatnost. Ovine se pridodaju razni meteorološki priručnici: peljari. Plovidba se nastoji planirati tako da se izbjegnju područja magle, jakih čelnih vjetrova, valova i struja - općenito jakih oluja, zatim ledenih polja i ledenjaka te se posebno povoljnim odabirom puta u određenim vremenskim

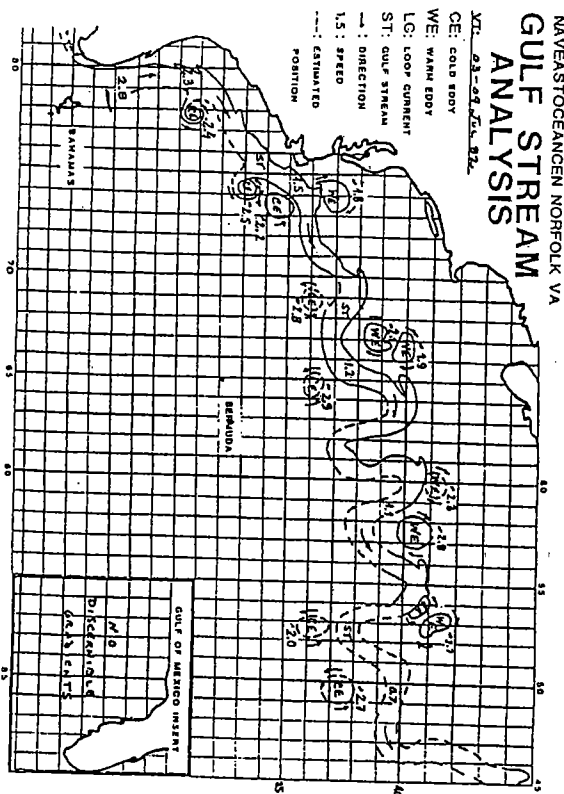
uvjetima uz veću sigurnost i udobnost plovidbe postižu i znatno niži troškovi plovidbe (raniji dolazak na cilj, uštede goriva i slika) uz manje onečišćenje okoliša. U meteorološkoj plovidbi (*meteorological navigation*; *meteorologische Navigation*) postoje nekoliko temeljnih pristupa. Prvo je plovidba primjenom klimatoloških plovidbenih ruta, druga je vremenska plovidbena ruta. Ovim se dodaje plovidba uz pripadne postupke kad se brod nalazi u nepovoljnim vremenskim uvjetima. Tipovi meteoroloških plovidba su navedeni u tablici 37.4. uz naznaku tipa morskog puta - rute, meteoroloških podataka i karata koje se primjenjuju, razdoblja i svojsva pojedine plovidbe.

Klimatološka (plovidbena) ruta (*climatological routing*; *Klimanavigation*). U prošlim stoljećima vrijeme u plovidbi imalo je još važniju ulogu nego danas, pa je bilo važno odrediti najpovoljnije plovidbene rute uvažavajući određene meteorološke čimbenice, u prvom redu vjetar. Postupno su dolazile do izražaja pojedine plovidbene rute na kojima su vremenske prilike povoljne i dugotrajno se ne mijenjaju. Općenito, najpogodnija područja za plovidbu su između širina 30° N i 25° S, ali dakako izvan dosega tropskih ciklona. Izbor ruta se temelji na obavijestima (mjesečne karte za razdoblje 1860-1960) o prizemnom vjetru, temperaturi zraka i mora, vlaži, vidljivosti, oborinama i oblacima, tlaku i sustavima tlaka, morskim strujama, ledu na moru i ledenjacima, visinama valova, pojavljivanju oluja i tropskih ciklona, te izvedenim veličinama i drugom. U okviru WMO-a pomorske zemlje su 1963. godine prihvatile Međunarodni pomorski atlas za razdoblje 1961-1990. kao dijela Svjetskog klimatskog atlasa (*World Climatic Atlas*). Podaci su prikazani u obliku karata, tablica i slično, dajući za pojedina područja mjesečne i godišnje prosjeke za temperaturu zraka i mora, rosište, vidljivost, vremenske pojave, smjer i brzinu vjetra, tlak i tendenciju, oblake, valove te izvedene veličine. Posebno se prikazuju podaci "hirovitih" valova (*freak waves*) i površinskih struja. Također su prikazani u raznim meteorološkim priručnicima kao što su peljari.

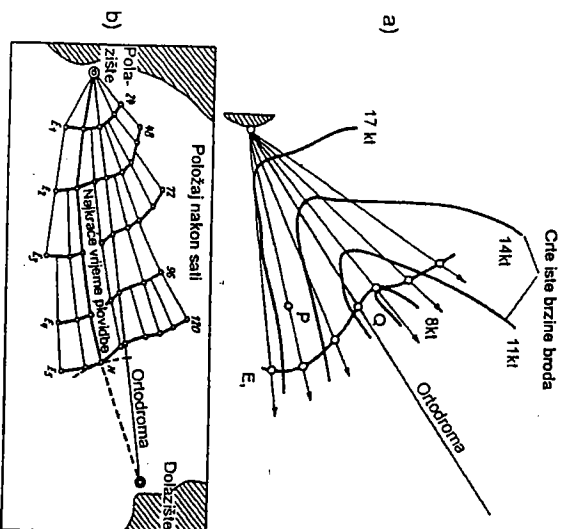
Uvažavajući prosječna vremenska stanja za neko doba godine ili mjesec postoji veliki broj klimatoloških ruta za oceane, okrajna ili sredozemna mora, veće ili manje zaljeve. Primjer nekih osnovnih ruta za jedrenjake je dan na slici 37.3. Uočava se npr. da ruta iz Europe u Sjevernu Ameriku zahvata zemljopisne širine oko 20° N, koristeći sjeveristočne pasate (slika 24.1.) i glavne morske struje (struje 6, 8 i 7 na slici 36.1.), dok se za suprotni smjer plovidbe, tj. od Sjeverne Amerike do Europe, ruta nalazi u umjerenim širinama, koristeći prevladavajuće zapadne vjetrove (slika 24.1.) i morske struje (struje 5 i 4 na slici 36.1.). Za motorne brodove rute su nešto drukčije, jer ne koriste vjetar kao pogon, slika 37.4.

Vremenske (plovidbene) rute (*weather routing*; *ship routing*; *Witterungsnavigation*) odnose se na plovidbe i krstarenja do desetak dana uvažavajući trajanja dugoročnih vremenskih prognoza. Ovaj oblik pomorskih ruta dolazi sve više do izražaja u zadnjih desetak godina sa sve većim razvojem meteorologije i telekomunikacija. Premda ima raznih podjela vremenskih prognoza, više u točki 28.4., jedna od najjednostavnijih podjela je na kratkorodne (jedan do dva dana), srednjoročne (tri do pet dana) i dugoročne (sedam do deset dana) prognoze. Približno isto toliko traje i plovidba broda na kratkim (mjesna mora) i dugim (prekooceanskim) rutama.



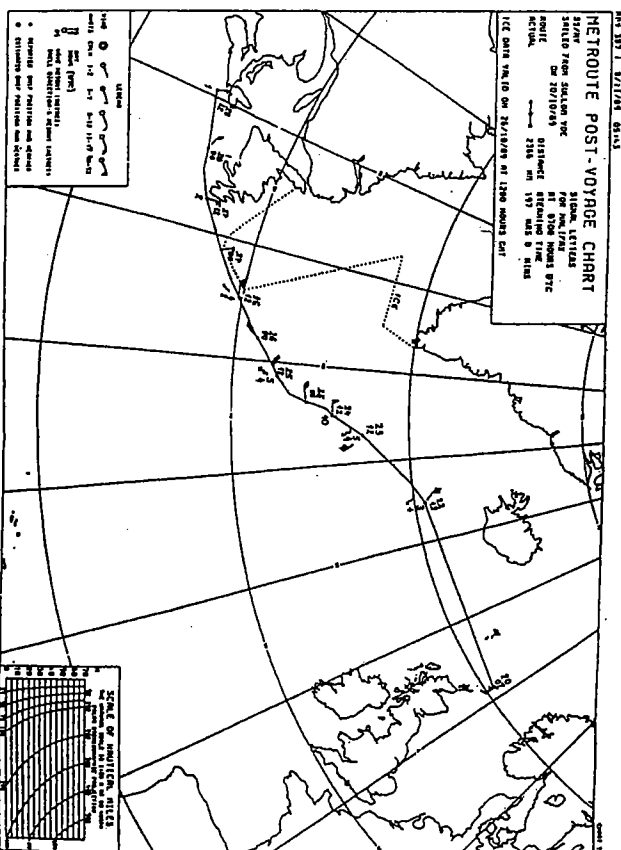


Slika 37.6. Karta položaja i brzine morske struje (Golfoške)



Slika 37.7. Karta vremenske plovidbene rute: a) crte iste brzine broda i očekivani položaj nakon 24 h, b) shema izrade optimalne rute

Primjenjujući srednju brzinu plovidbe broda, koja uvažava djelovanje valova i/ili morskih struja, za određene smjerove plovidbe koji se zrakasto šire oko ortodrome, može se nacrtati karta očekivanog položaja broda nakon 24 h, slika 37.7.-a). To je crta označena s E<sub>1</sub>. Polazeći od pojedinih točaka s crte E<sub>1</sub>, ponovno se primjenjuje srednja brzina plovidbe broda za sljedeća 24 h. Tako se dolazi do nove crte E<sub>2</sub>. Slično vrijedi za treći i naredne dane, slika 37.7.-b). Uočljivo je da za određeni smjer brod može najdalje otploviti, to je ruta najkraćeg vremena plovidbe. U ovom slučaju nakon 120 h plovidbe (pet dana) brod se nalazi na položaju označenom s N. Dalje brod plovi ili po vremenski (plovidbenoj) ruti ili po ortodromi, ako je povoljno vrijeme.



Slika 37.8. Karta vremenske plovidbene rute dobivena od nadležne meteorološke službe

Osnovno načelo plovidbe u području vremenskih nepogoda (npr. ciklona umjerenih širina) je obilaženje olujnih vjetrova i visokih valova. Pri plovidbi u tropskom području bimo je pravodobno otkrivanje i određivanje jačine i prostiranja djelovanja tropskog ciklona te praćenje gibanja njegovog središta poradi zaobilaznja. U pravilu, ako oblici obale i osnovni smjer plovidbe to dopuštaju, tropski ciklon se zaobilazi u području između tropskog ciklona i ekvatora (plovidbena polovica). Naravno mora se izbjegavati nailaženje valova s bočne strane broda s obzirom na njihovu veliku visinu (10-15 m, pa i više).

Primjer karte s ucrtanom vremenskom plovidbenom rutom, koja je dobivena od nadležne meteorološke službe, prikazan je na slici 37.8. Vidljivo je da su za određeni



datum i vrijeme dani položaji broda uz naznaku smjera i brzine vjetera, te visine vjetrovnih valova i mrtvog mora. Naznačena je i granica leda.

### 37.3.1. Obavješćavanja o ciklonima

Analiza ciklona pomoću satelitskih snimki je dobar način procjene njegovih svojstava, temelji se na procjeni njegove trenutne i buduće jačine uspoređivanjem snimki s modelom razvoja, koji se sastoji od empirijski dobivenih krivulja promjene ciklonskog djelovanja u vremenu i opisa oblačnog sustava tijekom ciklonskog razvoja. Najčešće cikloni imaju izgled zaokrenutog zarezra, gdje oblačni sustav "glave" zarezra određuju središnja obilježja ciklona, a "rep" zarezra opisan je obilježjima vanjskog pojasa. To daje mjernu razvijenosti oblačnog sustava. Razvoj ili slabljenje ciklona pokazuje oblačni sustav, koji je ovisan o uspravnim strujanjima, te prijetanju i isjicanju zraka (točka 25.2.). Nagli razvoj se uočava kao oštro određeni rub "zarezra" na snimci, što je posljedica jakih uzlaznih struja u središtu i spuštanja zraka u okolici sa slabom naoblakom. Razvoj ciklona je narušen kad postoje određeni uvjeti u njegovoj okolici: kopno, povećana stabilnost nižih slojeva troposfere i hladnija površina oceana (stratokumulusna naoblaka), snažno strujanje u višjoj troposferi (pojava cirusnih pruga ukazuje na jaka uspravna smicanja vjetera), narušavanje strujanja ispred ciklona (oblačni sustav se razvija okomito na smjer gibanja ciklone). Iz navedenog se može zaključiti o neophodnosti posjedovanja uređaja za prijam satelitskih snimaka na brodovima. Ipak, danas bolji numerički prognostički modeli izravno prikazuju stanje, razvoj i gibanje ciklona.

Službe obavješćavanja o ciklonima sakupljaju i obrađuju podatke, izrađuju prognoze te brzo i učinkovito šalju upozorenja, savjete i druge obavijesti o ciklonima. Meteorološke institucije SAD su tehnički i znanstveno najrazvijenije i pokrivaju najveću površinu svjetskih oceana. No, i druge države (Indija, Japan, Australija itd.) šalju obavijesti o ciklonima u Indijskom oceanu, Arapskom moru, Bengalskom zaljevu, zapadnom i južnom Tihom oceanu. Te obavijesti sadrže razne podatke kao: vrstu oluje, središnji tlak, tendenciju tlaka, brzinu vjetera, položaj središta, brzinu i smjer njegovog premještanja, širinu zahvaćenog područja, vidljivost, stanje mora i drugo.

Kad ciklon - hariken, koji se giba prema zapadu i prijede zemljopisnu duljinu 35° W, za upozorenja i prognoze je odgovoran *National Hurricane Center* u Miamiu na Floridi u okviru državne-vremenske službe SAD (*National Weather Service* - NWS), no kad ciklon prijede 35° W, gibajući se na istok, tada NWS prestaje davati javna upozorenja, ali i dalje šalje dnevna izvješća za pomorce o opasnim ciklonima u Sjevernom Atlantiku. U istočnom Tihom oceanu (istočno od 140° W) odgovorna institucija za praćenje ciklona je *NWS Hurricane Center*, dok pri Ministarstvu obrane djeluje *Navy's Fleet Weather Center* u Pearl Harbouru na Havajima. U okviru dnevnih pomorskih izvješća šalju se obavijesti koje sadrže: položaj, jačinu, smjer i brzinu gibanja ciklona, opis područja najjačeg vjetera, prognozu gibanja i jačine, a ako se ciklon približava kopnu još i položaj i vrijeme nalaska na kopno.

Za upozorenje na ciklon - tajfun je područje od 180° E na zapad sve do azijskog kopna, s manjim područjem do 90° E, koji pokriva *Navy's Fleet Weather Center* iz Guam na Marjanskim otocima.

### 37.3.2. Plovidba u nevremenu - ciklonu

Brodovima je glavni cilj izbjeći područja djelovanja raznih oblika nevremena, osobito jakih oluja u ciklonama i ciklonima, te je potrebno poznavanje područja, jačine i gibanja nevremena. Ne ulazeći u razloge zbog kojih se brod našao u području djelovanja jakog nevremena, potrebno je poznavanje načina ublažavanja neželjenih posljedica. Tada je neophodno osnovno poznavanje načina plovidbe u nevremenu (*routing in storm, Weather navigation*).

Oduvijek su cikloni predstavljali među prirodnim pojavama najveću opasnost za brodove na moru, naročito u vrijeme jedrenjaka. Danas, kad postoje meteorološki sateliti, radari i suvremena sredstva veza, otkrivanje i praćenje ciklona je bitno olakšano, a obavijesti i upozorenja tropičkih meteoroloških službi dolaze na vrijeme do brodova. Ipak, na brodu se prate predznaci ciklona i oni su osnova pravodobnog postupka za njegovo izbjegavanje. Zapovjednik broda koji sumnja ili zna za postojanje ciklona šalje što prije radioponku u skladu s Međunarodnom konvencijom o sigurnosti ljudskih života na moru najbližjoj obalnoj stanici i ostalim brodovima, a zatim poduzima mjere u vezi sa sigurnošću svog broda, prije svega za izbjegavanje ciklona. Najbolje obavijesti o ciklonu, šalju službe obavješćavanja, no u pomanjkanju obavijesti brod mora što bolje odrediti koordinatne središta ciklona i smjer njegovog pomicanja. Ako je brod zahvaćen olujom postoji više načina manevriranja - obrambeni, pasivni i aktivni. Postupak koji se primjenjuje rezultat je procjene na temelju brojnih elemenata, kao što su udaljenost od središta ciklona, smjer i brzina njegova premještanja, stanje mora i atmosfere, kvadrant u kojem se brod nalazi, udaljenost od obale, osobine tereta, konstrukcija broda i njegove manevarske sposobnosti itd.

Znakovi upozorenja na ciklon. Osim znakovito stmnog i stalnog pada atmosferskog tlaka svi ostali pokazatelji (more, vjetera, naoblaka) nisu dovoljno pouzdani u predskazivanju ciklona. Tako je u ciklogenskoj sezoni svako odstupanje od dnevnog kolebanja tlaka sumnjivo, naročito ako je tlak niži za 3 ili više hPa od srednje vrijednosti za to doba godine. Prema tendenciji pada tlaka nastoji se odrediti približna udaljenost središta oluje od broda:

- spori pad tlaka (3-5 hPa/3 h) uz dnevni hod kad je brod udaljen 800 do 200 km od središta
- izraženiji pad tlaka (5-20 hPa/3 h) uz neznatni dnevni hod je 200 do 100 km od središta
- nagli pad tlaka (80-100 hPa/3 h) bez dnevnog hoda uočava se 100 do 20 km od središta.

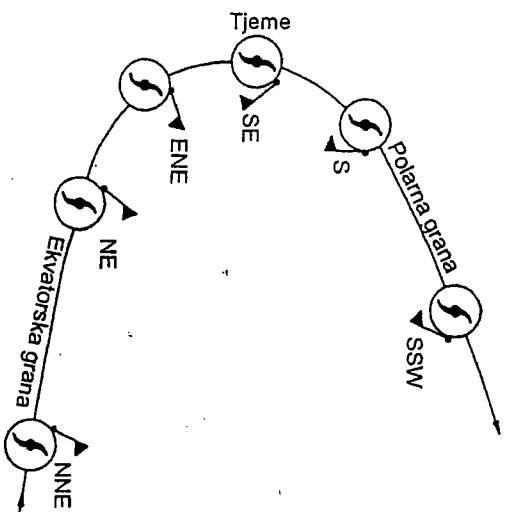
Dani koji prethode ciklonu obično su vedri sa slabom naoblakom ili bez nje, a praćeni su dobrom vidljivošću, zatim se postupno pojavljuju cirusi, altostratusi, zatim kumulusi i sve gušća konvektivska naoblaka uz jače i češće pljuskove. Osim naoblake predznaci ciklona su i znatna promjena smjera i jačine vjetera, te olujni valovi. Pomocu radara otkriva se oborina u vanjskom rubnom pojasu ciklona.

Postupak broda u blizini ciklona. Brod nastoji ostati izvan dosega ciklonskog središta i područja najjačih vjetrova i valova u pojasu oko središta. Udaljenost broda od obale treba biti barem 80 km, a savjetuje se i više od 300 km. Na sjevernoj polutki za

plovidbu je opasnija desna polovica - opasna polovica u odnosu na smjer gibanja ciklona, zbog najjačih vjetrova i najviših valova. Zbog izbjegavanja opasnog područja mora se odrediti azimut i udaljenost središta ciklona od broda, zatim polovica i kvadrant u kojem se brod nalazi, te vjerojatna putanja središta oluje.

