

# AZ ÁLTALÁNOS LÉGKÖRZÉS

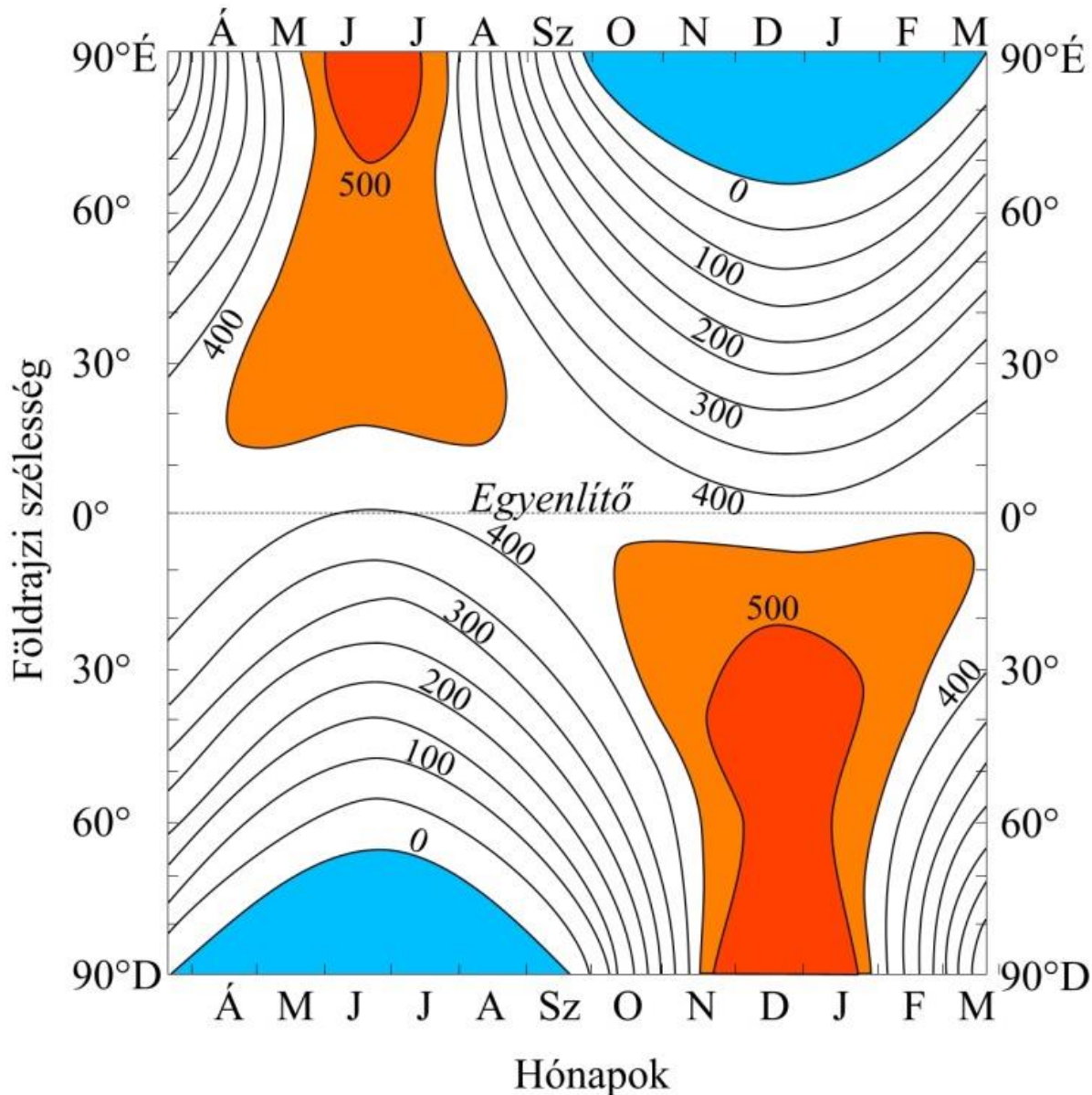
Breuer Hajnalka



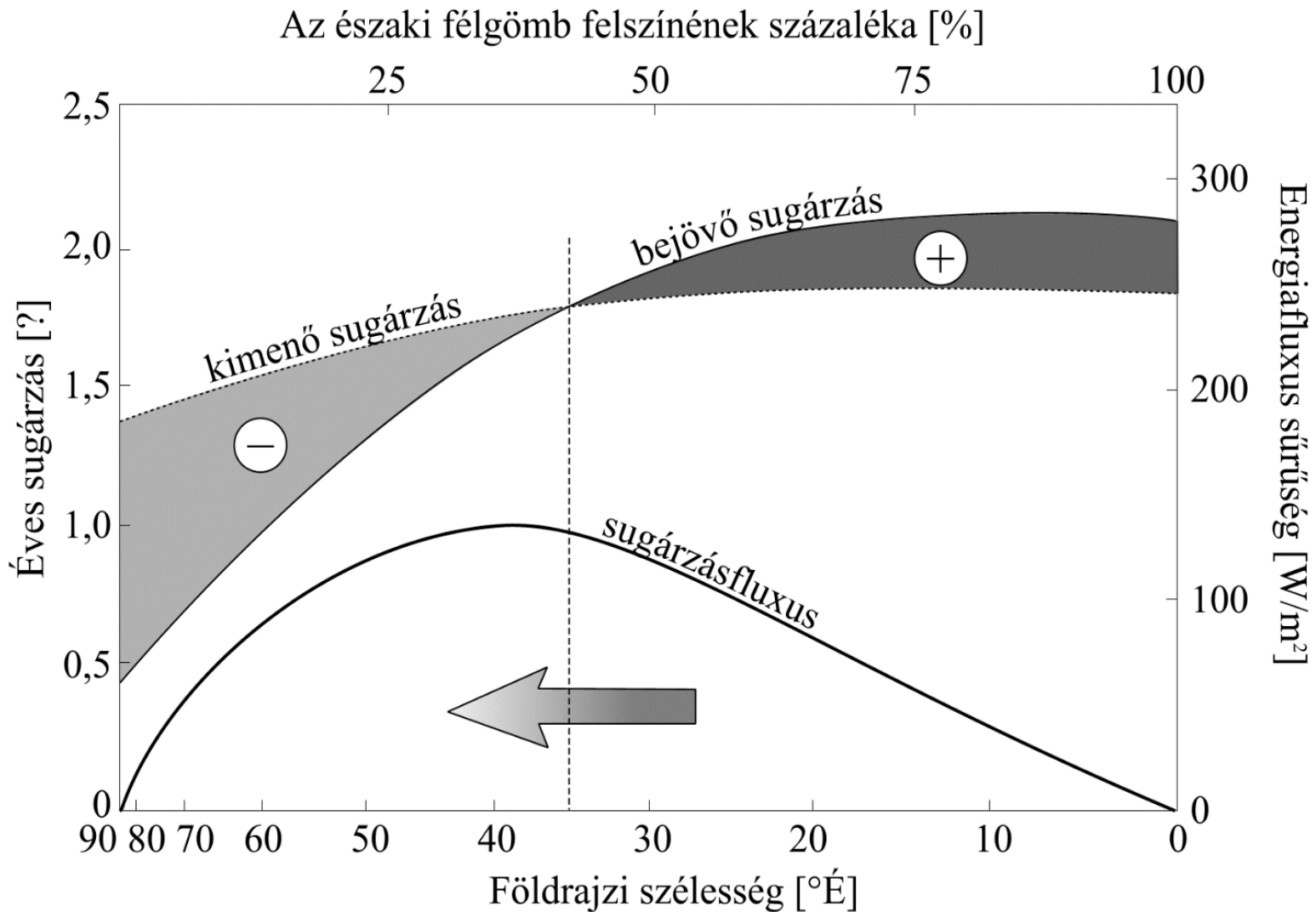
**Általános légkörzés:** *Az egész Földre kiterjedő légköri áramlási rendszerek együttese (WMO definíció).*

- A légkör és az óceánok mozgásának fenntartásához szükséges energiát a Nap elektromágneses sugárzása biztosítja.

