

# Meteorološki elementi – temperatura zraka, tlak zraka, smjer i brzina vjetra

## Temperatura zraka

S pojmom temperatura dobro smo upoznati fenomenološki kroz svakodnevno iskustvo. Mjerimo tjelesnu temperaturu, temperaturu zraka, temperaturu vode, itd., i ta nam brojka, uz odgovarajuću mjernu jedinicu, daje informaciju o tome koliko je neko tijelo zagrijano. Međutim, što je zapravo temperatura i kako to da ju možemo izmjeriti svakom tijelu?

Sva tijela građena su od čestica (atoma i molekula) koje se neprestano gibaju. Za plinove i tekućine to nam je lakše zamisliti (miris parfema proširi se prostorijom, kapljica tinte u tekućini rasprši se tekućinom), no isto vrijedi i za čestice čvrstih tijela (razlika je u tome što su kod čvrstih tijela čestice jače povezane pa samo titraju oko nekog ravnotežnog položaja). Zagrijavamo li dovoljno neko čvrsto tijelo, te čestice će titrati sve brže i sve dalje jedna od druge, te će u nekom trenutku čvrsta tvar početi prelaziti u tekućinu, a ako dalje nastavimo sa zagrijavanjem, tekućina će prijeći u plin. Za svaku tvar postoji određena temperatura pri kojoj se događaju ti prijelazi zbog čega pri istoj temperaturi neke tvari pronalazimo u čvrstom, a neke u tekućem ili plinovitom agregatnom stanju. Dakle, makroskopski koncept temperature itekako je povezan s mikroskopskim gibanjem čestica nekog tijela, i to tako da većoj temperaturi tijela odgovara brže gibanje čestica tijela. Vrlo jednostavan svakodnevni pokus kojim to možemo prikazati jest priprema čaja u hladnoj i vrućoj vodi. Stavimo li vrećicu čaja u hladnu vodu, trebat će puno više vremena da se čaj proširi čašom, nego što je to potrebno s vrućom vodom jer se čestice vruće vode puno brže gibaju i tako brže raznose čaj po čaši. Dakle, možemo reći da čestice u čaši s vrućom vodom u prosjeku imaju veću kinetičku energiju od onih u čaši s hladnom vodom.

Ista situacija je i sa zrakom – **temperatura zraka** opisuje nam stupanj zagrijanosti zraka, što je makroskopska manifestacija prosječne kinetičke energije čestica koje čine zrak. U meteorologiji pod pojmom temperatura zraka misli se na temperaturu prizemnog sloja atmosfere koja se mjeri na 2 m visine iznad tla.

Mjerni instrument za mjerenje temperature je **termometar**. Klasični termometar (koji je uglavnom živin ili alkoholni), sastoji se od spremnika s tekućinom, staklene kapilare i mjerne skale. Kao što je gore navedeno, zagrijavanjem tijela čestice titraju većim amplitudama i samim time zauzimaju sve više prostora. Dakle, zagrijavanjem tvari povećava se volumen tvari (a gustoća se smanjuje). Tu pojavu zovemo toplinsko širenje tvari. Korištenjem staklene kapilare kod termometra ograničavamo širenje tekućine na jednu dimenziju, a što je kapilara uža, širenje će biti uočljivije. Osim klasičnog termometra, koristi se još i digitalni termometar. Princip određivanja temperature digitalnim termometrom ovisi o vrsti senzora, ali uglavnom su građeni od materijala, odnosno vodiča vrlo osjetljivih na promjenu temperature zbog čega je električni signal koji daju proporcionalan temperaturi, a daljnjim pretvorbama i kalibracijom se signal pretvara u numeričku vrijednost prikazanu na zaslonu. Mjerene jedinice kojima se najčešće iskazuje temperatura su Celzijevi stupnjevi ( $^{\circ}\text{C}$ ), kelvini ( $\text{K}$ ) i Fahrenheitovi stupnjevi ( $^{\circ}\text{F}$ ).

U prethodnom smo poglavlju spomenuli da temperatura u troposferi opada s visinom. Ako postoji promjena nekog svojstva u prostoru kojoj možemo pridijeliti smjer i veličinu, kažemo da postoji gradijent. Promjenu temperature s visinom zovemo vertikalni gradijent temperature. Osim toga, znamo da se temperatura u prosjeku smanjuje od (termičkog) ekvatora prema polovima. Takvu promjenu temperature s geografskom širinom zovemo horizontalni gradijent. Horizontalni gradijent temperature posljedica je nejednake zagrijanosti Zemljine površine zbog (idealizirano) sfernog oblika zbog čega polovi tijekom godine primaju manje zračenja nego ekvator. Naravno, klimatski faktori nekog područja dodatno utječu na klimu tog područja pa na istoj geografskoj širini imamo različite prosječne temperature, odnosno različite tipove klime.

