

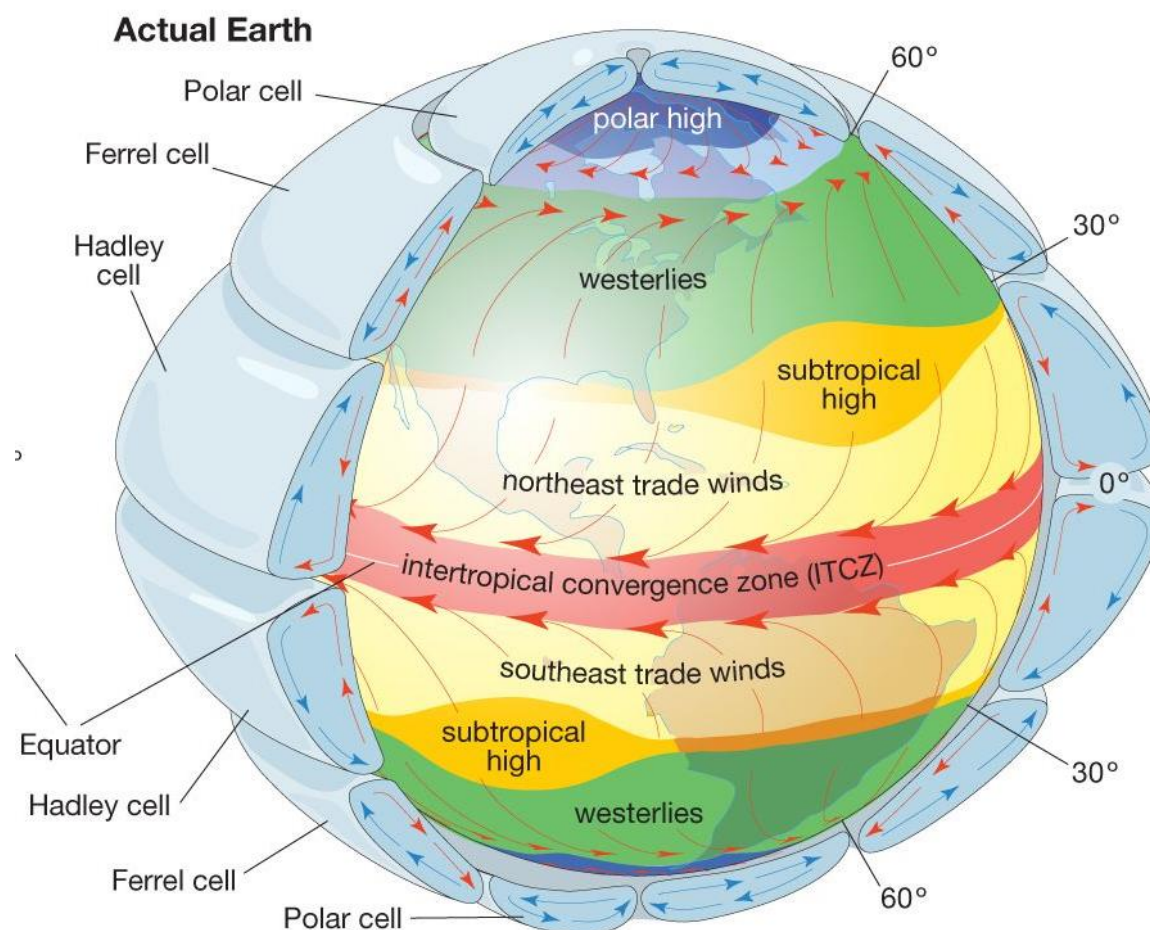
SKLOP 3 / POGLAVJE 1 – **Vetrna energija**

Vetrovi na Zemlji

Na gibanje zračnih mas na Zemlji vplivajo sledeče sile:

- **Coriolisova sila**
- **Gradientna sila**
- **Centrifugalna sila**
- **Sila trenja**
- **Vzgonska sila**

Pod vplivom teh sil na Zemlji nastanejo zapleteni vzorci vetrov in klimatski pojavi.



Coriolisova sila

Coriolisova sila je *navidezna* sila, ki nastane **zaradi vrtenja Zemlje** in vpliva na gibanje predmetov v atmosferi in oceanih. Ime je dobila po francoskem matematiku Gaspardu-Gustavu de Coriolisu, ki je prvi opisal njen učinek leta 1835.

$$F_{cor} = mKv$$

Ključne značilnosti Coriolisove sile

- Coriolisova sila nastane **zaradi vrtenja Zemlje**. Ker se Zemlja vrti od zahoda proti vzhodu, se vsak del Zemljine površine premika z različnimi hitrostmi, odvisno od zemljepisne širine. Na ekvatorju je hitrost vrtenja največja, na polih pa najmanjša.
- Vedno deluje **pravokotno na hitrost**.

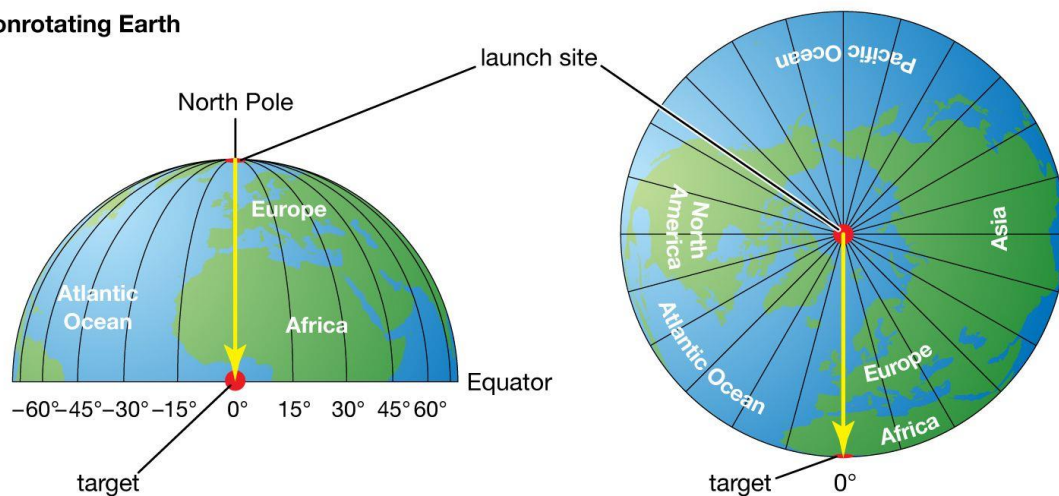
Smer delovanja:

- Na **severni polobli** se gibajoči predmeti odklonijo **v desno** glede na njihovo smer gibanja.
- Na **južni polobli** se gibajoči predmeti odklonijo **v levo** glede na njihovo smer gibanja.

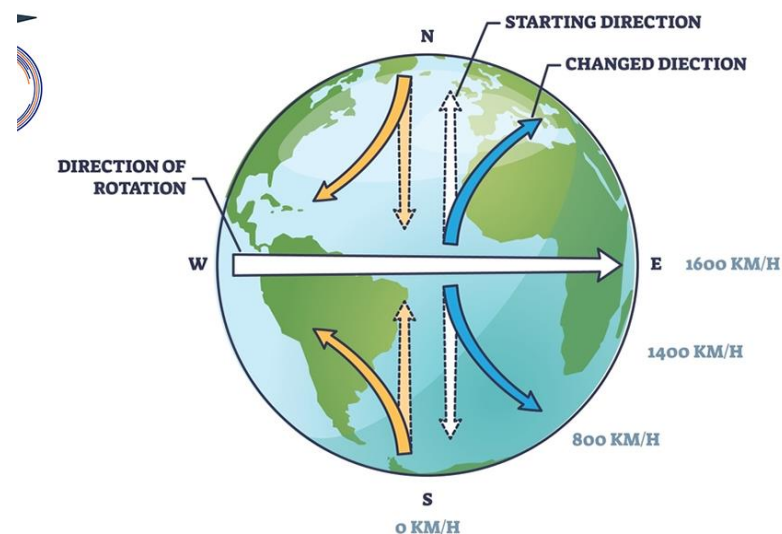
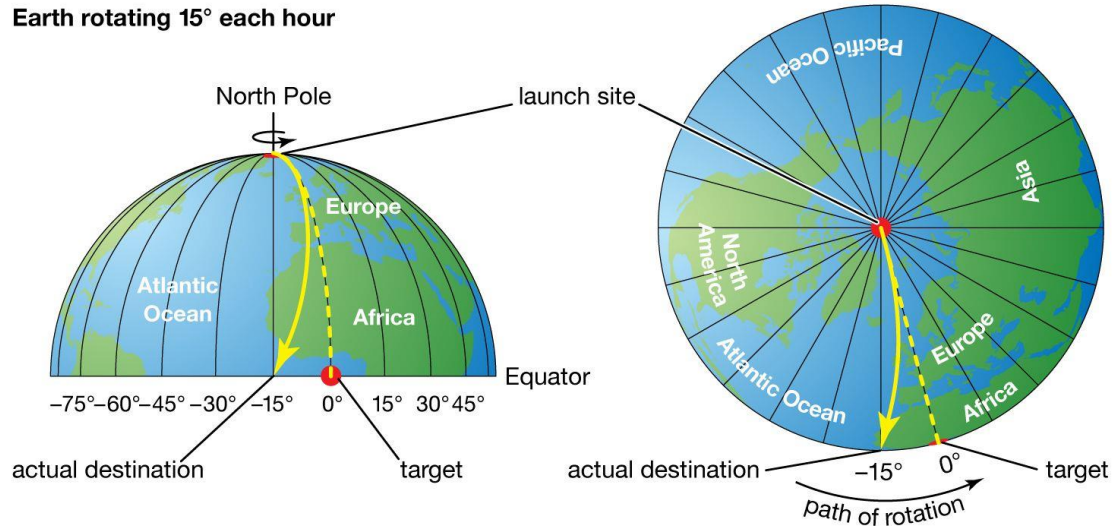
Odvisnost od hitrosti in širine: Učinek Coriolisove sile je večji pri hitrejših premikih in na večjih zemljepisnih širinah (bližje polom). Na ekvatorju je učinek Coriolisove sile ničeln, saj tam ni lateralne komponente vrtenja Zemlje.

The effect of the Coriolis force

Nonrotating Earth



Earth rotating 15° each hour

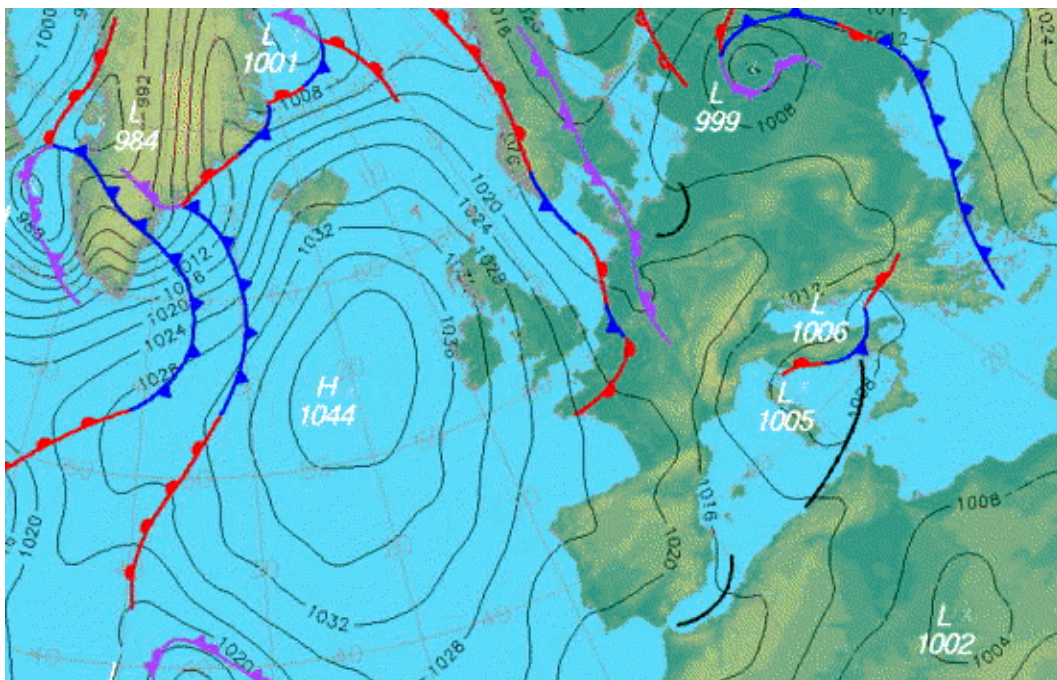


Gradientna sila

Gradientna sila je povezana z **gradientom tlaka**, ki pove, kako se tlak spreminja na določeni razdalji.
Gradientna sila potiska zrak v smeri **od večjega k manjšemu zračnemu tlaku**.

$$\nabla p = \frac{\Delta p}{\Delta r}$$

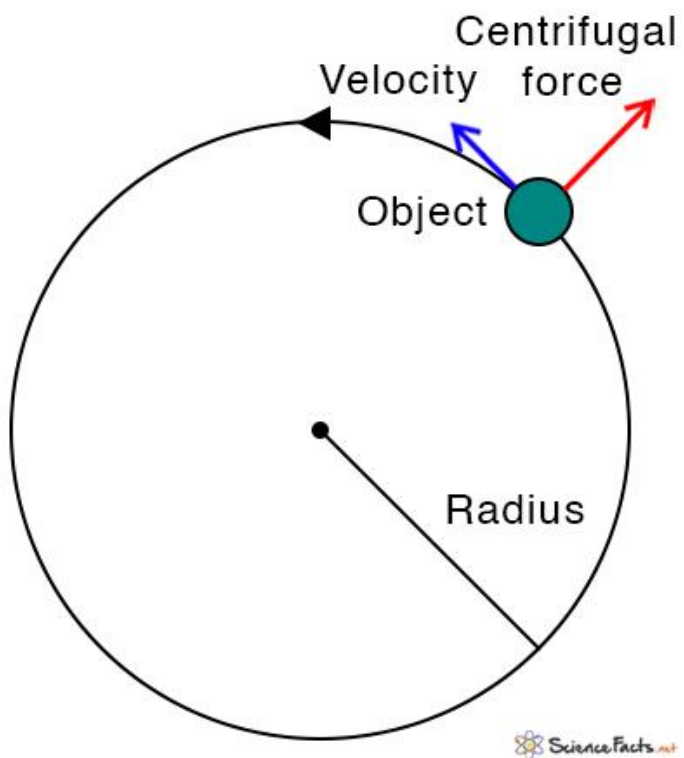
$$F_{grad} = \nabla p \Delta x S = \nabla p V = \nabla p \frac{m}{\rho} = \frac{\nabla p m}{\rho}$$



Centrifugalna sila

Ta sila deluje **v zračnih vrtincih** (tornadi, hurikani, tajfuni, cikloni in anticikloni).
Zrak potiska **v smeri od središča kroženja navzven**.

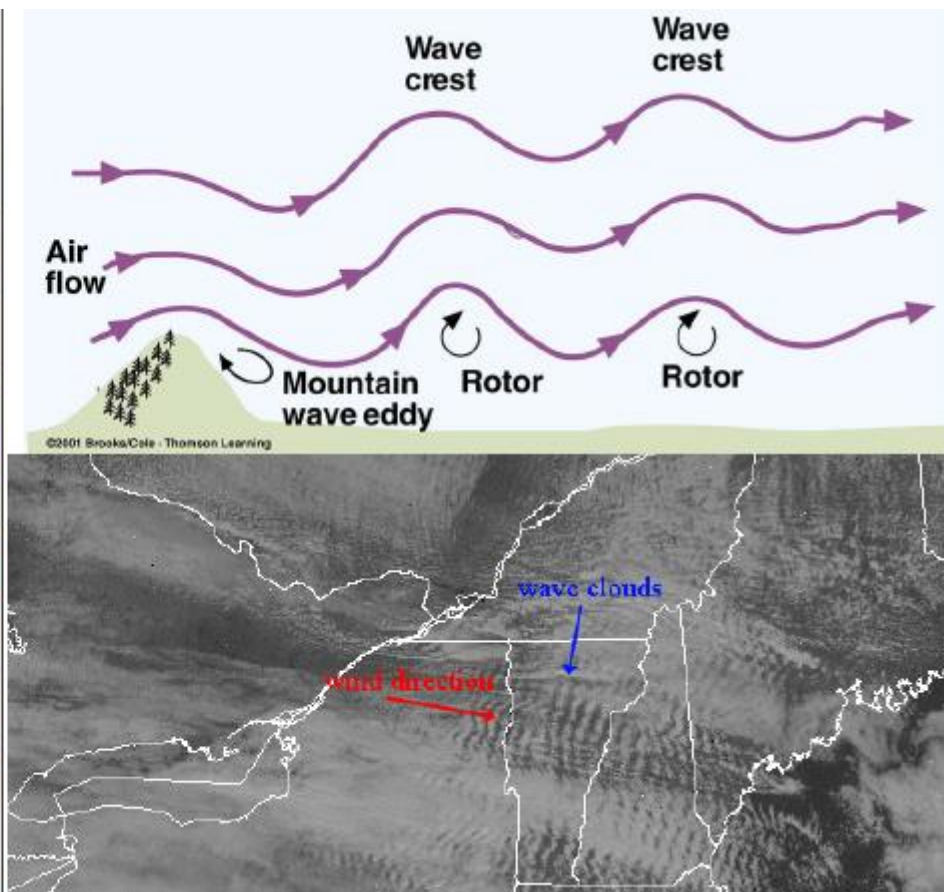
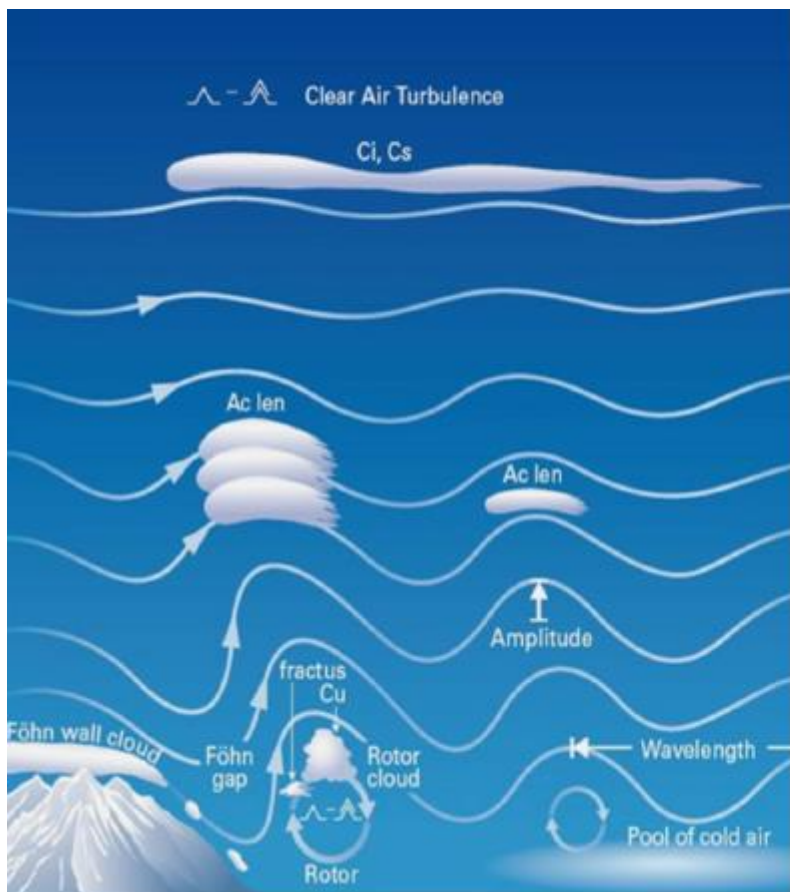
$$F_{cf} = m \frac{v^2}{R}$$