Azimut središta ciklona određuje se jednostavnim pravilom, na sjevernoj polutki za vjeter u leđa znači da je središte niskog tlaka slijeva, uz ispravku za kut pod kojim vjeter siječe izobare. Taj kut (10-20°) oduzima se od 90° i sve je manji što je središte ciklona bliže jer je vjeter sve više gradijentni. Udaljenost od središta ciklona određuje se pomoću brzine vjetera, ali vrlo grubo, i valja unaprijed računati na veliku pogrešku.

Skratanje vjetera pokazuje ciklonsku polovicu u kojoj se nalazi brod. Na sjevernoj polutki brod je u desnoj polovici ako vjeter skreće u smjeru kazaljke na satu - satno skretanje (*veering wind*; *rechtsdrehende Winde*), a u lijevoj polovici ako vjeter mijenja smjer suprotno od kazaljke na satu - protusatno skretanje (*backing wind*; *linksdrehende Winde*). Vjeter stalan po smjeru označava da je položaj broda upravo negdje na crti gibanja ciklona. Pomoću tendencije tlaka nalazi se prednja ( $\partial p/\partial t < 0$ ) ili stražnja ( $\partial p/\partial t > 0$ ) polovica ciklona, što zajedno s podacima o skretanju vjetera daje kvadrant u kojem se brod nalazi. Najvjerojatnija putanja središta ciklona dobiva se ekstrapolacijom u smjeru gibanja nekoliko prethodnih uzastopnih središta. Kako se mijenja smjer vjetera u opasnom kvadrantu (prednji desni) na pojedinim dijelovima staze ciklona prikazano je na slici 37.9. Vidljivo je da su na sjevernoj polutki na ekvatorskoj grani staze NE vjetrovi, u tjemenu su SE, a na polarnoj grani nalaze iz SW. Za južnu polutku slika je zrcaljena preko ekvatora. To znači da nalazak jakih vjetrova i valova na brod, koji se nalazi relativno u istom odnosu prema ciklonu, ovisi o načinu gibanja ciklona uzduž njegove staze.



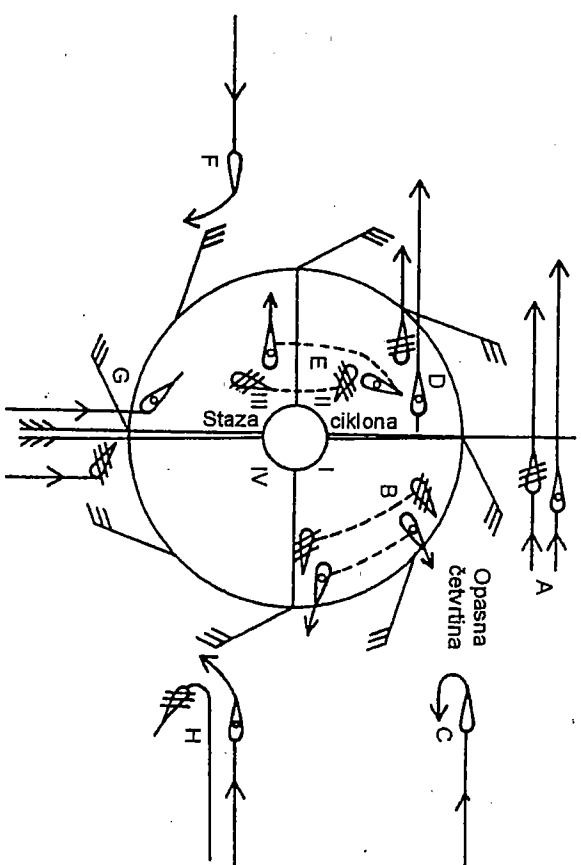
Slika 37.9. Promjena smjera vjetera u opasnom kvadrantu (prednji desni) na pojedinim dijelovima staze ciklona

Postupak broda u području ciklona. Ukoliko brod nije izbjegao ili ne može izbjeći ciklon, tada primjenjuje jedan od postupaka:

- obrambeni: brod održava brzinu potrebnu da bi slušalo kormilo i zavlaci s valovima po pramcu ili po krmi
- pasivni: brod gasi motore i valja
- aktivni: brod određuje smjer izbjegavanja i izlazi iz oluje.

Kod jedrenjaka i prvih parnih brodova manevriralo se s pramcem na valove s vrlo malom brzinom napredovanja ili bez nje. Kod modernih brodova elisa djeluje kao kočnica koja postavlja brod s morem u krmu. Da bi se takav brod postavio pramcem na valove, potrebna mu je brzina dovoljna da sluša kormilo. Postoji i mišljenje, potvrđeno i teorijskim razmatranjima i iskustvom plovidbe, da se brod manje napreže ako plovi sasvim polako, s valovima u krmu ili bočno po krmu (*on the quarter*; -), jer je to položaj u koji se brod postavlja sam bez sile stroja ili kornila.

Izbjegavanje ciklona je vrlo značajno, gdje postoji staro načelno pravilo: za svaku morsknu mlju za koju se brod udalji od središta ciklona, brzina vjetera se smanji za 1 kt. Naravno, u stvarnosti postoje i znatna odstupanja od navedenog. Kakvi su postupci broda potrebni da se brod izvede iz ciklonskog nevremena prikazano je na slici 37.10., što vrijedi za sjevernu polutku.



Slika 37.10. Upravljanje brodom u području ciklona

Brod "A" se nalazi u opasnom kvadrantu, ali je izvan olujnog područja i blizu predviđene staze ciklona. Tada brod može sjeći očekivanu stazu ciklona i ući u plovidbenu

polovicu ciklona. Ipak, nužan je izuzetan oprez o ispravnoj procjeni udaljenosti, stazi, smjeru i brzini ciklona, u suprotnom nastaju izuzetno velike teškoće i opasnosti.

Brod "B" se nalazi u opasnom kvadrantu u olujnom području. Brod se okreće, po mogućnosti pramacem, prema vjetru i istodobno se nastoji udaljavati od središta ciklona koliko god je moguće, tako da vjetar stalno dolazi na prednji desni bok broda. Sa satnim skretanjem vjetra skreće i brod te pomalo dolazi u zadnji desni kvadrant i konačno napušta područje ciklona.

Brod "C" se nalazi u opasnom kvadrantu, izvan je olujnog područja i daleko od staze ciklona. Brod mijenja smjer plovibde, u pravilu u suprotni, udaljujući se od ciklona tako da vjetar stalno dolazi na prednji desni bok broda. Plovibda s tako određenim smjerom znači ujedno i promjenu stvarnog smjera plovibde obzirom da vjetar ima satno skretanje.

Brod "D" se nalazi u prednjem lijevom kvadrantu na rubu olujnog područja. Brod se nastoji udaljavati od staze ciklona koliko god je moguće, tako da vjetar stalno dolazi na stražnji desni bok broda. To vrijedi za brod koji se nalazi izvan olujnog područja i lijevo od staze ciklona.

Brod "E" se nalazi blizu središta ciklona, ali se izravno ne može udaljiti. Brod se okreće pramacem i zakreće se lagano, sukladno sa zakretanjem vjetra, dok ne dospje u stražnji lijevi kvadrant ciklona, te dok poslije ne nastupi poboljšanje vremena. Brod plovi tako da u svakom trenutku nastoji doći što dalje od središta ciklona.

Brod "F" se nalazi u zadnjem lijevom kvadrantu, te postupno zakreće u desno, dok vjetar ne naiđe na prednji desni bok broda, a brod izađe iz područja djelovanja ciklona.

Brod "G" plovi iza ciklona i ulazi u njega. Ovaj položaj se s vlastitim motrenjima vrlo teško otkriva. Brod ulazi u oluju, no mijenja smjer plovibde tako da vjetar naiđe na prednji desni bok broda i zatim čeka. Ako je to jako brzi brod, moguća je pomisao da se ciklon obide. Ciklon se na ekvatorskoj grani najlakše izbjegava oblaženjem prema jugu, jer se ciklon u ovom dijelu putanje rijetko otklanja prema jugu. Na polarnoj grani putanje izbjegavanje će biti najlakše također prema jugu uz ulaženje u suprotropsku anticyklonu, gdje se zaoblazi ciklon, koji u višim širinama postaje sve više nepokretan i potpunjava se.

Brod "H" se nalazi u zadnjem desnom kvadrantu, postupno zakreće u lijevo, dok vjetar ne počne dolaziti na prednji desni bok broda i čeka, dok može ploviti svojim prvobitnim smjerom.

U svim uvjetima uzima se da vjetar nailazi malo bočno na brod, većinom sprijeda, ali i straga što ovisi o pojedinom slučaju. Tako postoji općenito pravilo da na sjevernoj polutki vjetar na brod treba dolaziti desno bočno sprijeda, a na južnoj polutki lijevo bočno sprijeda.

U blizini središta ciklona, gdje su vrlo visoki i nepravilni valovi, sugerira se sasvim pasivan postupak broda s ugašenim strojem i prepuštanje slobodnom zanošenju.

Ostale pojave vezane uz plovibdu u ciklonu:

Aktivan postupak izlaska iz ciklona je ovisno o vjetru i moru vrlo naporan za brod i posadu i primjenjuje se u slučajevima kad brod još nije zahvaćen vjetrom orkanske jazine ili kad se nalazi u blizini kopna, pa postoji opasnost od sudara ili nasukavanja.

Vrlo je važno napomenuti da svaki brod ima vlastiti period valjanja određen njegovom konstrukcijom. Ako se period morskih valova sinkronizira s vlastitim periodom broda, dolazi do opasnog povećanja amplitude ljuhanja broda (prislinske oscilacije kon-

strukcije). Zbog toga se taj sinkronizam, ako do njega dođe, mora poremetiti mijenjanjem smjera i/ili brzine broda, čime se mijenja relativni period valova u odnosu na brod. Za ponakanje broda u oluji važna je i njegova duljina u odnosu na valnu duljinu morskih valova. Brodovi duljine veće od jedne valne duljine doživljavaju snažne oluje mnogo teže od kraćih brodova, koji se lakše prilagode nagibu vala.

Kod manjih brodova i jahti uspješno se koristi plovno ili olujno sidro u postupku zavlakčenja pramacem prema valovima, pri čemu je brod nošen u zavjetrini sidra na krmenu stranu. To se smatra vrlo sigurnim i odgovaralo bi i velikim brodovima kad im sidra ne bi bila nesprijetna za primjereno rukovanje u nevremenu. Ako zbog kočenja kormila i elisa nije moguće održati brod s pramacem prema valovima bez snage motora, prednost se daje zavlakčenju s valovima u krmu.

Za stabilnost broda izuzetno je opasan učinak slobodnih površina, koji se javlja pri veoma neminom moru koje prati ciklon. U cilju smanjenja tog učinka tankovi broda se nastoje držati sasvim puni ili sasvim prazni. Naime, slobodno premještanje tekućeg tereta u takvim potpunim odnosno polupraznim tankovima stvara dodatne oscilacije i naprezanje ne samo tankova već i cijelokupne konstrukcije broda. Ovo slobodno premještanje tereta je izuzetno vrlo opasno za sipke terete čak i bez obzira na stanje mora i vjetra.

Za smirivanje neminog mora ranije se primjenjivao učinak ulja, koji smanjuje stvaranje valova i njihovo lomljenje, no danas se to ne radi. Pri tome su boja gušća ulja, najbolja su biljna i životinjska, a posebno je dobro terpentinsko ulje. Kako je brzina širenja ulja po morskoj površini mala u odnosu na zanošenje broda, koristan učinak se postiže ako se ulje ispušta u zavjetrini.

Kad se ciklon približava obali, nastaje opasnost za sve brodove u lukama i sidrištima. Tada brodovi isplivavaju prema pučini, gdje su sigurniji, prije svega što nisu u blizini jedan drugom, ali je za brodove male snage koji nemaju vremena da se dovoljno udalje od obale, bolje da ostanu zaklonjeni.

Plovibda u području ciklona. Zbog općeg vrtložnog strujanja zraka u ciklonama umjerenih širina javljaju se i odgovarajući smjerovi napredovanja valova, koji su u načelu to razvijeniji što je vjetar postojaniji i jači. To je i razlog što pri zaoblakčenju područja ciklona treba dati prednost području u kojem valovi nailaze više s krmene strane, a ne s pramca ili boka. Pri određivanju plovibdene rute treba uzvratiti da i ciklona uz svoj razvoj ima smjer i brzinu napredovanja.

Oblaženje najjačih vjetrova i valova. Područje olujnog vjetra pogodnije je oblažiti na strani od koje nailazi vjetar. To je zbog očekivanog slabljenja vjetrova i zbog još nerazvijenih valova.

Jaki vjetar uz obalu. Vjetar koji puše od obale na otvoreno more zbog sve većeg razgona uvjetuje i veće valove, stoga je za brod koji plovi paralelno s obalom povoljnija plovibda bliže obali zbog manjih valova. S druge strane, vjetar koji puše s otvorenog mora na obalu, gdje se dubina mora naglo smanjuje, uvjetuje sve strmije i više valove koji mogu dodatno mijenjati i smjer gibanja. Tada brod treba ići prema otvorenom moru.

144

### 37.4. Meteorologija kao čimbenik sigurnosti pomorskog prometa

Svaka vrsta i veličina plovila ima svoje mogućnosti plovidbe i shodno tome različite potrebe za meteorološkim podacima i obavijestima. Sigurnost prometa ugrožavaju pojave i procesi velikih (sinoptičkih) - makro, a naročito manjih - mezo i mikro razmjera. Opasne pojave uglavnom su pojave malih razmjera koje se i inače "teško prognoziraju". Naime, sinoptička motrijska mreža i numerički modeli filtriraju te procese zbog male (slabe) prostorne i vremenske različitosti. Većina procesa i pojava važnih za plovidbu su u područjima velikih gradjenata (diskontinuiteti): fronte, razne inverzije i slično. U tim razmjerama uskim područjima raznih razmjera razvijaju se i jačaju gradijenti ("skok" svojstava) većine ili samo nekih meteoroloških i oceanoloških elemenata (temperatura, tlak, vlažnost zraka, vjeter i sl.). Ovi se procesi očituju u nagomilavanju energije koja djeluje u raznim termodynamičkim procesima - razvojem oblaka, oborina, morskih struja, valova, leda i silka. Na sigurnost plovidbe utječu i pojave koje nisu posljedica povećanja gradjenata i očitovanja energije, nego upravo obrnutih procesa - posljedica su malih gradjenata (kontinuiteti) i energije, a visoke stabilnosti. To su magla i loša vidljivost.

Sigurnost plovidbe, sidrenja i vezivanja broda je ugrožena kad su premašeni određeni kritični meteorološki uvjeti, određeni kao meteorološki minimumi za brodove, luke i postrojenja, faze plovidbe, te učesnike u prometu. Mnogi od tih minimuma nisu određeni izravnim meteorološkim mjerenjima, niti su dobiveni posebnim analizama, već se određuju procjenom i iskustvom, obično su u nadležnosti lučke kapetanije, odnosno časnika brodova. Vremenske prilike (meteorološki parametri) s gledišta sigurnosti (primarne nesreće) utječu na odvijanje prometa djelovanjem na:

- brodove i faze plovidbe (što se obraduje u najvećem dijelu teksta)
- objekte za odvijanje pomorskog prometa (što je povezano s odvijanjem plovidbe)
- učesnike u prometu (aktivne i pasivne).

Aktivni učesnici su članovi posada broda - časnici, piloti i drugo pomoćno osoblje, te moraju proći odgovarajuće stručno obrazovanje, koje uključuje detaljno upoznavanje s meteorologijom i djelovanjem vremena na pomorstvo. Zbog toga polazni ispiti za odgovarajuće dozvole za tip i opremljenost plovila, a u vezi s meteorološkim uvjetima. Naravno, ne smije se isključiti djelovanje vremenskih čimbenika na časnika sa stalnija njegovog zdravstvenog stanja, što je problematika medicinsko pomorske meteorologije. Pasivni učesnici su putnici za koje vrijedi problematika medicinsko pomorske meteorologije. Bitno je da oni ne ometaju plovidbu.

Vremenski uvjeti van plovidbe. Ovo se prvenstveno odnosi na sidrenje i vezivanja broda. U tim prilikama brod i teret treba osigurati od svih neželjenih posljedica djelovanja vremenskih i oceanoloških procesa (olujna djelovanja i vjeter, električna pražnjenja, gomilanje snijega i leda, valovi, struje, visoke i niske vode te slično).

Pored sigurnije plovidbe izgrađuju se sustavi učinkovitog obavještanja. Primjerice INMARSAT je suslav umjetnih satelita za potrebe plovidbe, i u tom sklopu imaju veliku važnost vremenske obavijesti. To napose vrijedi za otvorena mora i oceane gdje su meteorološke obavijesti posebno važne u uvjetima rana otkrivanja tropskih ciklona, velikih olujnih poremećaja ili leda na moru. Slično je sa sustavom NAVTEX.

### 37.5. Vrijeme kao čimbenik dobrog poslovanja pomorskog prometa

Meteorologija ima značajnu gospodarsvenu ulogu pri planiranju plovidbe, koja se očituje u odabiru pomorskog puta - rute i vremena isplivljavanja. Dobro poslovanje u pomorskom prometu u velikoj mjeri ovisi o količini, kakvoći i brzini dostavljanja meteoroloških obavijesti. Pokazuje se da su učinci meteorološke plovidbe najznačajniji u zimsko doba. Kako se vremenski poremećaji u umjerenim zemljopisnim širinama pretežito uglavnom od zapada prema istoku, a plovidba ususret njima zbog valova osjetno smanjuje brzinu broda, to se pravilnim izborom rute negativan utjecaj može znatno ublažiti, te su pozitivni učinci plovidbe na putu prema zapadu veći nego prema istoku (prosječna ušteda goriva je 12 %).

U višim zemljopisnim širinama u hladno doba godine ograničavajući element je zaledivanje mora, kojeg za dulje razdoblje djelomice ili potpuno onemogućava plovidbu. Olujni procesi i vjeter, visoki valovi, loša vidljivost, jake oborine (monsuni) sa svojim zemljopisnim, dnevnim i sezonskim promjenama izravno otežavaju plovidbu, te znatno utječu na promet, što se očituje uz ostalo i u velikim kašnjenjima. Izrazito nemirno more s jakim vjetrovima i valovima može pomaknuti brodski teret pa i oštetiti prostor u kojem je uskladišten, a to dovodi do debalansa broda. Nadalje, ekstremske temperature i visoka vlaga nepovoljno utječu na teret koji se prevozi. Stoga se mora poduzimati zaštita tereta, kao provjetravanje skladišta radi ublažavanja temperaturnih ekstremna i visoke vlage, ako brod nema hladna skladišta.

Konačno, pojedini vremenski elementi i pojave povezani s nemeteorološkim čimbenicima određuju uporabu i kategorizaciju luka.

### 37.6. Meteorološko ekološko gledišta pomorskog prometa

Meteorološki elementi i pojave sadrže i ekološke elemente, koji se odnose na zagađenja mora i zraka otpadnim tvarima (nafta, mazut, ulje), ispušnim plinovima te u slučajevima havarija brodova sa štetnim materijama (nafta, razni kemijski spojevi i drugo) kao teretom ili oštećenja i požari u lučko - terminalskim postrojenjima ili u području plovinih terminala, luka i plovinih ruta.