# Sugárzási energia

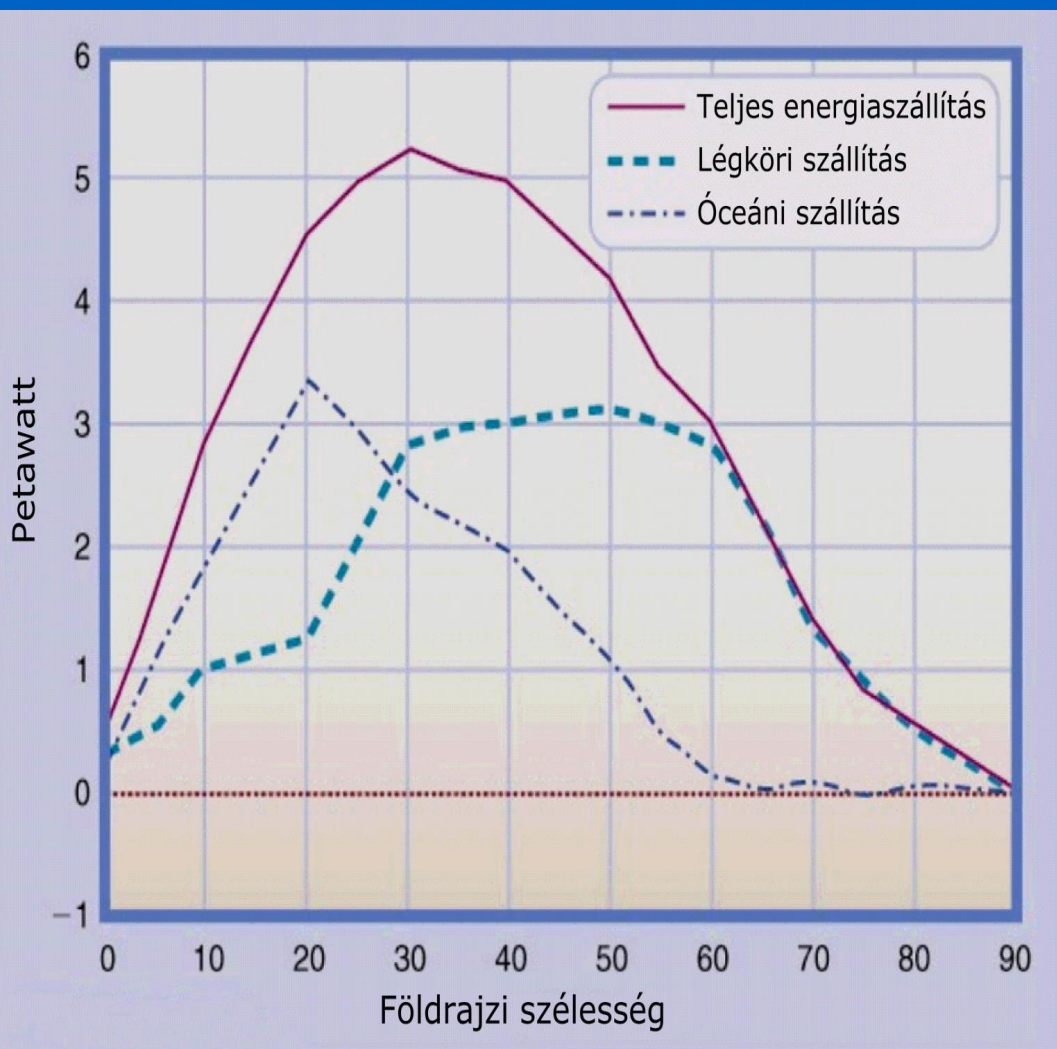


- Egyenlítőtől pólusokig csökken
- Északi féltekén 5 nappal hosszabb a nyár (III.21.- IX.23.)
- Déli féltekén nyáron nagyobb a besugárzás - napközeli



**A LÉGKÖRBE BELÉPŐ  
NAP-SUGÁRZÁS ÉS A KILÉPŐ FÖLD- ÉS LÉGKÖR-SUGÁRZÁS  
EGYENSÚLY-BAN VAN**

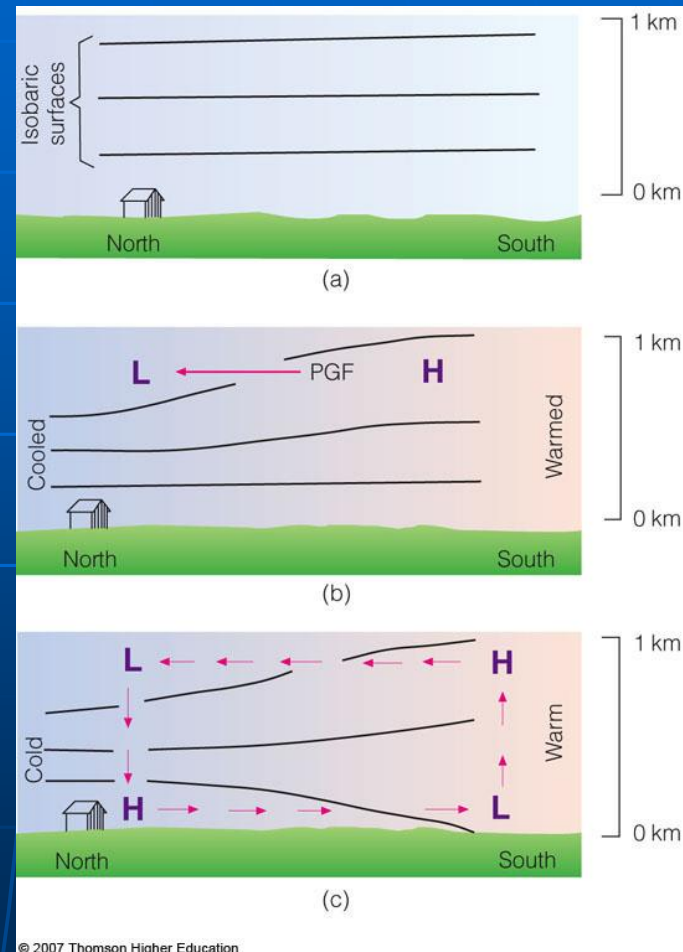
# Energia szállítás (légkör - óceán)



- A Föld-légkör rendszer hosszútávon **egyensúlyban van**, tehát egységnyi idő alatt ugyanannyi energiának kell *kinetikus energiává* alakulnia, mint amennyi a mozgások során *hőenergiává* disszipálódik.
- Az éghajlat viszonylagos állandóságából következik, hogy a Föld-légkör rendszer átlagosan **ugyanakkora energiát** sugároz ki a világűr felé, mint amennyi a felszínére érkezik.

# Légköri energia szállítás

1. Egyenletes nyomás eloszlás
2. Napsugárzás hatására felszín és légkör felmelegszik
  - A magasabb hőmérsékletű légtömegnek nagyobb a térfogata => magasabb nyomás
3. Nyomás kiegyenlítődés – nyomási gradiens erő
4. Cirkuláció – energia átvitel / csere

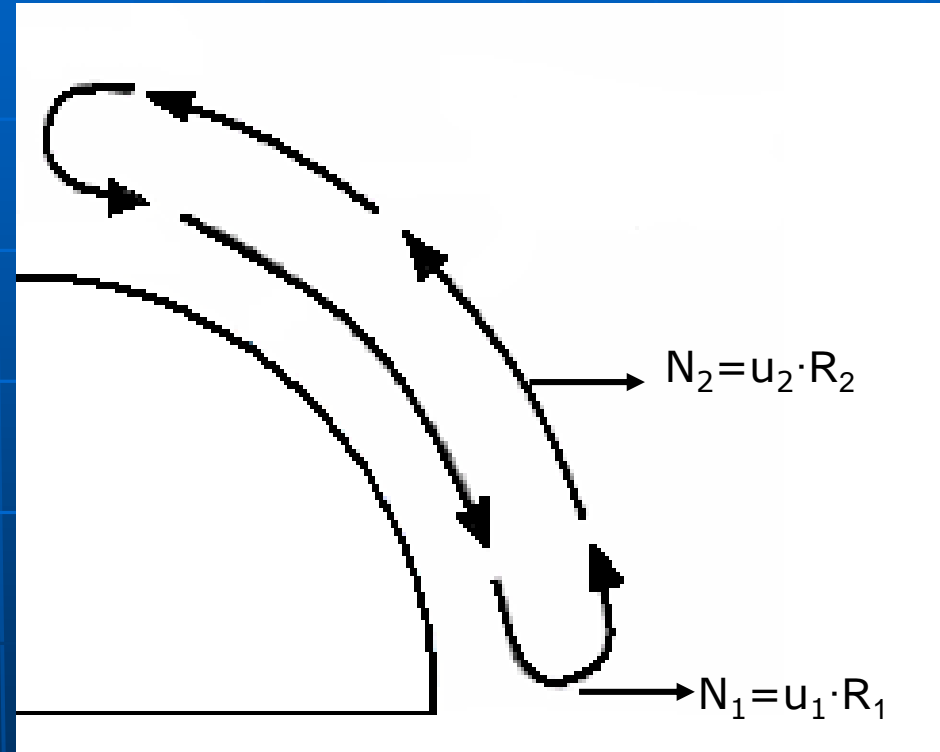


# Az általános légkörzés globális mérlegfeltételei/1.

1. Hőháztartás: a felszínen egyenetlen a sugárzás eloszlása → *A légkörzésnek tehát képesnek kell lennie a kiegyenlítéshez szükséges hőforgalom lebonyolítására.*
2. Impulzusmomentum mérleg: ha a légkör folyamatosan impulzus momentumot adna a felszínnek, akkora az a Föld forgásának lassulásához vezetne. Mivel nem ez a tapasztalat, kell hogy legyenek olyan területek, ahol a felszín ad impulzusmomentumot a légkörnek. Ehhez viszont *a meridionális impulzusmomentum szállításnak is teljesülnie kell!*  
*A Föld-légkör rendszer teljes impulzusmomentuma állandó.*

# Impulzus momentum

- Föld forog – levegőrészecske vele együtt forog => Földhöz képest nyugalomban van
- Ha ez az állapot megváltozik => impulzus momentum megmarad
- $N = u \cdot R$ ;
  - $u$  – sebesség
  - $R$  – sugár
- $u_1 \cdot R_1 = u_2 \cdot R_2$   
 $R_1 > R_2 \Rightarrow u_2 > u_1$





