

Antonije Đukić *

ISSN 0469-6255
(79-85)

POJAVE ZRAČNIH MASA I FRONTA NA MORU

UDK551.515.8

Pregledni rad

Sažetak

Oblikovanje zračnih masa i fronta na kopnu i moru stalni su procesi. Zračne mase i fronte imaju svoje karakteristike (temperaturu, vlažnost) i svojstva, tako da one nose sa sobom klimatske osobitosti. One nisu stabilne, mijenjaju svoja fizikalna svojstva ovisno o područjima kojima su formirane (preko morskih površina, pustinja i dr.) i o područjima u kojima se gibaju.

* S obzirom na to da su zračne mase i fronte stalne pojave na Zemlji, analizirana su njihova svojstva, njihove strukture i procesi koji se događaju unutar fronte. Kad je u pitanju pojava fronta na moru, dane su najnovije spoznaje o fizikalnim procesima u njima i o njihovim meteorološkim osobitostima.

Ključni su pojmovi: zračne mase, fronte na moru, fizikalna obilježja i meteorološke karakteristike.

UVOD

Razmatranje problematike zračnih masa i fronta od velike je važnosti za pomorsku meteorologiju, s obzirom na to što su tu u pitanju prostranstva. Tako horizontalne dimenzije zračnih masa iznose i po nekoliko tisuća kilometara, a nerijetko zahvaćaju i cijelu troposferu. Da bi zrak na velikim prostorima poprimio jednolika svojstva, moraju postojati izvjesni uvjeti.

Frontalne zone područja su gdje se miješaju smjerovi vjetra, a oni su tijesno povezani s orijentacijom izobara. Fronta je granica između zračnih masa s različitim karakteristikama, obično između onih toplih i onih hladnih.

Poprečni presjeci pokazuju da se koncepcija o zračnim masama ne ograničava samo na niže atmosferske slojeve, kao što ni fronte nisu samo ograničene na niže nivoe, već se protežu do tropopauze. Ta spoznaja je osnova za modernu sinoptičku meteorologiju i suprotna je idejama koje su bile stvorene u vrijeme kad su bili dostupni samo prizemni podaci.

Osobine individualne zračne mase u tijesnom su odnosu s radijacijskom ravnotežom unutar troposferskog dijela zraka, s vertikalnom raspodjelom vodene pare,

ugljičnim dioksidom i aerosolom. Zato, ako zrak ostaje stacioniran u dužem periodu iznad površine homogenog karaktera, uspostavit će se određene karakteristike raspodjele vlage i temperature. Jednom, kad se zračne mase pokrenu iz izvornog područja preko podloge s različitim osobinama, počinje njihova modifikacija razmjenom vlage i topline sa zemljom. Početna radijacijska ravnoteža u zraku time je poremećena i profil temperature prilagođuje se novim uvjetima.

ZRAČNE MASE I FRONTE

Atmosfera je pod utjecajem neposredne dugotrajne površinske radijacije. U izvjesnim se okolnostima, zbog toga s razlogom može očekivati da stvaranje zračne mase i fronta ovisi o Zemljinoj površini. Geografska različitost će potaknuti strujanje zraka, za razliku od homogene površine gdje su zračne mase prilično ujednačene (temperatura, važnost). Homogena tijela često su izložena postepenim promjenama. Tako će ona, čak na tisućama kilometara, održavati horizontalnu "zračnu masu".

Zračne mase kao regije izvora obično su mjesta geografskih prostranstava oceanskih površina, polarnih krajeva, te područja pustinja i velikih ravnica gdje su minimalne vremenske promjene. To će uglavnom biti područja za nastanak zračnih masa, jer se tu zrak iznad njih sporo giba.

Zračne su mase uglavnom pod utjecajem dviju karakterističnih osobitosti. Prvo, ovisno o tome jesu li se formirale u odnosu prema vlažnom sadržaju koji se oblikuje pod utjecajem oceanskih površina i, drugo, formiraju li se iznad kopnenog dijela. Također, gledajući njihova termalna obilježja, zračne mase imaju ovo porijeklo: arktičko ili antarktičko, polarno, tropsko i ekvatorijalno.

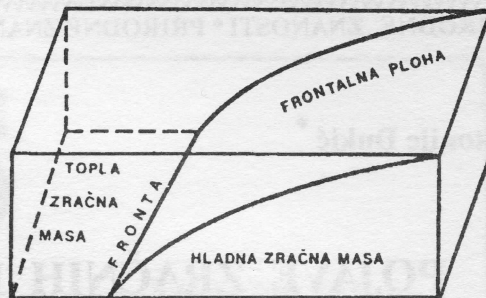
Uzimajući u obzir osobitosti geografskih prostora, izdvaja se šest karakterističnih tipova zračnih masa:¹

1. maritimno tropska;
2. maritimno polarna;
3. kontinentalno tropska;
4. kontinentalno polarna;
5. kontinentalno arktička
6. maritimno ekvatorijalna.