Onečišćenje zraka ispušnim plinovima raznih motora (ugljikovodici, ugljikov dioksid, dušikovi oksidi i drugi spojevi) prisutno je u svim oblicima prometa. O brodovima kao onečišćivačima atmosfere ponajmanje se govori, jer oni plove "negdje daleko", veća važnost daje se problemu ispuštanja u more nafte, mazuta i ulja. Ovisno o tipu plovila i motora, te opterećenju motora, zrak se onečišćuje raznim otpadnim tvarima u raznim koncentracijama. Izvor emisije mijenja položaj u prostoru što utječe na njezinje primarne proizvode i njihove daljnje fizikalne i kemijske prevorbe. Onečišćenje, širenje i djelovanje ispušnih plinova je slično kao u zračnom prometu (točka 34.8.).

Buka je veliki ekološki problem prometa, koja se stvara kao posljedica rada snažnih motora ili hidrodinamičkih učinaka. Ujedno se na brodu javljaju znatne vibracije. Širenje buke ovisi među ostalim o meteorološkim parametrima. Niske temperature

inverzije prijeke širenje zvučnih valova do velikih visina te na sloju inverzije dolazi do njihovog odbijanja i pojačanog vodovavnog širenja. Nadalje, pojavava vjetera omogućuje jače širenje zvuka niz zračnu struju.

Ukoliko je došlo do onečišćenja otpadnim tvarima (nafta, mazut, ulje, razni kemijski spojevi i drugo) meteorološki elementi i pojave, osim u procesima razgrađivanja određuju širenje tih tvari. Ne treba zaboraviti da čovjek vrlo često smatra more kao prostor za otpade! Vjetrovi, valovi, morske struje i mijene najizraavnije određuju smjer i brzinu širenja svakog onečišćenja. Ekološka problematika je zanemarena na otvorenim morima i oceanima. Još uvijek se prepušta prirodnim procesima razgrađivanja pojedinih otpadnih tvari. Približavanjem otpadnih tvari (npr. naftne mrlje) obalama poduzimaju se njihova sakupljanja, neutraliziranja ili uništavanja. Tada meteorološko - oceanološke prognoze omogućuju praćenje tog zagađenja i uz odgovarajuće savjete za djelovanje na njegovu otklanjanju.

### 37.7. Plovidba jezerima, rijekama i kanalima

Plovidba na jezerima, rijekama i kanalima uključuje meteorološke obavijesti slično plovidbi na moru. Ipak postoje posebne razlike.

Ukoliko su jezera izrazito velika tada u odnosu prema moru nema posebnih razlika (izuzev slanosti vode). Tada su meteorološke obavijesti slične onima na moru. Za manja jezera sve više dolazi do izražaja kopneni utjecaj s pripadajućim vremenskim čimbenicima.

Plovidba rijekama i kanalima s prometnog gledišta odvija se uzduž strogo određeni putova - koridora (rijeka ili kanal je sama po sebi koridor) unutar vodene struje bilo uzvodno ili nizvodno. Nadalje, razina vode znatno koleba tijekom godišnjih doba zbog izraženih suša (malen dotok i protok vode te nizak vodostaj) ili jakih oborina odnosno topljenja snježnog pokrivača (veliki dotok i protok vode te visoki vodostaj) kad dolazi do opasnosti od poplava. Zaleđivanje rijeke otežava plovidbu slično kao i na moru, međutim, plutajući led na rijekama može izazvati začepjenja toka rijeke, te osim ugrožavanja plovidbe (udar i oštećenja brodova, mostova) može dovesti do visokog vodostaja i poplave. Tada uz neposrednu meteorološku pomoć veliku važnost imaju obavijesti hidrološke službe o visini vodostaja, protoku i kakvoći vode te ostalim ekološkim elementima.

Za razliku od meteoroloških morskih učinaka koji se odnose na plovidbu morima, plovidba rijekama je vezana uz meteorološke kopnene učinke. Tipičan primjer je magla na rijekama, koja je većinom radijacijskog podrijetla te otežava plovidbu u hladno doba godine. Olujni procesi na kopnu (rijekama) su uglavnom u poslijepodnevnim satima za razliku od onih na moru koji su tijekom noći ili jutra.

Poseban problem su ušća velikih rijeka u more gdje se miješaju načela plovidbe morima s onima na rijekama. Na tim mjestima nalazeća vodena masa rijeke u dodiru s morskim mjenama i valovima može znatno otežavati plovidbu.

### 37.8. Meteorološki parametri pri projektiranju i održavanju plovila i luka

Pri projektiranju plovila i luka svih namjena, vrsta, veličina i drugog obvezno se uvažavaju odgovarajući meteorološki parametri. Osnovna računanja uključuju meteorološke elemente, pojave i njihove izvedene veličine, te se obvezno moraju uvažiti popratni učinci. Naravno u plovila i luke (lukobrani, svjetionici i drugi objekti vodnog prometa) ugrađuju se odgovarajući instrumenti i uređaji za praćenje meteoroloških procesa i razmjenu obavijesti.

Prilikom odabira položaja za luke uz uvažavanje gospodarskih, zemljopisnih i drugih učinaka važnost imaju meteorološki čimbenici, ne samo za osnovni položaj luke, već i za njezinu prirodnu zaštitu, te zaštitu drugih pratećih objekata i uređaja prijeko potrebnih u prometu. Stoga se rabe klimatološki podaci budućeg položaja luka te okolnih mjesta. Podaci se obraduju statističkim metodama (teorija ekstrema i povratni periodi, složenost i međovisnost više pojava), primjenom analitičkih izraza te numeričkim meteorološkim modelima.

U projektiranju se mora uvažiti vjerojatnost (ne)mogućnosti korištenja luka tijekom dana i godine. Ovdje imaju važnu ulogu i prilazni pravci za plovila. Smjer i jačina vjetera, pogotovo kad stvara visoke valove, vidljivost - magla (u hladno odnosno u toplo doba godine) može biti znatni ograničivači čimbenik upotrebljivosti luka. Pojava i jačina oborina, osobito prehladnih i krutih oborina s gledišta visine i nanosa snijega, stvaranja poledice, a pogotovo pojava zaleđivanja mora/rijeke je također vrlo značajna za nekorištenje luka što dovodi do njezine slabe iskoristivosti. Iz svega navedenog proizlazi potreba svih plovidbenih grana za meteorološkim obavijestima, ali ne treba zaboraviti da su mnoge meteorološke pojave otkrivene zahvaljujući plovidbi i nesrećama.

Općenito se nastoji da su luke u prirodnom okruženju koje smanjuje negativne učinke valova, vjetrova i drugog. Tako ima luka odlično zaštićenih od jednog smjera nalazećih valova, dok je slaba zaštitna za drugi smjer. U nas je to primjer djelovanja bure i juga.

#### Dopunska literatura

- Berth, W., W. Keller i U. Scharnow, 1979: *Wetterkunde*. VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 404.
- Byers, H.R., 1974: *General Meteorology*. McGraw-Hill, inc, New York, 461.
- Dietrich, G., 1978: *Ozeanographie*. Westermann, Braunschweig, 118.
- Dom, W., 1975: *Meteorology*. McGraw-Hill, inc, New York, 518.
- Gelo, B., 1992: *Meteorološko osiguranje plovidbe morem i unutrašnjim vodama*. Rijeka, Zbornik FPS, 6.
- Gill, E.A., 1982: *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press, inc., San Diego, 662.
- Houghton, D.D., 1985: *Handbook of Applied Meteorology*. Marine Transportation and Weather-Sensitive Operations. John Wiley & Sons, New York, 978-997.
- Kotsch, W.J., 1977: *Weather for the Mariner*. Naval Institute press, Annapolis, 272.

Krishnamurti, T.N., 1979: Compendium of Meteorology, Tropical Meteorology (I & II class). WMO, 364, v. II, part 4, Geneva,  
 Pickard, G.L. i W.J. Emery, 1990: Descriptive Physical Oceanography. Pergamon press, Oxford, 320.  
 Pond, S. i G.L. Pickard, 1983: Introductory Dynamical Oceanography. Pergamon press, Oxford, 329.  
 Riehl, H., 1972: Introduction to the Atmosphere. McGraw-Hill, inc, New York, 516.  
 Sušani, J. i J. Luzer, 1993: Navtex. Školska knjiga, Zagreb, 95.  
 WMO, 1981: Manual on Marine Meteorological Services (MMS-558). Annex VI to the WMO Technical Regulations. Vol. I - Global aspects, Vol. II - Regional aspects, Geneva.

## METEOROLOGIJA KOPNENOG PROMETA

Promet kopnom se odvija širokim spektrom raznih vozila i drugih uređaja raznih namjena, vrsta, oblika, veličina, tehničkih svojstava, brzina i drugog. Postoje pojedine vrste prometa na kopnu (sa svojim daljnjim podjelama):

- ceste (glavne, međumjesne i gradske, koje uključuju tunele, usjeko, mostove, vijadukta, u promet je uključena i turističko - sportska vožnja)
- željeznice (glavne, međumjesne i gradske - tuneli, usjeci, mostovi, vijadukti)
- pošta, telekomunikacije
- unutarnji promet (kopovi, terminali, skladišta)
- cijevovodi, žičare
- nogostup, staze (pješači, domaće i šunske životinje).

U poštanskom prometu ovdje se razmatra prijevoz poštanskih pošiljaka kao robe ili tereta ne ulazeći u ostalo ustrojstvo poštanskog prometa. Telekomunikacijski promet odgovara prijenosu obavijesti žičanim ili bežičnim putem (slično s prijenosom energije dalekovodima odnosno širenju elektromagnetskih valova). Unutarnji promet ubuhvaća razne uređaje za promet robe pomoću raznih vjluškara, dizalica, dizala, pokretnih traka i drugog, dok se cijevovodima prevozi rasuti teret (sa spiralnim vijcima - šećer, žito, razni praškasti materijali), tekući teret (voda, nafta, kiselina, lužine) i plinovi (gorivi plin, dim). Stoga je u ovim slučajevima riječ vozilo ili promet složenog značenja.

Kopneni promet traži sigurnost i redovitost vožnje uz niske troškove, stoga se u određenim prilikama traži dostavljanje meteoroloških obavijesti. Ovome se pridružuje opća pojedinacna - turistička vožnja te druge djelatnosti, koje traže meteorološke obavijesti.

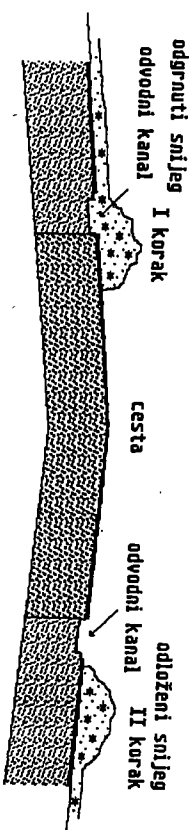
Vremenski uvjeti materijalno učestvuju u sigurnosti, redovitosti, učinkovitosti i ekologiji kopnenog prometa, stoga je nužno proučavanje utjecaja meteoroloških elemenata i pojava na voznu tehniku i uvjete vožnje te sudjelovanje u planiranju, izgradnji i održavanju prometnica. Vremenski uvjeti mogu otežavati odvijanje i učinkovitost prometa, a zanemarivanje tih uvjeta dovodi do neispunjavanja zadataka, te ponekad i do nesreća.

Činjenica je da je meteorologija veoma važan čimbenik sigurnosti prometa što je vidljivo iz rezultata analiza uzroka prometnih nesreća u svijetu, pri čemu su pojedini meteorološki elementi i pojava imali značajnog udjela u nesrećama, kad je dio prometnih nesreća izravno uvjetovan vremenskim procesima, a dio posredno i sa znatnim zakasnjeljem pa se često zanemaruje.

### Primjedba:

U daljnjem tekstu daju se vrlo kratki osvrti na pojedine meteorološke elemente i pojave, čija su tumačenja i njihova međuvrijemnost dana u prethodnim točkama. Tek novi pojmovi i procesi bit će podrobnije objašnjavani, koji su u načelu bitni za odvijanje kopnenog prometa.

kanale, slika 39.3. Iako izgleda da su to znatni troškovi čišćenja, tako čišćene prometnice mogu izdržati više godina bez većih popravaka nastalih smrzavanjem, pa ukupni troškovi održavanja prometnice postaju znatno manji.



Slika 39.3. Odvodni kanali uz cestu i odlaganje snijega.

Ako na prometnicama postoje velika oštećenja to znači da postupci koji se poduzimaju pri održavanju prometnica nisu dobri, često puta mogu biti čak i štetni. Osnovni izvoci su:

- odvodni kanali uglavnom ne postoje
- postojeći odvodni kanali se ne čiste, već se zatrpavaju s raznim smećem
- odvodni kanali se zatrpavaju sa sipinom za posipavanje ceste zbog poledice
- na mnogim mjestima postavljaju se rubni kamnovi kao za pločnik, a bez odvodnih kanala
- na mnogim uzbrdicama/nizbrdicama voda teče po cesti, jer su uz rubove ceste razne naslage koje ne dozvoljavaju ojecanje vode s nje.

#### Dopunska literatura

- Byers, H.R., 1974: General Meteorology. McGraw-Hill, inc, New York, 461.
- Eimern, J. i H. H ekel, 1979: Wetter und Klimakunde. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 269.
- Gelo, B., 1988: Mezosmodeli atmosfere i sigurnost prometa. Suvremeni promet, 10, 4/5, 717-721.
- Gelo, B., 1993: Meteorološko osiguranje kopnenog prometa. Promet, 5, 1, 19-23.
- Houghton D., 1985: Handbook of Applied Meteorology. Surface Transportation. 998-1030 str.
- Penzar, B. i suradnici, 1996: Meteorologija za korisnike. Školska knjiga, Zagreb, 274.

## PRILOZI

### sažetak o vremenskim procesima

## Prilog 1.

Beaufortova ljestvica - Bf (*Beaufort scale*), nazivi, veza jačine i brzine vjetera, učinci, standardna visina 10 m iznad podloge (vidi točku 29.2.4.)

	B r z i n a				Visina valova	
	km h <sup>-1</sup>	m s <sup>-1</sup>	kt	milja h <sup>-1</sup>	m	ft
0 Bf tišina ( <i>calm</i> )	< 1	0-0,2	< 1	< 1	-	-
1 Bf lahor ( <i>light air</i> )	1-5	0,3-1,5	1-3	1-3	0,1 (0,1)	¼ (¼)
2 Bf povjetarac ( <i>light breeze</i> )	6-11	1,6-3,3	4-6	4-7	0,2 (0,3)	½ (1)
3 Bf slabi ( <i>gentle breeze</i> )	12-19	3,4-5,4	7-10	8-12	0,6 (1)	2 (3)
4 Bf umjereni ( <i>moderate breeze</i> )	20-28	5,5-7,9	11-16	13-18	1 (1,5)	3½ (5)
5 Bf umjereni jaki ( <i>fresh breeze</i> )	29-38	8,0-10,7	17-21	19-24	2 (2,5)	6 (8½)
6 Bf jaki ( <i>strong breeze</i> )	39-49	10,8-13,8	22-27	25-31	3 (4)	9½ (13)
7 Bf jaki olujni ( <i>near gale</i> )	50-61	13,9-17,1	28-33	32-38	4 (5,5)	13/2 (19)
8 Bf olujni ( <i>gale</i> )	62-74	17,2-20,7	34-40	39-46	5,5 (7,5)	18 (25)
9 Bf jaki olujni ( <i>strong gale</i> )	75-88	20,8-24,4	41-47	47-54	7 (10)	23 (32)
10 Bf orkanski ( <i>storm</i> )	89-102	24,5-28,4	48-55	55-63	9 (12,5)	29 (41)
11 Bf jaki orkanski ( <i>violent storm</i> )	103-117	28,5-32,6	56-63	64-72	11,5 (16)	37 (52)
12 Bf orkan ( <i>hurricane</i> )	≥ 118	≥ 32,7	≥ 64	≥ 73	14 (-)	45 (-)

Učinak vjetera na kopnu		Učinak vjetera na moru	
0 Bf - tihno, dim se diže uspravno		- more poput zrcala	
1 Bf - smjer vjetera pokazuje se zanošenjem dima, ali ne vjetrokazima		- stvaraju se nabori s izgledom jesteri, ali bez pjenastih kresti	
2 Bf - vjetar se osjeća na licu, lišće šušti; vjetar pokreće obične vjetrokaze		- mali valići, još kratki, ali izraženiji; kreste imaju staklasti izgled i ne lome se	
3 Bf - lišće i male grančice u stalnom gibanju; vjetar razvija lake zastave		- veliki valići, kreste se počinju lomiti; pjena staklastog izgleda; možda raspršeni bijeli vrhovi	
4 Bf - diže prašinu i papirce; gibaju se male grane		- mali valovi, koji postaju duži; prilično često bijeli vrhovi	
5 Bf - mala lisnata stabla počinju se savijati; stvaraju se valići s krestama na kopnenim vodama		- umjereni valovi, koji dobivaju izraženiji dugi oblik; stvara se mnogo bijelih vrhova (mogućnost za nešto morskog dima)	
6 Bf - velike grane u gibanju; zviždanje telegrafskih žica; upotreba kišobrana s teškoćama		- počinju se stvarati veliki valovi; bijele pjenastr kreste su proširenije svuda (vjerovatno nešto morskog dima)	
7 Bf - čitava stabla u gibanju; osjeća se neugoda pri hodanju protiv vjetera		- more se diže, a bijela pjena s valova, koji se lome, počinje se okidati u pramenovima uzduž smjera vjetera	
8 Bf - kida grančice s drveća; općenito prijeti napredovanje		- umjereni visoki valovi veće dužine; rubovi kresta počinju se lomiti u vrloženje; pjena se okida u dobro izraženim pramenovima uzduž smjera vjetera	
9 Bf - dolazi do laganih oštećenja na objektima (škida nastave dimnjaka i crijepove)		- visoki valovi; gusti pramenovi pjene uzduž smjera vjetera; kreste valova se počinju prevrtati, rušiti i prebacivati; morski dim može ujecati na vidljivost	



Učinak vjetra na kopnu	Učinak vjetra na moru
10 Bf - rijeko se doživljava na kopnu; čupa drveće; dolazi do znanih oštećenja na objektivima	— vrlo visoki valovi s dugim previnutim krestama; stvorena pjena, u velikim krpana, trga se u gustim bijelim pramenovima uzduž smjera vjetra; u cijelini površina mora poprinya bijeli izgled; mlatarenje mora postaje jakim i udarnim; utječe na vidljivost
11 Bf - doživljava se veoma rijeko; praćen opsežnim štetama	— izuzetno visoki valovi (mali i srednji brodovi se mogu na trenutak izgubiti pogledu iza valova); more je potpuno prekriveno dugim bijelim krpana pjene, koje leže uzduž smjera vjetra; posvuda se rubovi kresti valova trgaju u pjenušanje; utječe na vidljivost
12 Bf - opustoši čitav kraj	— zrak je ispunjen pjenom i morskim dimom; more je potpuno bijelo uz stvaranje morskog dima; utječe veoma ozbiljno na vidljivost

## Prilog 2.

Stanje mora (state of sea) nazivi, veza s visinom vjetrovnih valova, učinci (vidi točku 29.4.3.)