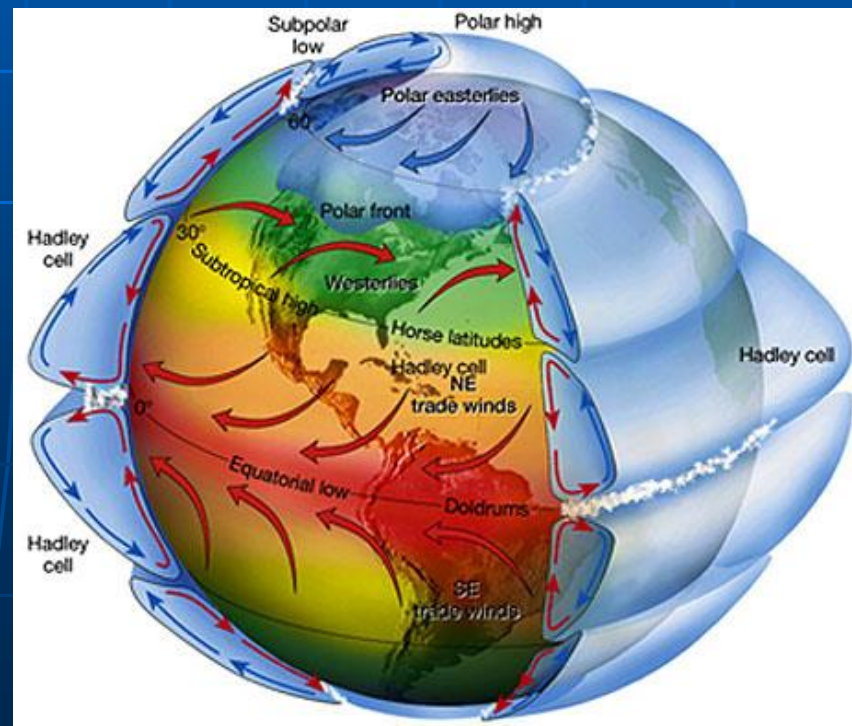
# Az általános légkörzés globális mérlegfeltételei/1.

## 2. Impulzusmomentum mérleg:

Mivel a zonális szélzónák hosszú időn át fennmaradnak, szükségeszerű, hogy az impulzusmomentumnak egy eredő pólusirányú átvitele alakuljon ki a légkörben.

A Keleties szélövekben: a légkör impulzusmomentumot nyer,

A Nyugatias szélövben: a légkör impulzusmomentumot ad le.



# Az általános légkörzés globális mérlegfeltételei/2.

3. A légtömeg eloszlásának egyensúlya:  
*Az általános légkörzés rendszerén belül nem alakulhat ki sem tartós összeáramlás (konvergencia), sem tartós szétáramlás (divergencia).*

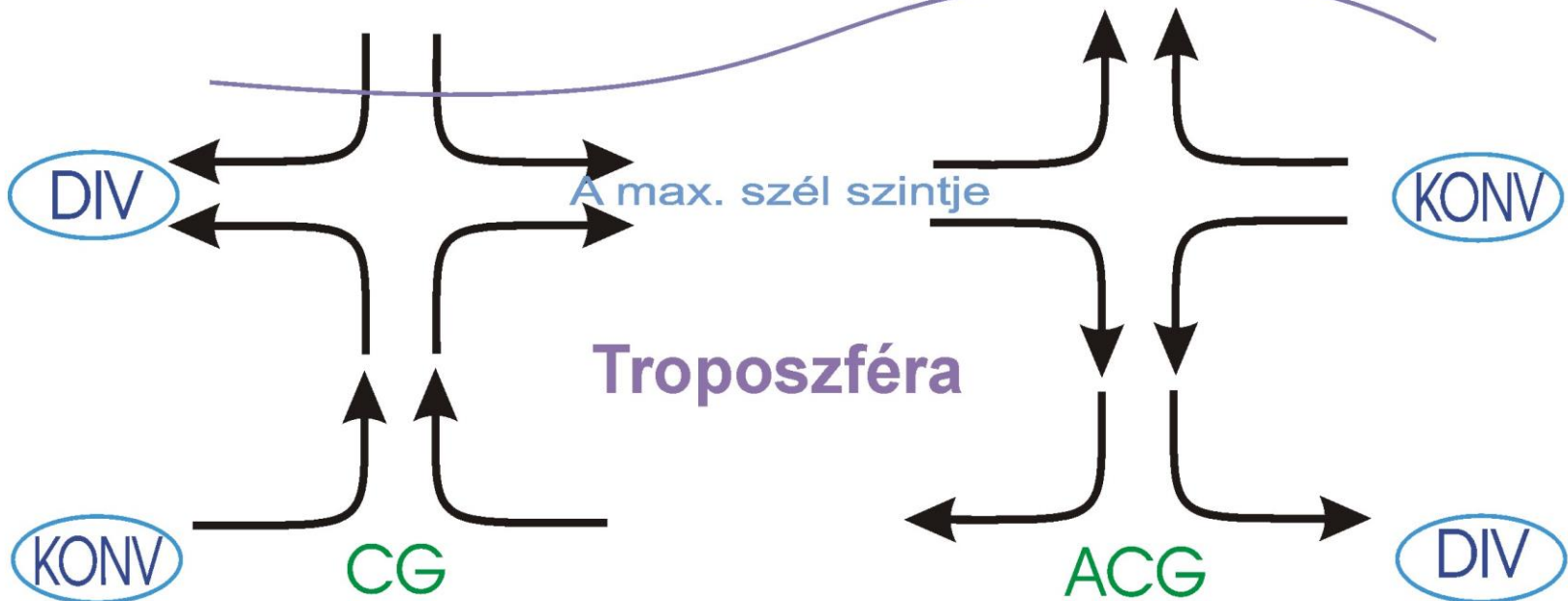
# LÉGTÖMEGELOSZLÁSI MÉRLEG

CIKLOGENEZIS

ANTICIKLONOK  
KIALAKULÁSA

Sztratoszféra

Tropopauza



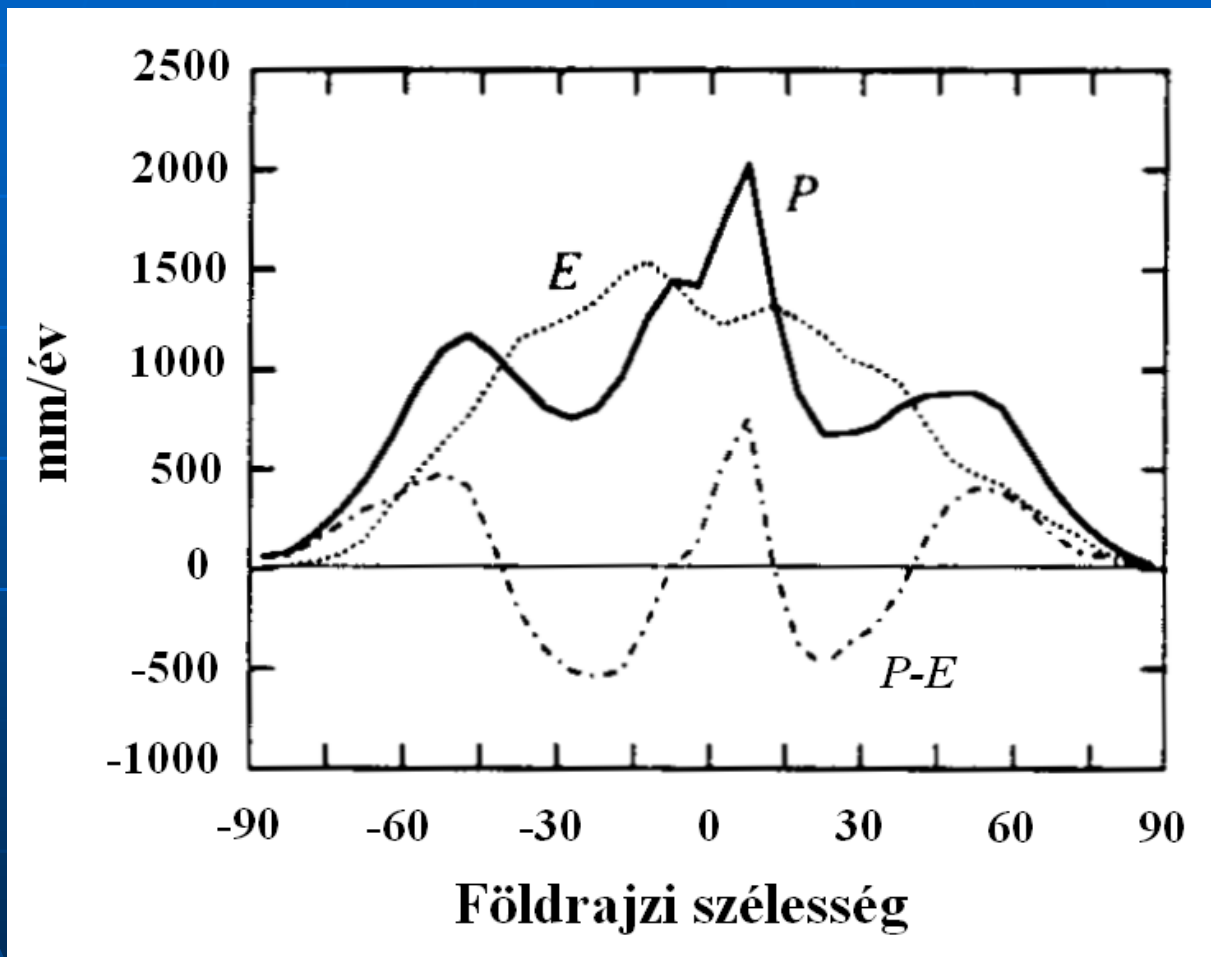
földfelszín

ÖSSZEÁRAMLÁS: KONVERGENCIA  
SZÉTÁRAMLÁS: DIVERGENCIA

# Az általános légkörzés globális mérlegfeltételei/3.

4. A légköri vízforgalom mérlege: hosszabb idő átlagában a csapadék és párolgás földrajzi eloszlásának is változatlanoknak kell maradnia. (ábra)