* dr. Antonije Đukić
Pomorski fakultet
Dubrovnik

PRIKAZ KARAKTERISTIKA VEĆIH ZRAČNIH MASA

Tipovi zračnih masa	Karakteristrike izvora		Tipična svojstva
	Temperatura u °C	Specifična vlaga (g/kg)	
MARITIMNO TROPSKA ljeta	22 - 30	15 - 20	blaga, vlažna
MARITIMNO POLARNA zima	0 - 10	3 - 8	svježja, vlažna
ljeta	2 - 14	5 - 10	hladna, vlažna
KONTINENTALNO TROPSKA	30 - 42	5 - 10	hladna, vlažna
KONTINENTALNO POLARNA zima	-35 - -20	0,2 - 0,6	hladna, suha
ljeta	5 - 15	4 - 9	hladna suha
KONTINENTALNO ARTIČKA zima	-55 - -35	0,05 - 0,2	vrlo hladna, vlažna
MARITIMNO EKVATORIJALNA	oko 27	oko 19	topla, vrlo vlažna



Shematski prikaz dodira dviju zračnih masa (Trewarha, 1954)

Ako se uzmu u bozirn kretanje površinske temperature iznad kopna i mora, dobiva se geografska distribucija zračnih masa.

Područja zračnih masa podliježu promjenama. Tako one mogu mijenjati svoja fizikalna svojstva ovisno o područjima prema kojima se gibaju.

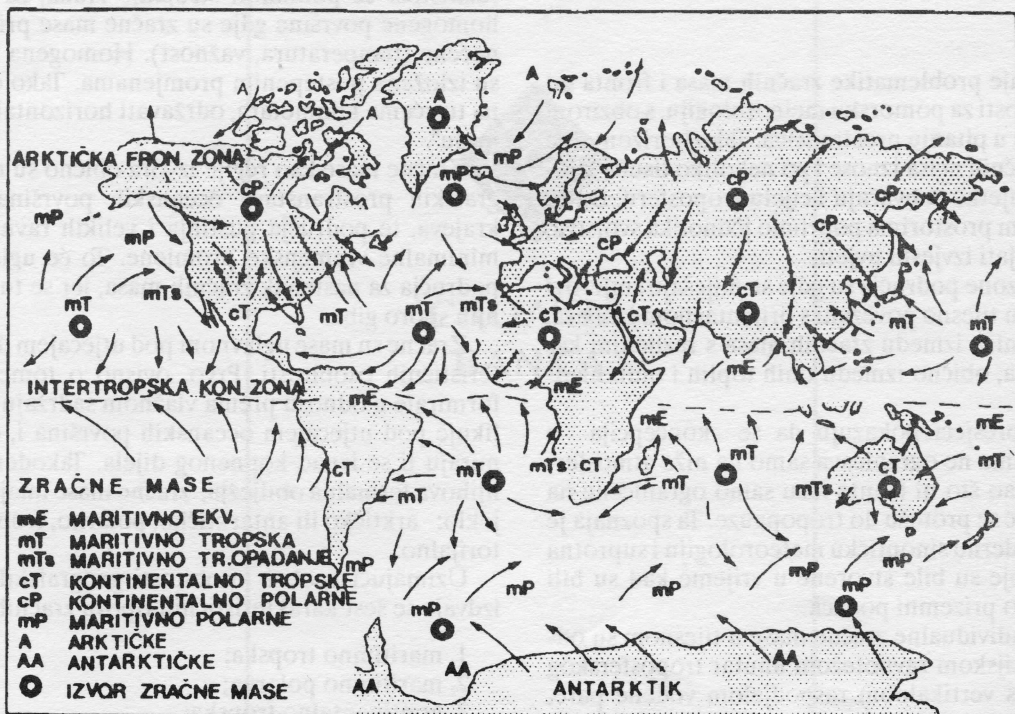
U zračnim masama vrijeme je u prostranim područjima u biti jednoliko, tj. horizontalne promjene temperature, tlaka, vlage itd. relativno su malene. Međutim, strujanja, dakle raspodjela tlaka u atmosferi, takva su da u mnogima dijelovima svijeta razne zračne mase dolaze u izravnim kontakt.

Budući da su one relativno postojane, ne miješaju se slobodno i bez posljedica. Između dvije zračne mase nastaje frontalna zona, u kojoj se prelazi iz jedne zračne mase u drugu. Frontalna zona može se širiti ili sužavati. Tako sužena, ona se zove frontalna ploha ili ploha diskontinuiteta jer svojstva druge zračne mase. Tako na frontalnoj plohi postoji veliki horizontalni gradijent

Izvor: O'Hare i Sweeney (1988)

S obzirom na njihovo regionalno porijeklo, klimatske osobitosti i međudnos atmosfere i oceana, zračne mase imaju različite karakteristike.

Zračna masa nije stalna ni stabilna. Njezina vertikalna uzdignutost kreće se od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara, ali najčešće dopire do tropopauze.