	(m)	Izgled mora
0 - zrcalno (calm, glassy)	0	— more poput zrcala
1 - naborano (calm, rippled)	0-0.1	— mali valčić ili bore s pojavama propinjanja, ali bez kresta
2 - valikasto (smooth, wavelets)	0.1-0.5	— kratki ili mali valovi, formirani; bregovi imaju staklast izgled
3 - valovito (slight)	0.5-1.25	— veći valovi; mjestimice bjeline na valnim bregovima; more stvara isprekidano šuštanje
4 - uzburkano (moderate)	1.25-2.5	— valovi s mnogo bjelina; mogućnost prskanja; šum mora sliti muklom žamoru
5 - grubo (rough)	2.5-4	— valovi se propinju; neprekidne bjeline; pjena s vrhova prigođice se opuhava kao morski dim; valovi stvaraju neprekidni žamor
6 - olujno (very rough)	4-6	— visoki valovi imaju velike bjeline s kojih se pjena otpuhuje u gustim prugama; more se počinje valjati, a njegov je šum poput muke huke
7 - vjelo (high)	6-9	— veliki valovi se propinju; imaju duge pjenušave bregove koji se neprekidno ruše i stvaraju hucanje; velike količine pjene opuhnute s bregova daju morskoj površini bjelkast izgled i mogu utjecati na vidljivost; valovi se valjaju teško i udano
8 - teško (very high)	9-14	— valovi visoki pa manji i srednji brodovi u blizini povremeno nestaju iz vida; vjetar okida vrhove svih valova, more je potpuno prekriveno gustim prugama pjene; zrak tako ispunjen pjenom i morskim dimom da ozbiljno ograničava vidljivost; valjanje valova stvara tutnjavu
9 - iznimno (phenomenal)	> 14	— valovi se međusobno križaju iz raznih i nepredvidivih smjerova tvoreći složenu interferenciju koju je teško opisati; valovi se mogu prigođice djelomice rušiti

## Prilog 3.

Stanje neba (sky state) nazivi, veza s naoblakom (1/8), posebno u zrakoplovstvu (vidi točke 29.2.5, 34.2.1. i 34.2.7.)

Zrakoplovstvo:			
vedro (clear)	0	vedro (nebo)	(sky clear - SKC) 0/8
pretežno vedro (mainly clear)	1, 2	malo oblačno	(few - FEW) 1-2/8
umjereno oblačno (partly cloudy)	3, 4, 5	djelomično oblačno	(scattered - SCT) 3-4/8
pretežno oblačno (cloudy)	6, 7	pretežno oblačno	(broken - BKN) 5-7/8
potpuno oblačno (overcast)	8	potpuno oblačno	(overcast - OVC) 8/8
u oblaku (in cloud)	9		
vedar dan (clear day)	< 2/8 (≤ 2.5/10)	mjestimice između slojeva	(locally - LOC)
oblačan dan (cloudy day)	> 6/8 (≥ 7.5/10)	između slojeva	(between layers - BTL)
		slojevit (više slojeva)	(layered - L YR)
		pojedinačni (Cb)	(isolated - ISOL)
		razdvojeni (Cb)	(occasional - OCNL)
		povezani (Cb)	(frequent - FRQ)
		uklopljeni (Cb)	(embedded - EMBD)

## Prilog 4.

Jaćina oborine (precipitation intensity) nazivi, jakost (mm h<sup>-1</sup>)

sipeća oborina, oborina koja sipi	(drizzling precipitation)	< 0.5 mm h <sup>-1</sup>
slaba oborina	(slight precipitation)	0.5 - 4 mm h <sup>-1</sup>
umjerena oborina	(moderate precipitation)	> 4 mm h <sup>-1</sup>
jaka oborina	(heavy precipitation)	
jačina oborine; intenzitet oborine	(precipitation intensity; rainfall intensity)	
iznos jačine oborine; izmjerena jačina oborine; izmjereni intenzitet oborina	(rate of rainfall)	

## Prilog 5.

Magla i sumaglica (fog, mist) nazivi, veza s vidljivošću

vrlo gusta magla; vrlo jaka magla	(very dense fog; very thick fog)	< 50 m
gusta magla; jaka magla	(dense fog; thick fog)	50 - 200 m
umjerena magla	(moderate fog)	200 - 500 m
rijetka magla; slaba magla	(thin fog; light fog)	500 - 1000 m
gusta sumaglica; jaka sumaglica	(dense mist)	1 - 2 km
umjerena sumaglica	(moderate mist)	2 - 4 km
rijetka sumaglica; slaba sumaglica	(thin mist; light mist)	> 4 km

Prilog 6.

Osušavanje (sunny) nazivi, veza s pokrivenošću neba

sunčano	(sunny)	90-100 %
pretežno sunčano	(prevailing sunny)	70-80 %
umjereno sunčano	(moderate sunny)	40-60 %
djelomično sunčano	(partly sunny)	20-30 %
bez sunca	(no sunshine)	0-10 %

Prilog 7.

Dnevne temperature (daily temperature) nazivi, veza s °C

vrući dan; tropski dan	(tropical day)	maks. ≥ 30,0 °C
topla noć; tropska noć	(tropical night)	min. ≥ 20,0 °C
topli dan	(warm day)	maks. ≥ 25,0 °C
hladni dan	(frost day)	min. < 0,0 °C
studen dan	(ice day)	maks. < 0,0 °C
ledeni dan	(arctic day)	min. ≤ -10,0 °C

Temperaturne naznake za vrijeme i razdoblja

studen	(vrijeme, dan, mjesec, -)	zima, -	-)
cold	(weather, day, month, -)	winter, -	-)
hladno	(vrijeme, dan, mjesec, godina, zima, proljeće, ljeto, jesen)	winter, -	-)
cool	(weather, day, month, year, -)	winter, -	-)
svjež	(vrijeme, dan, mjesec, godina, -)	spring, -	-)
fresh	(weather, day, month, year, -)	spring, -	-)
prosječno	(vrijeme, dan, mjesec, godina, zima, proljeće, ljeto, jesen)	spring, -	-)
average	(weather, day, month, year, -)	spring, -	-)
blago	(vrijeme, dan, mjesec, godina, zima, proljeće, ljeto, jesen)	spring, -	-)
mild	(weather, day, month, year, -)	spring, -	-)
toplo	(vrijeme, dan, mjesec, godina, zima, proljeće, ljeto, jesen)	spring, -	-)
warm	(weather, day, month, year, -)	spring, -	-)
vruće	(vrijeme, dan, mjesec, -)	summer, -	-)
hot	(weather, day, month, -)	summer, -	-)
pasji dani	(dog days; hot days)	summer, -	-)

Prilog 8.

AERODROME ACTUAL WEATHER - METAR AND SPECI DECODE														
IDENTIFICATION	SURFACE WIND	VISIBILITY	RUNWAY VISUAL RANGE	CLOUDS	TEMP AND DEW POINT	SUPPLEMENTARY INFORMATION		TREND FORECAST				METAR or SPECI	Abbreviated decode of METAR and SPECI	
						REMARKS	WIND SHEAR	CHANGE AND TIME	FORECAST WIND	FORECAST CLOUD	FORECAST VISIBILITY			FORECAST TEMP
MMAR	03000	0000	0000	CU01	17/17	0000	WS 030/1000	03000	03000	03000	03000	03000	03000	03000

Prilog 9.

FM 15-IX Ext. METAR - redoviti zrakoplovni izvještaj o vremenu FM 16-IX Ext. SPECI - odabrani posebni zrakoplovni izvještaj o vremenu (vidi točku 34.2.1.)



WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION

- NOTES:
- The 'w' group are considered by precipitation and are used for 1 to 5 h in the table above in METAR and SPECI. They are normally followed by the descriptor, followed by weather phenomena. An example could be: **wSRA** heavy showers of rain.
  - A precipitation combination has dominant type first.
  - DR (low ceiling) less than 2 m above ground. BL (low ceiling) 2 m or more above ground.
  - DR used when hailstone diameter 5 mm or more. When less than 5 mm, GR used.
  - BR - visibility at least 1 020 m but not more than 5 020 m. FG - visibility less than 1 020 m.
  - VC - within sight but not at the aerodrome.

# Prilog 10.

SNOWTAM izvještaj - stanje na USS (vidi točku 34.2.1.)

opći oblik: - Dr Dr Er Cr er Br Br

oznaka Dr Dr : → broj USS

Dr Dr + 50 = ... → odnosi se na desnu paralelu USS  
88 → sve USS  
99 → nema novog izvještaja (ponovljen prethodni)

oznaka Er : → vrsta taloga na USS

0 - čisto i suho clear and dry

1 - vlažno damp

2 - mokro ili barice wet or water patches

3 - snijeg ili mraz (debljina < 1 mm) time or frost covered (depth < 1 mm)

4 - suhi snijeg dry snow

5 - mokri snijeg wet snow

6 - bluzgavica slush

7 - led ice

8 - zbijeni ili nakupljeni snijeg compacted or rolled snow

9 - smrznute kolotečine ili brazde frozen ruts or ridges

/ - tip taloga nije izvješten Type of deposit not reported (e.g. due to runway clearance in progress)

oznaka Cr : → pokrivenost USS	oznaka Er Er : → debljina taloga na USS
1 - < 10%	00 - < 1 mm
2 - 11 - 25%	01 - 1 mm
5 - 26 - 50%	02 - 2 mm
9 - 51 - 100%	90 - 10 mm
/ - nema izvještaja (npr. čišćenje u tijeku)	91 - 10 mm
	92 - 10 mm
	93 - 15 cm
	94 - 20 cm
	98 - ≥ 40 cm
	99 - USS nije upotrebljiva zbog snijega, bluzgavice, leda, snježnih nanosa, čišćenja, debljina taloga se ne izvještava

// - beznačajni talog

oznaka Br Br : → koeficijent trenja ili ocjena kočenja na USS  
28 - koeficijent 0,28  
35 - koeficijent 0,35

kočenje:	good	koeficijent trenja
95 - dobro	medium/good	≥ 40
94 - srednje/dobro	medium	39 - 36
93 - srednje	medium/poor	35 - 30
92 - srednje/loše	poor	29 - 26
91 - loše	unreable	≤ 25
99 - nepouzdan	not reported	
// - nije izvješten		

05/99// USS 05 nije u upotrebi, čisti se  
05///// USS 05 pod nastagom, nema izvještaja

eddm 88190095 ekch 04710172 54720186 12720175

# Prilog 11.

FM 51-IX Ext. TAF - aerodromska prognoza (vidi točku 34.2.5.)

AERODROME FORECAST - TAF DECODE													
IDENTIFICATION	FORECAST SURFACE WIND	FORECAST VISIBILITY	FORECAST SKY/CLD/CELT/WEATHER	FORECAST CLOUD AMOUNT AND HEIGHT	CAVOK	BY REGIONAL AGREEMENT		SIGNIFICANT CHANGES IN FORECAST CONDITIONS INDICATED BY:				BY REGIONAL AGREEMENT	
						FORECAST ICING	FORECAST TURBULENCE	PROB C <sub>1</sub>	TIME	CHANGE	TIME	FORECAST TEMPERATURE	
TAF CCCC (YYGGggZ) (1) (AA) (SS) (DD) (TT) (RR) (MM) (NN) (PP) (QQ) (RR) (SS) (TT) (UU) (VV) (WW) (XX) (YY) (ZZ)	RRR/SSS TT/TTT UUU/VVV WWWW	TTTTT	UUUUU VVVVV	XXXXX	1) Visibility is forecast to be 10 km or more. 2) No operational cloud and no other cloud forecast below 1 500 m (5 000 ft) or below the highest minimum sector altitude whichever is greater, and 3) No significant weather forecast (see table in Appendix A)	1) Probability of occurrence of: a) An alternative element or elements b) Temporary fluctuations	PROB C <sub>1</sub>	TIME	CHANGE	TIME	Forecast Temperature at GQA, Temperature below 0°C (forecast by M) Indicator of forecast temperature	TTT TTT	
<p>Indicator of UTC</p> <p>The UTC to which forecast temperature refers</p> <p>Forecast Temperature at GQA, Temperature below 0°C (forecast by M) Indicator of forecast temperature</p> <p>Reporting QD and end of QD, Forecast period in hours UTC</p> <p>Type of significant change: BECMO - BECOMING, used when changes are expected to occur or pass through a significant element at a regular or irregular rate. TEMPO - TEMPORARY, fluctuations of less than one hour and in maximum time period forecast by GGGG, QG, or PROB.</p> <p>Probability is used to indicate the probability of occurrence of: a) An alternative element or elements b) Temporary fluctuations</p> <p>OR</p> <p>If one set of weather conditions is expected to change more or less completely to a different set of conditions, thus indicating the beginning of another self-contained part of the forecast, by:</p> <p>TTGGgg</p> <p>This uses the form PRRGGg where PRR is the abbreviation for "From" and GGgg is the time in hours and minutes UTC. All forecast conditions before the group are superseded by conditions indicated after the group.</p>													
Forecast Wind		Forecast Visibility	Forecast Sky/Cloud/Celst/Weather	Forecast Cloud Amount and Height	CAVOK	Forecast Icing	Forecast Turbulence	Prob C <sub>1</sub>	Time	Change	Time	Forecast Temperature	
0000-0000		TTTTT	UUUUU VVVVV	XXXXX	1) Visibility is forecast to be 10 km or more. 2) No operational cloud and no other cloud forecast below 1 500 m (5 000 ft) or below the highest minimum sector altitude whichever is greater, and 3) No significant weather forecast (see table in Appendix A)	1) Probability of occurrence of: a) An alternative element or elements b) Temporary fluctuations	PROB C <sub>1</sub>	TIME	CHANGE	TIME	Forecast Temperature at GQA, Temperature below 0°C (forecast by M) Indicator of forecast temperature	TTT TTT	
<p>Forecast Wind</p> <p>Forecast Visibility</p> <p>Forecast Sky/Cloud/Celst/Weather</p> <p>Forecast Cloud Amount and Height</p> <p>CAVOK</p> <p>Forecast Icing</p> <p>Forecast Turbulence</p> <p>Prob C<sub>1</sub></p> <p>Time</p> <p>Change</p> <p>Time</p> <p>Forecast Temperature</p>													

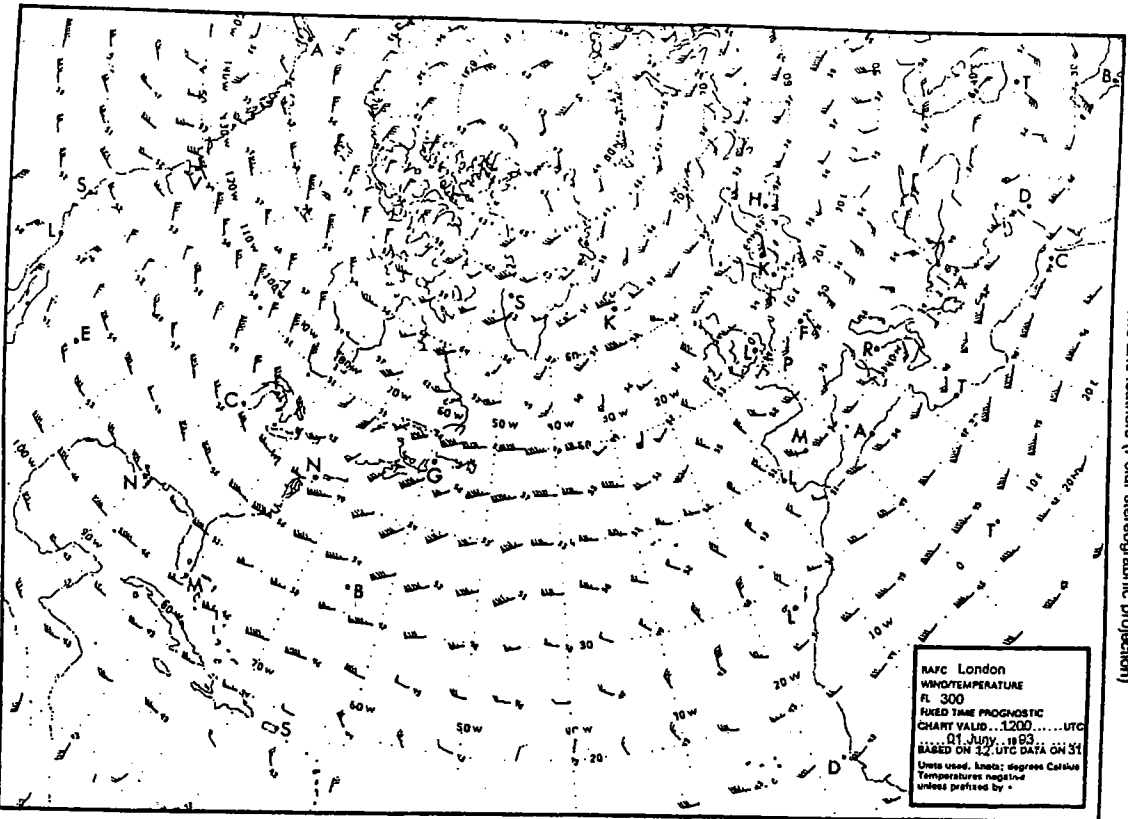
World Meteorological Organization  
Abbreviated decode of TAF  
For details of codes see  
Manual on Codes  
(WMO-No. 306)



# Prilog 12.

Prognošićka karta visinskih vjetrova i temperatura na visini na standardnoj izobarnoj plohi (IS) (vidi točku 34.2.7.)

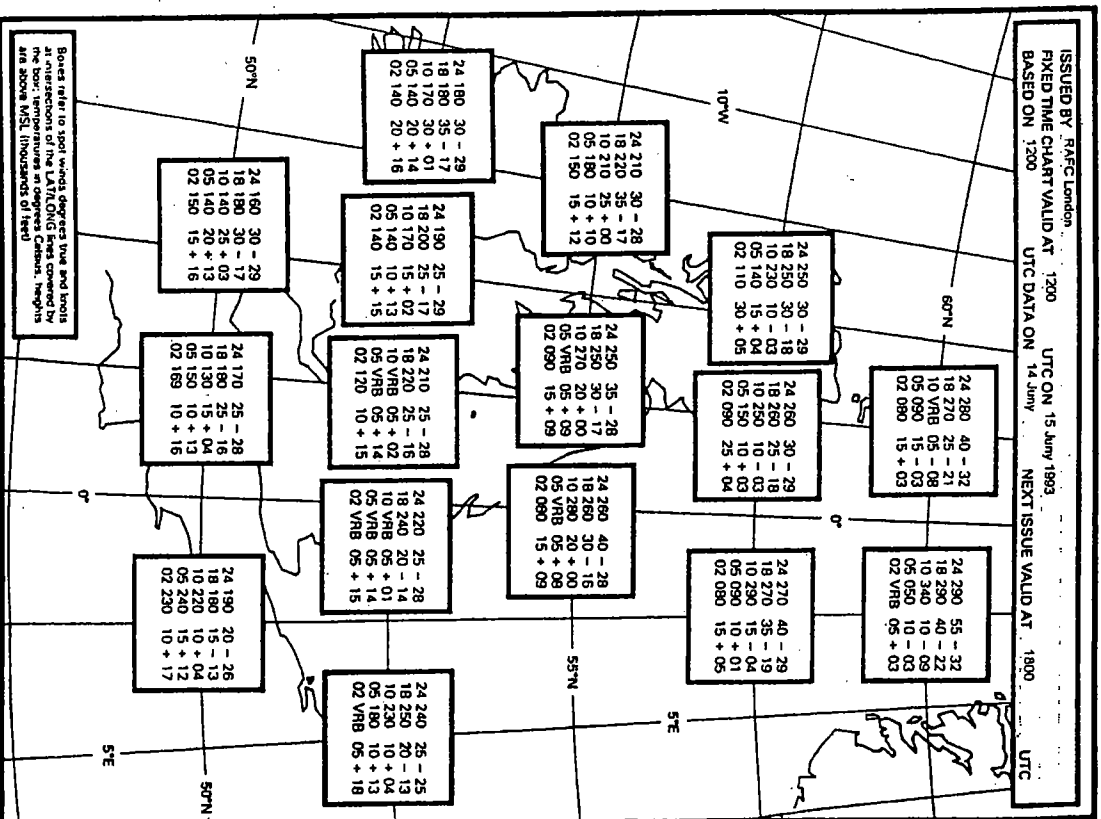
Model IS. Upper wind and temperature chart for standard isobaric surface  
 — Arrows and feathers (Polar stereographic projection)



# Prilog 13.

Prognoza visinskih vjetrova i temperatura u tabličnom obliku (TB) (podaci u točkama: FL, smjer i brzina vjetra (kt), temperature - vidi točku 34.2.7.)