Sila trenja

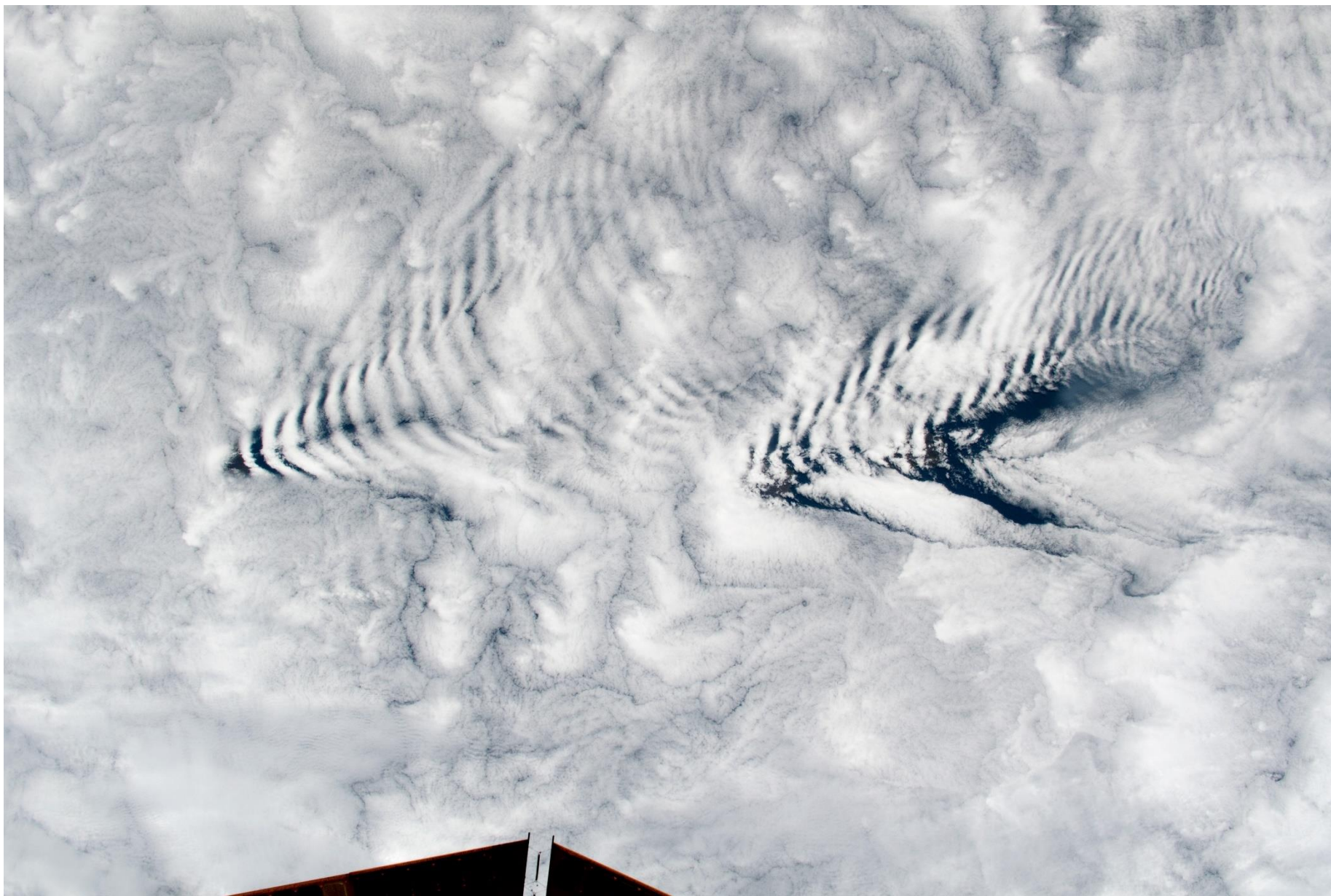
Trenje je odvisno od hitrosti zraka in od lastnosti tal preko katerih piha veter.

$$F_{tr} = mkv$$





Primer valovnih oblakov



Valovni oblaki nad Karibskim otočjem



Osupljiv primer valovnih oblakov nad Wyomingom v ZDA leta 2022

Tipi vetrov v atmosferi

Vetrovi se lahko razvrstijo tudi glede na fizikalne vzroke, ki jih povzročajo. Ti vzroki vključujejo **toplotne razlike**, **tlačne razlike**, **rotacijo Zemlje** in **lokalne geografske značilnosti**. Tukaj je pregled glavnih tipov vetrov glede na fizikalne vzroke:

- **Termični vetrovi:** konvekcijski vetrovi (pasati, monsoni)
- **Lokalni protitrenjski vetrovi:** burja, burin, maestral, fen
- **Rotacijski vetrovi:** Ekmanova spirala, tornadi, tajfuni in hurikani, cikloni in anticikloni
- **Gradientni vetrovi:** zahodni, polarni, geostrofični

Drugi specifični vetrovi

- **Katabatski vetrovi:** Hladni, gost zrak, ki teče navzdol po pobočjih ali ledenikih zaradi gravitacije.
- **Anabatski vetrovi:** Topli, manj gost zrak, ki se dviga po pobočjih gor zaradi segrevanja površine.



Different types of wind

Global winds

Trade winds

Constant winds that blow all year long in the same direction. Dry, observed over the ocean. Directed from areas of high pressure to the equatorial zone



Monsoons

Winds that blow from the tropics to the Equator: from the ocean in summer and from the mainland in winter. Carry moist air masses



Local winds

Breeze

Blows at a low speed and changes 2 times a day: during the day it blows from the sea to the coast, at night the direction changes. Occurs in cities and forests too

Bora

Very cold and strong wind that occurs on the Northern coast of the Adriatic Sea, Western coast of Novaya Zemlya, Crimean coast of the Black sea, and shores of large lakes

Mistral

Strong, very destructive and only occurs on the Mediterranean coast of France

Mountain and valley winds

So-called breezes in the mountains, change direction 2 times a day

Other types

Jet stream

Very strong winds at the border of air masses, especially with a strong temperature difference. The width of the "jet" is a couple of hundred km, and the height is about 5 km



Wind gusts

Short strengthening of an already existing wind, lasting up to 1 minute. A rush occurs when a stream meets an obstacle on its way



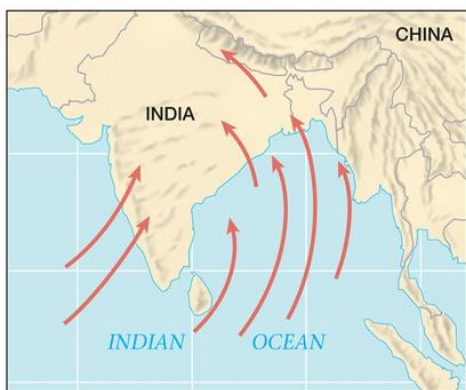
WINDY.APP

Termični vetrovi (Toplotni vetrovi)

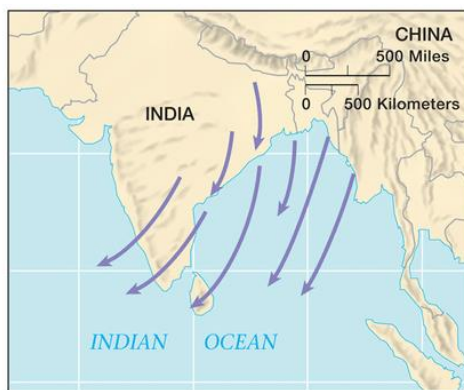
$$F_{vzg} = \Delta \rho g \frac{m}{\rho}$$

Konvekcijski vetrovi:

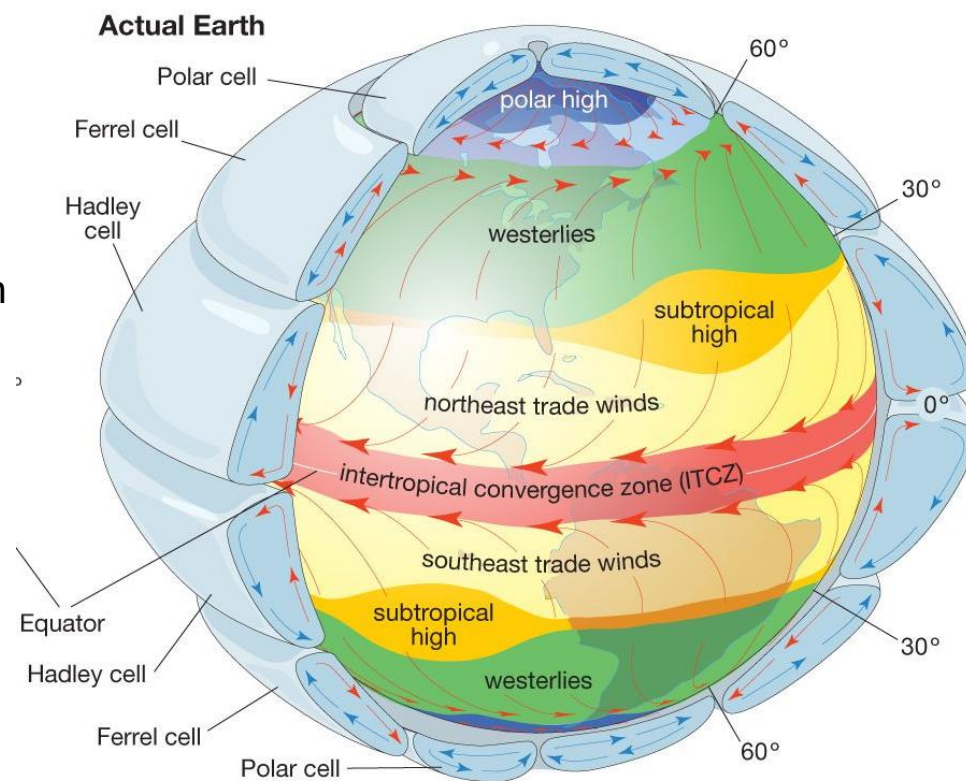
- **Pasatni vetrovi:** Pojavijo se zaradi konvekcije v tropskih območjih, kjer se topli zrak dviga nad ekvatorjem, premika proti polom, ohladi in nato spušča okoli 30° zemljepisne širine, kjer ustvarja območja visokega tlaka.
- **Monsuni:** Nastanejo zaradi sezonskih temperaturnih razlik med kopnim in oceanom. Poleti se kopno segreva hitreje kot ocean, kar povzroča dviganje toplega zraka in potiskanje hladnejšega zraka iz oceana. Pozimi je situacija obratna.

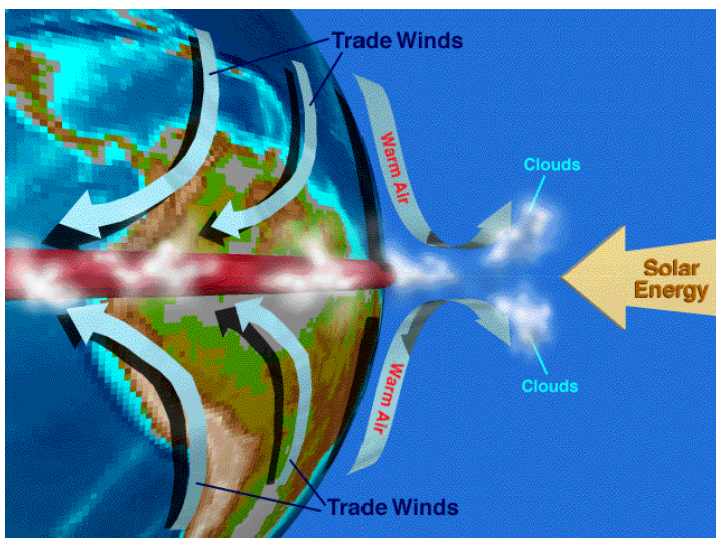


Summer



Winter







Vetrni sistem morja in kopnega (Sea and Land Breezes)

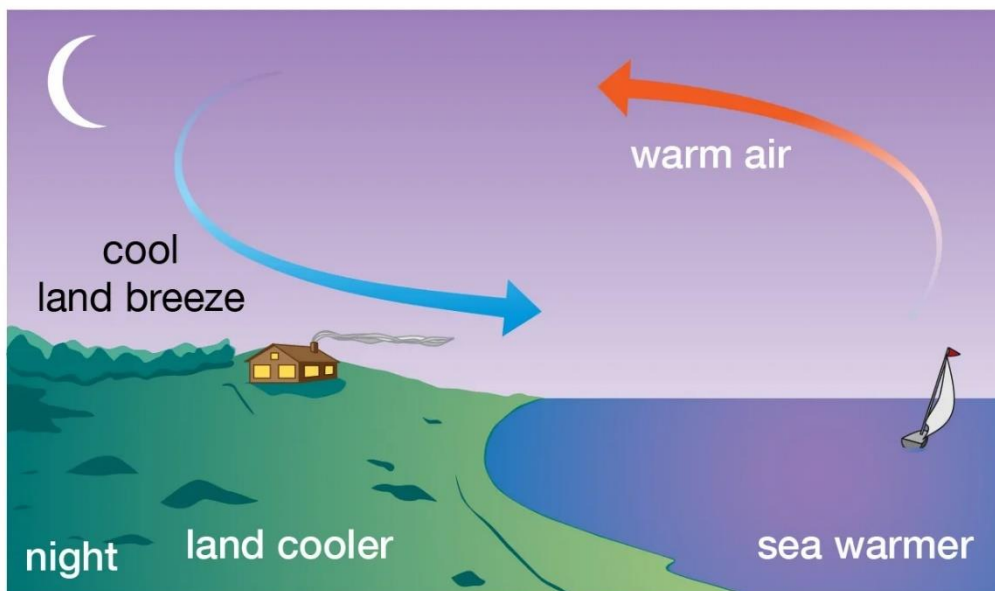
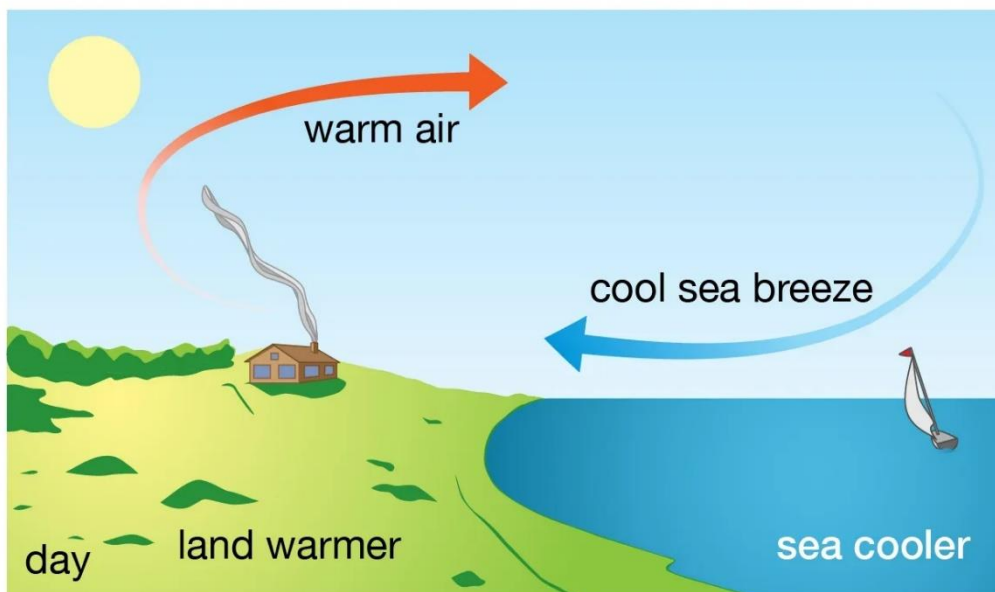
- **Dnevni vetrovi (maestral):** Čez dan se kopno segreva hitreje kot voda, kar povzroči dviganje toplega zraka nad kopnim in potiskanje hladnejšega zraka iznad morja.
- **Nočni vetrovi (burin):** Ponoči se kopno ohlaja hitreje kot voda, kar povzroči dviganje toplega zraka nad morjem in potiskanje hladnejšega zraka iznad kopnega.

Vzpostavi se ravnovesje med gradientno silo in trenjem.

$$F_{grad} = F_{tr},$$

$$\frac{\nabla p m}{\rho} = m k v,$$

$$v = \frac{\nabla p}{\rho k}.$$





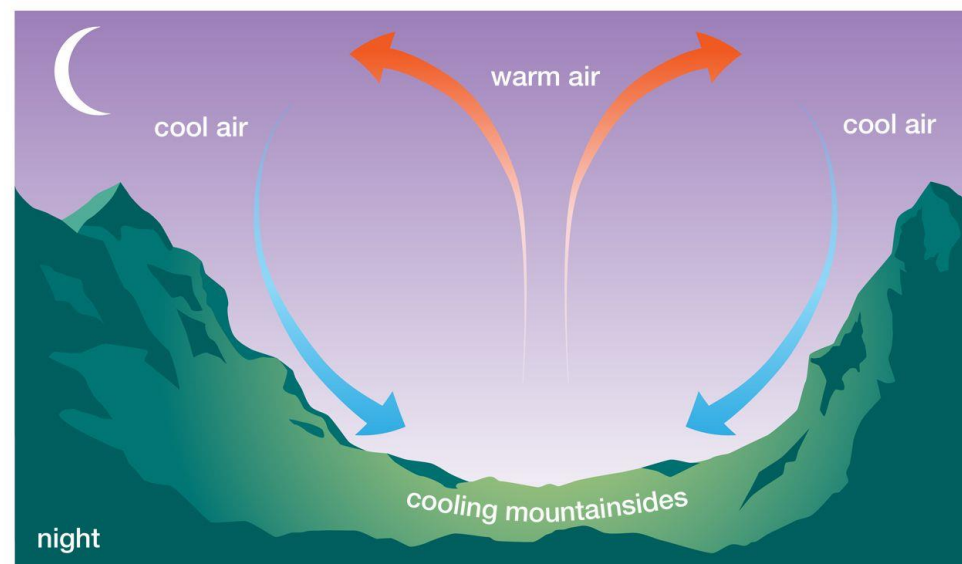
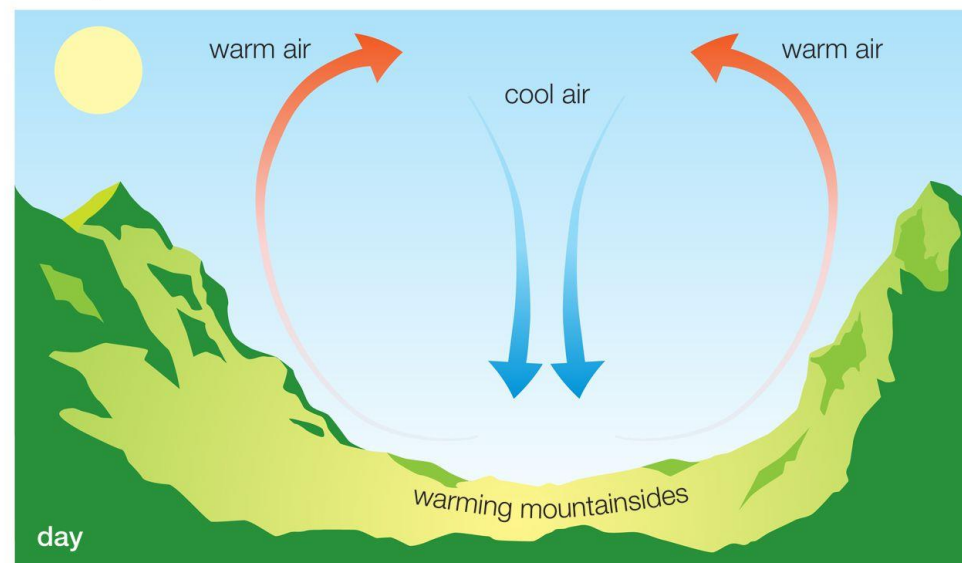
Maestral, prijatelj pomorščakov...