Geografska distribucija zračnih masa iznad mora i kopna

Izvor: O'Hare i Sweeney (1988)

temperature i nagla promjena vlage zraka, smjera vjetra itd. Presjek frontalne zone ili frontalne plohe s površinom Zemlje zove se fronta. Na frontalnoj plohi dolazi do dizanja i adijabatičkog hlađenja zraka, odnosno do kondenzacije, pa frontalne plohe redovito prate sistemi oblaka. Prijelaz fronte preko nekog područja praćen je intenzivnim vremenskim promjenama, a zbog smjene zračnih masa nastaju i magla i jake promjene temperature, padalina, tlaka, vjetra itd.²

Da bi nastala frontalna ploha, moraju postojati:

a) dvije zračne mase s izrazitim temperaturnim kontrastima; do toga dolazi lako u višim geografskim širinama (uz ekvator se taj uvjet teško može ispuniti, odnosno temperaturne razlike obično su minimalne;

b) atmosfersko strujanje treba da bude konvergentno, tj. najpovoljnije je ako dođe do protusmjernog strujanja zraka u zračnim masama u blizini frontalne plohe. Prema tim uvjetima na Zemlji postoje ove frontalne plohe koje odvajaju četiri vrste zračnih masa:

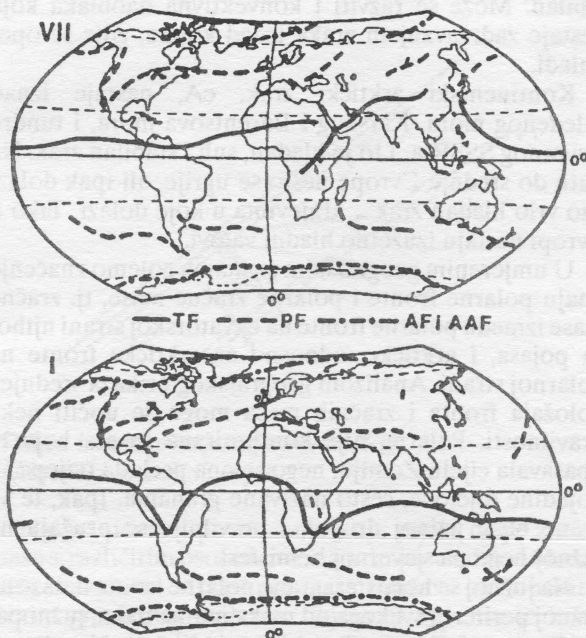
- između arktičkog i polarnog zraka je arktička fronta, odnosno između antarktičkog i polarnog zraka nalazi se antarktička fronta;
- između polarnog i tropskog zraka je polarna fronta;
- u sukobu tropskog i ekvatorska fronta, intertropska konvergencija ili intertropska zona konvergencije.

Sve pobrojene fronte, do kojih se došlo generaliziranjem, i koje označuju njihov srednji položaj u stanovitom duljem razdoblju, često se ispravnije nazivaju klimatskim frontama. Tako se upozorava na razliku između njih i frontalnih ploha ili fronta na sinoptičkim kartama, koje prikazuju trenutno stanje u atmosferi.

GEOGRAFSKA RASPODJELA ZRAČNIH MASA I KLIMATSKIH FRONTALNIH PLOHA

Budući da odvajanje zračnih masa od klimatskih fronta nije moguće, njih ćemo prikazati zajednički. Područje koje zahvaća neka zračna masa neprekidno se mijenja, pa izvorišna područja nisu strogo definirana. Postoji uglavnom pravilno povećanje ili smanjenje površine koju zahvaća neka masa u zimskom i ljetnom dijelu godine, a vrijedi pravilo da se zračne mase u izvjesnoj mjeri pomiču u meridijanskom smjeru paralelno s prividnim gibanjem sunca, i da se površina pod njezinim utjecajem mijenja.

Budući da je antarktički ledeni pokrivač mnogo veći od ledenoga grenlandskog i uvijek zaleđenog mora u centralnom Arktiku, i da je Antarktika mnogo hladnija od Arktika, logična je posljedica da antarktičke zračne mase prekrivaju veću površinu nego arktičke. Relativno pravilan oblik antarktičkoga ledenog pokrivača i jednoličnija raspodjela temperature oko njega nego u Arktiku, održavaju se u najsjevernijem i najjužnijem pružanju antarktičke i arktičke fronte. Očito je da su te razlike na Antarktiku malene, dok su velike u Arktiku. Geografski je zanimljivo upozoriti na činjenicu da "spuštanje" arktičke fronte zimi nije svugdje jednako. Naime, antarktička je fronta zimi kontinuirana (opasuje cijelu Antarktiku), a prekida se ljeti samo u sektoru između



Srednji položaj arktičke (AF) i antarktičke fronte (AAF), polarne fronte (PF) i tropske (TF) u srpnju i siječnju, te srednje pružanje zračnih masa između njih ljeti i zimi (Preuzeo od Segote, 1988)

Južne Amerike i Antarktike, dok arktička fronta ni zimi ni ljeti nije kontinuirana. Sastoji se zapravo od dviju oceanskih i dviju kontinentalnih grana.

Kanadska arktička fronta je na krajnjem sjeveru Sjeverne Amerike. U siječnju u zavjetrini Stjenjaka često ona prodire daleko na jug, iako se u prosjeku pruža od Aljaske do Hudsonova zaljeva.

Atlantska arktička fronta pruža se pred istočnom obalom Grenlanda preko otočja Svalbard do duboko u središnji Arktik.

Dalje na istoku uzima se da postoji azijska arktička fronta, i ona bi bila nastavak atlantske arktičke fronte.

Pacifička arktička fronta zimi se pruža od Ohotskog mora preko aleuskog minimuma na južnu Aljasku, a ljeti se ona povlači na sjever, pa se u prosjeku pruža od Cukotskog mora do sjeverne Aljaske.