Model TB. Tabular forecast of upper winds and upper-air temperatures  
 — Spot locations



# Prilog 14.

Prognoza za rutu u tabličnom obliku (TA) (vidi točku 34.2.7.)

Model TA2. Tabular forecast of en-route conditions

DATE	01 JUNY 1993		HEIGHTS IN PRESSURE ALTITUDE IN HUNDREDS OF FEET		
ROUTE FROM	BIGGIN HILL	TO	AMSTERDAM	VIA	AIRWAYS
VALID FOR DEPARTURE BETWEEN	1500	UTC AND	1700	UTC AND	
FOR ARRIVAL BETWEEN	1700	UTC AND	2100	UTC	
SPECIAL FEATURES OF THE METEOROLOGICAL SITUATION (SURFACE CENTRES AND FRONTS):					
ACTIVE COLD FRONT FROM NUMBER TO CHANNEL ISLES AT 1800 UTC MOVING EAST AT 20 KNOTS TO					
LIE NORTH/SOUTH ACROSS TRACK ABOUT 40 NM WEST OF AMSTERDAM BY 1900 UTC.					
ZONE	LONDON	02 - E	AMSTERDAM		
UPPER WINDS (DEGREES TRUE AND KNOTS)	FL 300 FL 240 FL 180 FL 100	250/50 MS S2 250/40 MS 40 270/35 MS 26 280/30 MS 12	230/65 MS 50 240/50 MS 36 240/50 MS 24 250/45 MS 09		
SIGNIFICANT WEATHER AND ASSOCIATED CLOUD		MODERATE TURBULENCE IN SCT CU	MODERATE TO SEVERE ICING AND TURBULENCE IN ISOL EMBD CB		
HEIGHT OF 0°C ISOTHERM		035	050		
TROPOPAUSE HEIGHT					
JET STREAM					
SUPPLEMENTARY INFORMATION					

\* Above planned cruise level if not specified

Issued by: RAFC London at 1500 UTC on 01 JUNY 1993 by [Signature] Forecaster

Notes: 1. Pressure altitude is the height in feet of a level in the standard atmosphere above the datum level corresponding to a pressure of 1013.2 hPa

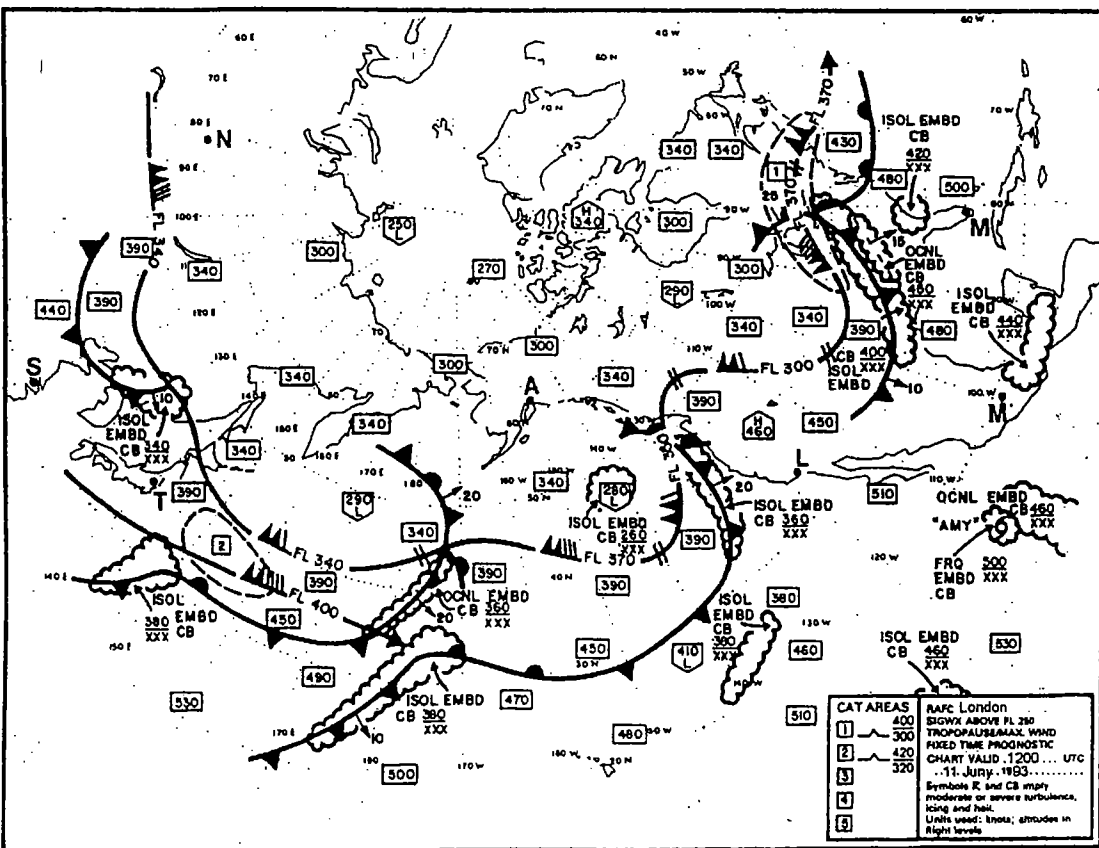
- Positive and negative values are indicated by the prefix "PS" (plus) and "MS" (minus) respectively.
- Only cloud associated with significant weather is shown. Low stratus and fog, when expected, will be shown for terminal areas in appropriate aerodrome forecasts.
- When a single numerical value of an element is given in a forecast, it is to be interpreted as representing the most probable mean of a range of values which the element may assume during the period of the forecast.

Abbreviations: SFC—0 oktas, FEW—1 to 2 oktas, SCT—3 to 4 oktas, BKN—5 to 7 oktas, OVC—8 oktas, LVR—Layered, LOC—locally, ISOL—isolated, OCNL—Occasional, FRO—Frequent, EMBD—Embedded.

Prognozička karta znakašnjog vremena - visoke razine (SWH) (vidi točku 34.2.7. za oznake vidi prilog 18.)

Model SWH. Significant weather chart (high level)

— Polar stereographic projection



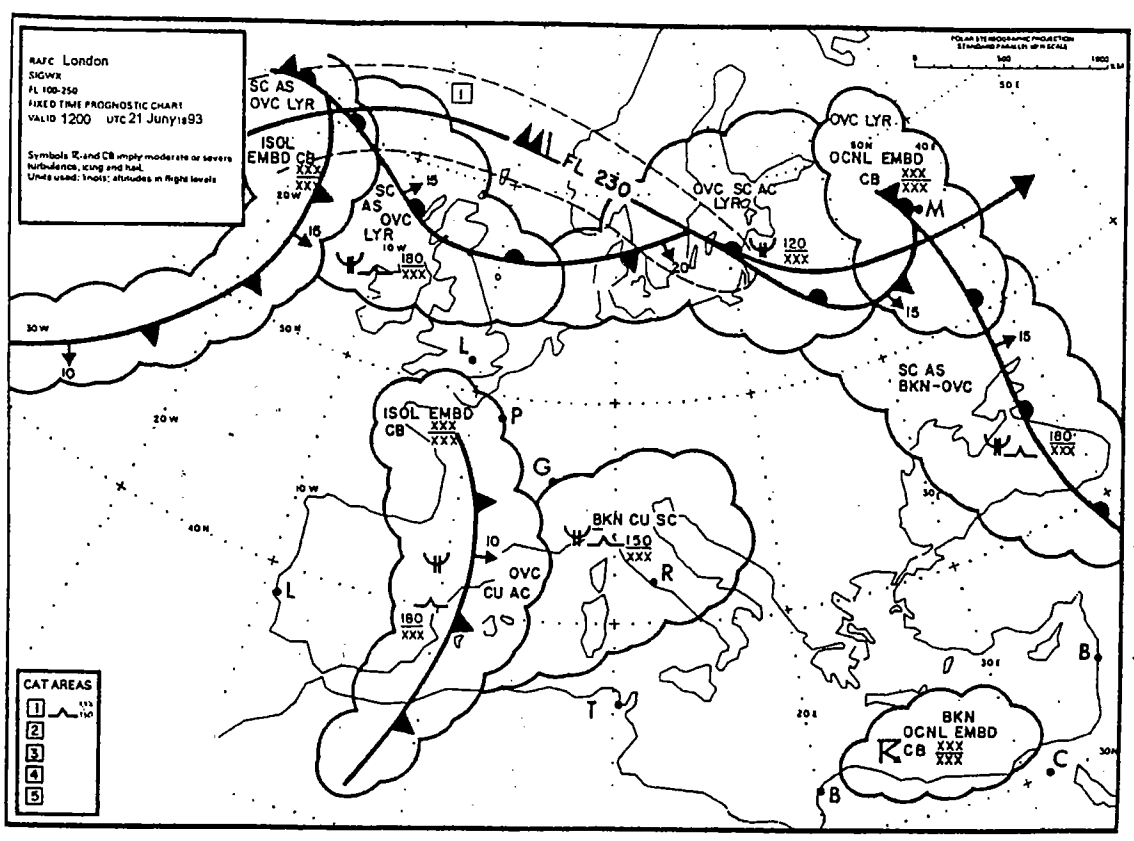
# Prilog 15.

184

ASB

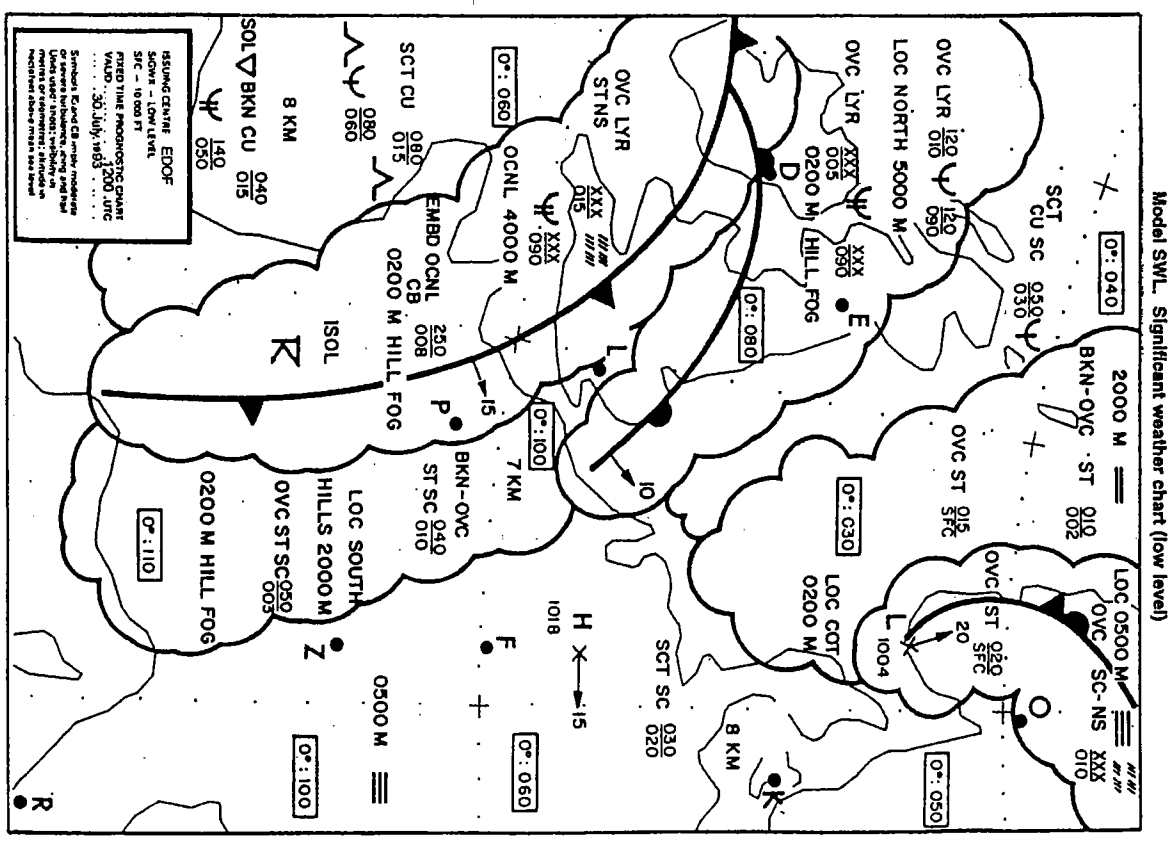
# Prilog 16.

Prognostička karta značajnog vremena - srednje razine (SWM) (vidi točku 34.2.7. - za oznake vidi prilog 18.)



# Prilog 17.

Prognostička karta značajnog vremena - niske razine (SWL) (vidi točku 34.2.7. - za oznake vidi prilog 18.)



# Prilog 18.

## ICAO kratice

<b>A</b>		
ACC	- Area Control Centre	- područna (oblasna) kontrola
ABV	- above	- iznad
AFIS	- Aerodrome Flight Information Service	- aerodromska služba letnih obavijesti
AFS	- Aeronautical Fixed Service	- stalni zrakoplovni sustav
AFTN	- Aeronautical Fixed Telecommunication Network	- stalna zrakoplovna telekomunikacijska mreža
AIREP	- air report	- letatičko izvješće
AIRMET	- AIRMET information	- AIRMET obavijest (pojava vremenskih pojava opasnih za sigurnost letenja do FL 100)
ALT	- altitude	- apsolutna visina (iznad SMR)
AMD	- amend or amended	- izmijeniti ili izmijenjeni (prognoza)
AMS	- Aeronautical Meteorological Station	- zrakoplovna meteorološka postaja
ANNEX-3	- ANNEX-3	- ANEX-S-3 (osnovni dokument koji određuje standarde i preporuke u zrakoplovstvu)
APCH	- approach	- prilaz
APP	- Approach Control	- prilazna kontrola
ARFOR	- Area Forecast for aviation	- područna prognoza
ARO	- Air traffic services Reporting Office	- ured prepolnog obavješćivanja
AT	- at (followed by time at which weather change is forecast to occur)	- u (uz naznaku vremena kad se procjenjuje promjena meteorološke situacije)
ATIS	- Automatic Terminal Information Service	- služba automatskog obavješćivanja u zavišnom području
ATN	- Aeronautical Telecommunication Network	- zrakoplovna telekomunikacijska mreža
ATS	- Air Traffic Service	- služba kontrole leta
<b>B</b>		
BASE	- cloud base	- podnica oblaka
BCST	- broadcast	- radioodsljivanje
BECMG	- becoming	- nadolazeći (postajući)
BKN	- broken	- pretežno oblačno (5-7/8)
BL	- blowing (followed by DU = dust, SA = sand or SN = snow)	- visoka vijavica (ispred oznaka DU = prašinska, SA = piješkana ili SN = snježna)
BLO	- below clouds	- ispod oblaka
BR	- mist	- sumaglica
BTL	- between layers	- između slojeva
BTN	- between	- između
<b>C</b>		
CAeM	- Commission for Aeronautical Meteorology	- Povjerenstvo za zrakoplovnu meteorologiju (WMO)

CAT	- category	- kategorija (aerodroma)
CAT	- clear air turbulence	- bezoblačna turbulencija
CAVOK	- cloud, visibility and present weather OK (better than prescribed values or conditions)	- oblaci, vidljivost i pojave u redu (iznad vrijednosti propisanih kriterija)
CB	- Cumulonimbus	- kumulonimbus
CIDIN	- Common ICAO Data Interchange Network	- zajednička mreža za razmjenu ICAO podataka
CLA	- clear type of ice formation	- nakupina prozirnog leda
CLD	- cloud	- oblak
CMB	- climb to or climbing to	- penjanje, koji se penje
COND	- condition	- uvjet, stanje
CONNS	- continuous	- neprekidni, stalni
COT	- at the coast	- na obali
CTA	- control area	- kontrolirano područje (oblast)
CU	- Cumulus	- kumulusi
CUF	- cumuloform	- u obliku kumulusa
<b>D</b>		
D	- downward (tendency in RVR during previous 10 minutes)	- smanjenje (u RVR tijekom proteklih 10 minuta)
DEG	- degrees	- stupanj
DIF	- diffuse	- difuzni, raspršeni
DR	- low drifting (followed by DU = dust, SA = sand or SN = snow)	- niska vijavica (ispred oznaka DU = prašine, SA = piješka ili SN = snijega)
DS	- duststorm	- prašinska oluja
DU	- dust	- prašina
DZ	- drizzle	- rosulja
<b>E</b>		
EMBD	- embedded (in layer)	- uklopljeni (u sloju, Cb)
EXC	- except	- osim
EXP	- expect or expected or excepting	- očekivati, očekuje ili očekivan ili očekujem, u očekivanju
EXTD	- extend or extending	- proširen ili rasprostranjen
<b>F</b>		
FC	- funnel cloud	- ljevkast oblak
FIC	- Flight Information Centre	- središnja letnih obavijesti
FIR	- Flight Information Region	- područje letnih obavijesti
FEW	- few	- malo oblačno (1-2/8)
FG	- fog	- magla
FL	- flight level	- razina leta
FM	- from (followed by time a weather change is forecast to begin)	- od (uz naznaku vremena kad se procjenjuje promjena meteorološke situacije)
FRM	- feet per minute	- stopa u minuti
FRONT	- front (relating to weather)	- fronta (meteorološki naziv)
FRQ	- frequent	- povezani (Cb)
FT	- feet (unit measurement)	- stopa (mjerna jedinica)
FU	- smoke	- dim
FZDZ	- freezing drizzle	- prehladna rosulja

189

FZFG -freezing fog  
FZRA -freezing rain

- prehladna magla  
- prehladna kiša

G

GAMET - GAMET forecast  
GDPS - Global Data-Processing System  
GND - ground  
GOS - Global Observation System  
GR - hail  
GS - small hail and/or snow pellets  
GTS - Global Telecommunication System

- GAMET područna prognoza  
- svjetski sustav obrade podataka  
- zemlja ili to  
- svjetski sustav motrenja  
- tuča  
- ledena zrna i/ili solika  
- svjetski sustav telekomunikacija

H

H24 - continuous day and night service  
HR - hours  
HVY - heavy  
HZ - haze

- neprekidna (stalna danonoćna) služba  
- sat  
- jak (koristi se za određivanje jačine meteoroloških pojava)  
- suha mutnoća

I

IATA - International Air Transport Association

- Međunarodna udruga zračnog prijevoza

IC - ice crystals (very small ice crystals in suspension) - stari izraz diamond dust

- ledene iglice (vrlo sitni kristali leda koji lebde)