## Tlak zraka

Tlak je fizička veličina kojom iskazujemo djelovanje sile na neku površinu. Ako se povećava sila (na jednaku površinu), povećava se tlak. Isto tako, ako istom silom djelujemo na manju površinu, povećava se tlak. Dakle, tlak je veličina proporcionalna sili (uz konstantnu površinu), a obrnuto proporcionalna veličini površine (uz konstantnu silu). Jednostavno nam je pojmiti da se tlak na podlogu povećava ako na sebe stavimo dodatni teret (povećavamo silu) ili ako stanemo na jednu nogu (smanjimo površinu na koju djelujemo). Koncept tlaka malo se komplicira kod fluida (tekućina i plinova). Teško je pojmiti da na nas svakodnevno djeluje tlak zraka od otprilike 101 325 Pa, dok je tlak koji proizvodi osoba od 80 kg površine stopala 80 cm<sup>2</sup> (ako stoji na jednom stopalu) na podlogu oko 100 000 Pa. Tlak zraka nas ne može zdrobiti budući da se zrak nalazi i u našim tijelima te je tlak tog zraka u ravnoteži s vanjskim tlakom zraka.

Kao temperatura, tlak zraka je fenomenološki poznata pojava. Međutim, da bismo razumjeli kako, odnosno, zašto nas zrak pritišće, potrebno je ponovo ući u priču o česticama u zraku. Molekule koje čine zrak su u neprestanom brzom i nasumičnom gibanju. Zbog toga se neprestano događa bezbroj sudara molekula zraka međusobno i sa svim objektima na Zemlji. Ukupna sila kojom pritom molekule djeluju na neku površinu jednaka je tlaku zraka. Budući da se te molekule nalaze u gravitacijskom polju Zemlje, a zrak (sačinjen od molekula) ima neku masu, težina<sup>1</sup> viših slojeva zraka potiskuje niže slojeve što se dalje prenosi do površine Zemlje. Porastom visine smanjuje se masa zraka koja nas potiskuje. Dodatno, zbog djelovanja gravitacijske sile i činjenice da je zrak kompresibilan, zrak je najgušći pri površini Zemlje, a s porastom visine naglo opada gustoća zraka. Zbog navedenog postoji vertikalni gradijent tlaka zraka, odnosno, porastom visine smanjuje se tlak zraka. Tu promjenu tlaka osjetimo začepljenjem ušiju pri promjeni visine, npr. prilikom uzlijetanja ili slijetanja aviona.

Osim vertikalne promjene tlaka, uočavamo razliku u tlaku i na dva različita mjesta iste nadmorske visine. To zovemo horizontalni gradijent tlaka zraka. Spomenuli smo da je Zemljina površina zbog svog sfernog oblika nejednoliko zagrijana. Osim toga, spomenuli smo i da različite tvari s obzirom na zagrijanost zauzimaju različite obujme. Isto vrijedi i sa zrakom. Zagrijavanjem zraka povećava se volumen zraka. Budući da se zrak ne nalazi u zatvorenoj kutiji, molekule se mogu gibati sve dalje jedna od druge pri čemu se gustoća zraka smanjuje. Zbog toga se tlak zraka zagrijavanjem smanjuje. S druge strane, hlađenjem zraka molekule gube energiju za gibanje zbog čega se gustoća zraka povećava pa isto tako tlak zraka raste. Opisani proces spuštanja i podizanja zraka zbog promjene gustoće zove se **konvekcija**.

---

<sup>1</sup> Težina je sila kojom tijelo djeluje na podlogu (ili ovjes) zbog djelovanja gravitacijske sile na to tijelo.

Budući da Zemlja nije savršena sfera, već ima neki reljef, a tlak ovisi o nadmorskoj visini, da bi izmjereni rezultati na različitim nadmorskim visinama bili usporedivi, izmjereni tlak zraka reducira se na razinu mora (koliki bi tlak zraka bio kada bi se meteorološka postaja nalazila na razini mora).

Osim temperature zraka, na to koliko zrak pritišće podlogu i objekte s kojim je u kontaktu ovisi i o sastavu zraka. Suhi zrak sastoji se uglavnom od molekula dušika i kisika. Ono što varira u zraku jest udio vodene pare. Kada molekula vodene pare uđe u atmosferu, zbog kontinuiranosti zraka, jednostavno zamijeni mjesto neke druge molekule zraka. Budući da su molekule vodene pare lakše od molekula kisika i dušika, povećanjem udjela vodene pare u zraku smanjuje se tlak zraka. To znači da je tlak suhog i hladnog zraka veći nego tlak toplog i vlažnog zraka. Općenito, područje sniženog tlaka zraka zovemo ciklona, a područje povišenog tlaka zraka zovemo anticiklona.