Veliko klimatsko značenje ima činjenicu da se arktička fronta nad Sjevernom Amerikom i Azijom češće i dublje zalijeće na jug u sektoru između Grenlanda i Skandinavije. Očito je tu riječ o termičkom utjecaju toploga sjevernog Atlantika i o utjecaju pretežno zapadnog strujanja u istočnom Atlantiku, dok nad Sjevernom Amerikom i istočnom Azijom zimi prevladava strujanje iz sjevernog kvadranta. To je srednji položaj, a u stvarnosti se, osobito u najhladnijem dijelu godine, i arktička i antarktička fronta u pojedinim sektorima "spuštaju" daleko prema ekvatoru, donoseći "hladne valove", usprkos modificiranju zračne mase na tom putu.

Izvorišno područje arktičkog zraka, mA, nalazi se između otočja Svalbard i Kanadskoga arktičkog arhipelaga, a zahvaća i cijeli Grenland. To je vrlo hladan, stabilan i relativno vlažan zrak. U Evropu dolazi on preko Norveškog mora i Skandinavije, ali mu se na tom putu donji slojevi nešto zagriju i navlaže pa on postaje

labilan. Može se razviti i konvektivna naoblaka koja nestaje zadržavanjem zraka iznad kopna, gdje se opet ohladi.

Kontinentski arktički zrak, cA, nastaje iznad zaleđenog mora, Karskog i Barentsova mora, i tundre sjevernog SSSR-a. I to je hladan, suh i stabilan zrak. Na putu do srednje Evrope nešto se ugrije, ali ipak dolazi kao vrlo hladan zrak u krajevima u koje dolazi. Tako u Evropi nastaju izuzetno hladni valovi.

U umjerenim geografskim širinama golemo značenje imaju polarne fronte i polarne zračne mase, tj. zračne mase između polarne fronte na ekvatorskoj strani njihova pojasa, i arktičke, odnosno antarktičke fronte na polarnoj strani. Analizom geografskog prikaza srednjeg položaja fronta i zračnih masa mogu se uočiti neke pravilnosti. Polarna nije kontinuirana fronta koja bi opasavala cijelu Zemlju, nego se ona prekida (cijepa) u pojedine dijelove, često nazivane granama. Ipak, te su grane bliže jednoj drugoj, i pravilnije se pružaju na južnoj nego na sjevernoj hemisferi.

Na južnoj se hemisferi grane polarne fronte nalaze na južnoj periferiji svakoga od maksimuma tlaka, južnopacifičkoga, južnoatlantskog i južnoindijskog. Uzrok tom grananju jednolika je golema oceanska površina na južnoj, te postojanje kontinenata na sjevernoj hemisferi.

Slijedeće pravilo bilo bi meridijalno migriranje pojedinih grana polarne fronte. One se ljeti povlače prema ekvatoru, ali opet ne jednako u svim dijelovima svijeta. To je migriranje izrazitije nad kontinentima nego nad oceanima. Polarna fronta osobito je jako spuštana prema ekvatoru nad sjeveroameričkim kontinentom i nad istočnom Azijom, ali i nad zapadnim dijelom sjevernog Pacifika. Pojedine njezine grane imaju veliko klimatsko i sinoptičko značenje, pa su dobile i posebne nazive.

Atlantska polarna fronta zimi se u prosjeku pruža od Floride do Biskajskog zaljeva i Skandinavije, a ljeti od podnožja Stjenjaka preko Newfoundlanda do zapadne Evrope i Skandinavije. Nastaje između tropskog zraka iz azorskog maksimuma i maritimnoga polarnog zraka iz islandskog minimuma, odnosno kontinentalnoga polarnog zraka iz kanadskog maksimuma. Atlantska polarna fronta ljeti se povlači na sjever, ali ne u cijelome svom području za isti iznos, nego to više vrijedi za zapadni dio u blizini sjeveroameričkog kopna, dok je u sjeveroistočnom Atlantiku meridijalno migriranje znatno slabije. Lokacija atlantske polarne fronte i njezina aktivnost u toku cijele godine svakako nisu slučajne. Sjeverno od nje neprekidno se stvara hladni zrak s najhladnijeg sjevera Sjeverne Amerike i južnog Grenlanda, a suprotno se tome južno od nje nalazi stalno toplo more, s kojeg dolazi topli i vlažni zrak.

U hladnom dijelu godine Sredozemno more mnogo je toplije od evropskog kopna sjeverno od njega, pa zimi nad Sredozemnim morem nastaje sredozemna ili mediteranska polarna fronta između polarnog zraka sjeverno od nje i tropskog zraka južno od nje, kojem je izvorišno područje u sjevernoj Africi.

U široj obalnoj zoni Indijskog oceana uspostavljaju se jedna druga grana polarne fronte od Arabije do Burme. To je iranska polarna fronta. Ona nastaje između cP zraka iznad Azije i cT zraka iznad Arabije, ili je pak posljedica sukoba azijskog cP zraka i mT zraka iz Mediterana i Indijskog oceana.

Ona donosi zimske kiše ovom inače aridnom području.

U sjevernom Pacifiku pacifička je polarna fronta. Ona se ljeti povlači daleko na sjever.