Vetrni sistem gora in dolin (Mountain and Valley Breezes)

- **Dnevni vetrovi (Valley Breezes):** Čez dan se zrak v dolinah segreva in dviga po pobočjih navzgor.
- **Nočni vetrovi (Mountain Breezes):** Ponoči se zrak nad gorami ohlaja in spušča v doline.

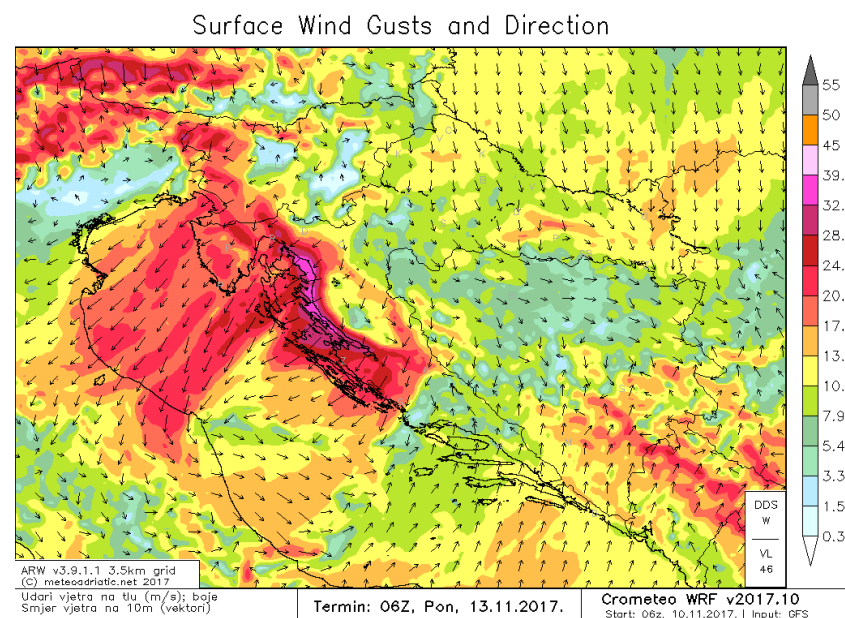
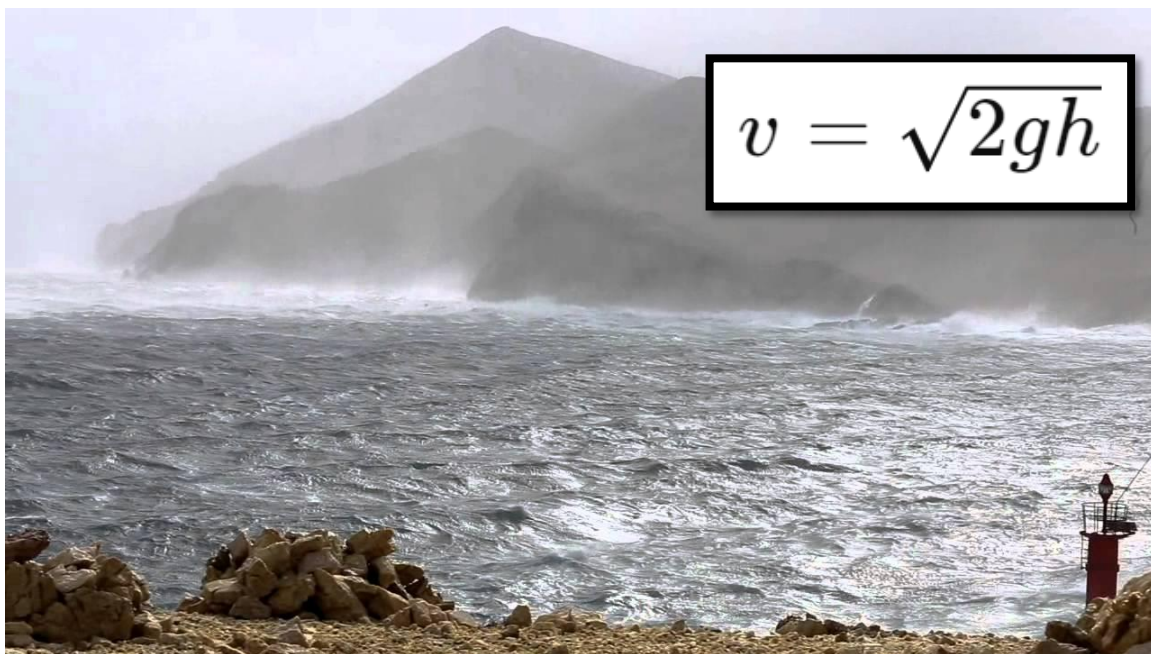


Valley and mountain breezes



Burja

Burja nastane, ko je **nad notranjostjo visok zračni tlak** in **nad morjem nizek zračni tlak**, kar povzroči močan tlačni gradient. Zrak se premika iz notranjosti proti obali, kjer **naleti na gorsko pregrado in se dviga**, kar povzroča adiabatno ohlajanje. Ko prečka vrh gore in **se spušča proti obali, se zrak adiabatno segreva**, a ostaja hladen zaradi izvornih pogojev. Ta hladen in sunkovit veter piha proti morju z veliko hitrostjo. Burja je značilna po svoji **sunkovitosti** in lahko doseže **hitrosti tudi preko 200 km/h**, prinaša hladno in suho vreme ter vpliva na lokalno življenje in pomorske razmere.





Velebit

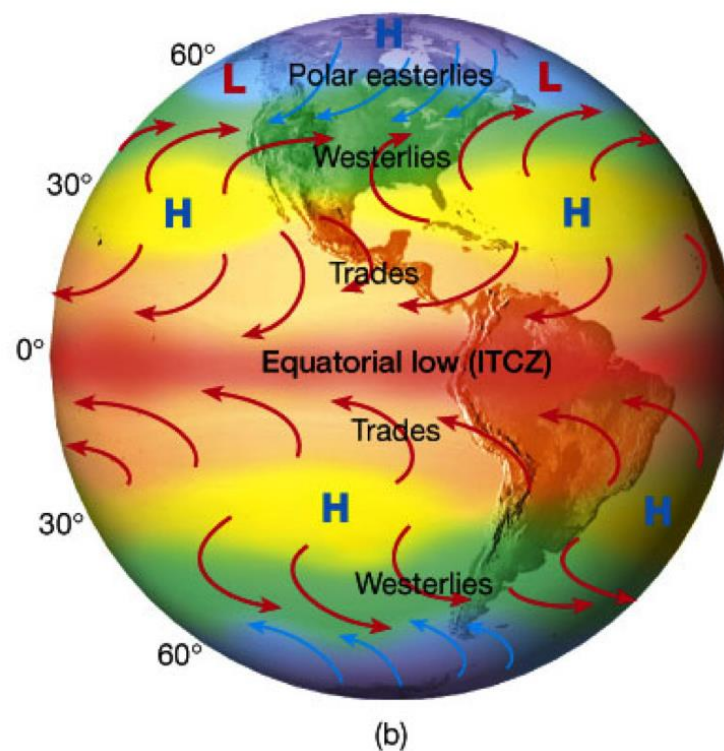
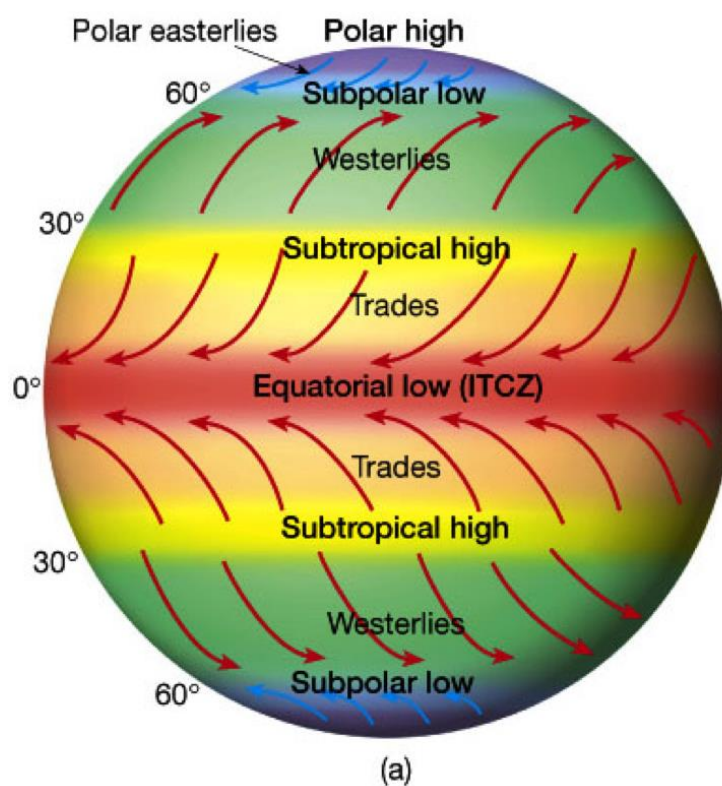
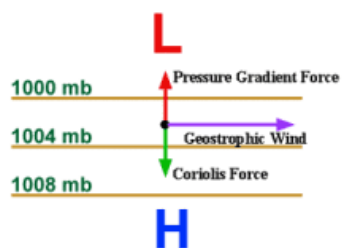
Gradientni vetrovi

- **Zahodni vetrovi (Westerlies):** Nastanejo zaradi tlačnih gradientov med subtropskimi območji visokega tlaka (30° zemljepisne širine) in polarnih območij nizkega tlaka (60° zemljepisne širine).
- **Polarni vetrovi (Polar Easterlies):** Nastanejo zaradi tlačnih gradientov med polarnim območjem visokega tlaka in območji nizkega tlaka pri okoli 60° zemljepisne širine.
- **Geostrofski vetrovi:** Vetrovni tokovi, ki nastanejo zaradi **ravnovesja med Coriolisovo silo in horizontalnim tlačnim gradientom**. Ti vetrovi pihajo vzporedno z izobarami.

$$F_{cor} = F_{grad},$$

$$mKv = \frac{m \nabla p}{\rho}.$$

$$v = \frac{\nabla p}{K\rho}.$$



Rotacijski vetrovi

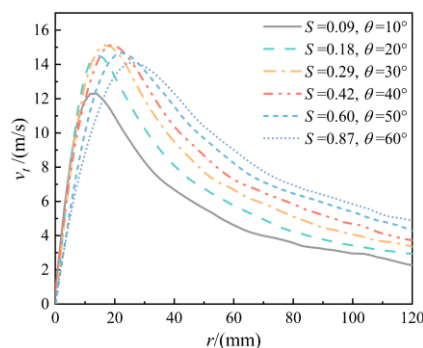
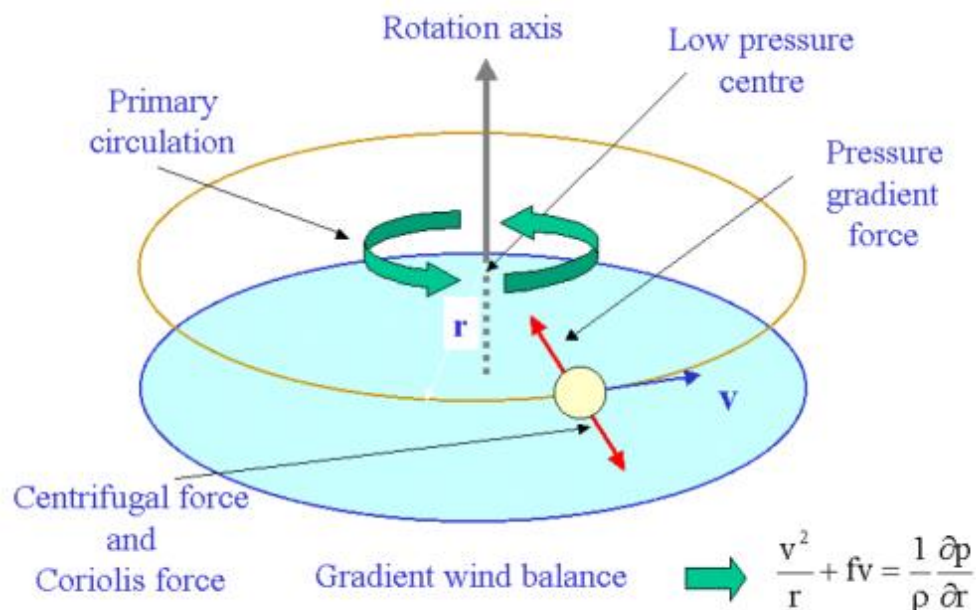
- **Tropski cikloni (hurikani, tajfuni):** Nastanejo zaradi intenzivnega dvigovanja toplega, vlažnega zraka nad tropskimi oceani, kar povzroči močne vrtnčaste vetrove in padavine. **Hurikani:** Atlantski ocean, severovzhodni Tihi ocean. **Tajfuni:** Severozahodni Tihi ocean.
- Vzpostavi se **ravnovesje med gradientno in centrifugalno silo.**

$$F_{grad} = F_{cf},$$

$$\frac{\nabla p m}{\rho} = m \frac{v^2}{r},$$

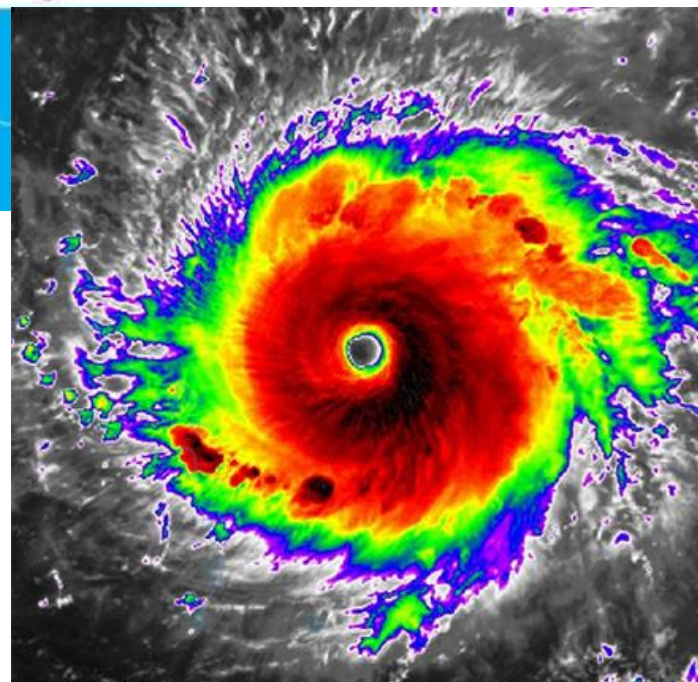
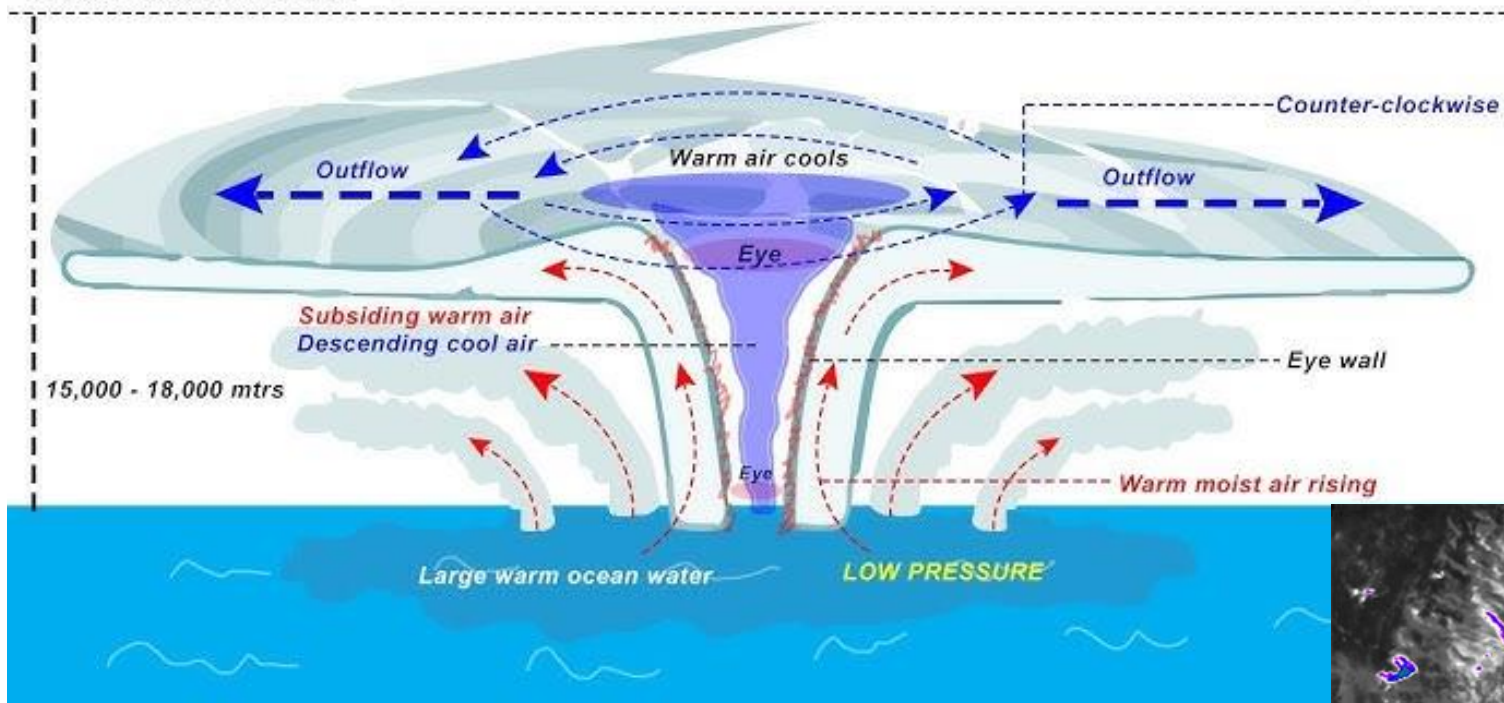
$$v = \sqrt{\frac{\nabla p}{\rho}} \sqrt{r}.$$

Hitrost vetra je majhna v središču
In narašča proti robu vrtnca.