Iz svakodnevnog života znamo da smanjenje tlaka zraka povezujemo s nestabilnim, a povećanje tlaka zraka sa stabilnim vremenom. Iako se već daje naslutiti zašto je to tako, razmotrimo još jednom što se događa zagrijavanjem, odnosno hlađenjem zraka. Zagrijavanje ili hlađenje zraka događa se od površine, tj. zagrijana ili ohlađena površina hladi ili zagrijava zrak. Zagrijanom sloju zraka gustoća se smanjuje pri čemu se uzdiže iznad hladnijih slojeva (kao što ulje pliva na površini vode zbog manje gustoće). Budući da, ponovo, nismo u zatvorenoj kutiji, novi hladni zrak dolazi na mjesto zagrijanog uzdignutog, zagrijava se i također podiže. Taj hladniji zrak dolazi iz svih smjerova prema centru pa kažemo da konvergira. Kod hlađenja zraka, ohlađenom zraku smanjuje se gustoća zbog čega se spušta. Zrak se tako iz visine spušta pri čemu istiskuje hladni zrak pa zrak struji iz centra prema van, kažemo da divergira. Dodatno, kod ciklone i anticiklone zbog Coriolosovog efekta spomenutog u prošlom poglavlju javlja se vrtložni oblik.

Mjerni instrument za mjerenje tlaka zraka je **barometar**. Dva osnovna tipa barometra su živin barometar i suhi barometar (aneroid). **Živin barometar** sastoji se od dugačke staklene cijevi (malo manje od 1 m) zatvorene na jednom kraju, napunjene živom. Staklena cijev uronjena je u manju otvorenu posudu koja sadrži živu. Živa u cijevi se spušta sve dok se težina stupca žive ne izjednači s težinom atmosfere. Povećanje stupca žive odgovara povećanju atmosferskog tlaka, dok smanjenje stupca žive odgovara smanjenju atmosferskog tlaka. Prosječna vrijednost atmosferskog tlaka na razini mora odgovara visina stupca od 760 mm. Zato je jedna od mjernih jedinica kojima izražavamo vrijednost atmosferskog tlaka milimetar žive (*mmHg*). **Suhi barometar** za mjerenje tlaka zraka koristi deformaciju elastičnog tijela. Sastoji se od šuplje kutije u kojoj se nalazi opruga. Iz kutije se isisa većina zraka. Povećanje vanjskog tlaka uzrokuje udubljenje stranica kutije pri čemu se opruga sabija, a smanjenje vanjskog tlaka uzrokuje proširenje stranica i opruge. Pomaci opruge prenose se do kazaljke koja pokazuje određenu vrijednost na mjernoj skali. Uređaj je kalibriran tako da je mjerna skala u nekoj mjernoj jedinici u kojoj izražavamo tlak zraka. Osim u spomenutim jedinicama, milimetara žive i paskalima (*Pa*), najčešće mjerne jedinice u kojima se atmosferski tlak izražava još su bar (*bar*) i atmosfera (*atm*).

## Vjetar – smjer i brzina

Zemljina atmosfera rotira se zajedno sa Zemljom. Međutim, vidjeli smo da se u atmosferi događaju neki procesi zbog kojih gibanje atmosfere nije određeno isključivo rotacijom Zemlje. Zbog zagrijavanja ili hlađenja zraka, zrak se uzdiže ili spušta zbog čega postoje vertikalna strujanja zraka u odnosu na Zemljinu površinu, pri čemu se tlak zraka na površinu povećava ili smanjuje. Ta vertikalna strujanja zraka uzrokuju horizontalna strujanja zraka u odnosu na Zemljinu površinu jer zrak konvergira ili divergira,

ovisno radi li se o smanjenju ili povećanju tlaka zraka. Tu horizontalnu komponentu strujanja zraka u odnosu na Zemljinu površinu zovemo **vjetar**. Vjetar je, dakle, posljedica razlike u tlaku zraka između dva područja na Zemlji, odnosno horizontalnog gradijenta tlaka zraka. Zbog činjenice da kod sniženja tlaka zraka zrak struji ide prema centru da nadomjesti uzdignuti, a kod povećanja tlaka zrak ide od centra jer je istiskivan spuštanjem hladnog zraka, možemo zaključiti da je smjer horizontalne komponente strujanja zraka, iz područja visokog u područje niskog tlaka zraka. Drugim riječima, uvijek kada postoji razlika u tlaku zraka između dva područja, vjetar puše iz područja višeg u područje nižeg tlaka zraka.