Sredozemna polarna fronta ljeti posve nestaje, a veliko značenje ima ljeti za istočnu Evropu istočnoevropska polarna fronta, koja se stvara na dodiru cP i cT zraka, a u prosjeku se nalazi u Povolozju do Crnog mora.

U istočnoj i srednjoj Aziji dvije su fronte koje su vrlo važne za te dijelove svijeta. Ona zapadnija je mongolska polarna fronta, a ona istočnija je pacifička polarna fronta. One ljeti donose padaline, a važne su za monsunsku cirkulaciju u tim krajevima.

Polazeći od sezonskih migracija pojedinih grana polarne fronte i poznavajući položaj arktičke i antarktičke fronte dolazi se do geografske raspodjele polarnih zračnih masa. Sezonske se promjene mogu svesti na relativno jednostavno pravilo da se polarne zračne mase zimi spuštaju prema ekvatoru potiskujući pred sobom tropski zrak. Ljeti se pak one povlače prema polu potiskujući arktički i antarktički zrak, dok na "napušteno" područje prodire tropski zrak. Sezonske promjene u pojasu pod utjecajem polarnog zraka na južnoj hemisferi malene su i ne mogu se usporediti s promjenama na sjevernoj hemisferi, gdje u hladnom dijelu godine polarne zračne mase prodiru daleko na jug, a povećava se i područje koje je gotovo pod njihovim utjecajem. Te su promjene izrazitije nad kontinentima nego nad oceanima.

Maritimni polarni zrak, mP, nastaje u sjevernom Atlantiku i Pacifiku, a na južnoj hemisferi na golemim oceanskim prostorima u umjerenim širinama. Zimi taj zrak iz Kanade, preko toploga sjevernog Atlantika, gdje se navlaži, a zatim preko Islanda i Velike Britanije, dolazi u Evropu, dolazi u Evropu, i to ga u zapadnu i srednju Evropu donose glavni zapadni vjetrovi. Labilan je, pa u zapadnu Evropu donosi kišu, a u srednju snijeg. U toplom dijelu godine taj zrak je relativno hladan, svjež, i zagrijavanjem nad kopnom postaje labilan. Uz prodore tog zraka vezano je često neugodno, hladno, kišovito vrijeme u Evropi u toplom dijelu godine, i topli valovi u njezinoj zimskoj polovici. Pod utjecajem tog zraka zapadna Evropa ima izrazitu maritimnu klimu, a Evropa kao cjelina klimatski je najugodniji kontinent.

Kontinentski polarni zrak, cP, nastaje nad Skandinavijom, te unutrašnjim i sjevernim dijelovima SSSR-a. taj zrak najčešće nastaje u zimskim anticiklonskim situacijama, kad strujanje iz sibirskog maksimuma zahvati sve krajeve do srednje Evrope, a njegove se osobine pojačavaju s razvojem hladne anticiklone nad Skandinavijom i istočnije od nje. To je suh i hladan zrak, pa se često ne razlikuje od zraka cA. Ljeti je, međutim, vrlo topao, pa se gotovo ne razlikuje od zraka cT.

Dalje prema ekvatoru, između polarne fronte na periferiji i ekvatorske fronte, nalaze se tropske zračne mase. Na obje hemisfere tropske zračne mase zahvaćaju veća prostiranja ljeti nego zimi. Postoji zatim njihova izrazita migracija za suncem. Zimi se povlače prema ekvatoru, a ljeti prodiru u više geografske širine, pa na njihovo mjesto uz ekvator dolaze ekvatorske zračne mase.

Maritimni tropski zrak mT, stvara se u subtropskom dijelu Atlantskog oceana u području azorskog maksimuma, ali nerijetko i u Sredozemnome moru. U Evropi

dolazi s vjetrovima iz zapadnog kvadranta. To je topao i stabilan zrak.

Kontinentski tropski zrak, cT, pojavljuje se u sutropskim pustinjama sjeverne Afrike i jugozapadne Azije, a ljeti i nešto sjevernije, nad cijelim Sredozemljem i stepskom Euroazijom. U hladnom dijelu godine taj se zrak vlaži nad Sredozemljem, pa njegovim sjevernim obalama i unutrašnjosti donosi obilne padaline. Područje pod utjecajem maritimnoga tropskog zraka, mT, ljeti se veoma proširuje u Pacifiku, Atlantiku i Sjevernoj Americi, a pojas zraka cT zimi zahvaća cijeli Mediteran i stepski dio Euroazije. Na južnoj hemisferi zimi se nad Australijom, južnom Afrikom i Južnom Amerikom razvijaju manja područja cT zraka, dok se područja pod utjecajem zraka mT bitno ne mijenjaju.

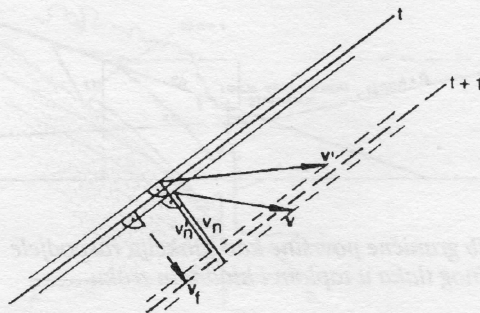
FRONTE

Kad dva fluida različite gustoće dođu zajedno, oni se ne miješaju odmah. Slično tome, dvije zračne mase različite temperature i gustoće također se odupiru miješanju, pa se između njih stvara prijelazna zona, poznata kao fronta.