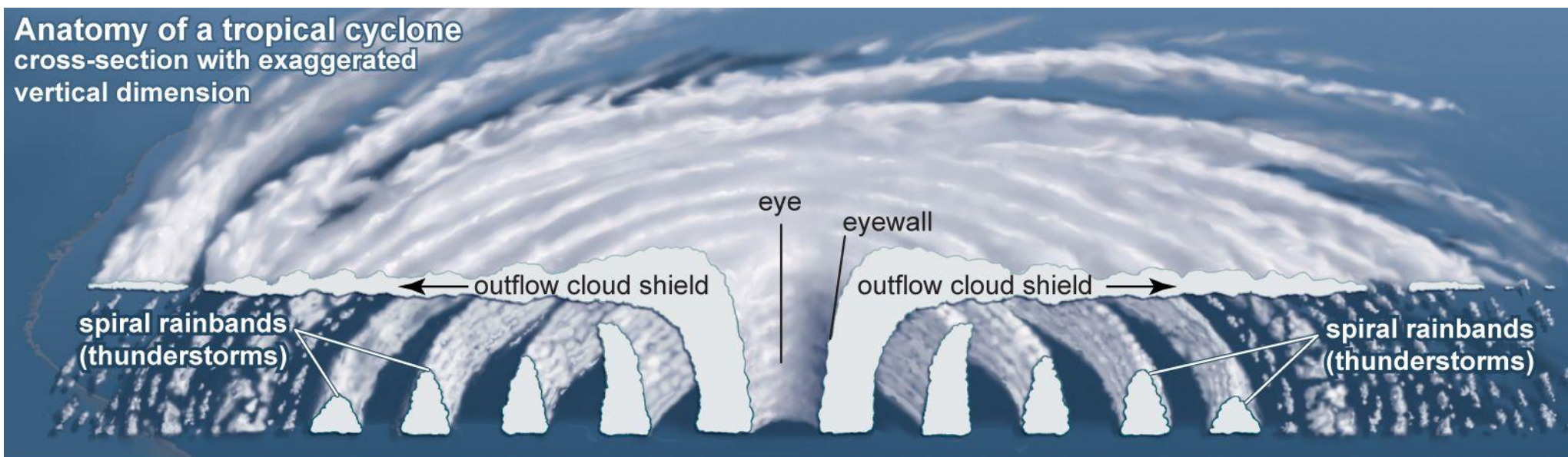


TROPICAL CYCLONE

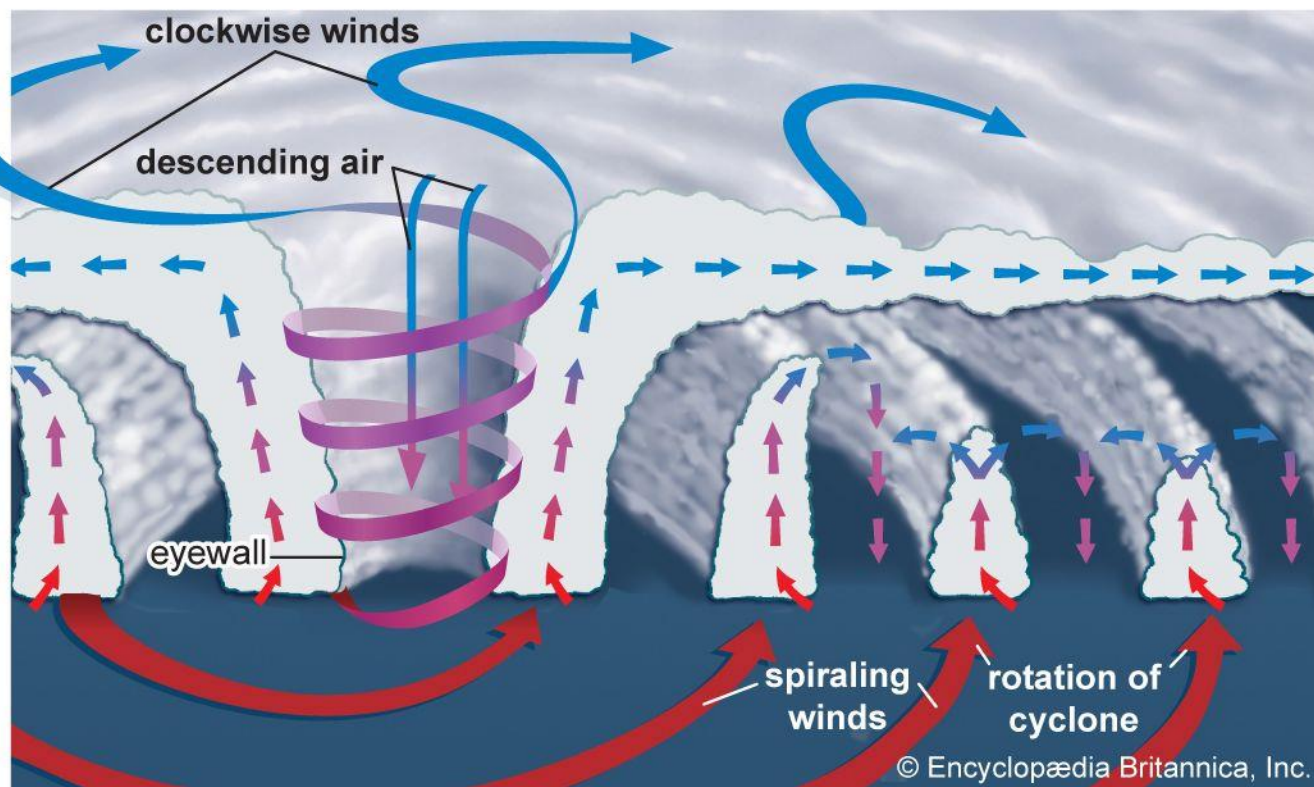
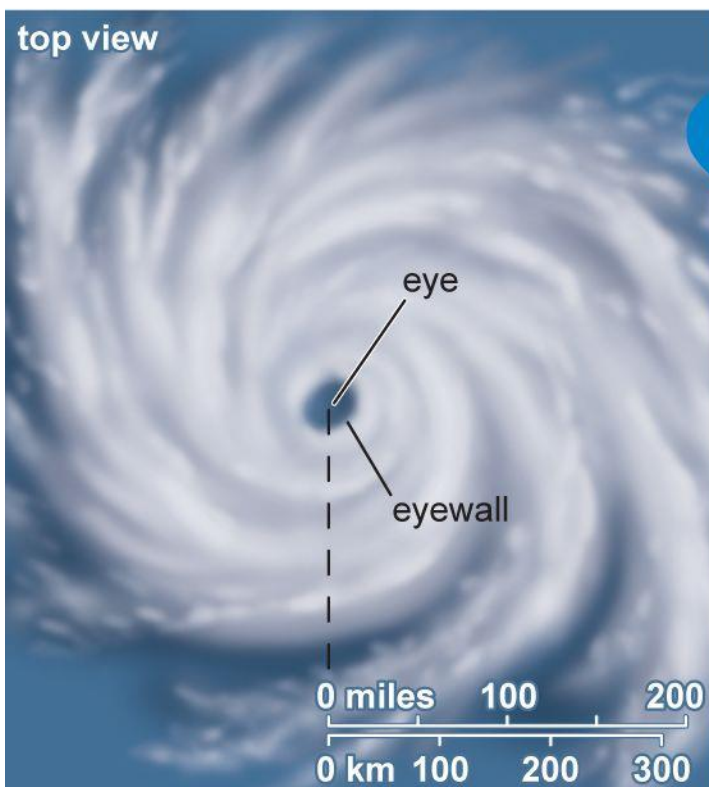
TROPOSPHERE



Anatomy of a tropical cyclone cross-section with exaggerated vertical dimension



top view





Primer tropskega ciklona nad Florido leta 2019

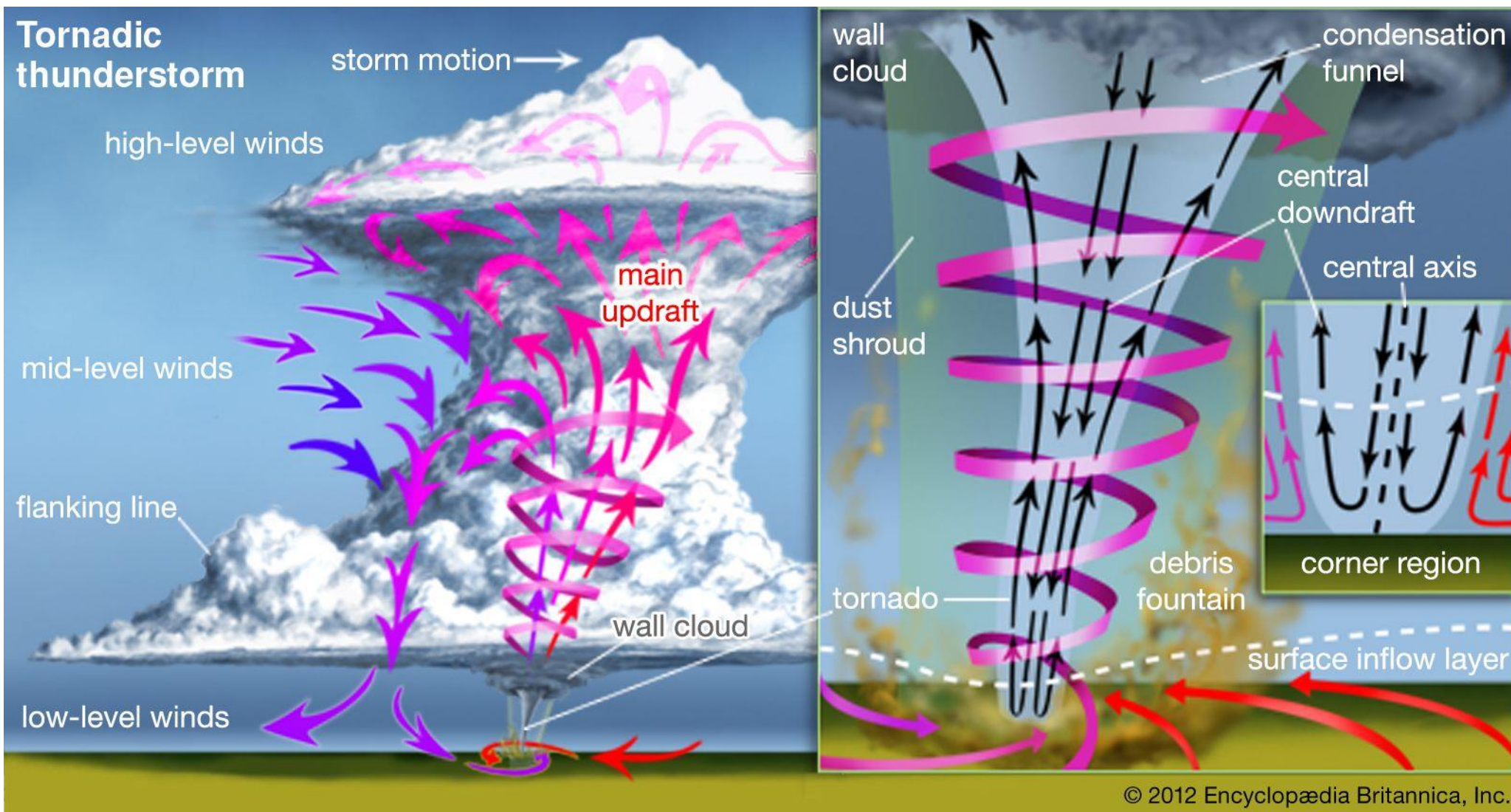
Tornado

Tornado je močan, vrtinčast zračni stolp, ki se razteza iz nevihtnega oblaka do tal. Tornadi so najmočnejši atmosferski pojavi in lahko povzročijo izjemno škodo. Tukaj je podrobnejša razlaga tornada:

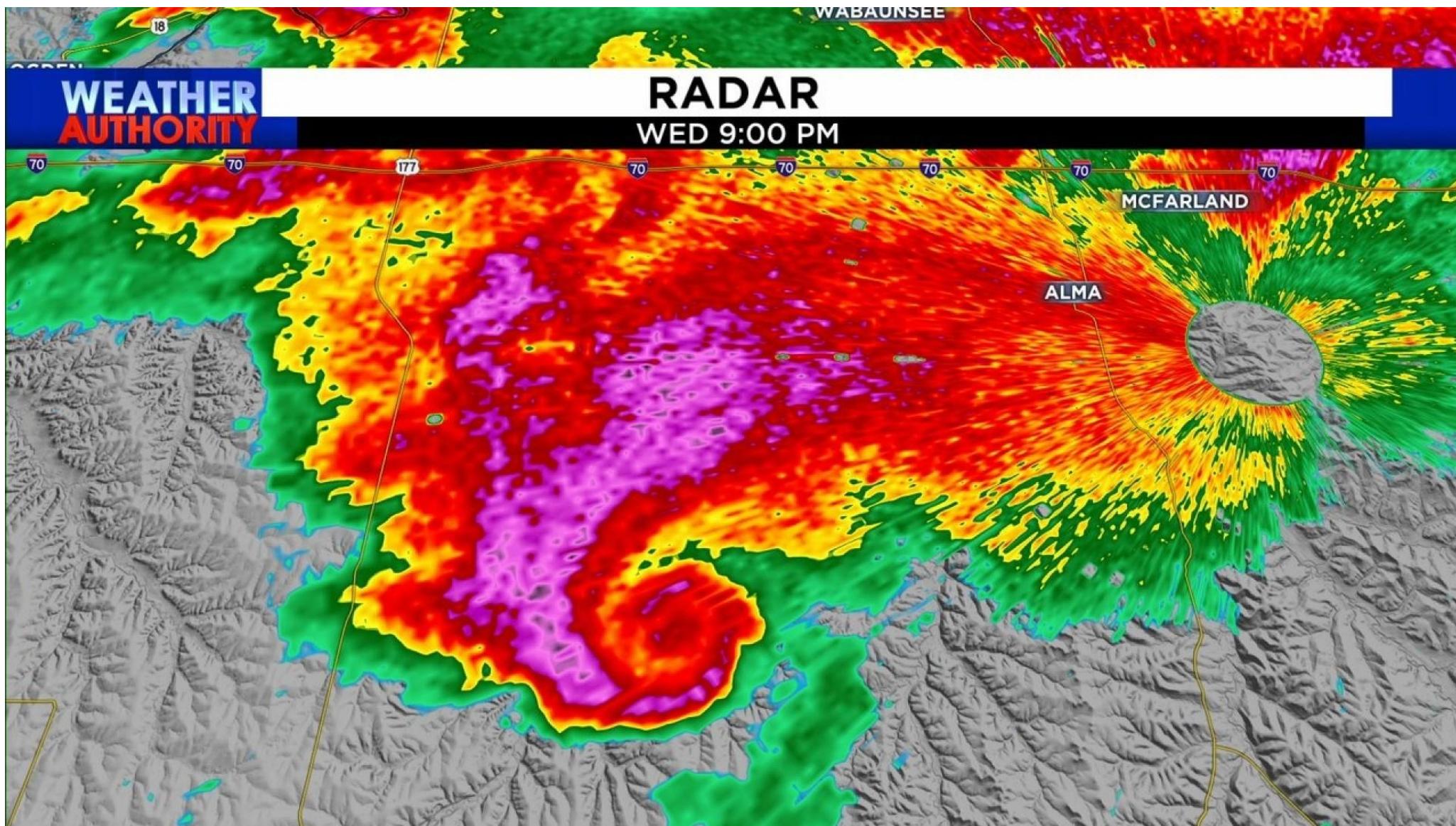
Značilnosti tornada:

- **Oblika:** Tornadi imajo značilno lijakasto obliko, ki se vrti z zelo visokimi hitrostmi. Lijak je običajno viden zaradi kondenzacije vlage v zraku ali zaradi prahu in ruševin, ki jih tornado dvigne s tal.
- **Velikost in trajanje:** Tornadi so običajno široki nekaj sto metrov, vendar lahko dosežejo širino več kot kilometer. Večina tornadov traja le nekaj minut, vendar nekateri lahko trajajo tudi več kot uro.
- **Hitrost vetra:** Hitrost vetra v tornadu je lahko izjemno visoka, pogosto presega 300 km/h (186 mph), v najmočnejših tornadih pa lahko doseže tudi več kot 480 km/h (300 mph).
- **Barva:** Barva tornada je odvisna od materiala, ki ga dvigne s tal, in od osvetlitve. Lahko so skoraj nevidni, če ni veliko kondenzacije ali prahu, ali pa imajo temno barvo zaradi umazanije in ruševin.