ICAO - International Civil Aviation Organization

- Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva

ICE - icing

- zaleđivanje

IIR - Instrumental flight rule

- pravilnik za instrumentalni let

IIS - Instrumental Landing System

- sustav za instrumentalno slijetanje

IMC - Instrumental Meteorological Conditions

- meteorološki uvjeti za instrumentalno letenje

IMPR - improve or improving

- poboljšati ili u poboljšanju

INC - in cloud

- u oblaku

INTSF - intensify or intensifying

- pojačati ili u pojačanju

INTST - intensity

- jačina (intenzitet)

IR - ice on runway

- led na pisti

ISA - International Standard Atmosphere

- međunarodna standardna atmosfera

ISOL - isolated

- pojedinačni (Cb)

J

JTST - jet stream

- mlazna struja

K

KMH - kilometres per hour

- kilometar na sat

KT - knots

- čvor

L

L - left (runway identification)

- lijeva (oznaka piste)

LAN - inland

- na kopnu

LAT - latitude  
LDG - landing  
LONG - longitude

LSQ - line squall (stari izraz), novi izraz SOLTS - olujna pruga

LTD - limited

LYR - layer or layerd

M

M - meters

MAX - maximum

MBST - microburst

MD - Meteorology Division

MET - meteorological or meteorology

METAR - aviation routine weather report (in aeronautical meteorological code)

MM - middle marker

MNM - minimum

MO - Meteorological Office

MOD - moderate (used to indicate the intensity of weather phenomena)

MON - above mountains

MOTNE - Meteorological Operational Telecommunications Network Europe

MOV - move or moving or movement

MPS - meters per second

MS - minus

MSG - message

MSL - mean sea level

MT - mountain

MTW - mountain waves

MWO - Meteorological Watch Office

N

NC - no change

NIL - none or I have nothing to send to you, not available

NOSIG - no significant weather (use in TREND type landing forecast)

NSC - nil significant clouds

NSW - nil significant weather

O

OBS - observe or observed or observation

OBSC - obscure or obscured or obscuring

OCNL - occasional or occasionally

OM - out marker

OPA - opaque, white type of ice formation

OPMET - operational meteorological (information)

OPN - open or opened or opening

OTLK - outlook (used in SIGMET messages for volcanic ash and tropical cyclones)

O

metar, m (piše se iza broja)  
- najveći, najviše, maksimalni  
- malopropad  
- Meteorološki odjel (ICAO)  
- meteorološki ili meteorologija  
- redoviti zrakoplovni vremenski izvještaj (u zrakoplovnom meteorološkom ključu)  
- srednja oznaka (za R W Y - USS)  
- najmanji, minimalni  
- meteorološki ured  
- umjereni - upotrebljava se u izvještima za jačinu meteoroloških pojava (MOD CAT)  
- iznad planina  
- Europska meteorološka operativna telekomunikacijska mreža  
- kretati se ili u pokretu ili pokret  
- metar u sekundi, m s<sup>-1</sup>  
- minus, manje  
- poruka  
- srednja morska razina, SMR  
- planinski  
- planinski val  
- ured meteorološkog bdjenja

- bez promjene  
- ništa, nemam vam što poslati, nema na raspolaganju  
- bez značajnih promjena (upotrebljava se u TREND prognozama za slijetanje)  
- bez značajnih oblaka  
- bez značajnih meteoroloških pojava

- motriti ili motrenje  
- zamućeni, zasrti ili zasrt  
- razdvojeni (Cb)  
- vanjska oznaka (za R W Y - USS)  
- naslaga mutnog neprozirnog leda  
- operativne meteorološke obavijesti  
- otvori, otvoren ili otvaranje  
- izgled (koristi se u SIGMET-u za vulkansku prašinu i tropisku ciklonu)



OTP - on top  
OVC - overcast

P  
PE - ice pellets  
PO - dust whirl (staro dust devil)  
PR - partial  
PROB - probability  
PS - plus

Q  
QFE - atmospheric pressure at aerodrome elevation (or at runway threshold)  
QNE - altimeter subscale set to 1013.25 hPa  
QNH - altimeter subscale setting to obtain elevation when on the ground

R  
R - right (runway identification)  
RA - rain  
RAFC - Regional Area Forecast Centre  
RAFS - Regional Area Forecast System  
RE - recent (used to qualify weather phenomena, e.g. RERA = recent rain)  
REQ - request or requested  
ROBEX - Regional OPMET Bulletin Exchange (scheme)  
ROFOR - route forecast (in aeronautical meteorological code)  
RVR - runway visual range  
RWY - runway

S  
SATCOM - satellite communication  
SCT - scattered  
SEV - severe (used e.g. to qualify icing and turbulence reports)  
SFC - surface  
SG - snow grains  
SH - showers  
SIGMET - SIGMET information (concerning en - route weather phenomena which may affect the safety of aircraft operations)  
SIGWX - significant weather  
SKC - sky clear  
SN - snow

- na vrhu ili iznad  
- potpuno oblačno (8/8)

- snužca  
- prašinski vrtlog  
- djelomice  
- vjerojatnost  
- više, plus

- atmosferski tlak na nadmorskoj visini aerodroma (ili na pragu piste)  
- pomoćna skala visinomjera podešena na 1013.25 hPa  
- podešavanje pomoćne skale visinomjera da pokaže nadmorsku visinu kada je zrakoplov na tlu

- desna (oznaka piste)  
- kiša  
- područno prognostičko središte  
- područni sustav meteoroloških prognoza  
- nedavno (koristi se za opis vremenskih pojava koje su se dogodile prije moutrenja)  
- zahtijev ili zahtijevan  
- područna razmjena OPMET izvještaja  
- prognoza vremena za određenu rutu (u zrakoplovnom meteorološkom ključu)  
- vidni doseg piste (vidni doseg USS)  
- uzletno-sletna staza, USS (pista)

- komunikacije pomoću satelita  
- djelomice oblačno (3-4/8)  
- jako (koristi se u izvještima za označavanje jačine zaledivanja i turbulencije)  
- ploha ili područje ili površina  
- zrnati snijeg  
- pijusak  
- SIGMET obavijest (koje se odnose na meteorološke pojave na putu i mogu utjecati na sigurnost letenja)  
- značajno vrijeme (vremenske pojave koje mogu utjecati na sigurnost letenja)  
- vedro (nebo, 0/8)  
- snijeg

SNOWTAM - a special series NOTAM notifying the presence or removal of hazardous conditions due to snow, ice, slush or standing water associated with snow, slush and ice on the movement area

SPECI - aviation selected special weather report  
SPOT - spot wind  
SQ - squall  
SQLTS - squall line  
SS - sand storm  
SST - super sonic transport  
STF - stratiform  
STNR - stationary  
SVR - slant visual range  
SW - significant weather  
SWC - significant weather chart

T  
TAF - terminal aviation forecast  
TAIL - tail wind  
TC - tropical cyclone  
TCU - lowering cumulus  
TDZ - touchdown zone  
TEMPO - temporary  
TEND - tendency  
TREND - trend forecast  
TKOF - take off  
TOP - cloud top  
TS - thunderstorm  
TSGR - thunderstorm with hail  
TURB - turbulence  
TWR - tower

U  
U - upward tendency in RVR during previous 10 minutes)  
UIR - Upper Information Region  
UTC - Universal Time Coordinated

V  
VA - volcanic ash  
VAL - in valleys  
VC - vicinity of the aerodrome  
VFR - visual flight rule  
VIS - visibility  
VOLMET - meteorological information for aircraft in flight  
VRB - variable

- posebna serija NOTAM-a koja obavještava o prisutnosti ili otklanjanju opasnosti nastalih usljed snijega, leda, bluzgavice ili staljake vode pomiješane sa snijegom, bluzgavicom i ledom na području kretanja zrakoplova  
- odabrani posebni zrakoplovni vremenski izvještaji  
- vjetar na određenoj točki  
- oluja  
- olujna pruga  
- pješkana oluja  
- nadzvučni promet  
- u obliku stratusa  
- nepokretan, stacionaran  
- kosi vidni doseg  
- značajno vrijeme  
- karta značajnog vremena

- temperatura  
- TAF aerodromska prognoza  
- ledni vjetar  
- ciklon, tropski ciklon  
- kumulusi u obliku tornja  
- područje prizemljenja, točka dodira  
- povremeno  
- usmjerenije (razvoj)  
- trend prognoza (za slijetanje i polijetanje)  
- polijetanje  
- vrh oblaka  
- gmljavinska oluja  
- gmljavinska oluja s tucom  
- turbulencija  
- toranj

- u porastu (promjena vidnom doseg u zadnjih 10 minuta)  
- područje letnih obavijesti (informacija) u gornjem zračnom prostoru  
- svjetsko vrijeme

- vulkanski pepeo  
- u dolini  
- u blizini aerodroma  
- pravilnik za vidljivi let  
- vidljivost  
- meteorološko izvješće za zrakoplove u letu (radio emisija)  
- promjenljiv

191

WAFc	- World Area Forecast Centre	
WAFS	- World Area Forecast System	
WCP	- World Climate Programme	
WDSPR	- widespread	
WINTeM	- WINTeM	- svjetsko prognostičko središte
WKN	- weaken or weakening	- svjetski sustav meteoroloških prognoza
WMO	- World Meteorological Organization	- svjetski klimatski program
WRNG	- warning	- rasprostranjeni ili rašireni
WS	- wind shear	- WINTeM (visinski vjetar i temperatura)
WSPD	- wind speed	- slabiti, u slabljenju
WTSPT	- waterspout	- Svjetska meteorološka organizacija
W.W.W	- World Weather Watch	- (aerodromsko) upozorenje
WX	- weather	- smicanje vjetra
		- srednja brzina vjetra
		- vodena plovica
		- svjetski sustav meteorološkog bilježenja
		- vrijeme (meteorološki pojam)

## Prilog 19.

### Pojmownik nekih oblika i vrsta leda (vidi točku 36.5.)

- čvrsti ledeni rub (*compacted ice edge*) – jasno izraženi ledeni rub
- glečer (*glacier*) – masa snijega i leda
- kopnena ledena ploha (*inland ice sheet*) – led na kopnu
- ledena kisuva (*ice shelf*) – ledenjak izranja 2-50 i više m, vezan za obalu
- ledeni tok (*ice stream*) – gibanje dijela leda u odnosu na okolini
- ledena kapa (*ice cap*) – ledeni pokrov, spušta se prema osnovi
- ledeno podnožje (*ice piedmont*) – donji dio glečera
- ledeni zid (*ice wall*) – ledena litica morske strane glečera
- kružni glečer (*cirque glacier*) – udubljeni glečer s jezastom
- glečerski brljeg (*glacier berg*) – ledenjak nepravilna oblika
- glečerski led (*glacier ice*) – led na glečeru
- goli led (*bare ice*) – led bez snježnog pokrivača
- gomiasti led (*rafted ice*) – izobličeni led nastao gomilanjem leda
- granica leda (*ice boundary*) – crta razdvajanja obalnog leda i plovcva
- greben (*ridge*) – ledeni zid nastao tlakom na led
- jednogodišnji led (*first-year ice*) – debljina 0,3-2 m
- kopneni led (*bergv water*) – led kopnenog podrijetla
- ledena fronta (*ice front*) – okomita litica prema otvorenom moru stvara kisuva
- ledena kaša (*slush*) – jako vlažni snijeg
- ledena ploča (*float*) – komad leda > 20 m
- goleme ledene ploče (*giant float*) > 10 km
- prostrane ledene ploče (*vast float*) 2-10 km
- velike ledene ploče (*big float*) 500-2000 m
- strednje ledene ploče (*medium float*) 100-500 m
- male ledene ploče (*small float*) 20-100 m
- ledeni brežuljak (*bergv bit*) – ledena santa 100-300 m<sup>2</sup>, izranja 1-5 m
- ledeni brljeg (*floatberg*) – gromada morskog leda, izviruje do 5 m
- ledeni dim (*float smoke*) – oblaci sitni magli, pri dodiru hladnog zraka i tople vode
- ledeni kolač (*ice cake*) – ravni komad leda 2-20 m
- ledeni krš (*brash ice*) – nakupine plutajućeg leda širine do 2 m

- ledeni odlom (*calving*) – odvajanje ledenih gromada od ledenog zida
- ledeni otok (*ice island*) – komadi leda izranjaju 5 m, debljina 30-50 m, površina 1000-500 000 km<sup>2</sup>
- ledenjak (*iceberg*) – led na kopnu ili moru (izranja 5 m) nastaje odlamanjem od glečera
- mladi led (*young ice*) – led stanji od pokorice, debljina 10-30 cm
- mladni led (*sea-ice*) – bilo koji led, po smrzavanju morske vode
- obalni led (*fast-ice*) – led koji se stvara, povezan je s obalom, ledenim zidom ili ledenom frontom
- okovanost ledom (*beset*) – brod okružen ledom
- pijanasti led (*grease ice*) – skrućivanje ledenih kristala
- plivac (*pack-ice*) – bilo koje područje morskog leda
- rastresiti plivac (*open pack-ice*) – led plivac koncentracije 4-6/10, s mnogim prolazima
- zbijeni plivac (*compact pack-ice*) – led plivac koncentracije 10/10, između se ne vidi voda
- plivni prolaz (*flaw lead*) – moguća plovidba između leda plivca i stalnog obalnog leda
- plutajući led (*floating ice*) – bilo koji plutajući led
- pokorica (*nilas*) – tanja elastična ledena kora do 10 cm
- svijetla pokorica (*light nilas*) – led svjetle boje, debljina > 5 cm
- tamna pokorica (*dark nilas*) – led vrlo tamne boje, debljina < 5 cm
- pridnemi led (*anchor ice*) – drži se morskog dna
- pukotina (*crack*) – procep koji nije nastao odvajanjem leda
- pukotina (*flaw*) – usko odvojeno područje između leda plivca i obalnog leda
- raspuklina (*fracture*) – pukotina u zbijenom plovcu, obalom ledu ili ploči, širina više m do km
- raspuklina (*polyrya*) – svaki nepravocrtni otvor u ledu
- santa (*growler*) – manje od ledenog brežuljaka ili ledenog brjega, izranja do 1 m, površina 20 m<sup>2</sup>
- sivi led (*grey ice*) – mladi led debljine 10-15 cm
- spužvasti led (*shuga*) – nakupine spužvastog ledenog grumenja
- stari snijeg (*firm*) – stari snijeg kristaliziran u gustu masu
- truli led (*rotten ice*) – led u raspadanju, oblik saća
- višegodišnji led (*multi-year ice*) – stari led debljine ≥ 3 m
- zgnječeni led (*ice jam*) – nakupine riječnog ili morskog leda

## Prilog 20.

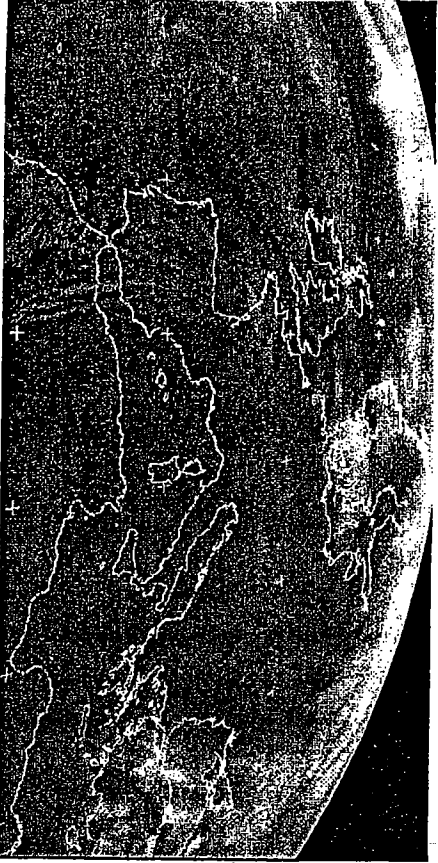
Vremenske karte i dijagrami u meteorološkoj službi (skraćeni "meteorološki materijal" za jedan dan koji se prima, obrađuje i razmjenjuje u Državnom hidrometeorološkom zavodu u Zagrebu) (vidi točku 28.4.1.)

### Prilog 20.1.

a) Satelitska slika u infračrvenom spektru (IR) za Europu 31.01.2000. u 00:57 UTC, (Eumetsat).



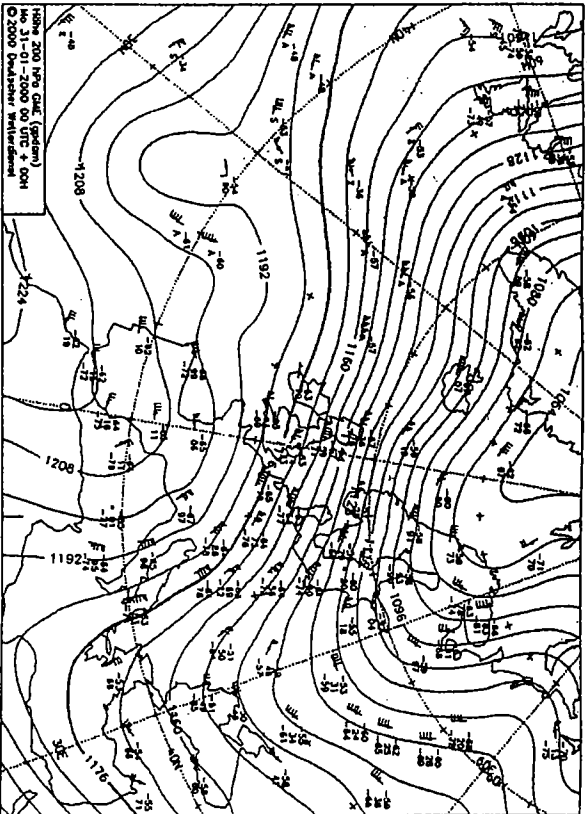
b) Satelitska slika u spektru vodene pare (WV) za Europu 31.01.2000. u 00:57 UTC, (Eumetsat).



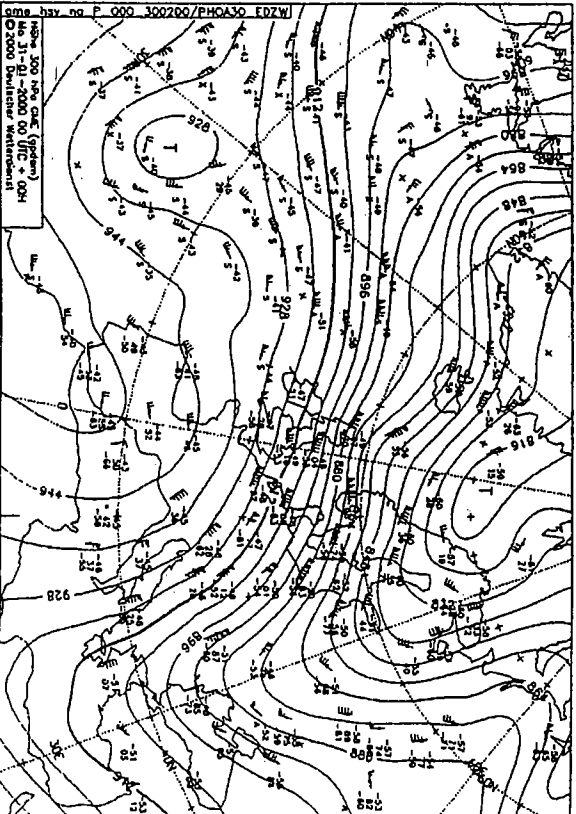
## Prilog 20.2.