Iz iskustva znamo da vjetru možemo pridijeliti neke karakteristike. **Smjer** puhanja vjetra na nekom području ovisi o kretanju tlaka zraka u blizini tog područja. Primjerice, u gradovima na obali često vjetar danju puše s mora na kopno, a noću s kopna na more. Razlog je taj što se danju kopno ugrije više od mora zbog pa se nad kopnom razvije područje nižeg, a nad morem područje višeg tlaka zraka. Noću se pak kopno brže ohladi od mora, pa se nad kopnom razvije područje visokog, a nad morem područje niskog tlaka zraka. Smjer vjetra iskazujemo stranom svijeta s koje vjetar puše, a ne prema kojoj puše. Tako razlikujemo sjeverni vjetar, sjeveroistočni, istočni, jugozapadni, itd. Mjerni instrument kojim određujemo smjer vjetra je **vjetrulja**. Vjetrulja se sastoji od vodoravne poluge koja se slobodno rotira oko svoje osi. Na jednom njenom kraju nalazi se vertikalna ploča, a na drugoj protuuteg (obično strelica). Djelovanjem vjetra na ploču, vjetrulja se postavi paralelno sa smjerom puhanja vjetra i to tako da protuuteg pokazuje smjer odakle vjetar puše. Za označavanje smjera vjetra služi *ruža vjetra* – grafički prikaz učestalosti smjerova vjetra na određenoj lokaciji.

Također znamo, da vjetar nekad puše jače, a nekad slabije. Jači vjetar je vjetar veće brzine. **Brzina** vjetra je to veća što se tlak zraka u prostoru brže mijenja (veći gradijent). Brzina vjetra definirana je kao put koji zračna masa prevali u jedinici vremena, a izražava se u metrima po sekundi ( $m/s$ ), kilometrima na sat ( $km/h$ ) ili u čvorovima ( $kt$ ) koji se koriste u nautici. Mjerni instrument za određivanje brzine vjetra je **anemometar**. Postoji više vrsta anemometara ali izdvojit ćemo onaj s lopaticama, i to mehaničku i električnu verziju. Anemometar se sastoji od 3 ili 4 lopatice pričvršćene na zajedničku osovinu na kojoj se zajedno rotiraju pod utjecajem vjetra. Kod električnog anemometra vrtnja lopatica prenosi se na električni generator u kojemu se inducira struja čiji je napon proporcionalan brzini okretanja lopatica, a kalibracijom uređaja kazaljka uređaja u konačnici pokazuje vrijednost u metrima po sekundi. Kod mehaničkog anemometra vrtnja lopatica prenosi se do rotirajućeg valjka čijim određivanjem broja okretaja u određenom vremenu možemo izračunati srednju brzinu vjetra.

Brzinu vjetra možemo i procijeniti promatrajući učinak vjetra na vodene površine ili druge objekte u prirodi, poput krošnji stabala. Procjena se radi na temelju Beaufortove ljestvice koja na skali od 0 do 12 opisuje jačinu vjetra prema učincima, gdje 0 odgovara tišini, a 12 orkanu.

Brzina vjetra mijenja se s visinom zbog trenja. Trenje je sila koju tijelo koje se giba u kontaktu s drugim tijelima ili sredstvom kroz koje se giba osjeća kao otpor. Trenje u fluidima zove se **viskoznost**, a posljedica je nasumičnosti gibanja molekula (molekularna viskoznost) i trenja između fluida i okoline. Zamislimo tekućinu koja se giba u cijevi. Trenje između tekućine i stijenke cijevi smanjuje brzinu tekućine uz stijenku, a usporavanje se prenosi između slojeva prema središtu cijevi. Zato je brzina tekućine u cijevi veća u središtu nego uz stijenku. Slično se događa i u zraku. Trenje vjetra i površine uzrokuje smanjenje brzine sloja zraka u kontaktu s površinom, a trenje postoji i između slojeva zraka te opada s visinom. Otpor koji trenje uzrokuje između susjednih slojeva zraka, odnosno vjetra, i okoline (površine i objekata, poput građevina, stabala, planina) može uzrokovati pojavu vrtloga. Tok fluida karakteriziran pojavom vrtloga zove se **turbulencija**. Ako je uzrok nastanka prepreka na površini Zemlje

radi se o mehaničkoj turbulenciji. Što je veća brzina vjetra i što se više zapreka nalazi na površini, to će turbulencije biti izraženije. Uzrok nastanka turbulencija može biti i nemehaničke prirode. Zagrijana površina zagrijava zrak koji se uzdiže u atmosferi konvekcijom. Ta konvekcijska struja djeluje na vjetar u visini atmosfere poput prepreke zbog čega nastaju vrtlozi pa tu pojavu zovemo termalna turbulencija.