Nastanek in zgradba tornada



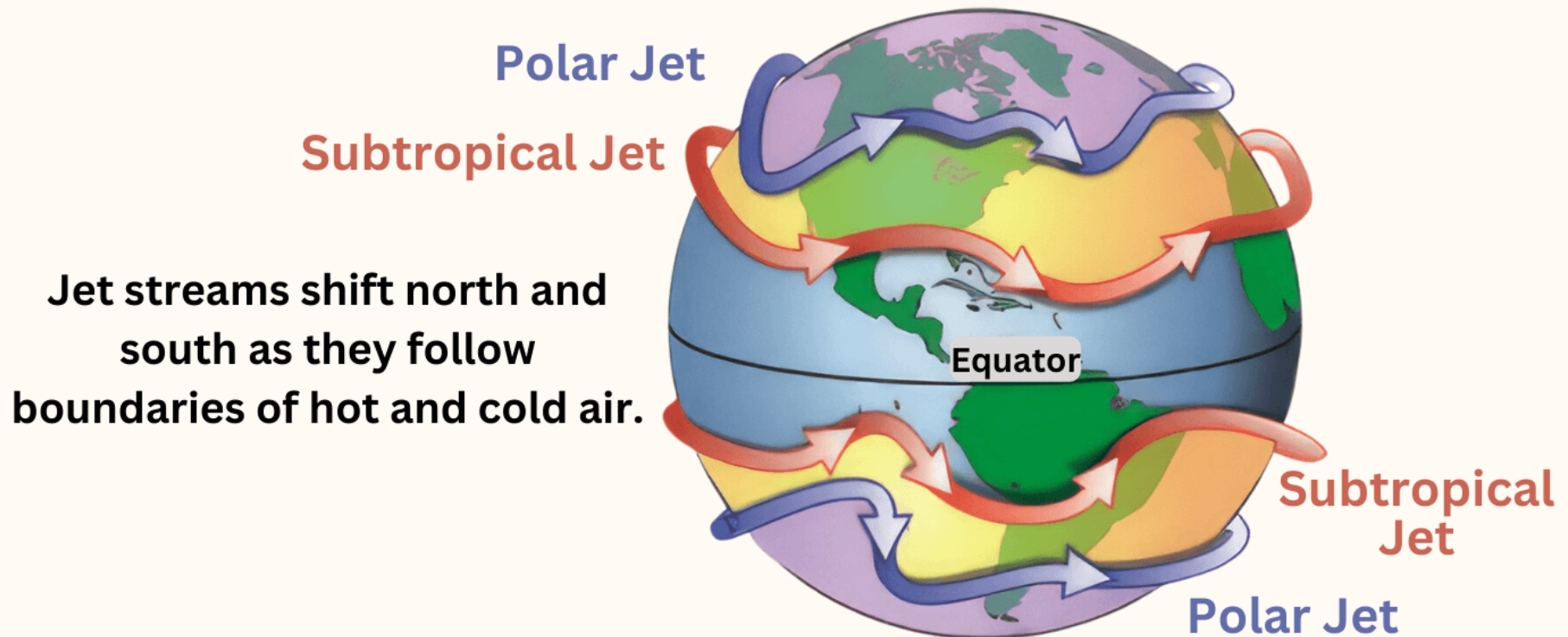
Radarska slika vetra v tornadu

Jet streams

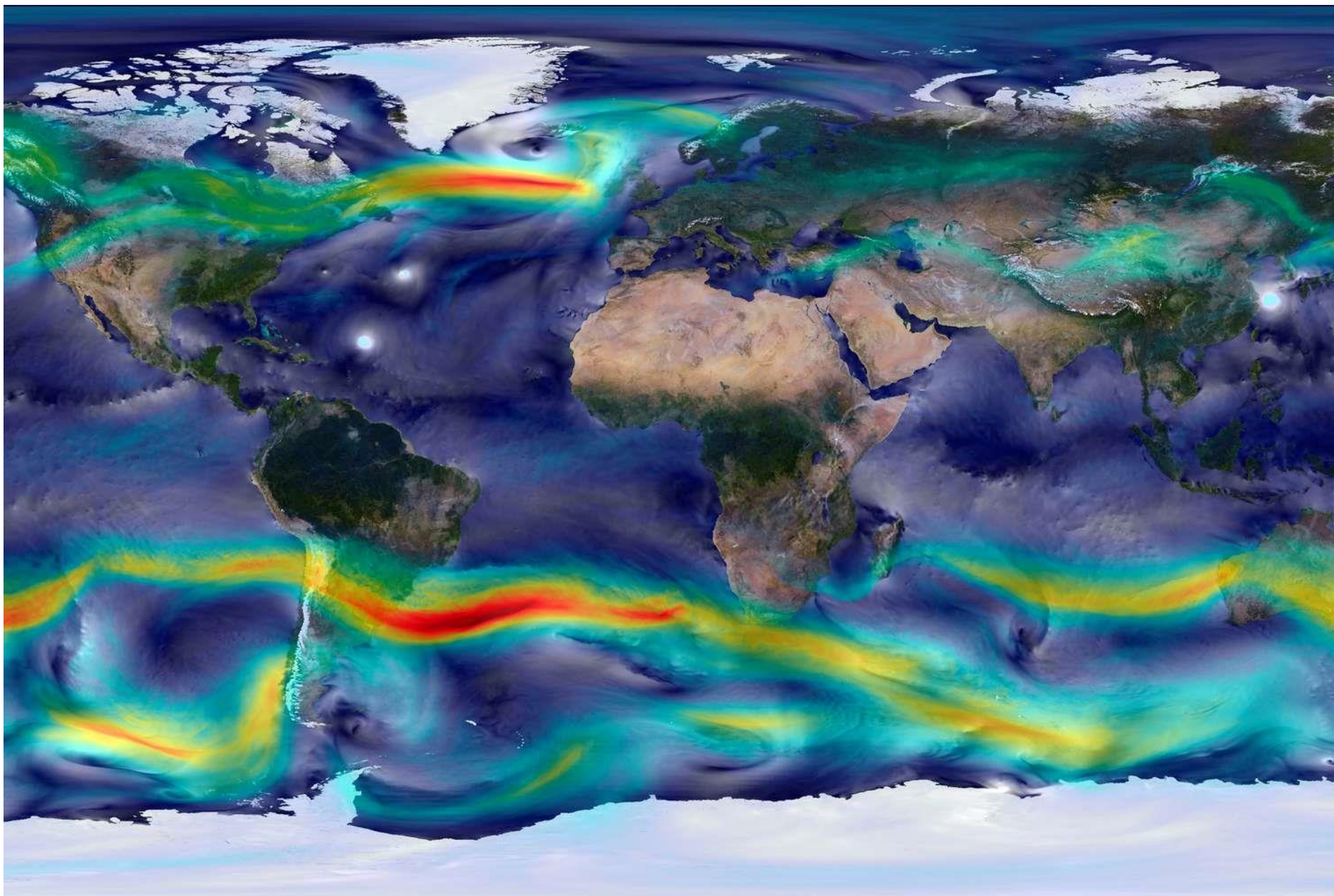
- Jet streams so ozki, močni zračni tokovi v zgornji troposferi ali spodnji stratosferi, ki potujejo okoli Zemlje. Nahajajo se **na višini med 8 in 15 kilometrov** nad površjem Zemlje, pri čemer lahko njihove hitrosti dosežejo od 110 do 250 km/h, včasih pa celo več.
- Obstajata dve glavni vrsti: **polarni jet stream**, ki se nahaja med 50° in 60° zemljepisne širine, ter **subtropski jet stream**, ki se nahaja približno na 30° zemljepisne širine na obeh poloblah.
- Jet streams nastanejo zaradi velikih horizontalnih temperaturnih gradientov med različnimi zračnimi masami, pri čemer Coriolisova sila povzroča, da se zračni tokovi premikajo vzporedno z izobarami. Ti temperaturni gradienti povzročajo **močne zračne tokove zaradi geostrofičnega ravnotežja**.
- **Polarni jet stream** pomembno vpliva na vreme v zmernih in visokih geografskih širinah, saj vodi vremenske sisteme, kot so **cikloni** in **anticikloni**.
- **Subtropski jet stream** igra pomembno vlogo pri prenašanju toplote in vlage ter vpliva na podnebje v subtropskih območjih.
- Jet streams so običajno nekaj sto kilometrov široki in lahko obsegajo tisoče kilometrov v dolžino.
- Njihovo **gibanje zahod-vzhod** vpliva na premike nevihtnih front in vremenskih sistemov. Letalski promet pogosto izkorišča jet streams za hitrejša potovanja v smeri zahod-vzhod, saj letala lahko letijo z vetrom in s tem zmanjšajo čas in porabo goriva.
- Spremembe v jet streams, povezane s podnebnimi spremembami, lahko vplivajo na dolgoročne vremenske vzorce in podnebje na regionalni in globalni ravni.

Jet Stream

**A jet stream is a narrow band of wind in the upper atmosphere.
~30,000 feet (9,100 meters)**



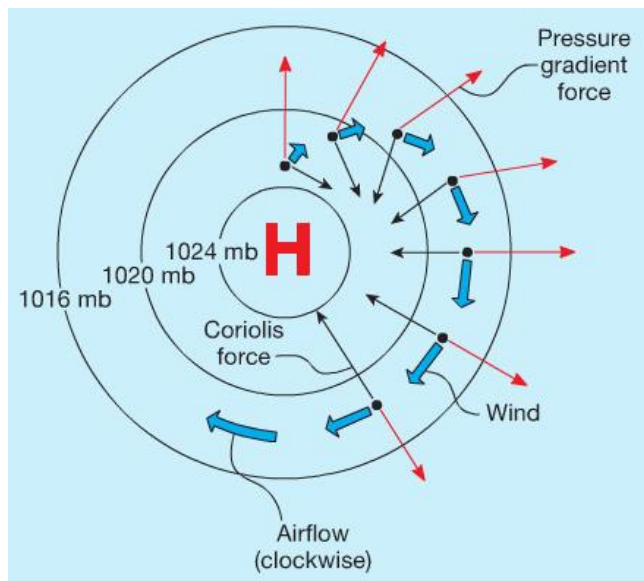
In both hemispheres, jet streams blow west to east.



Anticikloni

- Anticikloni so **območja visokega zračnega tlaka**, kjer zrak na površini kroži v smeri urnega kazalca na severni polobli in v nasprotni smeri urnega kazalca na južni polobli.
- **Zračne mase** v anticiklonu **se spuščajo**, kar povzroča segrevanje in sušenje zraka, zato so povezani s stabilnim, jasnim in suhim vremenom.
- Zaradi visokega tlaka in pomanjkanja dviganja zraka se v anticiklonih **redko pojavljajo padavine**.
- Anticikloni lahko **trajajo več dni ali celo tednov**, kar lahko vodi do **dolgotrajnejših sušnih obdobj**.
- V hladnejših mesecih lahko anticikloni prinesejo hladno vreme, medtem ko poleti pogosto povzročajo vroče in suho vreme.

V ravnovesju so **gradientna, centrifugalna in Coriolisova** sila.



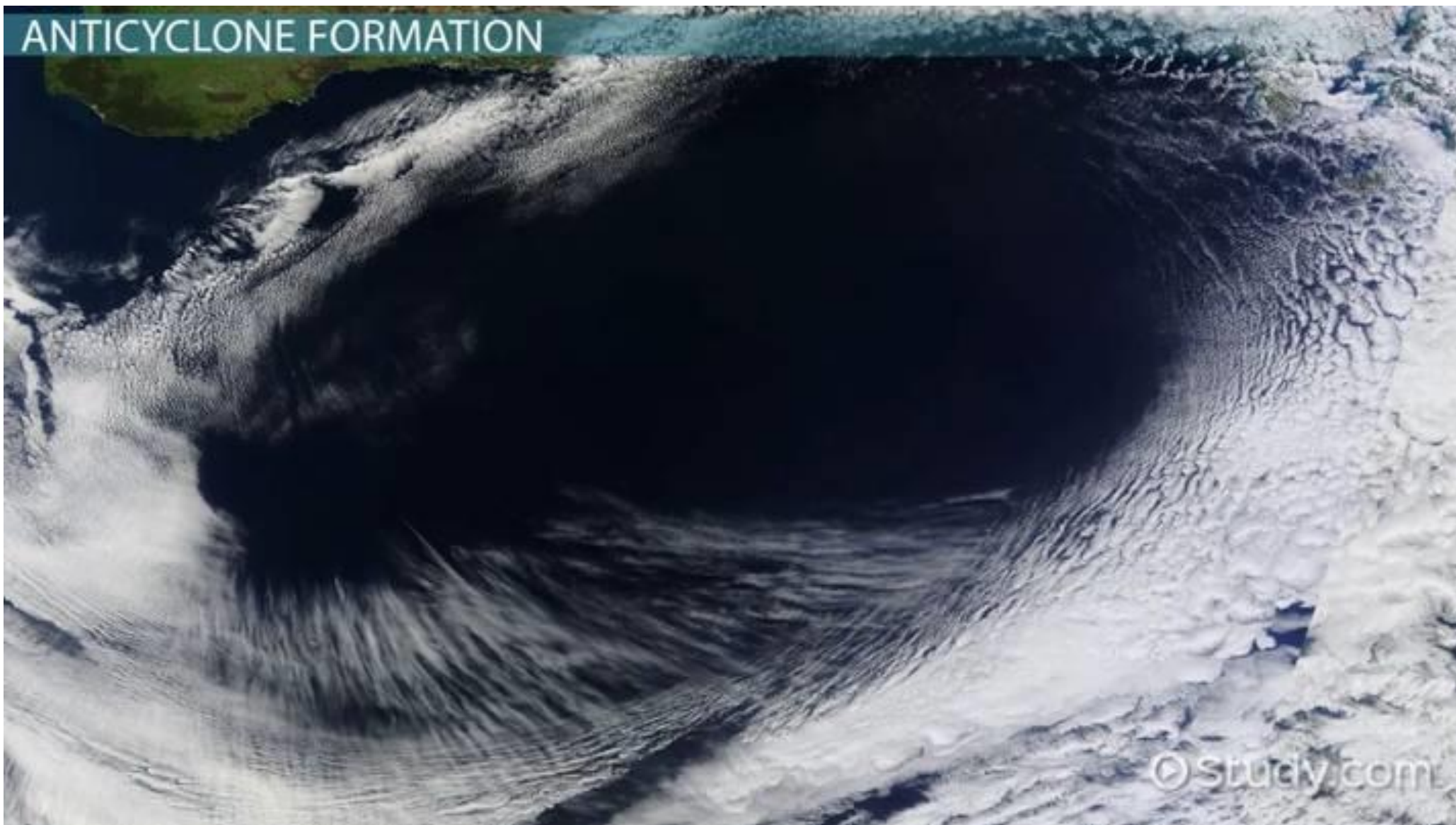
$$F_{grad} + F_{cf} = F_{cor},$$

$$\frac{m \nabla p}{\rho} + m \frac{v^2}{r} = m K v.$$

$$v = \frac{K r + \sqrt{(K r)^2 - 4(\nabla p / \rho) r}}{2}.$$

$$(K r)^2 > 4(\nabla p / \rho) r.$$

$$\nabla p = \frac{K^2 \rho r}{4}.$$



Cikloni

Cikloni so **veliki sistemi nizkega zračnega tlaka**, ki se vrtijo in povzročajo različne vremenske pojave, kot so **močni vetrovi, obilne padavine in nevihte**. Cikloni se razlikujejo glede na svojo geografijo, nastanek in intenzivnost, vključujejo pa tropske ciklone (kot so hurikani in tajfuni), ekstrasropske ciklone in subtropske ciklone.

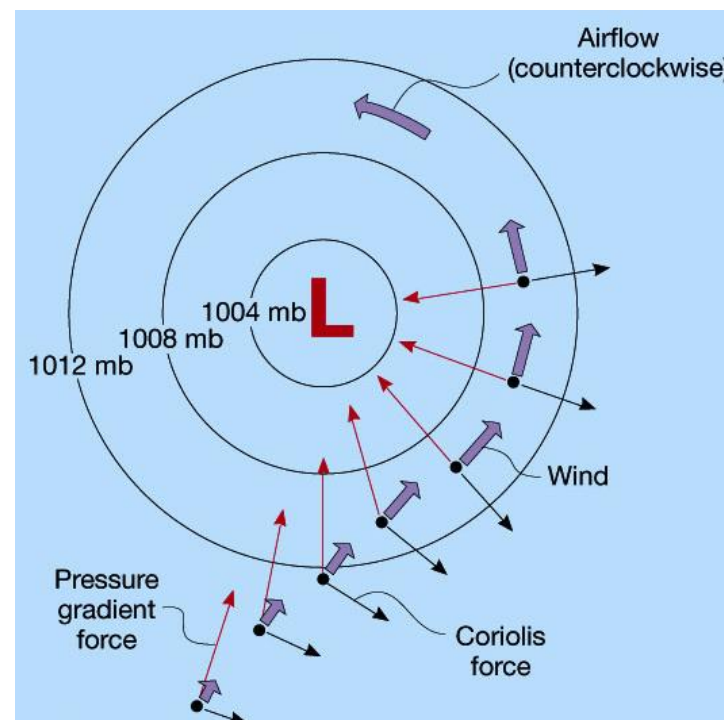
Nastanejo zaradi **interakcije med toplimi in hladnimi zračnimi masami**, kar ustvarja frontalne sisteme z različnimi **frontami**, kot so topla, hladna in okluzijska fronta. Ti cikloni prinašajo obsežne padavine, močne vetrove in nevihte, ki lahko povzročijo poplave in druge vremenske nevšečnosti.

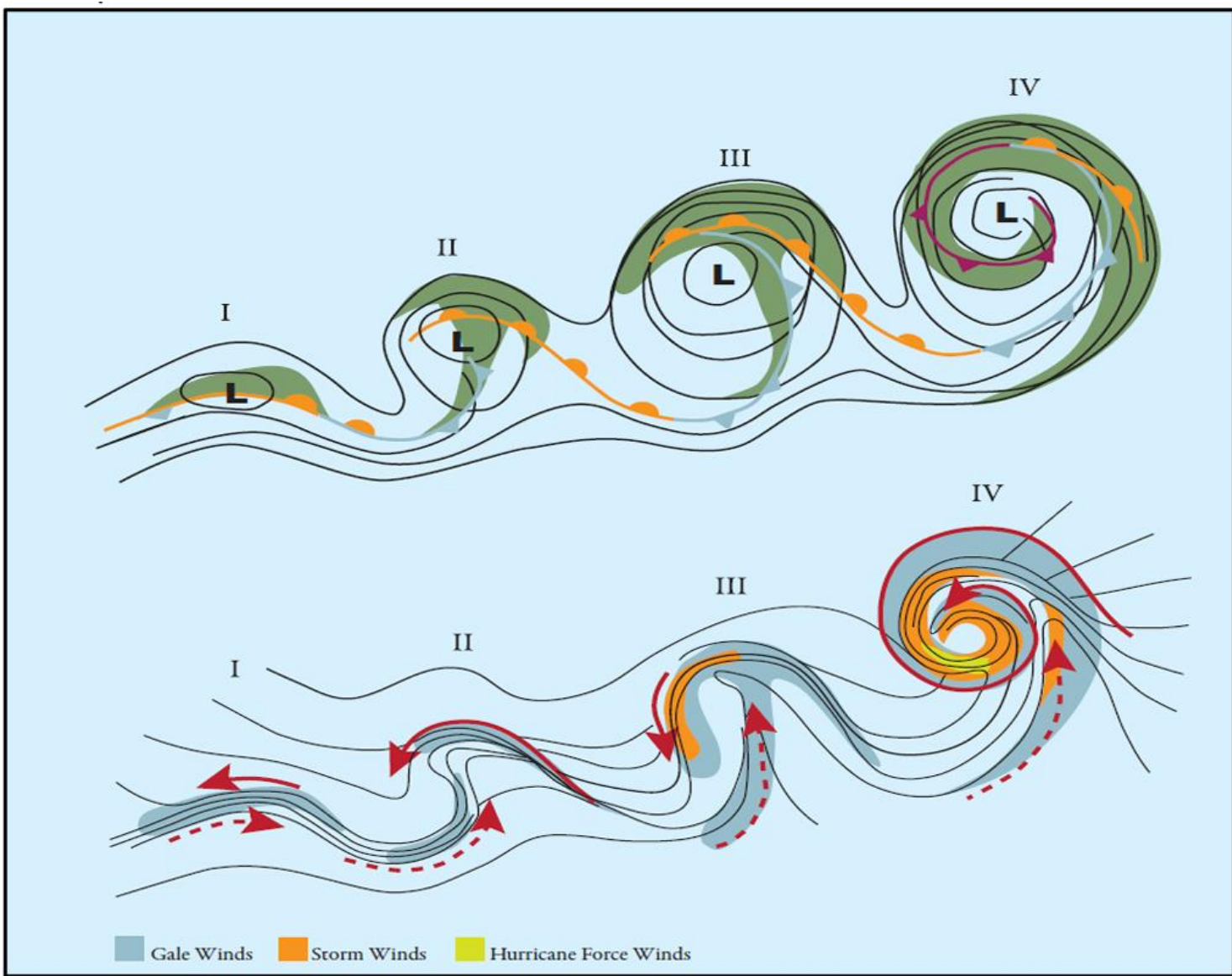
V ravnovesju so **gradientna, Coriolisova in centrifugalna sila**.