Visinske analize Europe i zapadnog Atlantika 31.01.2000. u 00 UTC, (DWD).

a) AT-200 hPa (≈ 11.8 km), b) AT-300 hPa (≈ 9.1 km), c) AT-400 hPa (≈ 7.1 km), d) AT-500 hPa (≈ 5.5 km), e) AT-700 hPa (≈ 3.0 km), f) AT-850 hPa (≈ 1.4 km).

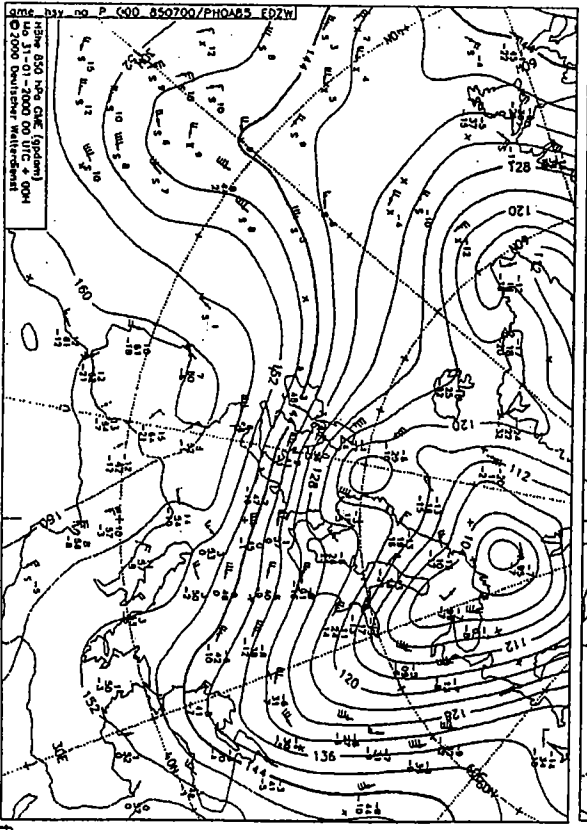
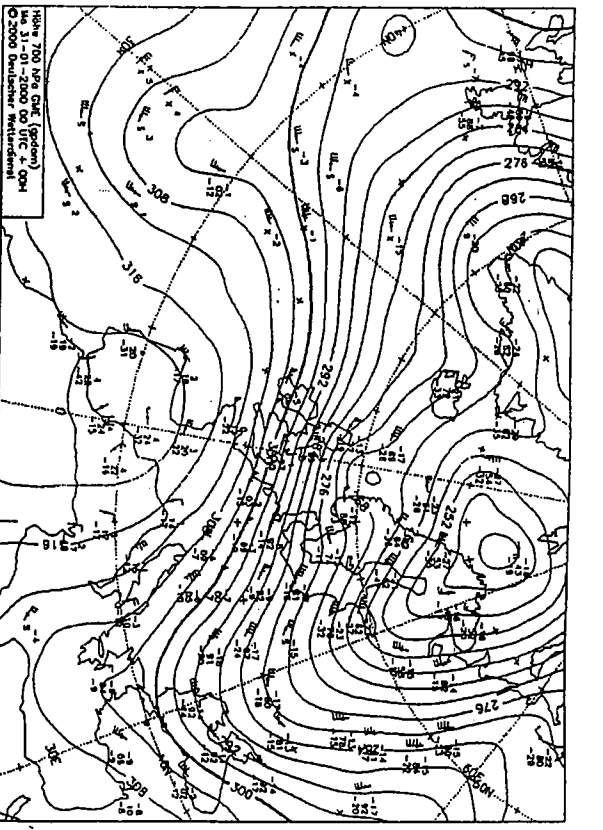
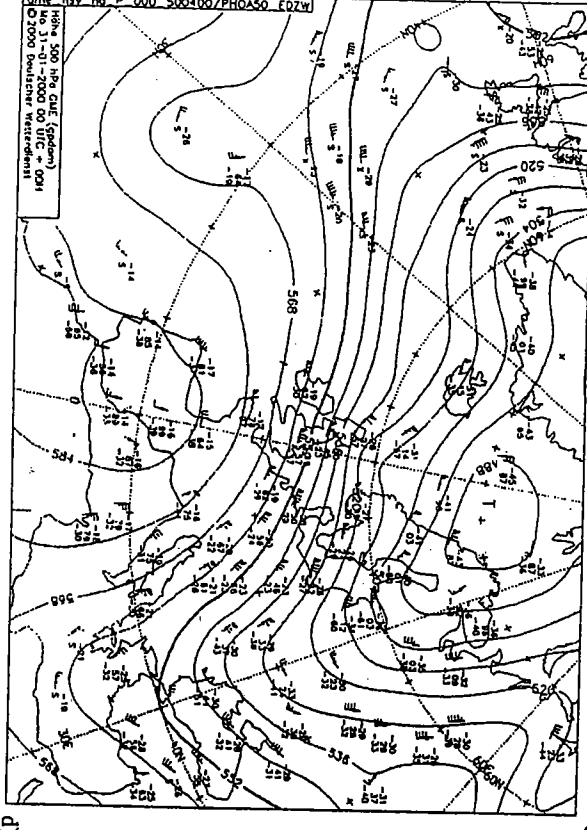
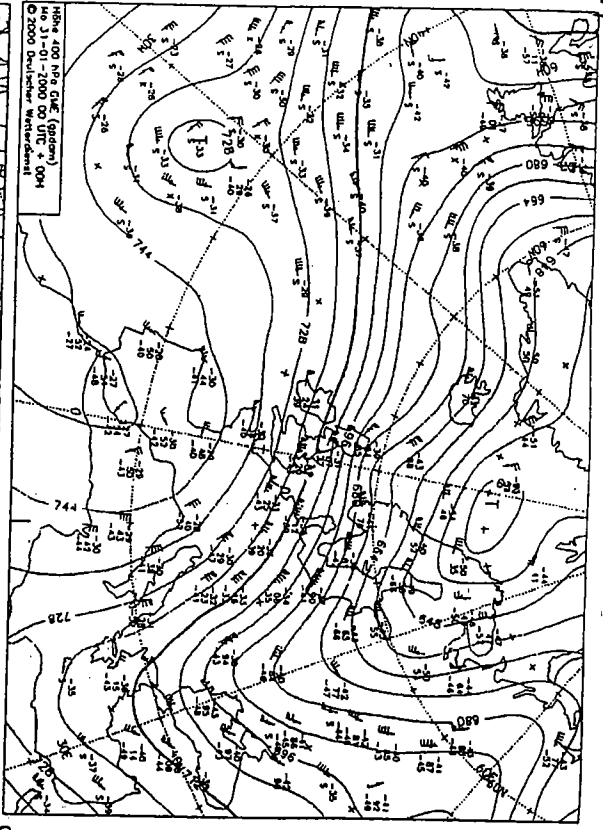


a)



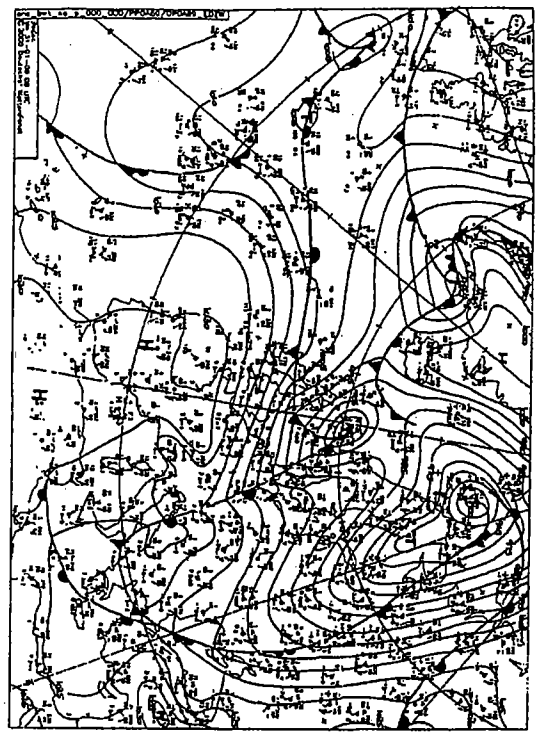
b)

1995



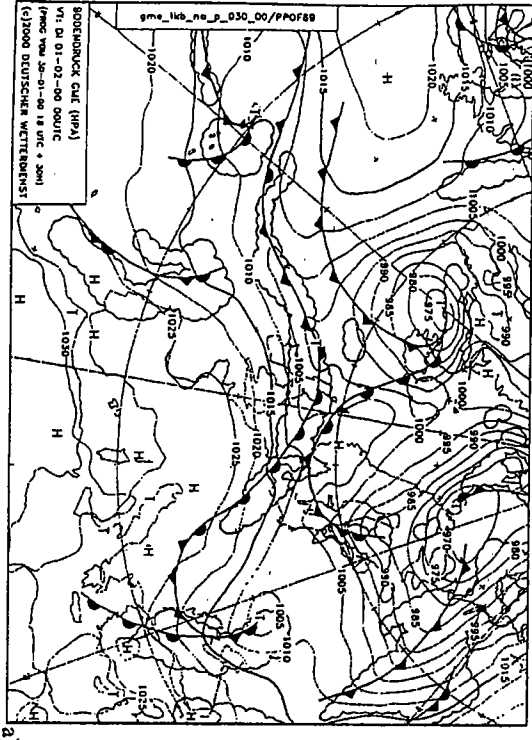
**Prilog 20.3.**

Prizemna analiza Europe i zapadnog Atlantika 31.01.2000. u 00 UTC, (DWD).



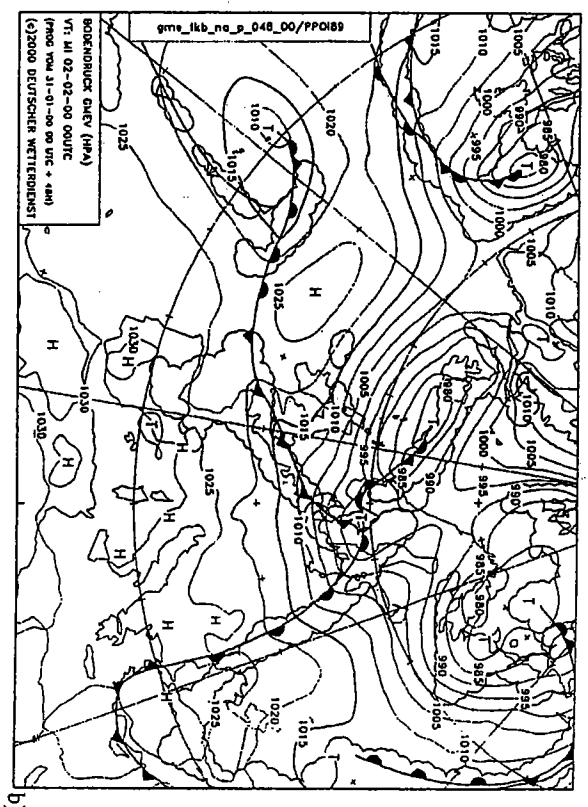
Prizemne prognostičke karte Europe i zapadnog Atlantika.

- a) za 01.02.2000. u 00 UTC (18 + 30 h), (DWD), prognoza za 30 h (1 dan i 6 h) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.

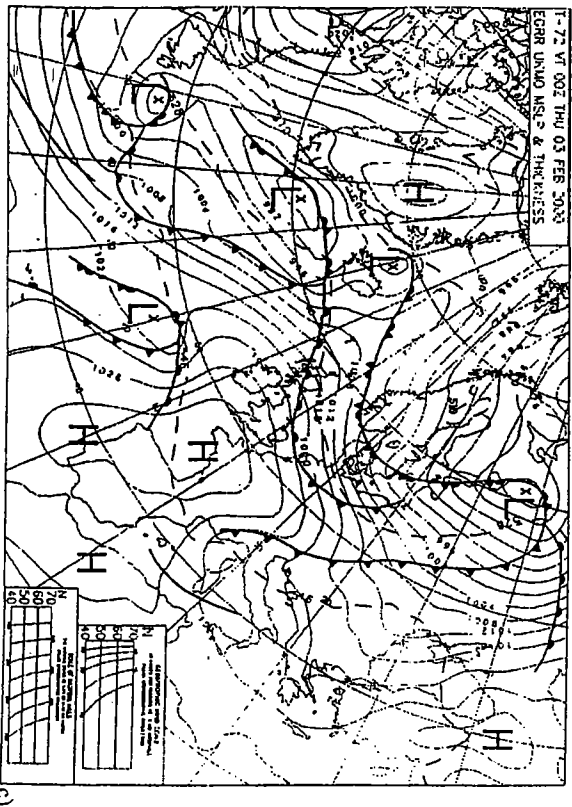


**Prilog 20.4.**

- b) za 02.02.2000. u 00 UTC (00 + 48 h), (DWD), prognoza za 48 h (2 dana) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.

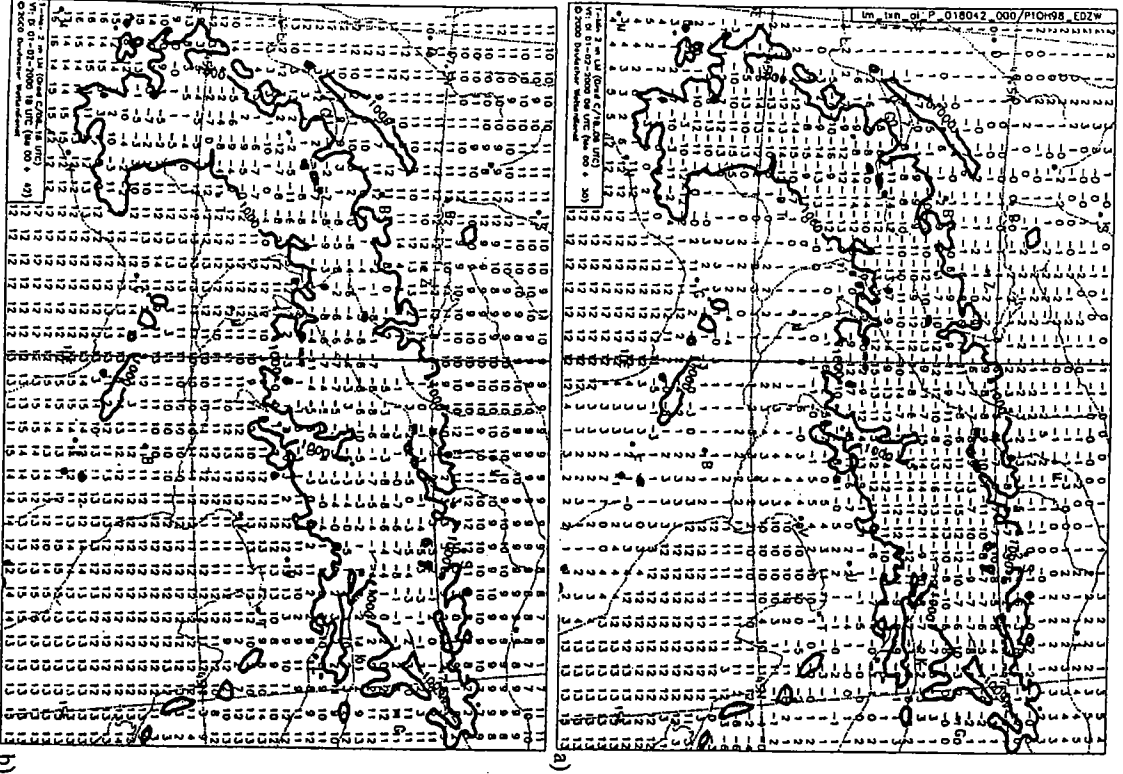


- c) za 03.02.2000. u 00 UTC (00 + 72 h), (EGRR UKMO), prognoza za 72 h (3 dana) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.



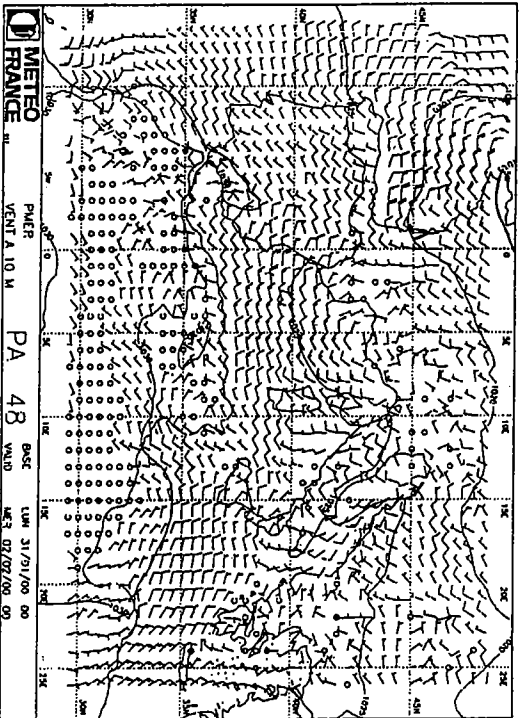
Prilog 20.5.

- Prizemne prognostičke karte ekstremnih temperatura zraka za Alpsko područje. (DWD).
- a) najniže temperature za 01.02.2000. u 06 UTC (00 + 30 h), (razdoblje 18 - 06 UTC), prognoza za 30 h (1 dan i 6 h) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC,
- b) najviše temperature za 01.02.2000. u 18 UTC (00 + 42 h), (razdoblje 06 - 18 UTC), prognoza za 42 h (1 dan i 18 h) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.



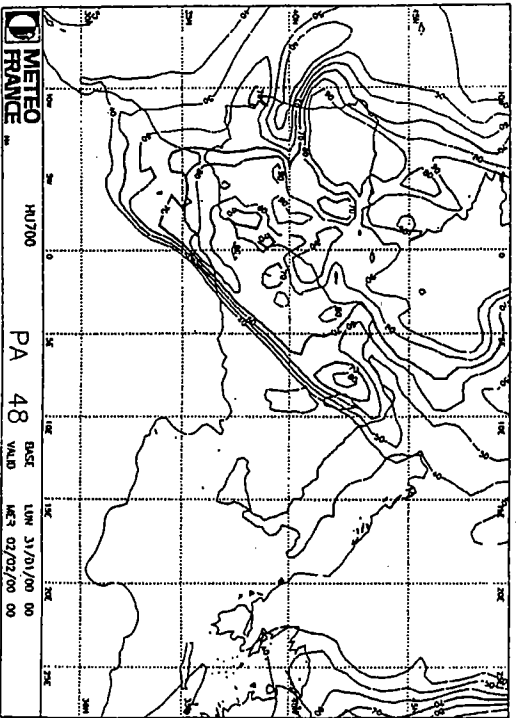
Prilog 20.6.

Prizemna prognostička karta atmosferskog tlaka te smjera i brzine vjetera (na 10 m) na Sredozemlju za 02.02.2000. u 00 UTC, (Meteo France), prognoza za 48 h (2 dana) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.