Tipične atmosferske fronte široke su od 100 do 200 km.

To su zone visokih horizontalnih temperaturnih gradijenata. Kad hladan zrak napreduje i kad zbog svoje gustoće odrezuje (odvaja) toplu zračnu masu ispred sebe, diskontinuitet između njih zove se hladna fronta. Njegov prolazak na površinu nagovještava dolazak hladne zračne mase. Hladna fronta obično ima gradijent od oko 2°C. Budući da nadolazeći hladni zrak tjera topli zrak ispred sebe u visinu, to uzrokuje obilje padalina. Kad topla zračna masa napreduje, s obzirom na to da je ona manje gusta, teži da sklizne preko hladnog zraka na svom putu, stvarajući toplu frontu. Iako je gradijent frontalne površine u tom slučaju često manji od 1°C, pothlađivanje tople zračne mase dok se penje često je dovoljno za formiranje oblaka i padalina.

Postoje hladne i tople, stacionarne i okludirane fronte. Kad prodire hladni zrak, a topli se povlači, govorimo o hladnoj fronti. Ako se, suprotno tome, hladni zrak povlači i ustupa mjesto toplomu, govorimo o toploj fronti. Fronta je stacionirana kad mijenja svoj položaj u prostoru, a okludirana kad dijeli dvije zračne mase koje leže ispod treće, razmjerno tople. Već prema tome prodire li od hladnih masa ona koja je hladnija ili toplija, fronta okluzije je tipa hladne, odnosno tople fronte.



Prikaz brzine premještanja fronte (V_f) i kinetički granični uvjet

Na graničnim površinama koje dijele dvije zračne mase s različitim osobinama, na primjer toplu od hladne mase, zakon o održavanju masa izražava se kinematskim graničnim uvjetom. Taj uvjet kaže da je komponenta brzine zraka koji stoji okomito na graničnu površinu s jedne strane jednaka onoj s druge strane. Drugim riječima, jedna zračna masa ustupa mjesto drugoj jednakom brzinom kojom se ta druga masa primiče prvom.

Kad se zrak prebacuje preko sedla ili grebena u vodoravnom pravcu, onda je na takvu mjestu tlak smanjen za:

$$p - p_0 = \rho \left(\frac{v_0^2}{2} - \frac{v^2}{2} \right)$$

v₀ - brzina na sedlu, odnosno grebenu
v - brzina dalje od geografske prepreke

IZRAČUNAVANJE NAGIBA GRANIČNIH POVRŠINA I BRZINE KRETANJA FRONTE³

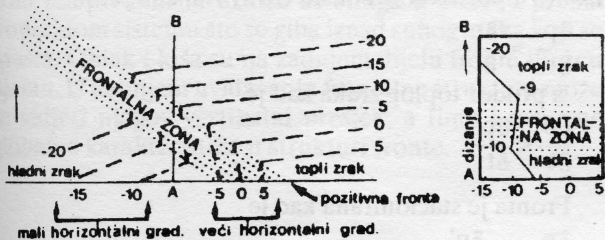
Zamislimo u vertikalnoj ravnini ortogonalni koordinatni sustav s horizontalnom x-osi i vertikalnom z-osi. U toj ravnini neka se nalazi presjek granične površine kao granice dviju zračnih masa. Taj je presjek predodčen kosom crtom koja s horizontalnom ravninom čini kut (psi). Neka ds budu elementi puta na presjeku, a dx i dz njegove projekcije u pravcima x i z. Ako označimo promjenu tlaka p na udaljenosti u donjoj (hladnoj) zračnoj masi koja u obliku klina leži ispod tople u pravcu x, kao

obično, sa $\frac{\delta p}{\delta x}$, a u pravcu sa $\frac{\delta p}{\delta z}$

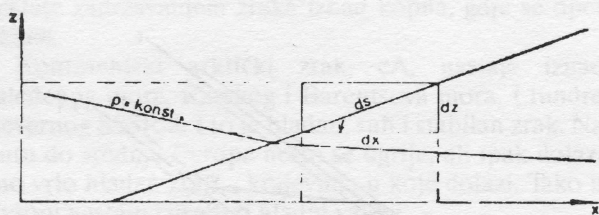
i odgovarajuće promjene tlaka u gornjoj masi $\frac{\delta p'}{\delta x}$ i $\frac{\delta p'}{\delta z}$,

onda možemo pisati (ako uzmemo u obzir da je svuda na graničnoj površini p=p')

$$\frac{dp}{\delta x} dx + \frac{\delta p}{\delta z} dz = \frac{\delta p'}{\delta z} dz + \frac{\delta p'}{\delta x} dx$$



Shematski prikaz temperaturnih karakteristika frontalne zone (Trewarth i Horn, 1980)



Nagib granične površine kao funkcija raspodjele zračnog tlaka u toplom i hladnom zraku

Ovdje se dobiva za nagib granične površine prema horizontali u pravcu x:

$$\tan\psi = \frac{\delta z}{\delta x} = - \left(\frac{\delta p}{\delta x} - \frac{\delta p'}{\delta x} \right) / \left(\frac{\delta p}{\delta z} - \frac{\delta p'}{\delta z} \right)$$