# A légköri vízforgalom mérlege



# **A LÉGKÖRI MOZGÁSRENDSZEREK TÉR- ÉS IDŐSKÁLÁJA**

# Légköri mozgásrendszerek tér- és időskálái

- A légköri mozgásrendszerek nagyságrendje térben és időben igen **változatos**.
- Geometriájuk szoros kapcsolatban áll a mozgásokat létrehozó erők egymáshoz viszonyított nagyságrendjével.
- A mozgások kialakulását elsősorban az okozza, hogy a **Napból érkező sugárzási energia a légkör kinetikus energiájává alakul.**

L

klóji



hajlati  
adozás

10 év

10<sup>4</sup> km

Kis



**Mozgás rendszerek:** *belsőleg szervezett, önálló, tartósan vagy csak időszakosan fennmaradó légköri képződmények.*

• **Tranziens mozgásrendszerek:**

egyedi mozgásrendszerek, amelyek átmenetiek, és helyüket vagy szerkezetüket mindenféle előre meghatározott időrend nélkül változtatják,

*Pl.: Rossby-hullámok, ciklonok, viharok, széllökések*

• **Kvázipermanens mozgásrendszerek:**

maradandóan jelen vannak a légkörben, vagy keletkezésük, fejlődésük és megszűnésük szabályos évszakos rend szerint ismétlődik.

*Pl.: a trópusi összeáramlási vonalhoz ill. a fő frontálzónákhoz kapcsolódó mozgásrendszerek.*

# Légköri mozgásrendszerek jellemző méretei és ciklusai

## ■ **Globális skála:**

A horizontális méret  $\gg$  vertikális méret  $\Rightarrow$  horizontális áramlás.

A légkör legrendezettebb mozgásai, hosszú távú hullámmozgások.

## ■ **Szinoptikus skála:**

A globális mozgások perturbációjaként jönnek létre. Általában vízszintesen erőegyensúly (mérs. övi ciklonok, anticiklonok),  $\Rightarrow$  szimmetria  
5-14 napos periódusidő

# Légköri mozgásrendszerek jellemző méretei és ciklusai

## ■ Mezo skála:

3D szerkezet, vertikális sebességek és gyorsulások is fellépnek, gyors változás.

A hőmérsékleti mező függőleges instabilitása miatt jönnek létre, amit a szinoptikus skálájú mozgások okoznak.

Pl. Konvektív mozgásrendszerek

## ■ Mikro skála:

Rövid idő, változatos geometria

# Légköri mozgásrendszerek jellemző méretei és ciklusai

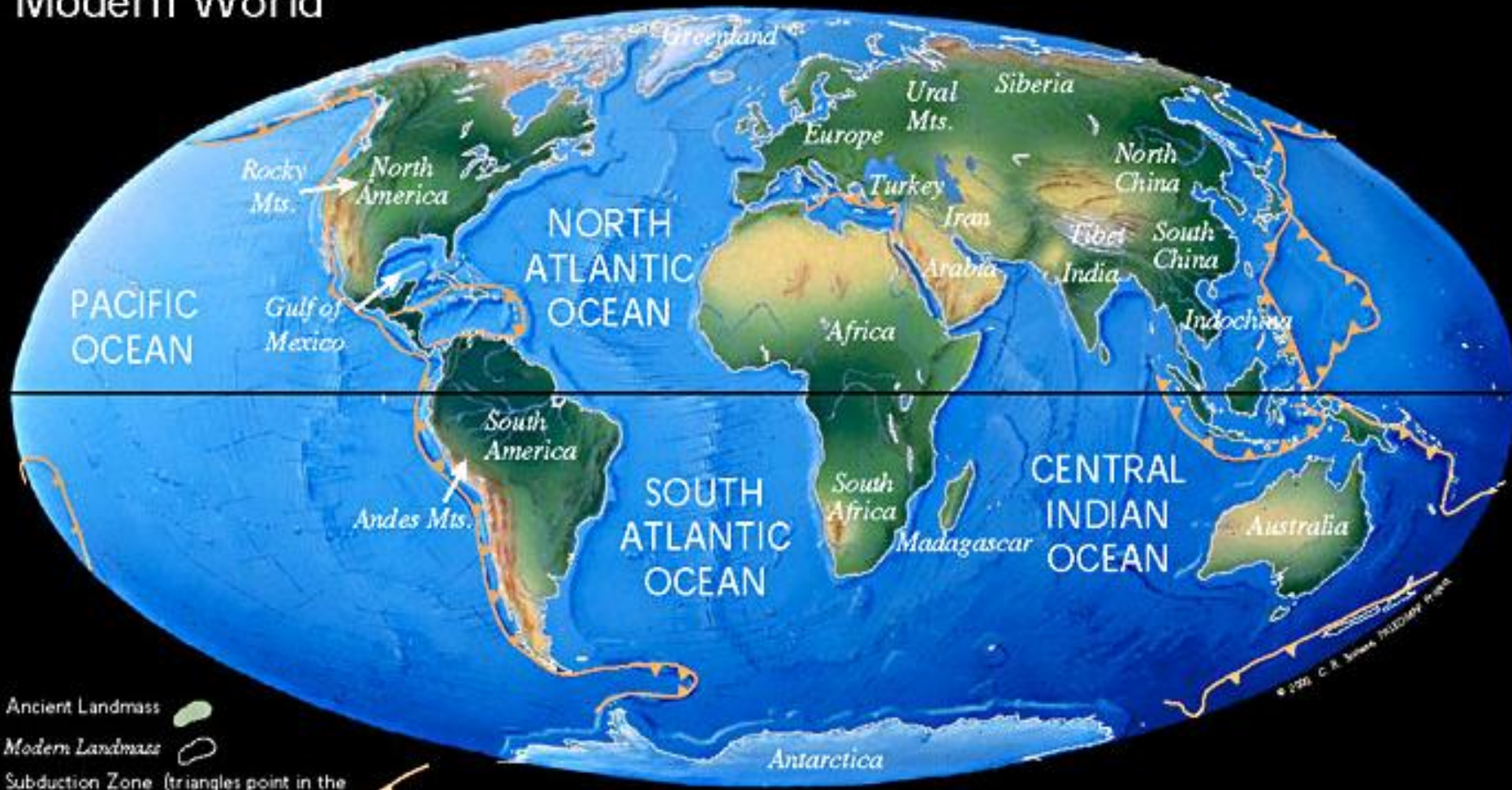
Skála	jel	a mozgás típusa	horizontális méret	jellemző ciklus	
ultra	U	kvázipermanens mozgásrendszerek	10.000 km	év, évszak, hónap	
Tranziens mozgásrendszerek	makro	Rossby-hullámok mérs.övi ciklonok	10.000 km 1.000 km	1 hét 100 óra	
	mezo	B	trópusi és szubtrópusi ciklonok	100 - 1000 km	10 - 100 óra
		C	frontok, viharvonalak	10 - 100 km	10 óra
	konvektív	D	szupercellák, tornádók	10 - 100km 0,1 - 2 km	~ 10 óra 10 - 60 perc
	mikro		széllökések, porviharok	10 -100 m 1 - 10 m	10 perc 1 perc
	molekuláris		molekulák szabad úthossza	1 $\mu\text{m}$	

# **CIRKULÁCIÓS MODELLEK TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSE**

# Az általános légkörzés: globális szelek

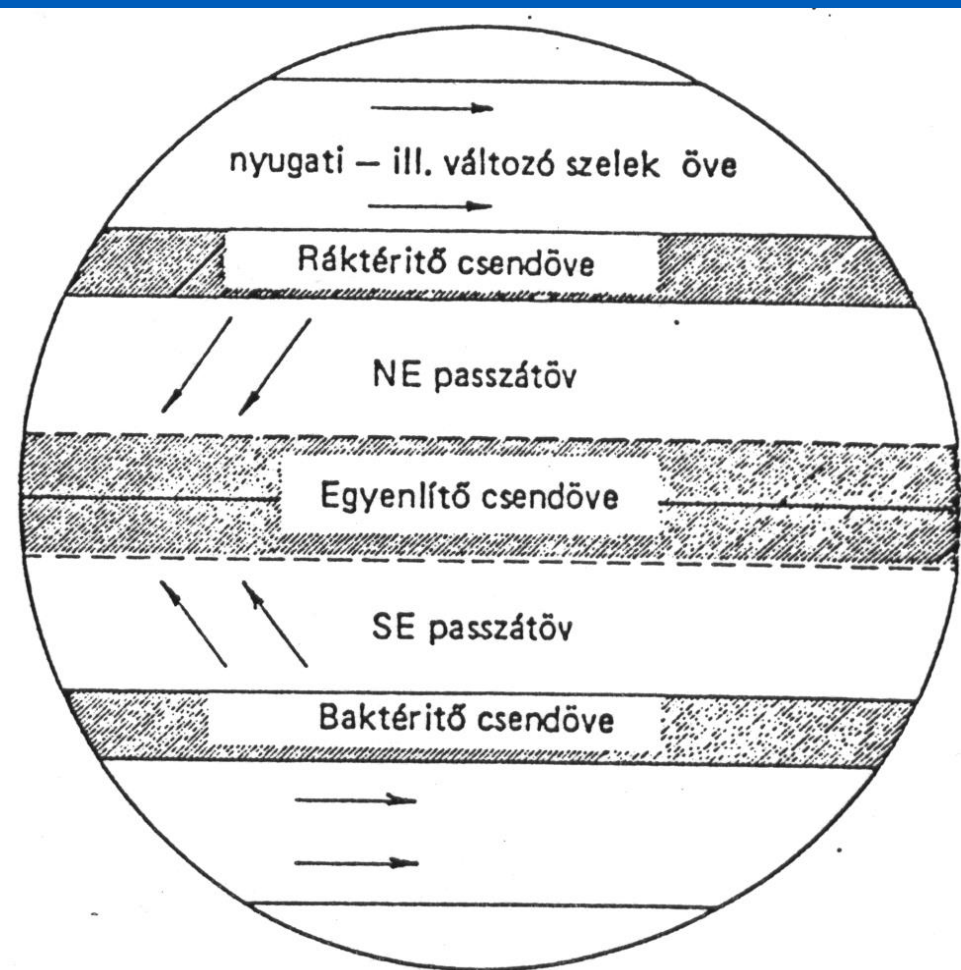
Kérdés: Milyen uralkodó szelek  
Találhatók a Földön ??