$$F_{grad} = F_{cor} + F_{cf}.$$

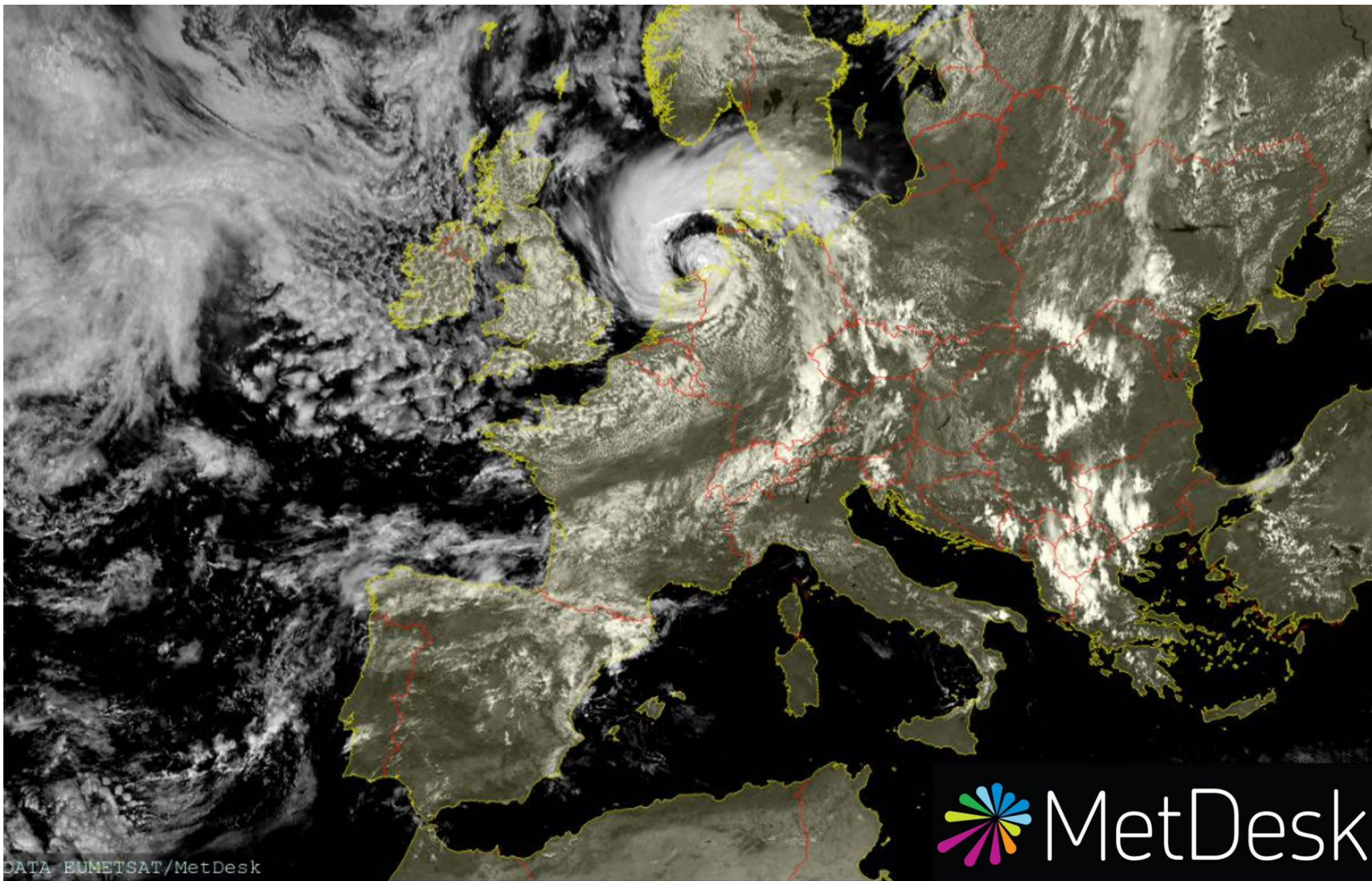
$$\frac{m \nabla p}{\rho} = m K v + m \frac{v^2}{r}.$$

$$v = \frac{-Kr + \sqrt{(Kr)^2 + 4(\nabla p / \rho)r}}{2}.$$



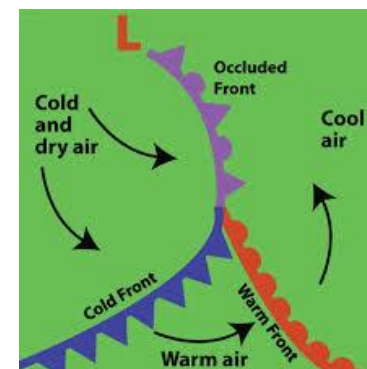
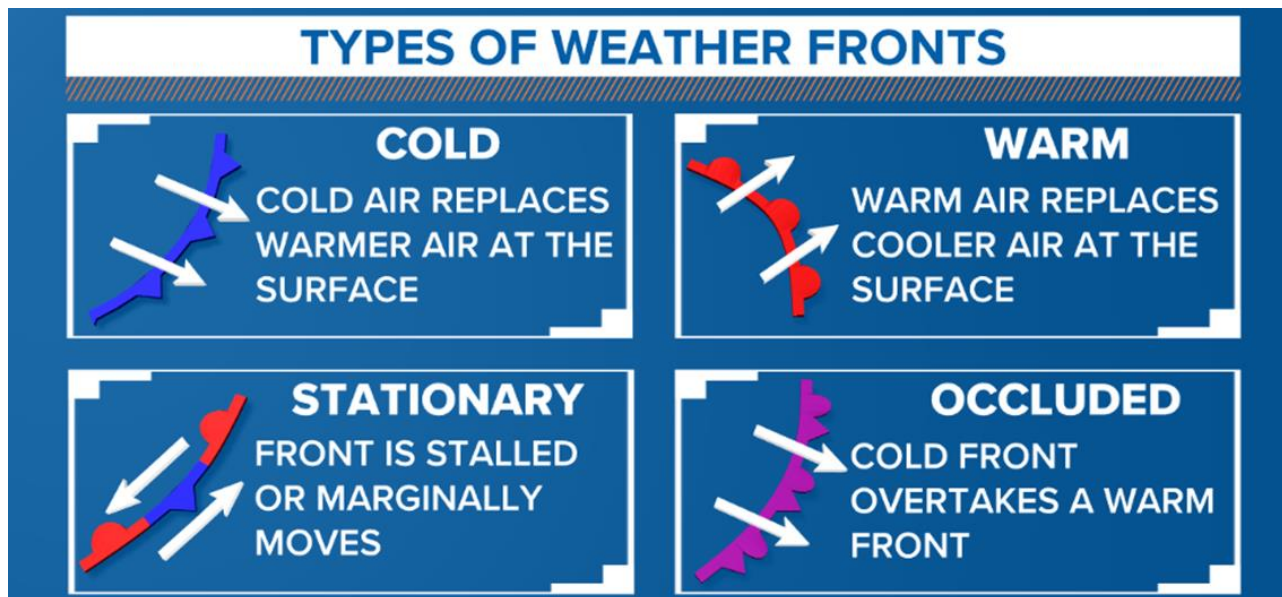


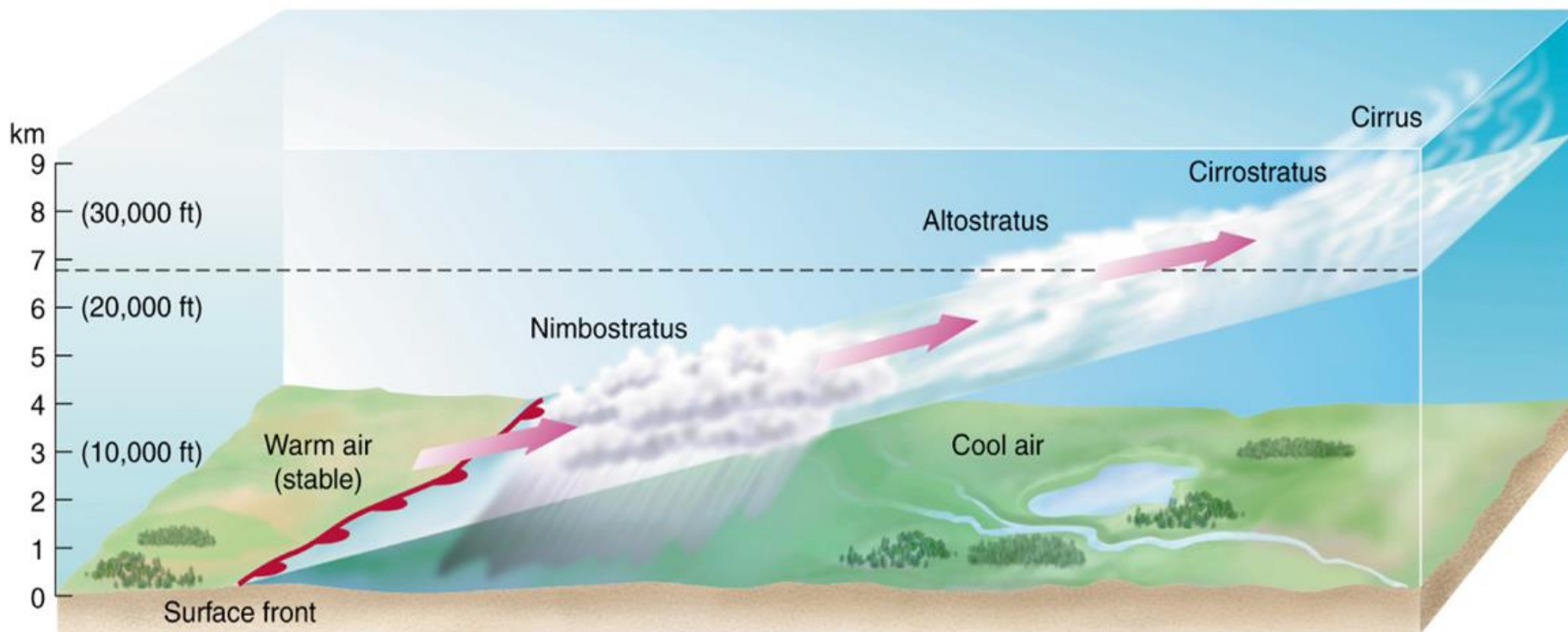
Nastanek ciklona



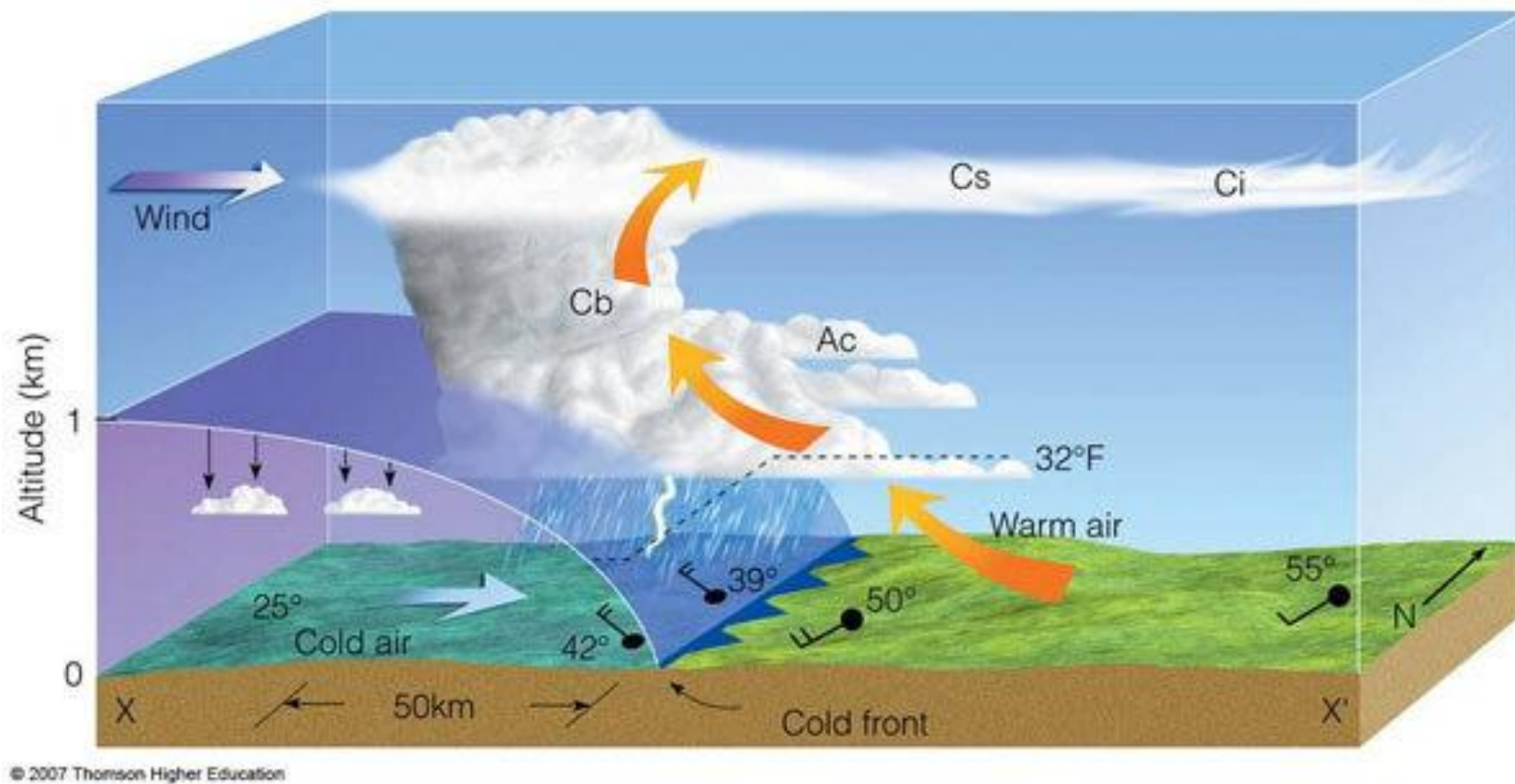
Vremenske fronte v ciklonih

- Vremenske fronte v zmernih geografskih širinah so mejne ploskve med različnimi zračnimi masami, običajno med toplo in hladno zračno maso.
- Ko **topla fronta napreduje**, topli zrak dviguje hladnejši zrak, kar povzroča dolgotrajne padavine in oblake.
- **Hladne fronte** prinašajo hladnejši zrak, ki sili topli zrak navzgor, kar pogosto povzroča kratkotrajne, a intenzivne nevihte.
- **Okluzijske fronte** nastanejo, ko hladna fronta dohiti toplo fronto, kar povzroča zapleteno mešanico vremenskih pogojev. Postopne spremembe tlaka, temperature in vetra spremljajo prehode teh front, kar močno vpliva na regionalno vreme.





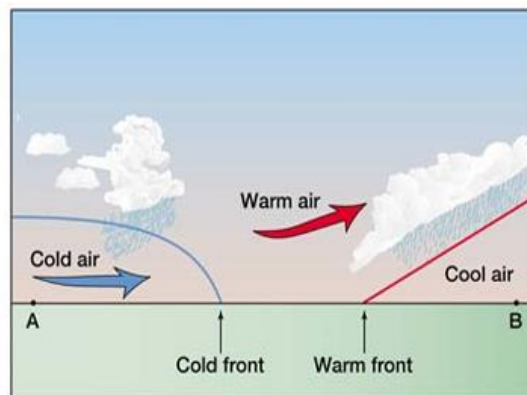
Topla fronta



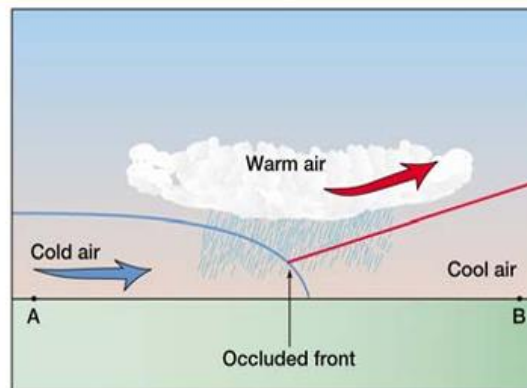
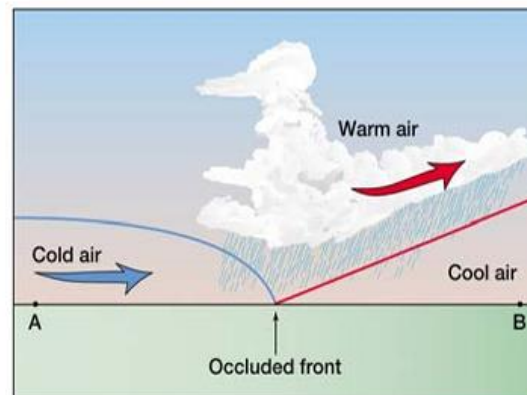
Hladna fronta