Vertikalni gradijenti zračnog tlaka koji postoje u brojniku jednadžbe mogu jednadžbi statike zamijeniti vrijednosti. Tako izlazi da je:

$$\tan\psi = \frac{\frac{\delta p}{\delta x} - \frac{\delta p'}{\delta x}}{g(\rho - \rho')}$$

U hladnom zraku neposredno uz graničnu površinu, gdje je zračni tlak $p=p'$, temperatura zraka je T . U neposrednoj blizini iznad granične površine u toplom zraku temperatura će biti T' . Ako se uzme u obzir jednadžba plina, onda se dobiva:

$$p=p'=R\rho T=R\rho'T'$$

pa se tad može pisati:

$$\rho' = \frac{T}{T'} \quad \text{i} \quad \rho - \rho' = \rho \left(1 - \frac{T}{T'} \right) = \rho (T' - T) / T'$$

$$\tan\psi = \frac{T'}{g\rho} \frac{\frac{\delta p}{\delta x} - \frac{\delta p'}{\delta x}}{T' - T} = \frac{RT'T}{g\rho} \frac{\frac{\delta p}{\delta x} - \frac{\delta p'}{\delta x}}{T' - T}$$

Iz dobivenih formula izlazi da je nagib granične površine prema horizontalnoj ravnini proporcionalan razlici između horizontalnih gradijenata zračnog tlaka u pravcu nagiba s jedne strane i druge strane površine, a obrnuto je proporcionalna razlici između gustoće hladnog i toplog zraka, tj. razlici između temperature toplog i hladnog zraka.

Koliki mogu biti nagibi graničnih površina lako je izračunati. Tako se u toku vedrih noći u određenom području skuplja i zadržava hladni zrak. Iznad njega pri postojanju horizontalnog gradijenta zračnog tlaka na

visini ($\frac{\delta p'}{\delta x} \neq 0$) gradijentni su ili geostrafički

vjetrovi, koji mogu biti vrlo jaki.

Neka hladan zrak leži potpuno mirno ispod toploga. To je moguće samo tad kada se u hladnom zraku zračni tlak u horizontalnom pravcu ne mijenja, kad je tamo svuda

$$\frac{\delta p}{\delta x} = 0.$$

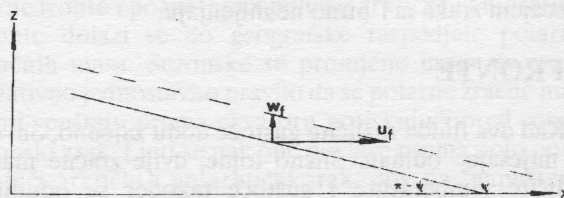
Ako je horizontalni gradijent tlaka u toplom zraku 1 mb/100 km ($= \frac{\delta p'}{\delta x}$), temperatura hladnog zraka

10°C , a toplog 15°C i ako je tlak na fronti $p=1000$ mb, onda u tom slučaju izlazi:

$$\tan\psi = \frac{287 \cdot 288 \cdot 283}{9,81 \cdot 100000} \cdot \frac{10^{-3}}{5} = 0,005 = 5 : 1000$$

To znači da se u pravcu x visina prijelaznog sloja na svaki kilometar povećava 5m.

Brzina kretanja fronte je odraz premještanja hladnih i toplih zračnih masa u atmosferi.



Prikaz brzine kojom se premješta fronta u vodoravnom pravcu

Zamislimo da je klin hladnog zraka usmjeren u pozitivnom pravcu brzinom w_f . Zbog tog premještanja dolazi u nekoj fiksnoj točki (vidi grafikon) neposredno ispod granične površine u jedinici vremena do promjene tlaka za:

$$\frac{\delta p}{\delta t} = \frac{\delta p'}{\delta t} + g(\rho - \rho')w_f,$$

gdje je $\frac{\delta p'}{\delta t}$ lokalna promjena tlaka u nekoj fiksnoj

točki neposredno iznad granične površine (gustoća u hladnom, odnosno toplom zraku u području granične površine). Ako se uzme u obzir da je $w_f = u_f \tan(\pi - \psi)$ prema prethodnoj jednadžbi za nagib granične površine,

$$\tan\psi = -\tan(\pi - \psi) = \left(\frac{\delta p}{\delta x} - \frac{\delta p'}{\delta x} \right) / g(\rho - \rho')$$

dobiva se na brzinu premještanja granične površine (fronte) u horizontalnom pravcu:

$$u_f = - \left(\frac{\delta p}{\delta t} - \frac{\delta p'}{\delta t} \right) / \left(\frac{\delta p}{\delta x} - \frac{\delta p'}{\delta x} \right)$$