Modern World

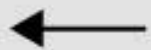
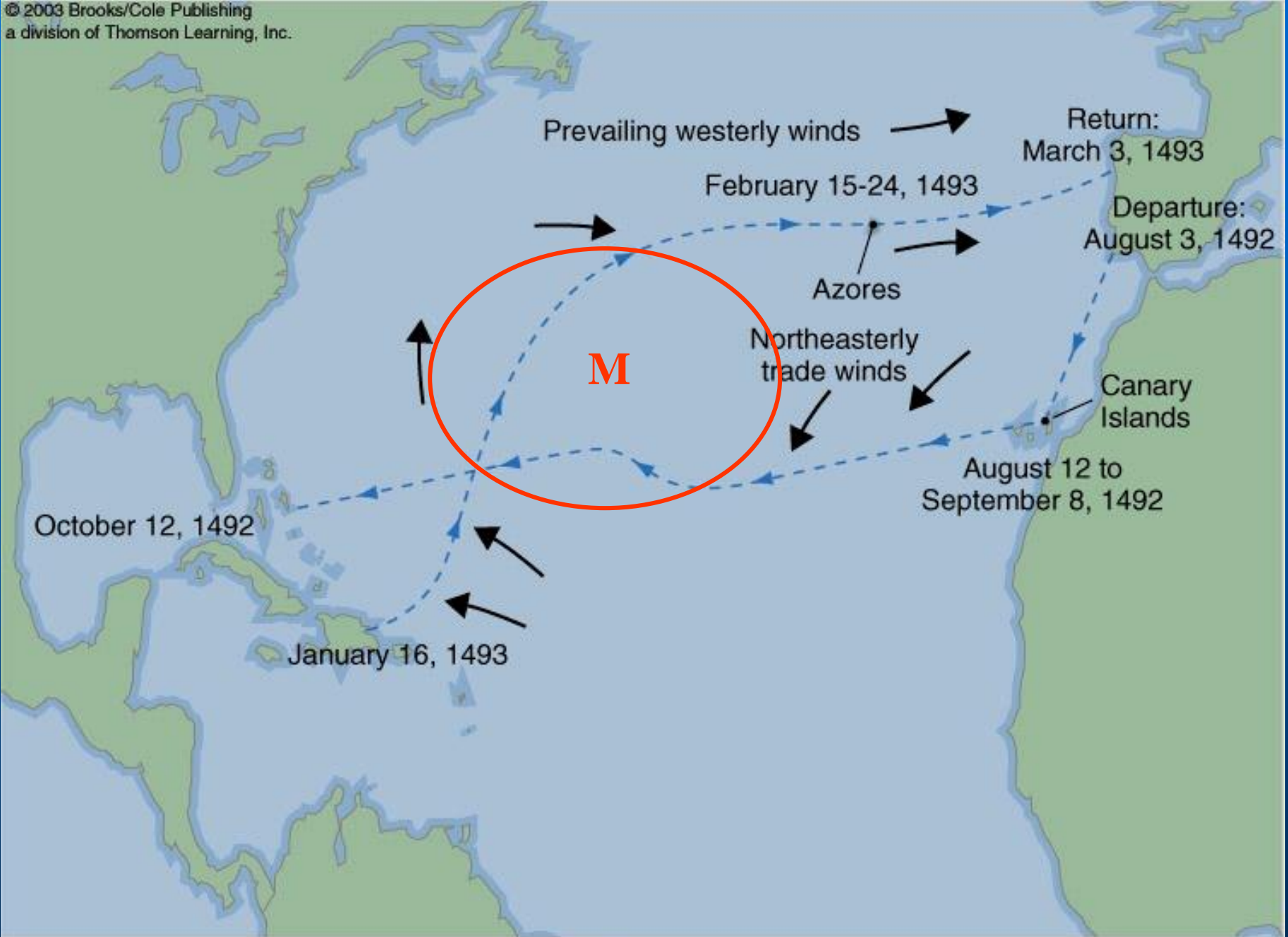


# Az általános légkörzési modellek fejlődése

## 1. Korai megfigyelések



- A XV. sz. vége felé kezdtek kimerészkedni a hajósok az óceánokra.
- A XVII. sz. elejére már viszonylag kialakult képük volt az uralkodó szelekről.
  - **Roaring forties** – **üvöltő negyvenesek**
  - **Horse latitude** – „ló” szélesség ( $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ )
  - **Trade winds**, **passzát**
  - **doldrums** – **szélcsend** ( $0^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) (ITCZ)



Uralkodó szélirány

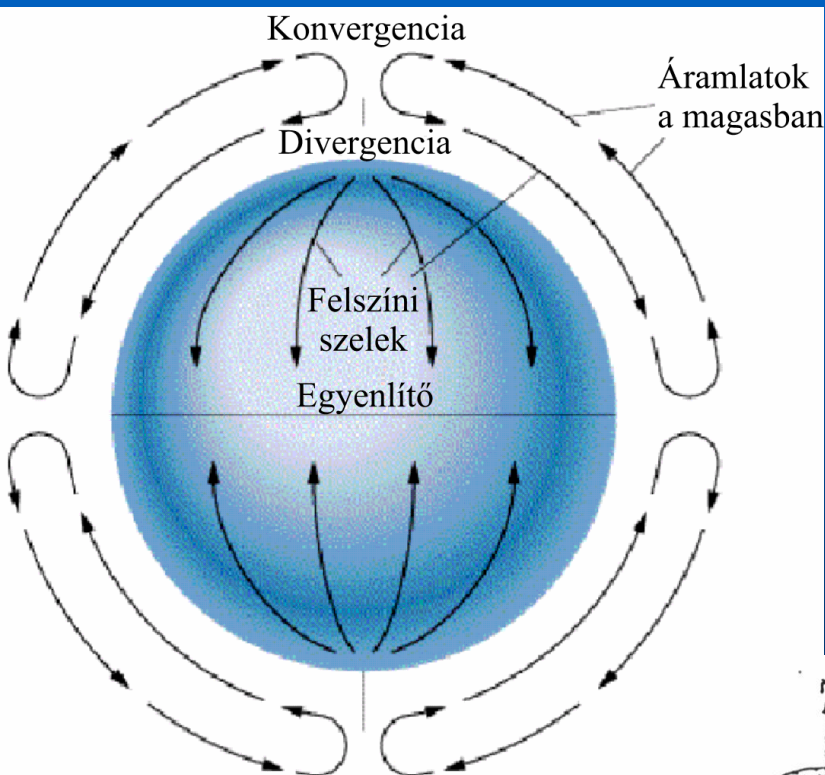


Kolumbusz Kristóf útvonala (1492-93)



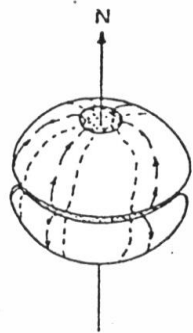
# Az általános légkörzési modellek fejlődése