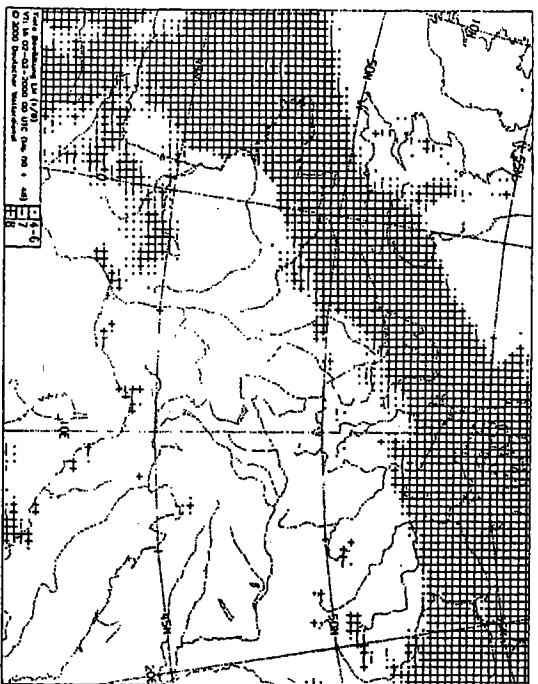
Prilog 20.7.

Prognostička karta relativne vlažnosti na A.F-700 hPa na Sredozemlju za 02.02.2000. u 00 UTC, (Meteo France), prognoza za 48 h (2 dana) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.



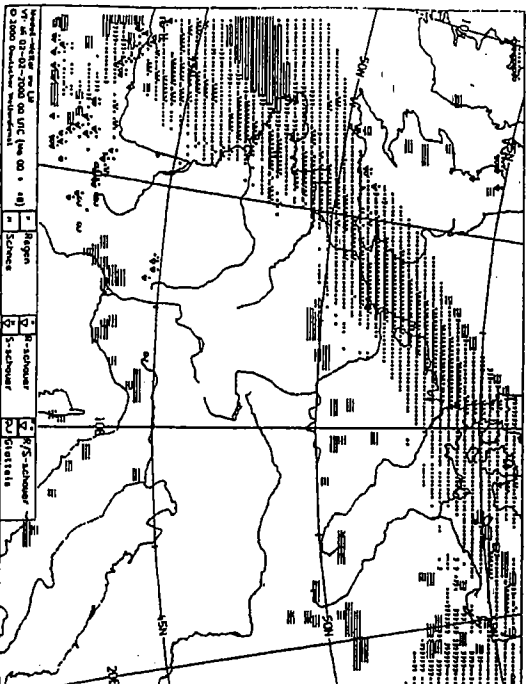
Prilog 20.8.

Prognostička karta niske naoblake (u 1/8) na dijelu zapadne Europe za 02.02.2000. u 00 UTC, (DWD), prognoza za 48 h (2 dana) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.



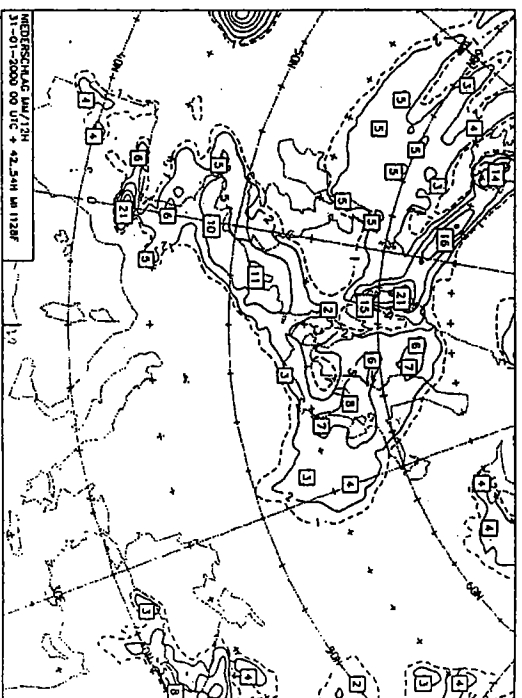
Prilog 20.9.

Prognostička karta vremenskih procesa (magla, kiša, snijeg, pljuskovi, grmljavine i dr.) na dijelu zapadne Europe za 02.02.2000. u 00 UTC, (DWD), prognoza za 48 h (2 dana) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.



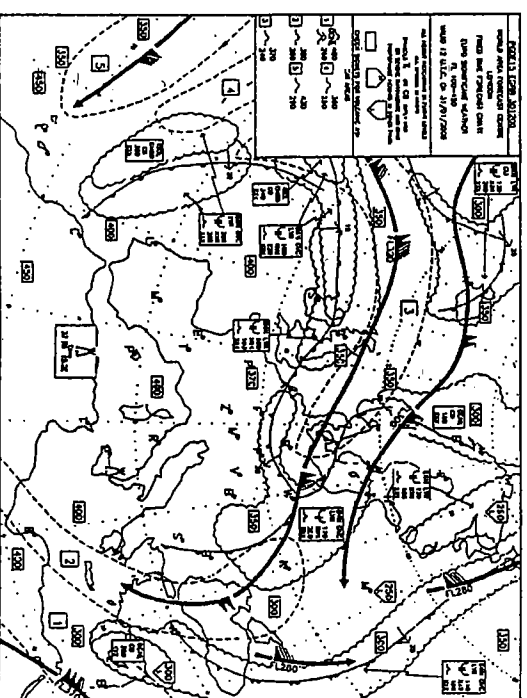
Prilog 20.10.

Prognostička karta količine oborina tijekom 12 h (mm) za razdoblje od 01.02. u 12 UTC do 02.02. u 00 UTC na dijelu zapadne Europe, koja bi bila izmjerena 02.02.2000. u 00 UTC, (DWD), prognoza za 48 h (2 dana) temeljena na 31.01.2000. u 00 UTC.



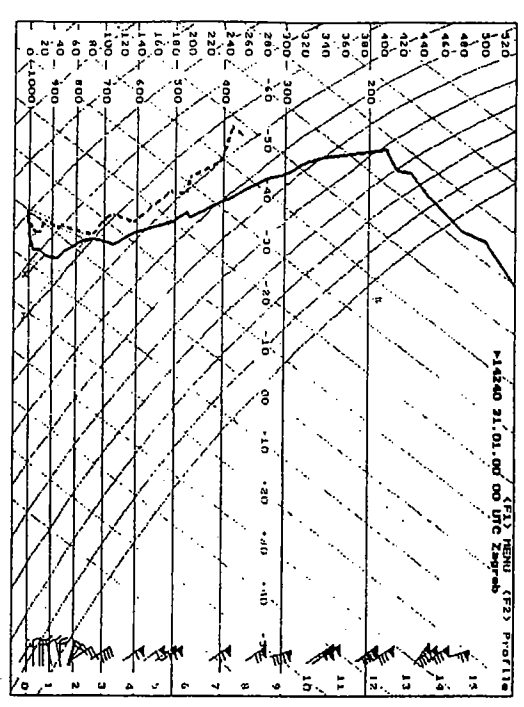
Prilog 20.11.

Prognostička karta značajnog vremena (SWC) za Europu, razine između FL 100-450 za 31.01.2000. u 12 UTC, prognoza za 24 h (1 dan) temeljene na analizi od 30.01.2000. u 12 UTC, (WAFc London), (vidi točku 34.2.7. - za oznake vidi prilog 18.).



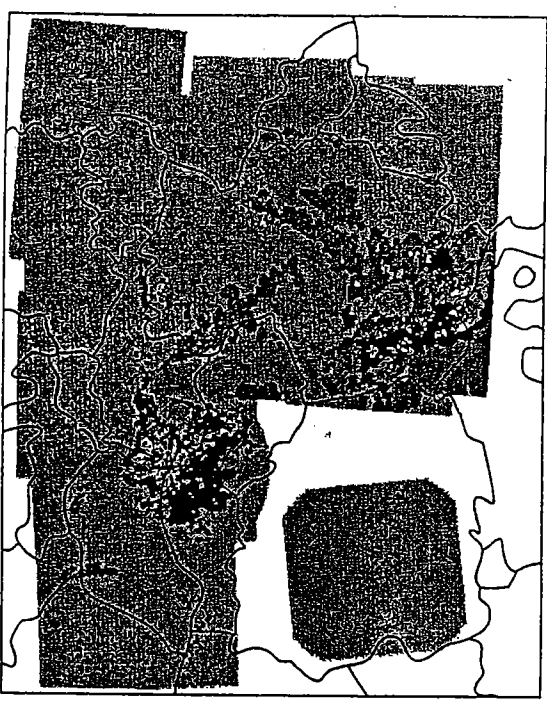
133

Emagram za Zagreb (postajni broj 14240) 31.01.2000. u 00 UTC, promijena temperature i rosišta zraka te smjera i brzine vjetra s visinom do razine 100 hPa (visina oko 16 km odnošno 52 000 stopa).



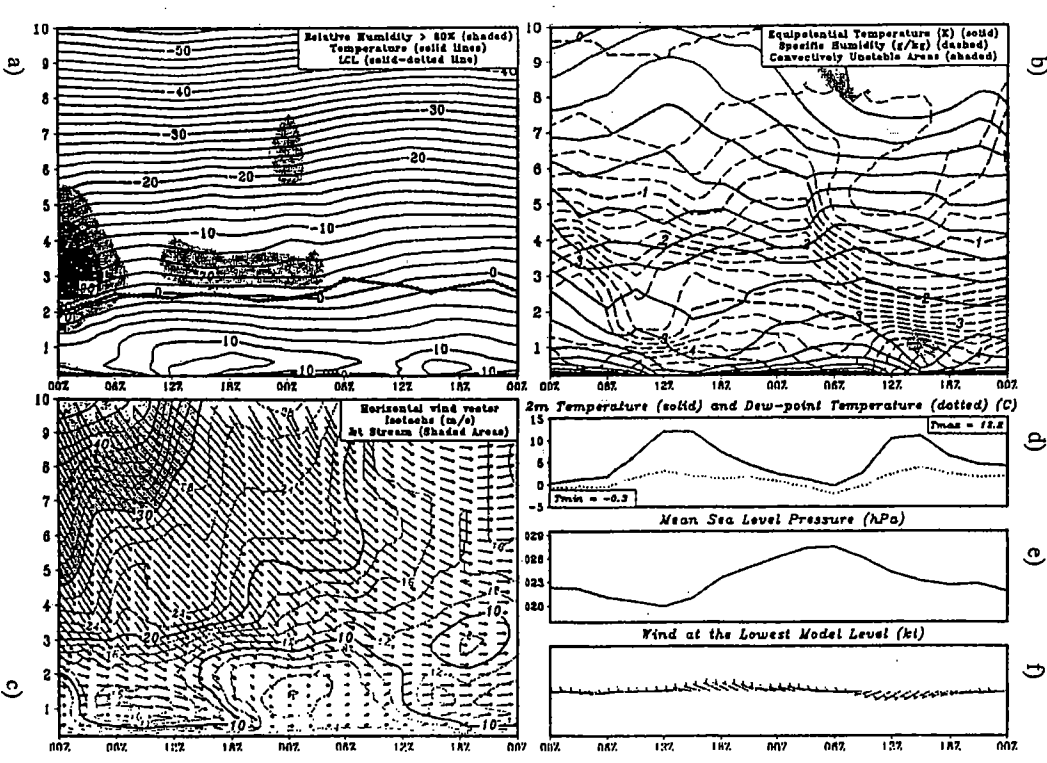
Prilog 20.12.

Složena (kompozitna) radarska slika vremenskog stanja Europe 31.01.2000. u 00:10 UTC (CERAD), slika prikazuje izmjerenu jačinu oborine radarom (mm h<sup>-1</sup>). Za tumačenje slike vidi točku 30.1.2.



Prilog 20.13.

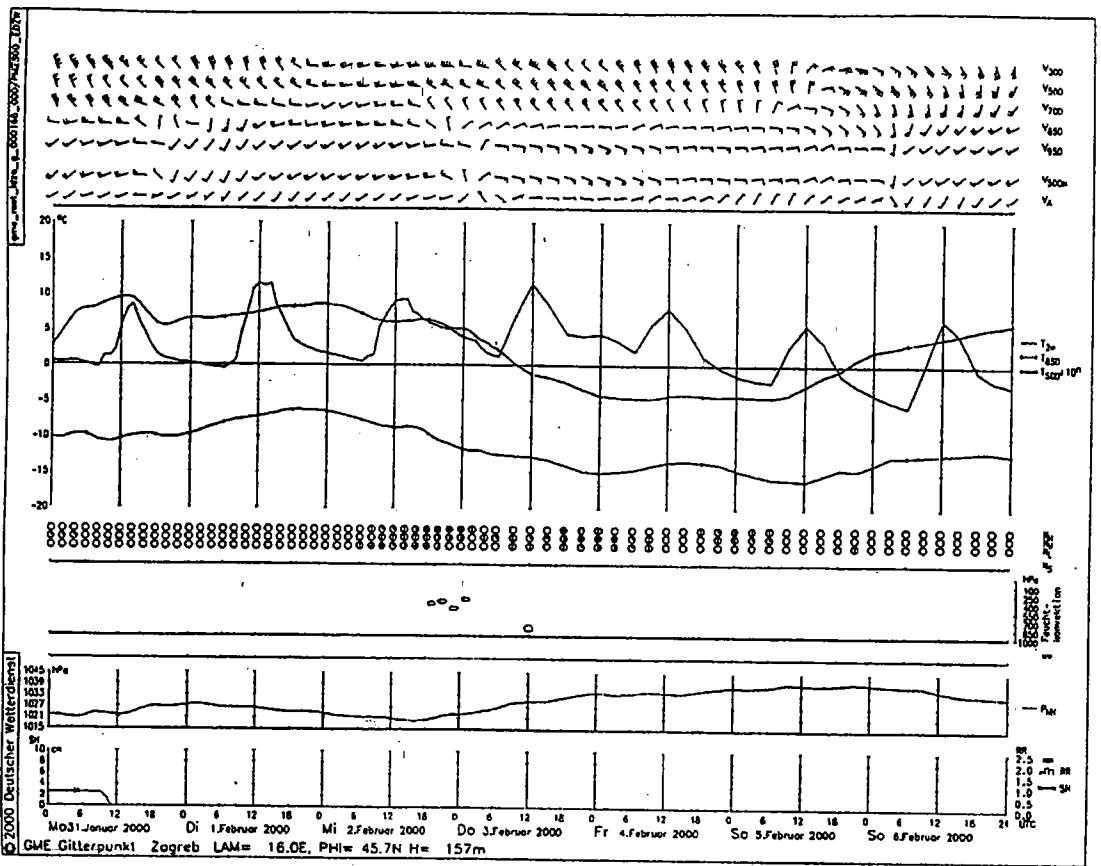
Vremenski presjek (HRID) za Zagreb za 31.01.2000. u 00 UTC + 48 h, do visine 10 km. a) temperatura zraka (°C) i relativna vlažnost ≥ 60%, konveksijska razina (TL), ekvipotencijalna temperatura (K) i specifična vlažnost (g kg<sup>-1</sup>), područje konveksijske nestabilnosti (sjenčano), vodoravni vektori vjeta i izotaha (m s<sup>-1</sup>), područje mlazne struje je sjenčano, d) temperatura i rosište na 2 m (°C), e) tlak na srednjoj morskoj razini (hPa), f) smjer i brzina prizemnog vjetra



Prilog 20.14.

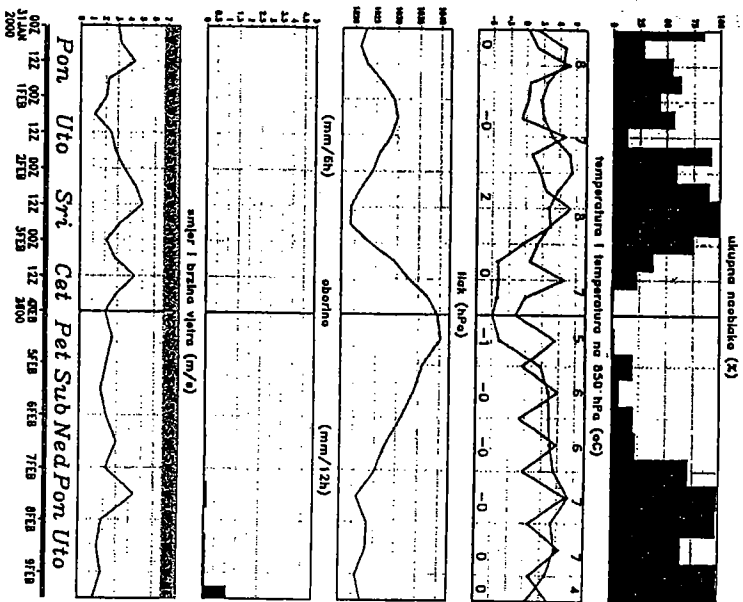


Prilog 20.15.



Meteogram za Zagreb za 7 dana, polazeći od 31.01.2000. u 00 UTC, (DWD).  
 Prognoza vjetra po visini od prizemnog ( $V_p$ ) do AT-300 hPa, temperature zraka na 2 m i temperature zraka na 850 i 500 hPa ( $^{\circ}\text{C}$ ), količine visokih, srednjih i niskih oblaka (1/8), visina razine mokre konvekcije (hPa), atmosferskog tlaka (na srednjoj morskoj razini, hPa) i količine oborine (mm).

Prilog 20.16.



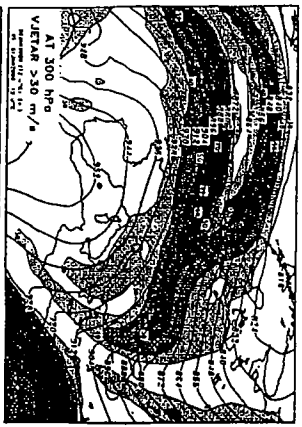
Meteogram za Zagreb za 10 dana, polazeći od 31.01.2000. u 00 UTC, (ECMWF).  
 Prognoza naoblake (%), temperature zraka na 2 m i temperature zraka na 850 hPa ( $^{\circ}\text{C}$ ), atmosferskog tlaka na SMR (hPa), količine oborine (mm/6 h ili mm/12 h), smjera i brzine vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ ).

Prilozi 20.17. – 20.20.

Prognoističke karte za Europu i zapadni Atlantik, polazeći od 30.01.2000. u 12 UTC, (ECMWF). Skup od četiri karte za pojedini dan (termini) odnosi se na:

- a) visinsku kartu, izohipse (gpdm) i izotabe ( $\text{m s}^{-1}$ ), (mlazna struja je sjenčana) na AT-300 hPa,
- b) visinsku kartu, izohipse (gpdm) i izoterme ( $^{\circ}\text{C}$ ) na AT-500 hPa,
- c) visinsku kartu, izohipse (gpdm) i izoterme ( $^{\circ}\text{C}$ ) na AT-850 hPa,
- d) prizemnu kartu s atmosferskim tlakom (na SMR, hPa), izohipse relativne topografije (gpdm) RT 500/1000 hPa, te relativnu vlažnost ( $> 60\%$ ) u sloju od 500 do 850 hPa.

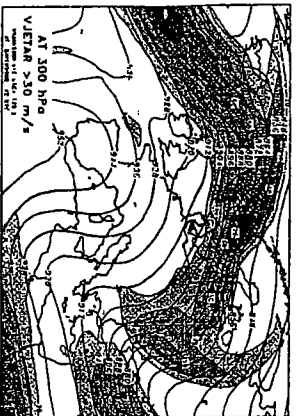
prognoza za 24 h (1 dan), tj. za 31.01.2000. u 12 UTC (v. str. 491)



prognoza za 48 h (2 dana), tj. za 01.02.2000. u 12 UTC (v. str. 491)



prognoza za 120 h (5 dana), tj. za 04.02.2000. u 12 UTC (v. str. 491)



prognoza za 228 h (10 dana), tj. za 09.02.2000. u 00 UTC (v. str. 491)