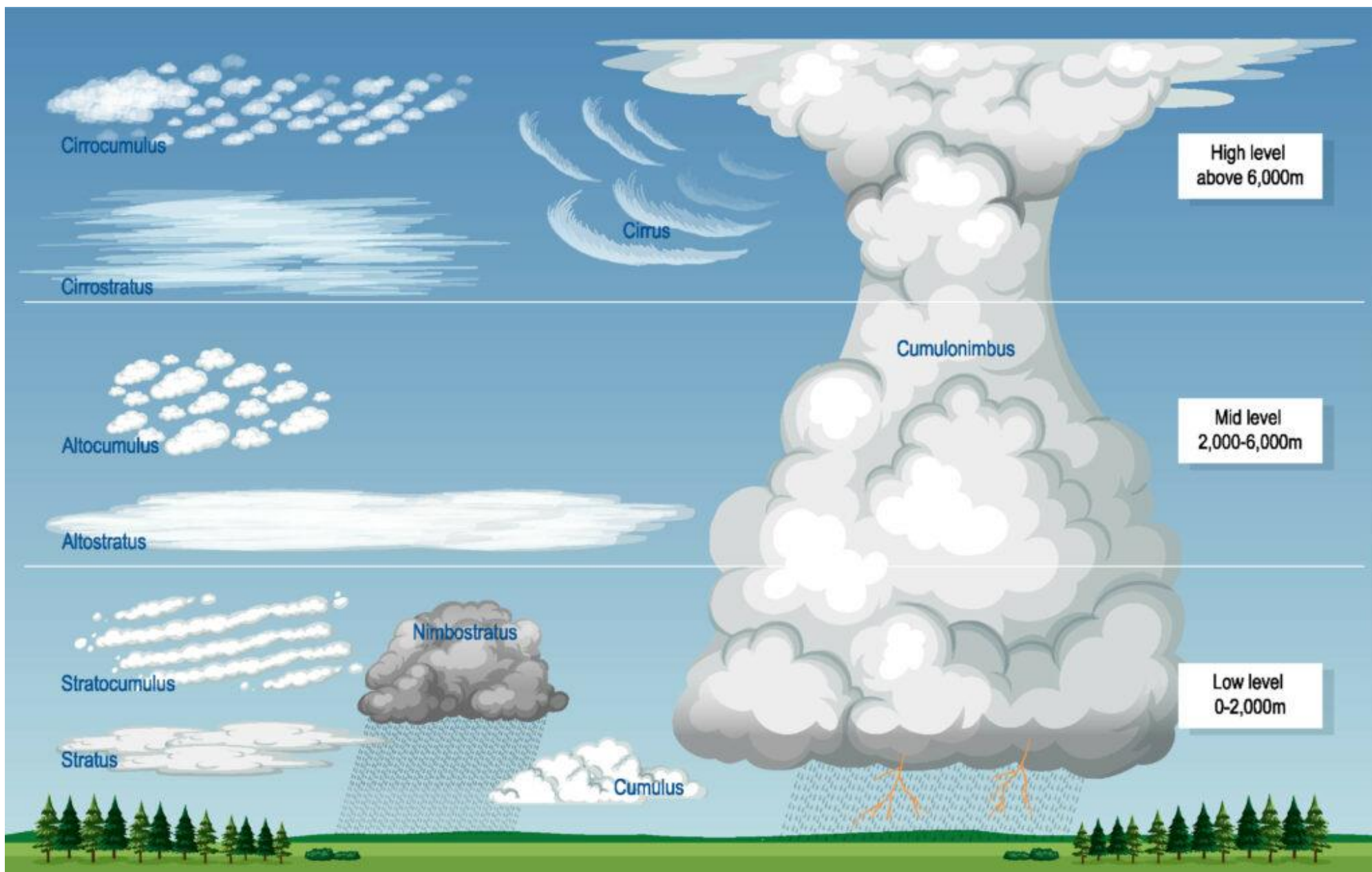
(a) Mature wave cyclone



(b) Partially occluded wave cyclone



Okluzija



☐ **Cirrus**



☐ **Cirrocumulus**



☐ **Cirrostratus**



☐ **Cumulonimbus**



☐ **Alto cumulus**



☐ **Altostratus**



☐ **Nimbostratus**



☐ **Cumulus**



☐ **Stratocumulus**

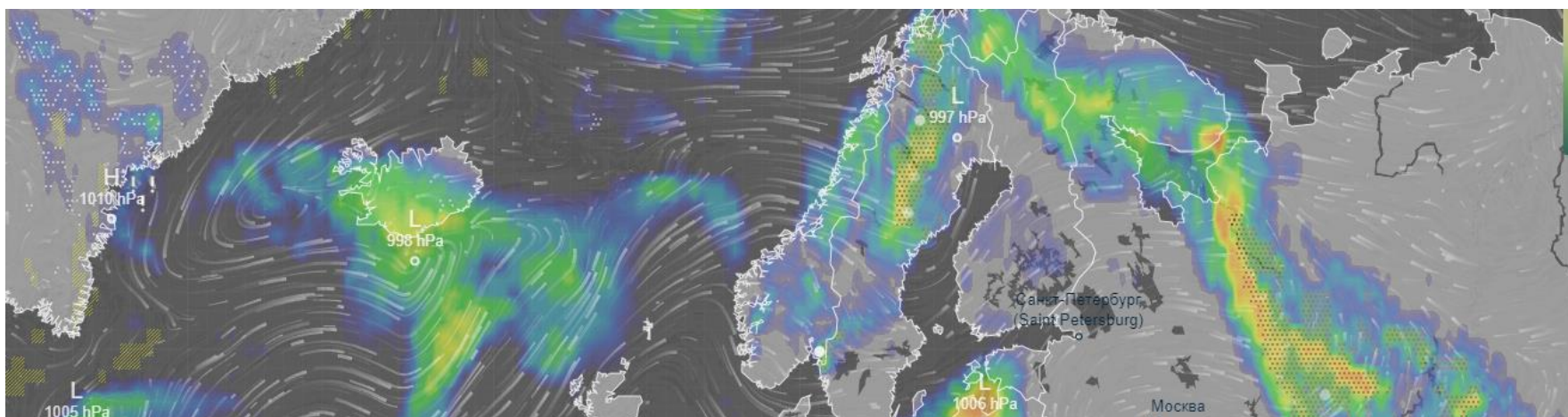
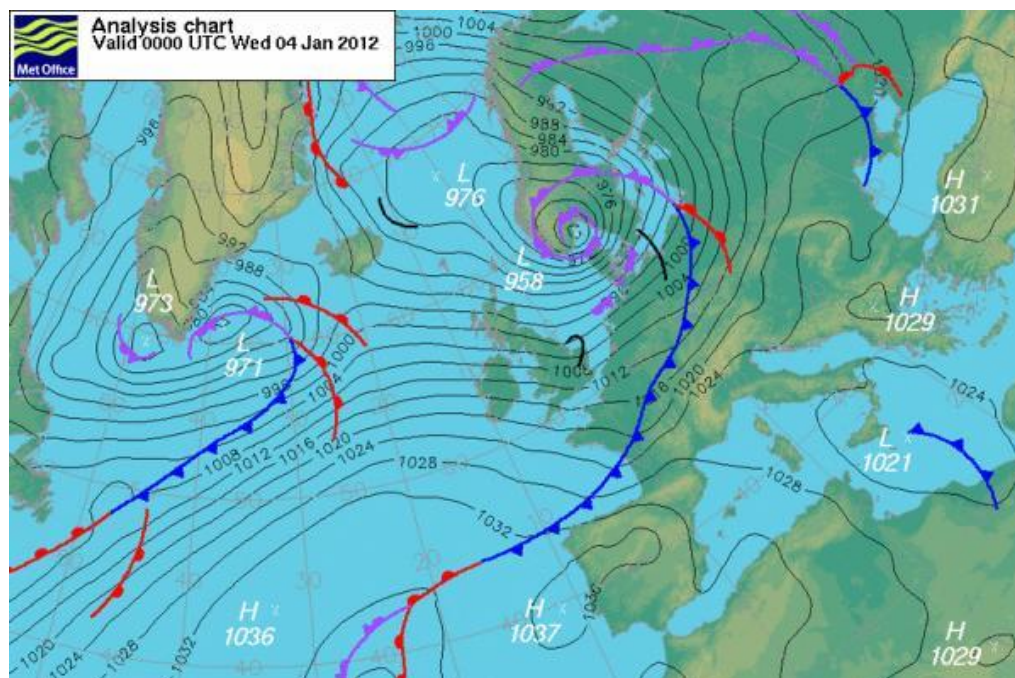
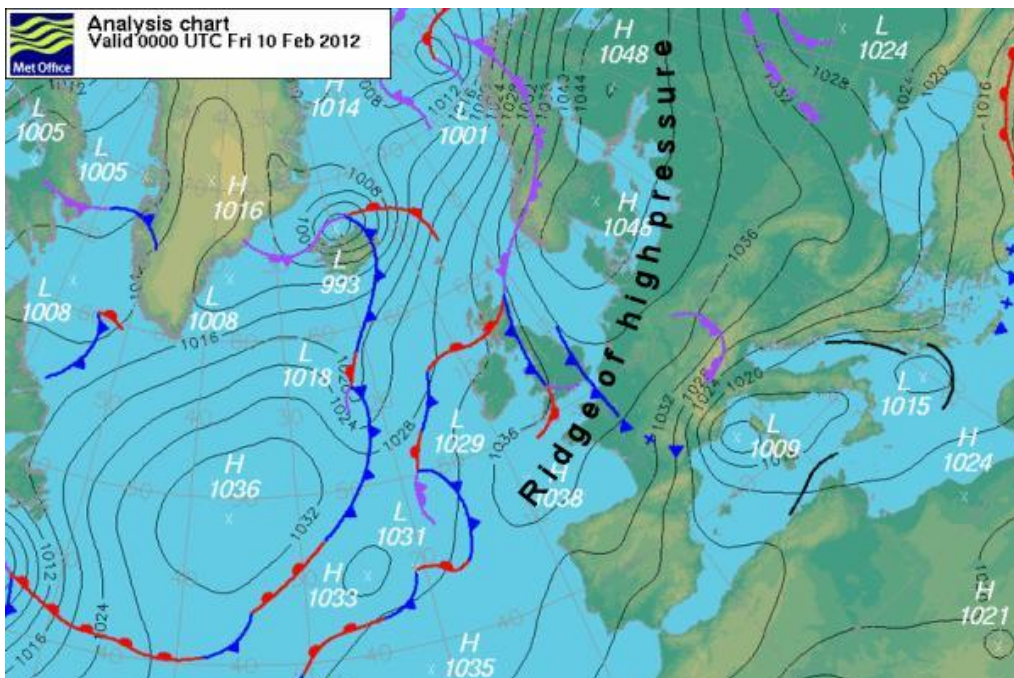


☐ **Stratus**



Join us in cloud spotting by posting a picture on social media using **#CloudSpotting** or posting on our website: **www.floodsahead.org**

Primer vremenskih kart



Vetrna energija

Kaj je vetrna energija?

- **Obnovljiv vir energije:** Izkorišča kinetično energijo vetra.
- **Proizvodnja električne energije:** S pomočjo vetrnih turbin.

Opis in mehanizem delovanja:

- **Vetrni rotor** pretvarja kinetično energijo vetra v mehansko energijo.
- **Generator** pretvarja mehansko energijo v električno energijo.

Prednosti vetrne energije

- Nizke emisije toplogrednih plinov.
- Zanesljivost oskrbe na ustreznih lokacijah.
- Neodvisnost od uvožene energije.
- Relativno nizki obratovalni stroški po namestitvi.

Izkoristek vetrne energije

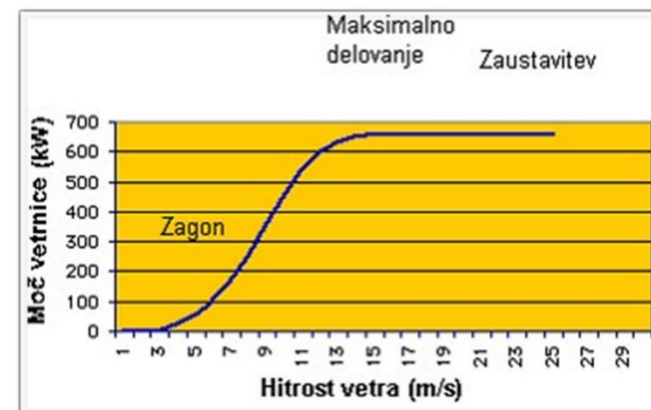
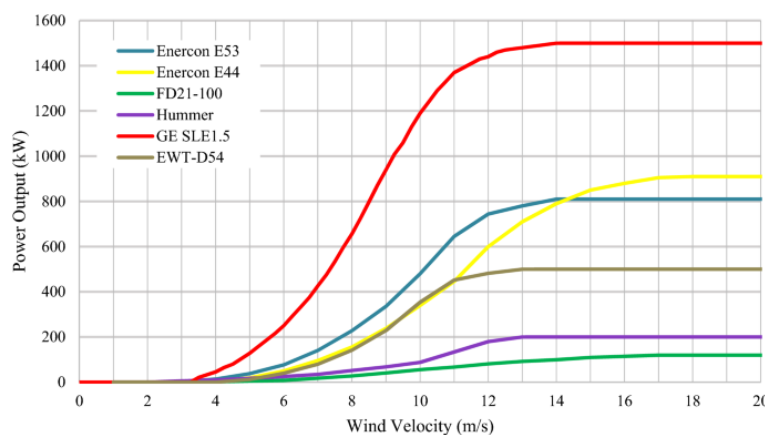
- **Betzova meja:** Maksimalni teoretični izkoristek je 59.3%.
- **Realni pogoji:** Praktični izkoristek je običajno med 30% in 50%, odvisno od lokacije in dizajna turbine.



Tehnične karakteristike

Tehnične karakteristike vetrne turbine (vetrnice) se lahko razlikujejo glede na model, proizvajalca in namen uporabe. Tukaj je nekaj ključnih tehničnih karakteristik:

- **Nazivna moč:** To je maksimalna moč, ki jo lahko vetrna turbina proizvede pri optimalnih vetrovnih pogojih. Običajno se giblje med nekaj sto kilovati (kW) za manjše turbine in več megavati (MW) za velike komercialne turbine.
- **Višina stolpa:** Višina od tal do središča rotorja (navadno med 80 in 140 metri za večje turbine). Večja višina omogoča dostop do močnejših in bolj konstantnih vetrov.
- **Premjer rotorja:** Dolžina premera kroga, ki ga opisujejo lopatice med vrtenjem. Premer rotorja za velike komercialne turbine lahko doseže več kot 150 metrov.
- **Število lopatic:** Večina sodobnih vetrnih turbin ima tri lopatice. Število lopatic vpliva na stabilnost in učinkovitost turbine.



Hitrost vetra:

- **Minimalna delovna hitrost** (cut-in wind speed): Najnižja hitrost vetra, pri kateri turbina začne proizvajati elektriko (običajno med 3 in 4 m/s).
- **Nazivna hitrost vetra** (rated wind speed): Hitrost vetra, pri kateri turbina doseže svojo nazivno moč (pogosto med 12 in 15 m/s).
- **Maksimalna delovna hitrost** (cut-out wind speed): Hitrost vetra, pri kateri se turbina iz varnostnih razlogov ustavi (običajno okoli 25 m/s).

Materiali:

- **Lopatic** so običajno narejene iz kompozitnih materialov, kot so steklena ali ogljikova vlakna, medtem ko so **stolpi** pogosto iz jekla.

Nadzorni sistem:

- Vključuje sisteme za nadzor nad hitrostjo rotorja, nagibom lopatic (pitch control), in orientacijo turbine glede na smer vetra (yaw control).

Življenjska doba:

- Običajno med 20 in 25 let, odvisno od pogojev uporabe in vzdrževanja.

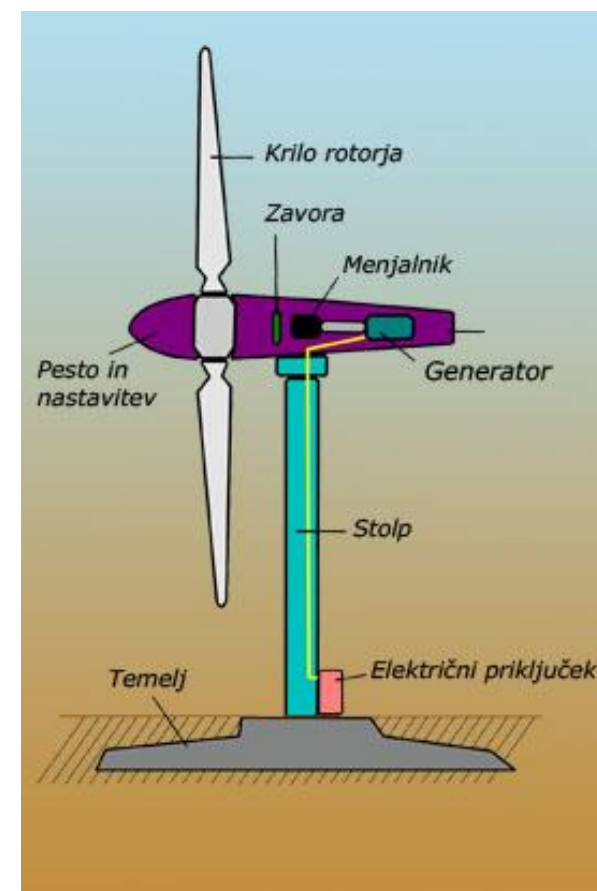


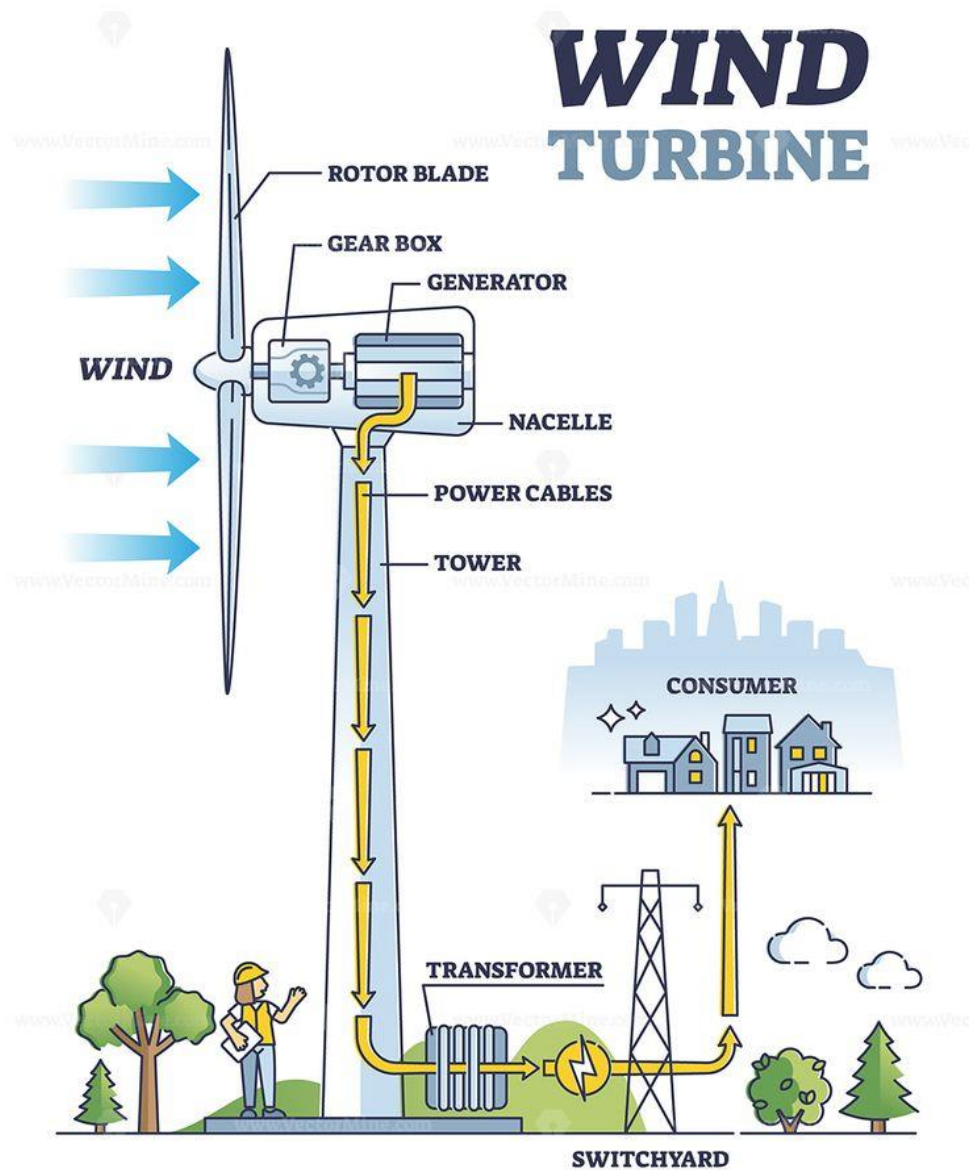
Vetrni elektrarni na Kredarici in v Senožečah

Zgradba vetrnice s horizontalno osjo vrtenja

Zgradba vetrne turbine (vetrnice) je sestavljena iz več ključnih komponent, ki skupaj omogočajo pretvorbo kinetične energije vetra v električno energijo. Tukaj je osnovna zgradba vetrne turbine:

- **Rotor in lopatice:** Običajno tri lopatice, izdelane iz kompozitnih materialov, kot so steklena ali ogljikova vlakna. Lopatice zajemajo energijo vetra in jo pretvarjajo v mehansko energijo vrtenja.
- **Pesto (hub):** Osrednji del rotorja, ki povezuje lopatice z gredjo in prenaša njihovo vrtenje.
- **Generator:** Pretvarja mehansko energijo vrtenja rotorja v električno energijo. Generatorji so običajno sinhronski ali asinhronski.
- **Nacel:** Ohišje na vrhu stolpa, ki vsebuje rotor, gred, menjalnik in generator, ter ščiti te komponente pred vremenskimi vplivi. Deluje kot centralna enota turbine.
- **Stolp:** Visoka struktura, običajno izdelana iz jekla ali betona, ki podpira nacel in rotor ter dviguje turbino na višino, kjer so vetrovi močnejši in bolj konstantni.
- **Menjalnik (gearbox):** Povečuje hitrost vrtenja z nizke hitrosti glavne gredi na višjo hitrost, primerno za generator. Nekaterne moderne turbine uporabljajo neposredni pogon brez menjalnika.





Zgradba vetrnice z vertikalno osjo vrtenja

Vetrne turbine z vertikalno osjo vrtenja (VAWT) imajo drugačno zasnovo kot tiste z horizontalno osjo vrtenja. Tukaj so ključni elementi in opis njihove zgradbe:

- **Rotor:** Lopatice so razporejene okoli navpične osi. Obstajajo različne oblike lopatic, kot so ravne (Darrieusov rotor), spiralne (Gorlov rotor) ali lopatice v obliki črke S (Savonius rotor). **Os** je navpična, lopatice se vrtijo okoli nje.
- **Nosilna struktura (stolp):** Kratek ali celo odsoten v nekaterih modelih. Lahko je nameščen na tleh ali na nizki podporni strukturi. V nekaterih dizajnih so lopatice pritrjene neposredno na os brez dodatnega stolpa.
- **Generator:** Nahaja se pri tleh, kar olajša vzdrževanje in zmanjšuje težo, ki jo mora nosilna struktura podpirati. Generator pretvarja mehansko energijo vrtenja v električno energijo.
- **Nosilci lopatic:** Strukture, ki povezujejo lopatice z navpično osjo. Ti nosilci pomagajo ohranjati stabilnost lopatic in enakomerno porazdeljujejo obremenitve.
- **Ležaji:** Nameščeni so na vrhu in na dnu navpične osi, omogočajo gladko vrtenje rotorja okoli osi.
- **Sistem za zaviranje:** Uporablja se za zaustavitev rotorja v primeru premočnega vetra ali vzdrževalnih del.
- **Električni sistemi:** Vključujejo inverterje, transformatorje, zaščitne releje in kable za prenos proizvedene električne energije v omrežje.
- **Temelj (fundacija):** Stabilna podlaga, običajno iz armiranega betona, ki zagotavlja stabilnost in sidranje vetrne turbine v tla.