## 2. Egycellás toroid

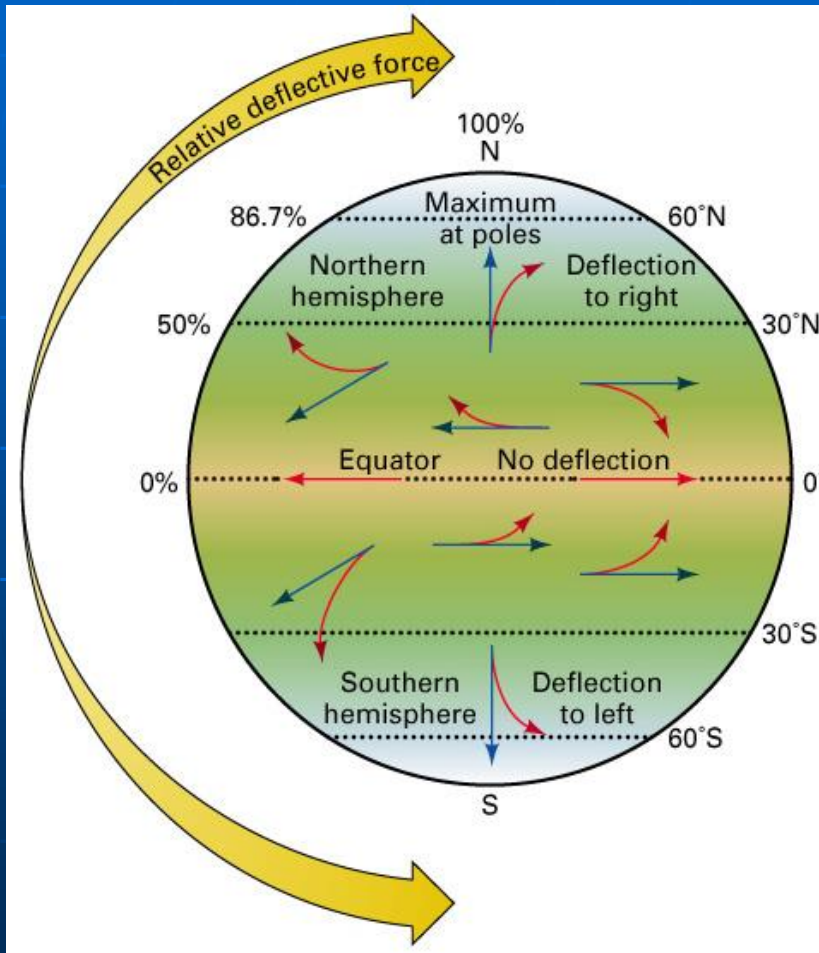


- Hétköznapi analógiából indult ki: ha egy fazék egyik felét melegítjük a másikat meg hűtjük, akkor zárt cirkuláció alakul ki.

Hiányosság: nincs nyugatias szélkomponens, nincs figyelembe véve a föld forgása.

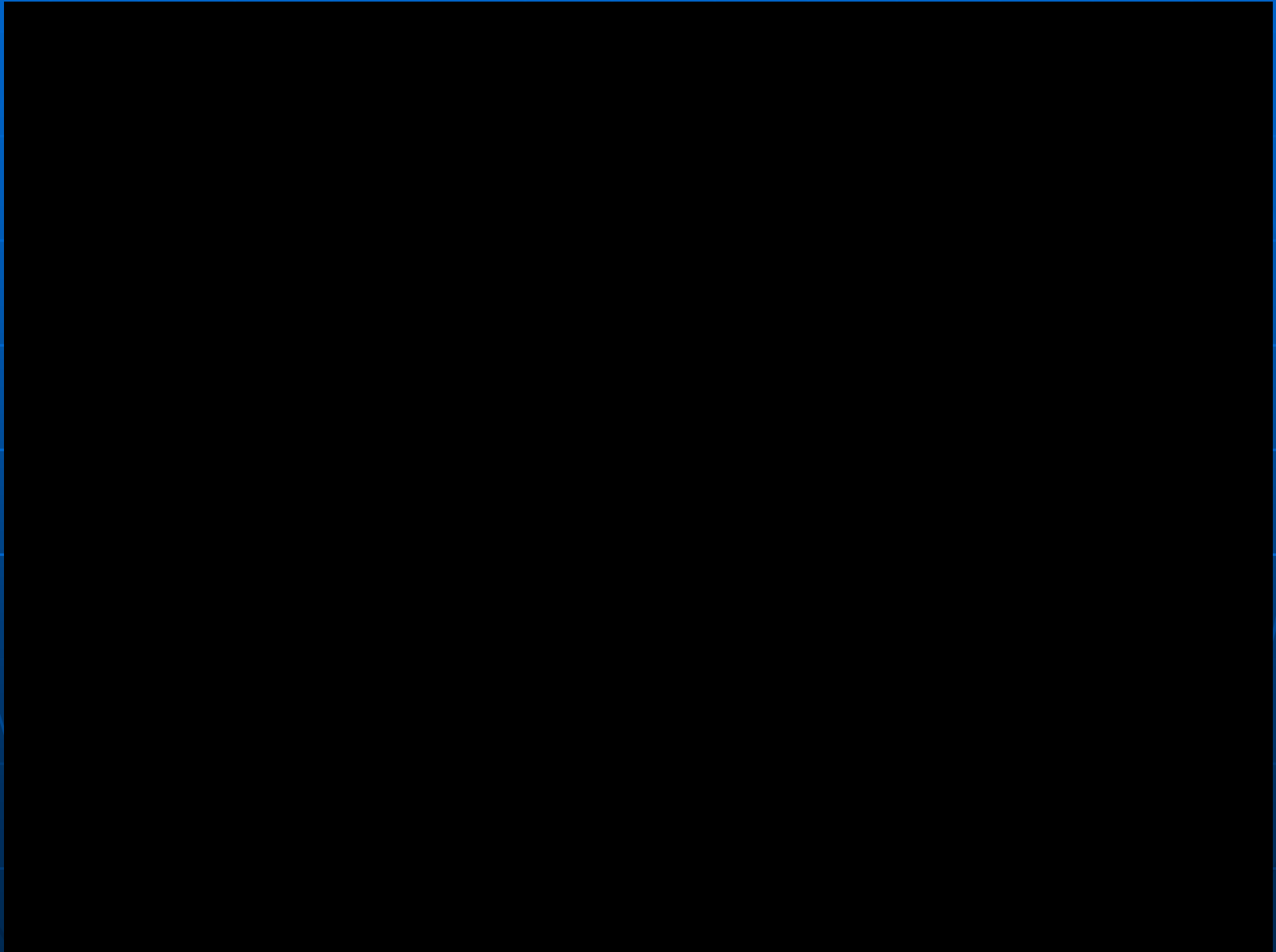


# Coriolis erő



- Látszólagos erő
  - Test – forgó Földhöz képest nyugalomban van – inercia rendszerből nézve nincs nyugalomban vagy nem végez egyenletes vonalú egyenletes mozgást => gyorsuló mozgások
  - Forgó koordináta-rendszerek nem tehetetlenségi kr-ek
  - Koordináta gyorsulások - Newton II. axioma – látszólagos erő – csak már mozgásban levő testre hat
  - Coriolis erő => mozgás a forgás irányával ellentétes görbült mozgás lesz
- Merőleges a sebesség vektorra, csak irányon változtat
- Nagysága arányos a földrajzi szélességgel és a mozgó test sebességével
- Nincs függőleges irányú komponense