U tom slučaju izlazi

$$\frac{\delta p}{\delta x} - \frac{\delta p'}{\delta x} < 0$$

što znači da se prodor hladnog zraka (premještanje fronte u pozitivnom smislu osi x) vrši kad je

$$\frac{\delta p}{\delta t} > \frac{\delta p'}{\delta t}$$

a prodor toplog zraka kad je

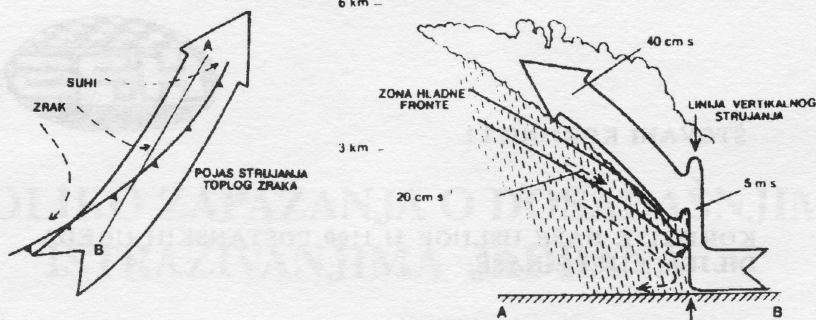
$$\frac{\delta p}{\delta t} < \frac{\delta p'}{\delta t}$$

Fronta je stacionirana kad je

$$\frac{\delta p}{\delta t} = \frac{\delta p'}{\delta t}$$

Neka je sada za primjer da je

$$\frac{\delta p}{\delta x} = - \frac{\delta p'}{\delta x} = -1 \text{ mb}/100 \text{ km} = -10^{-3} \text{ kg}^{-2} \text{ s}^{-2}, \text{ a}$$



Shematski prikaz zračnih strujanja u fronti (Broening, 1980)

$$\frac{\delta p}{\delta t} = \frac{\delta p'}{\delta t} = 0,5 \text{ mb/h.}$$

Tako srednja brzina premještanja hladne fronte iznosi od 40 do 50 km/h.

Nastajanje fronte povezano je s razvojem barokličnog vala i opadanjem energije na manjim skalama (mezoskalama). Ageostrofička cirkulacija povezana s frontom utječe na vlagu, padaline i oblačni sistem.

Najveći naglasak u istraživanju fronta dan je na barokličnoj nestabilnosti, razvoju oblačnog sistema, utjecaju latentne topline i konvektivnih strujanja. S teorijskog gledišta razvoj fronte se može objasniti s pomoću geostrofičke jednačbe. Ona ima oblik:⁴

$$L \approx NH/f$$

- L - horizontalna dužina skale karte
- H - vertikalna skala
- N - Brunt-Vaisala frekvencija
- f - parametar Coriolove sile

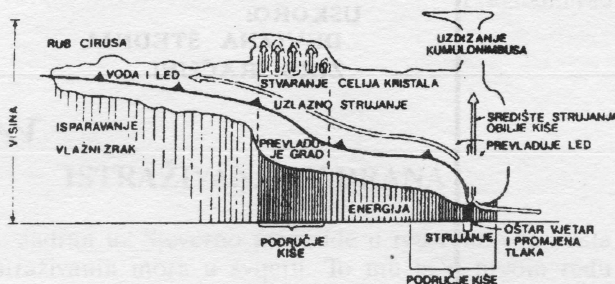
Za cirkulaciju skale H (koja odgovara dubini troposfere) L približno iznosi 1000 km.

$$L \approx Ug/f \approx 100 \text{ km}$$

U toj skali Ug označuje geostrofički vjetar. U prvom primjeru motrenje područja je najmanje 300 km, dok je ono u drugome od 20 do 30 km L (horizontalno). Proces manje skale (konvencije) hladne fronte imaju vrijednost $L=H=1 \text{ km}$.

Shematski prikaz strujanja u fronti daje konceptualni model fronte. Tu se mogu vidjeti strukturalna strujanja koja se događaju kad je fronta u gibanju.⁵

Glavna strujanja toplog zraka s visokom potencijalnom temperaturom uzdižu se straga u odnosu prema frontalnom sistemu što se giba iznad suhog zraka koji se spušta. Oblak i kiša su na zadnjem dijelu fronte ili su u njemu. U daljnjem uvidavanju frontalne strukture može se vidjeti njegov vertikalni presjek, a time i osnovne globalne karakteristike u strukturi fronte.



Shematski prikaz većih oblaka i padalina u hladnoj frontalnoj zoni (Matejka, 1980)

LITERATURA

1. O'Hare, G.; and Sweeney, J. (1988), The Atmospheric System Conceptual Frameworks in Geography, Oliver-Boyd, Edimburg, 146 - 150.
2. Šegota, T. (1988) Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb, 155 - 159.
3. Čadež, M. (1973), Meteorologija, Grafički zavod, Beograd, 111 - 117.
4. Clough, S.A. (1987), The mesoscale frontal dynamics project, Meteorological Magazine, 116, 32 - 42.
5. Watts, A. (1987), Reading the Weather-Modern techniques for yachtsmen, Adlard Coles Limited, London, 43 - 62.

APPEARANCE OF AIR MASSES AND FRONTS OVER THE SEA

Summary

Formation of air masses and fronts on the land and sea are permanent processes. Air masses and fronts have their own characteristics (temperature, humidity) and qualities, so they bring forth peculiarities of climate. They are not stable, they change their physical qualities, depending on the areas in which they are formed (over the sea surfaces, deserts etc) and on the areas in which they move.

Taking into consideration that the air masses and fronts are permanent appearances on the Earth, their qualities, their structures and processes happening inside the front have been analysed. Dealing with the appearance of fronts on the sea, the latest facts about physical processes happening in the front and their meteorological qualities have been represented. Key-words: air masses, front over sea, physical qualities and meteorological characteristics.

Rukopis primljen: 26.07.1991.