VERTICAL AXIS WIND TURBINES



Darrieus



Helical



H Rotor



Savonius

Prednosti in slabosti vetrnic z vertikalno osjo vrtenja

Prednosti:

- **Neodvisnost od smeri vetra:** Zajamejo veter iz katere koli smeri, brez potrebe po usmerjanju.
- **Manjša občutljivost na turbulenco:** Učinkovite tudi v turbulentnih vetrovnih pogojih, primerno za urbano okolje.
- **Lažje vzdrževanje:** Generator in mehanski deli so nameščeni pri tleh, kar poenostavi vzdrževanje in popravila.
- **Enostavnejša namestitve:** Ni potrebe po visokih stolpih, kar zmanjša stroške namestitve in vpliv na okolje.

Slabosti:

- **Nižja učinkovitost:** Običajno manj učinkovite pri pretvorbi vetra v električno energijo v primerjavi s horizontalnimi turbinami.
- **Obremenitve na strukturo:** Povečane obremenitve na osi in ležajih, kar lahko skrajša življenjsko dobo komponent.
- **Višji začetni navor:** Potrebujejo večji začetni navor za začetek vrtenja, kar lahko zahteva dodatne sisteme za zagon.
- **Manj primerne za velike moči:** Težje skaliranje za velike zmogljivosti, bolj primerne za manjše aplikacije.

Kje pridobivamo vetrno energijo?

Vetrna energija se pridobiva na različnih lokacijah po svetu, kjer so vetrovni pogoji ugodni. Tukaj je nekaj glavnih vrst lokacij za pridobivanje vetrne energije:

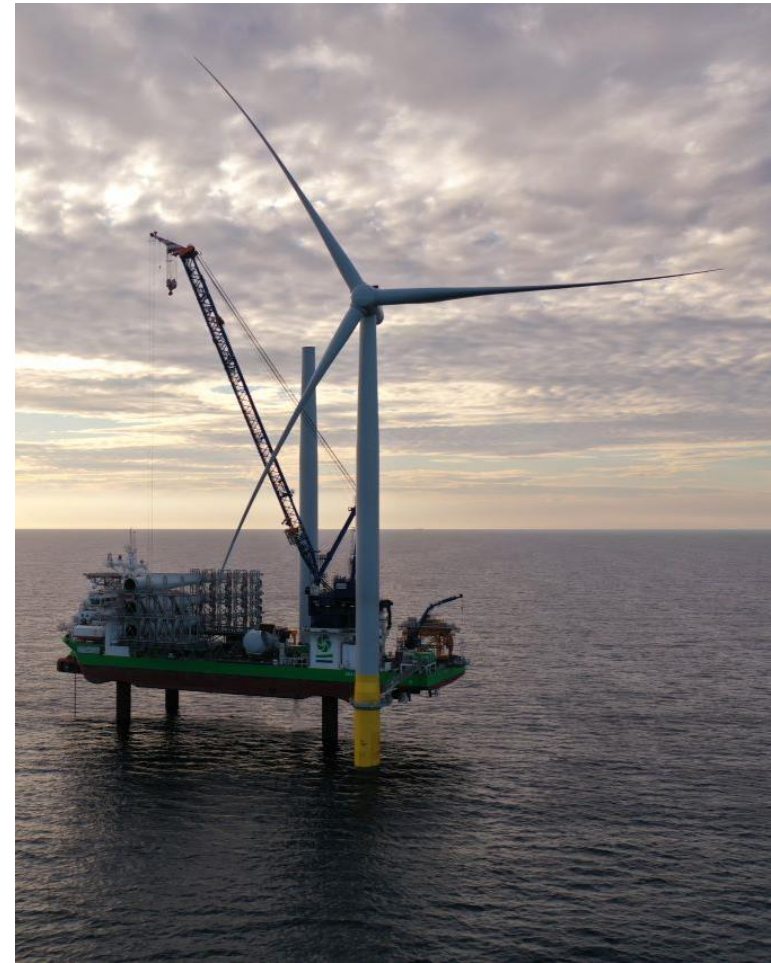
Kopenske vetrne elektrarne:

- **Planote in hribi:** Lokacije z visokimi nadmorskimi višinami, kjer so vetrovi močnejši in bolj stalni.
- **Obalna območja:** Kjer so vetrovi močnejši zaradi razlik v temperaturi med kopnim in morjem.
- **Ravni tereni:** Velike ravnine in odprte pokrajine, kjer ni ovir za veter, kot so drevesa ali stavbe.



Morske (offshore) vetrne elektrarne:

- **Blizu obale:** Na plitvinah blizu obale, kjer so vetrovi močnejši in bolj stalni kot na kopnem.
- **Daleč od obale:** Na globokih morjih, kjer so potrebne plavajoče platforme. Te lokacije omogočajo dostop do še močnejših vetrov, a so tehnično in finančno bolj zahtevne.



Vetrne elektrarne v urbanih okoljih

V mestnih območjih so majhne vetrne turbine nameščene **na strehah stavb** ali **v urbanih prostorih za lokalno proizvodnjo energije**. Običajno so to manjše turbine, prilagojene za manjše obremenitve in nestabilne vetrovne pogoje.





Hamburg, Nemčija

Vetrna energija v Sloveniji

Vetrna energija v Sloveniji je v razvoju, vendar se še vedno sooča z nekaterimi izzivi in omejitvami. Tukaj so ključne informacije o stanju vetrne energije v Sloveniji:

Trenutno stanje

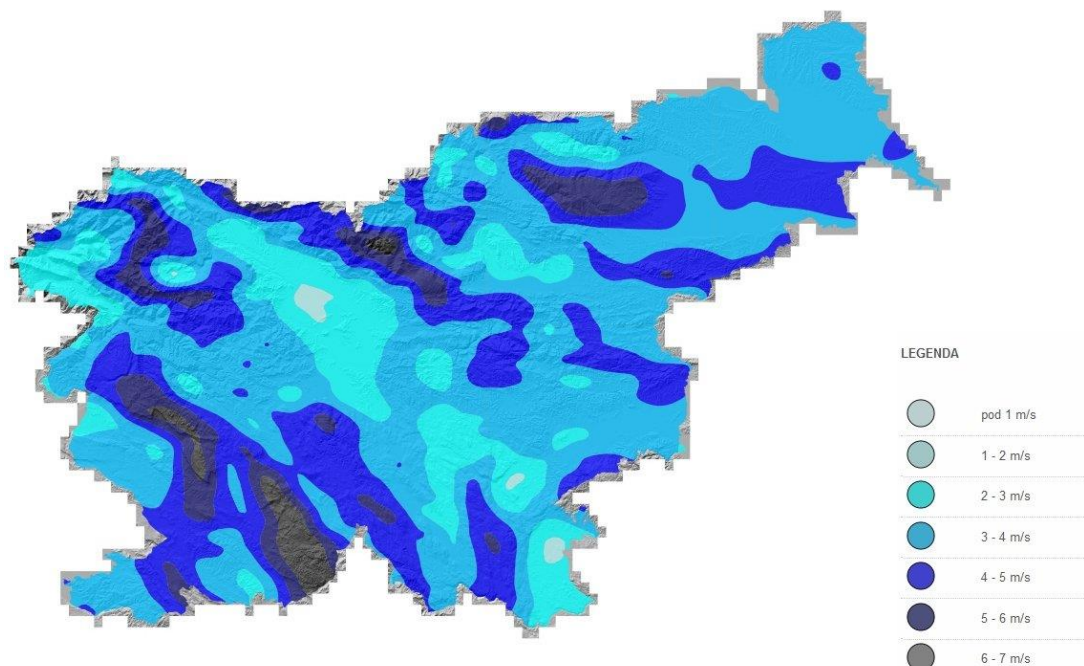
- **Omejene kapacitete:** Slovenija ima relativno malo nameščenih kapacitet za vetrno energijo v primerjavi z drugimi evropskimi državami. Večina energije iz obnovljivih virov v Sloveniji prihaja iz hidroelektrarn in biomase.
- **Prvi vetrni park:** Prvi večji vetrni park v Sloveniji je Vetrna elektrarna Dolenja vas, ki je začela obratovati leta 2012 z močjo 2,3 MW.



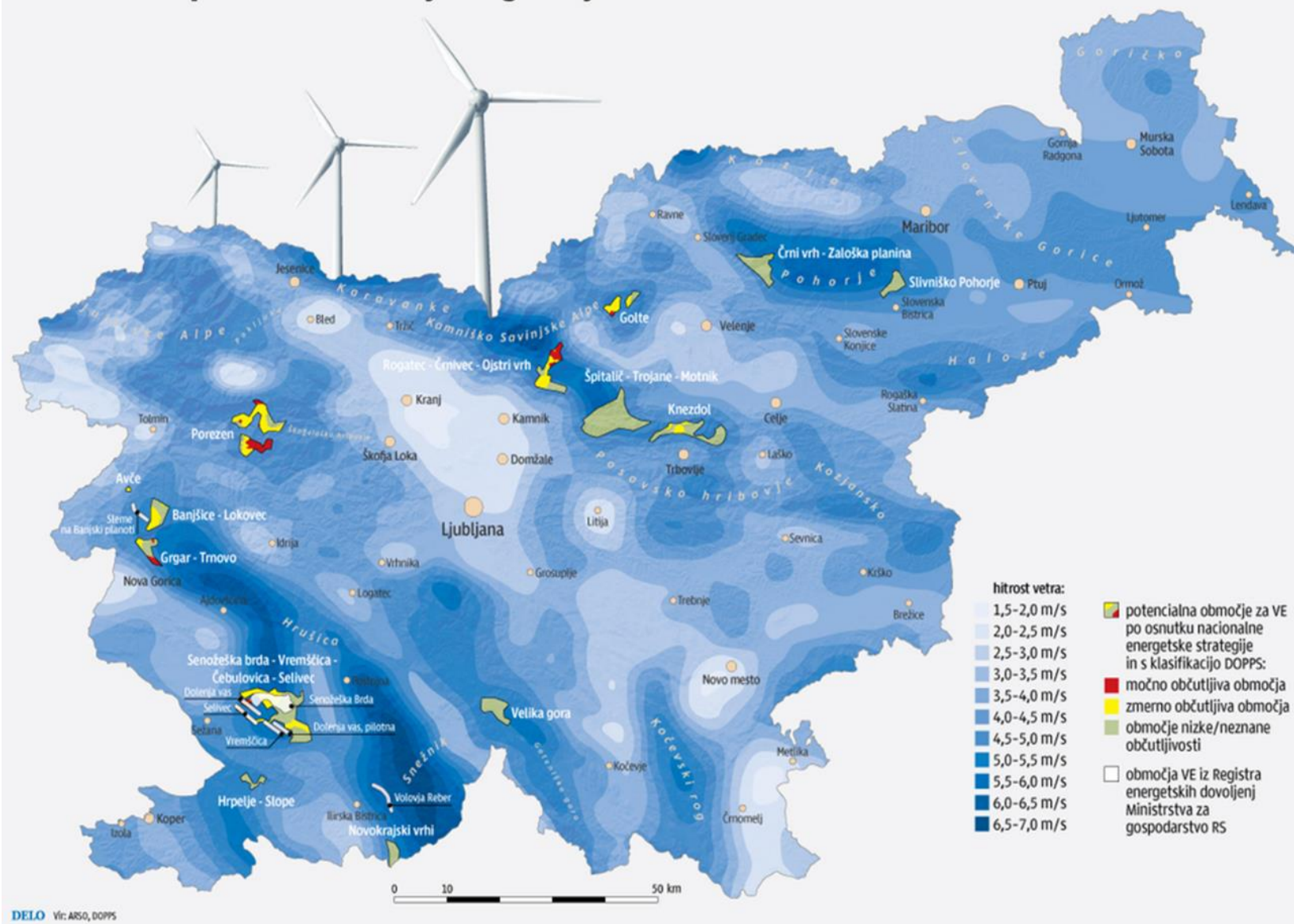
Potencial

- **Geografske omejitve:** Slovenija ima raznoliko pokrajino z omejenimi območji, kjer so vetrovni pogoji primerni za učinkovito izrabo vetrne energije. Najprimernejše lokacije so predvsem na Primorskem in v višje ležečih predelih.
- **Analize in študije:** Študije kažejo, da obstaja potencial za postavitev vetrnih elektrarn na nekaterih območjih, vendar so potrebne dodatne raziskave in analiza vplivov na okolje.

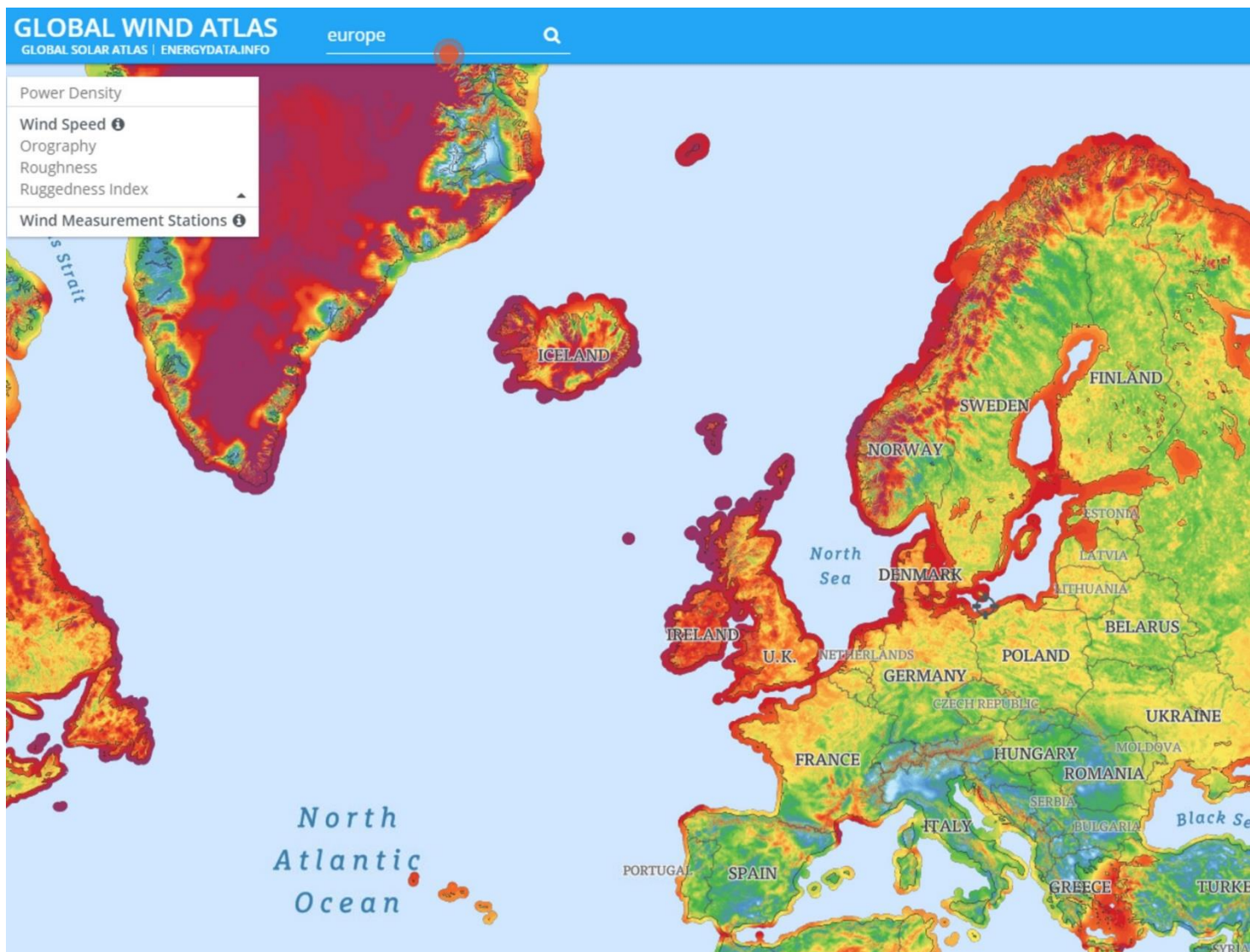
V Sloveniji imamo največje možnosti za postavitev vetrnih elektrarn na Krasu, Visoke Dinarske planote, Kraški rob, Volovja reber (planinski orel) – 14 lokacij ima pozitivno mnenje.



Potencialno primerna območja za gradnjo vetrnih elektrarn



Primerjava vetrnega potenciala z Evropo



Negativni vidiki vetrnih elektrarn v Sloveniji

Negativni vidiki postavitve vetrnih elektrarn v Sloveniji vključujejo različne okoljske, družbene in ekonomske izzive. Tukaj so glavni negativni vidiki:

- **Okoljski vidiki:** Vetrne turbine lahko povzročijo smrtnost ptic in netopirjev, še posebej na območjih, kjer potekajo njihove migracijske poti ali kjer se nahajajo pomembna gnezdišča.
- **Vpliv na habitat:** Postavitev vetrnih elektrarn lahko vpliva na lokalne ekosisteme in habitate, kar lahko privede do sprememb v biodiverziteti.
- **Vpliv na krajino:** Vizualni vpliv vetrnih turbin lahko spremeni naravno krajino, kar lahko negativno vpliva na estetiko okolja in naravno dediščino.
- **Družbeni vidiki:** Lokalni prebivalci se lahko upirajo postavitvi vetrnih elektrarn zaradi skrbi glede hrupa, vizualnega vpliva in morebitnega vpliva na kakovost življenja.
- **Hrup:** Delovanje vetrnih turbin lahko povzroča hrup, ki moti lokalne prebivalce, še posebej v bližini stanovanjskih območij.
- **Visoki začetni stroški:** Postavitev vetrnih elektrarn zahteva velike začetne investicije, kar lahko predstavlja izziv za financiranje in ekonomičnost projektov.
- **Vpliv na vrednost nepremičnin:** Prisotnost vetrnih elektrarn lahko vpliva na vrednost nepremičnin v bližini zaradi vizualnega vpliva in hrupa.
- **Tehnični vidiki:** Vetrna energija je odvisna od vetrovnih pogojev, ki so lahko spremenljivi in nepredvidljivi, kar lahko vpliva na zanesljivost oskrbe z energijo.
- **Zahtevna infrastruktura:** Potrebna je ustrezna infrastruktura za priključitev vetrnih elektrarn na električno omrežje, kar lahko zahteva dodatne investicije in načrtovanje.



Prednosti in slabosti izkoriščanja vetrne energije

- Enostavna tehnologija za pretvorbo energije vetra v električno energijo,
- Manj emisij in tako zmanjšuje onesnaževanje zraka (pri delovanju ni CO₂),
- Zmanjšuje rabo primarne energije oziroma primarnih surovin (nafte, plina, premoga, lesne biomase),
- Investicija se povrne v približno 7 letih (za obnovljive vire energije je to zelo malo),
- Dolga življenjska doba (približno 25 let),
- Nizki obratovalni stroški (med delovanjem ni veliko popravil in s tem dodatnih stroškov),
- V okolici vetrnic se zemlja še vedno lahko uporablja za obdelovanje (njive, travniki, sadovnjaki, vinogradi),
- Ko veter piha, je na razpolago poceni vir energije,
- Oskrba z energijo, kjer vzpostavitev elektroenergetske infrastrukture ni možna (gorske koče, oddaljene kmetije oziroma gospodinjstva).

Slabosti izkoriščanja vetrne energije

- Negativni vizualni učinek (nekateri ljudi moti izgled vetrnice in pravijo, da ne sodi v naše okolje),
- Povzročanje hrupa (aerodinamični hrup – kraki vetrnice (ustvarja se nizkofrekvenčni zvok oz. infrazvok) in mehanski hrup – trenje (zobniški pogoni, ležaji, generator)),
- Motenje ptic (v ZDA od 2 do 4 ptice na vetrnico, v Španiji bi naj vetrnice pobile 6 do 18 milijonov ptic in netopirjev – vir DOPPS),