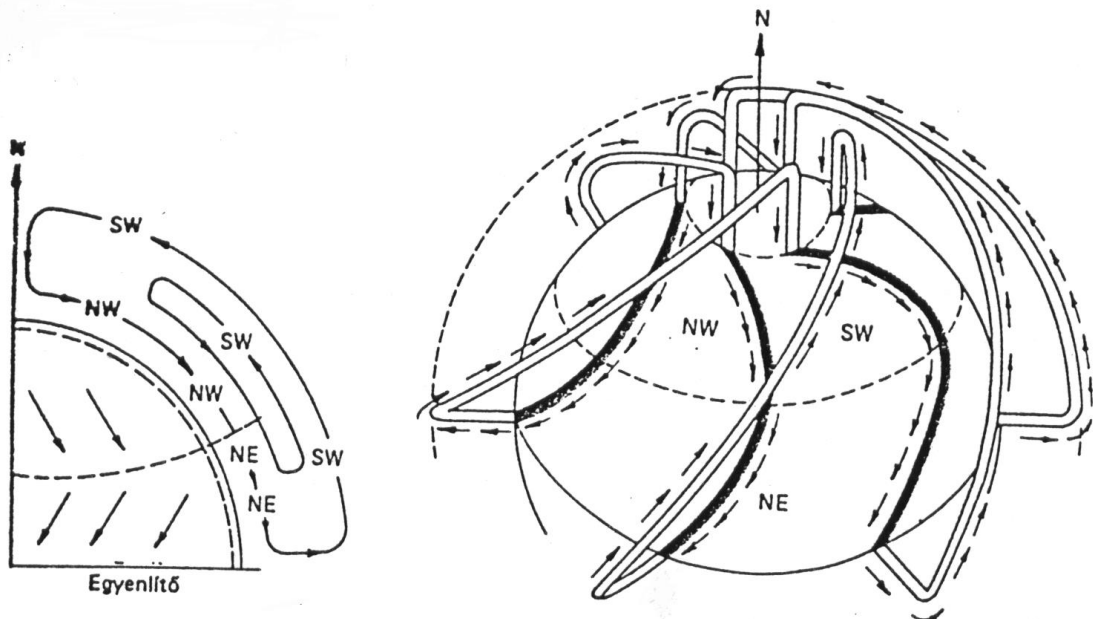
# Coriolis erő



# Az általános légkörzési modellek fejlődése

## 3. Hadley cirkulációs modellje, 1735

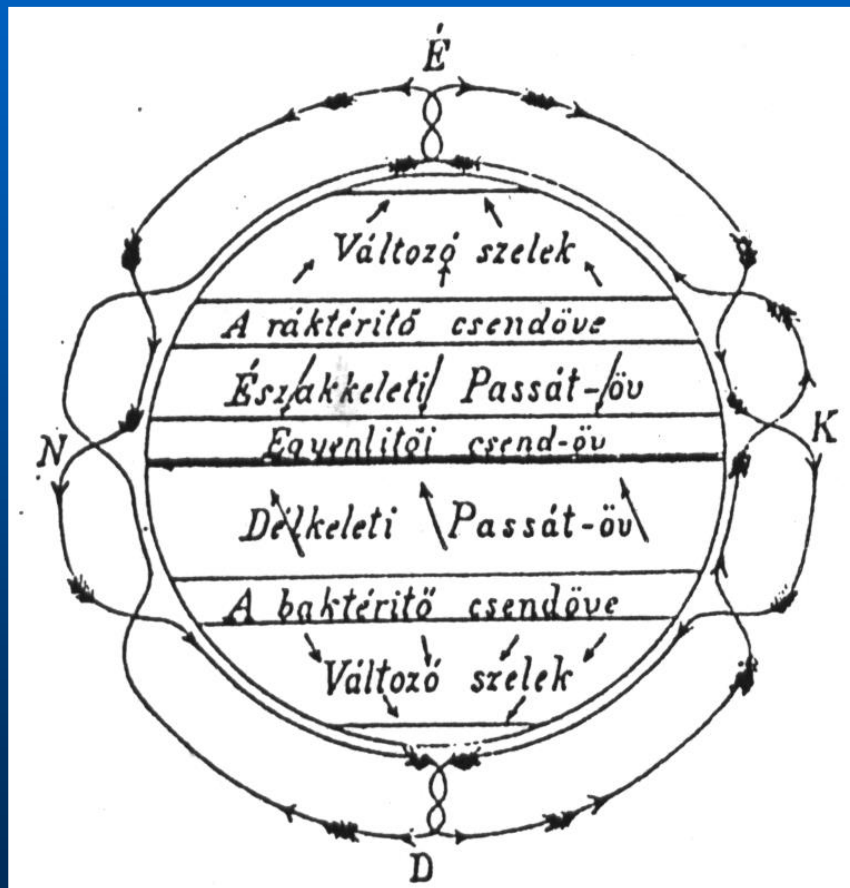
- Egycellás modell.
- Figyelembe vette a Föld forgásából származó eltérítő erőt (Coriolis).
- Gondolt az impulzusmomentum megmaradásra.



Hiányosság:  
nincsenek  
szélcsendövek

# Az általános légkörzési modellek fejlődése

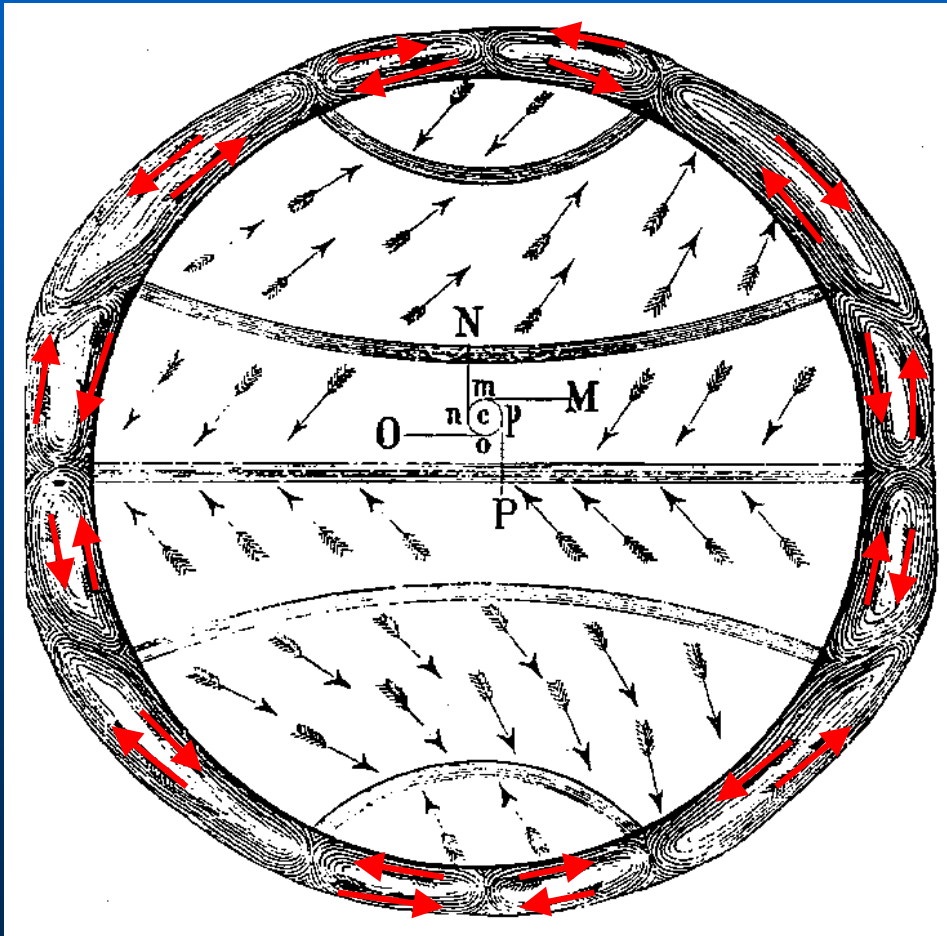
## 4. Maury cirkulációs modellje, 1855



- Kétcellás modell
- A Hadley-cellákat az Egyenlítő és a térítő-körök közé helyezte
- Ezeken túl egy indirekt cellát feltételezett

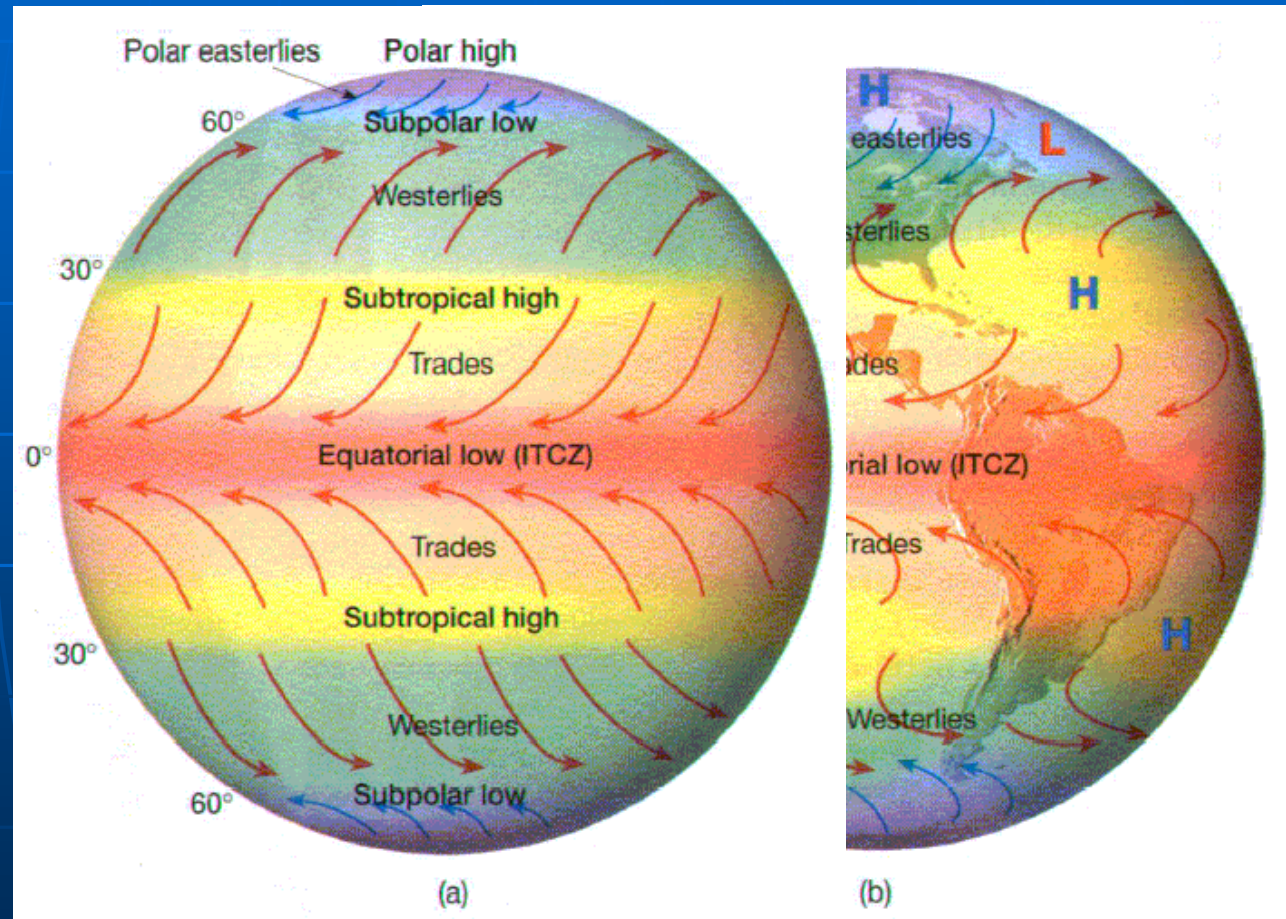
# Az általános légkörzési modellek fejlődése

## 5. Ferrel cirkulációs modellje, 1856



- 3 meridonális cellát képzelt el (2 direkt, 1 indirekt)
- Első kísérlet a Coriolis-erő korrekt figyelembevételére
- Feltételezte a cellák közötti keveredés lehetőségét

# Az általános légkörzési modellek fejlődése



# Az általános légkörzési modellek fejlődése

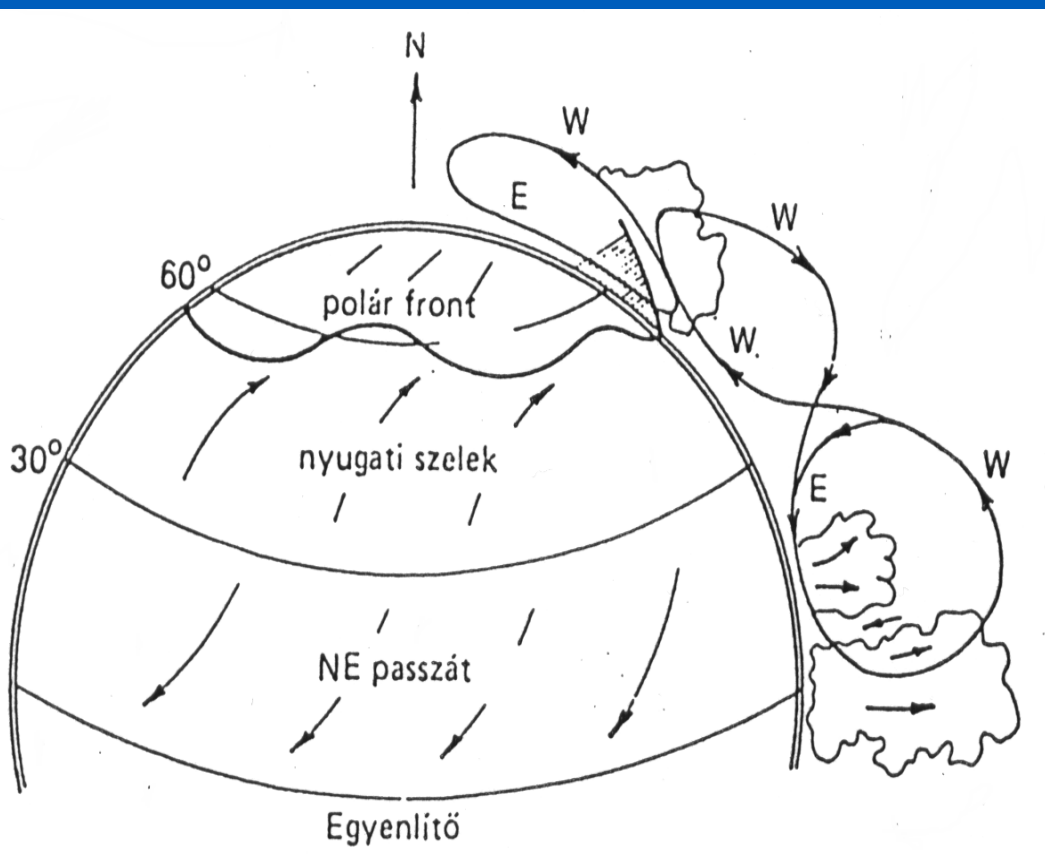
## **6. A. Defant, 1921:**

a közepes szélességeken a mozgás nagyméretű turbulens örvények formájában történik



# Az általános légkörzési modellek fejlődése

## 7. C.-G. Rossby, 1941:



- Megjelenik a polárfront (állandó határfelület, mely a hideg sarkvidéki levegőt és a meleg trópusi levegőt választja el, erős hullámszerű mozgással), de még hibás helyen
- Elfogadottá válik, hogy a közepes szélességeken hatalmas horizontális örvények szállítják az impulzusmomentumot, de itt még szimmetrikus hullámokat feltételeztek

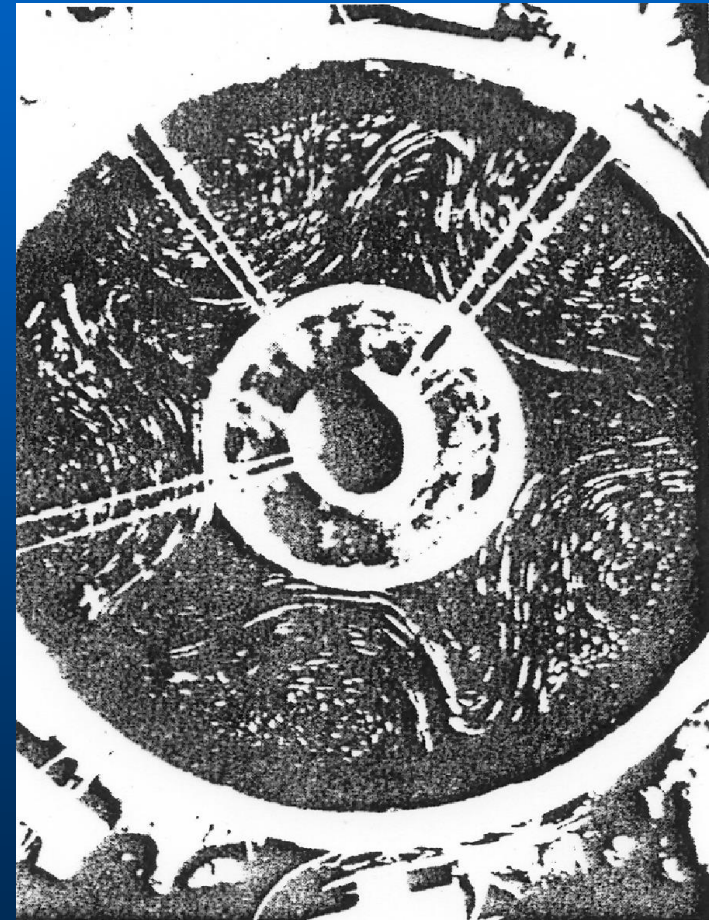
# Az általános légkörzési modellek fejlődése

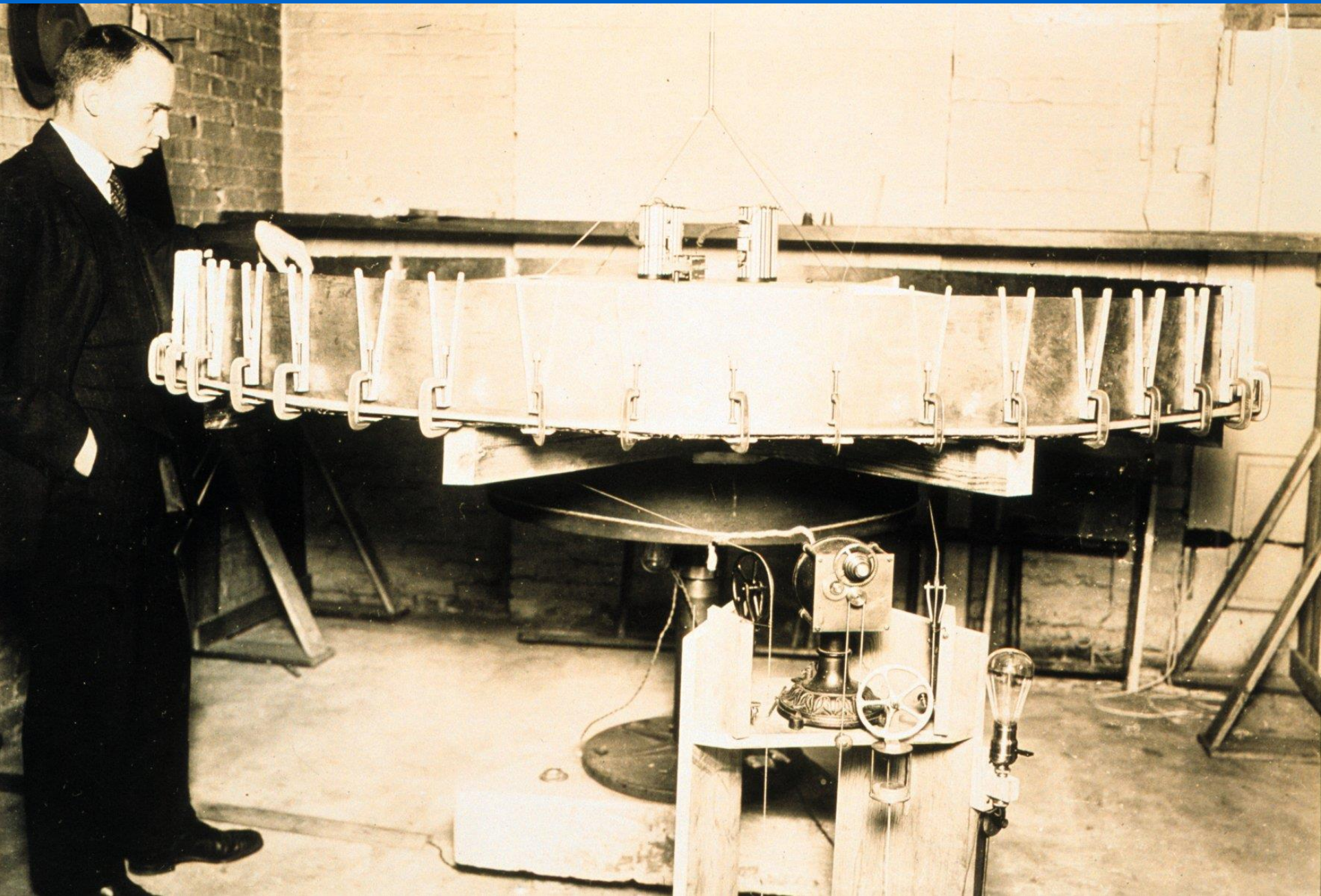
## 8. D. Fultz, 1951:

A forgómedencés (termikusan vezérelt) kísérletekkel bizonyította, hogy valóban kialakulhatnak ilyen formájú és méretű örvények.

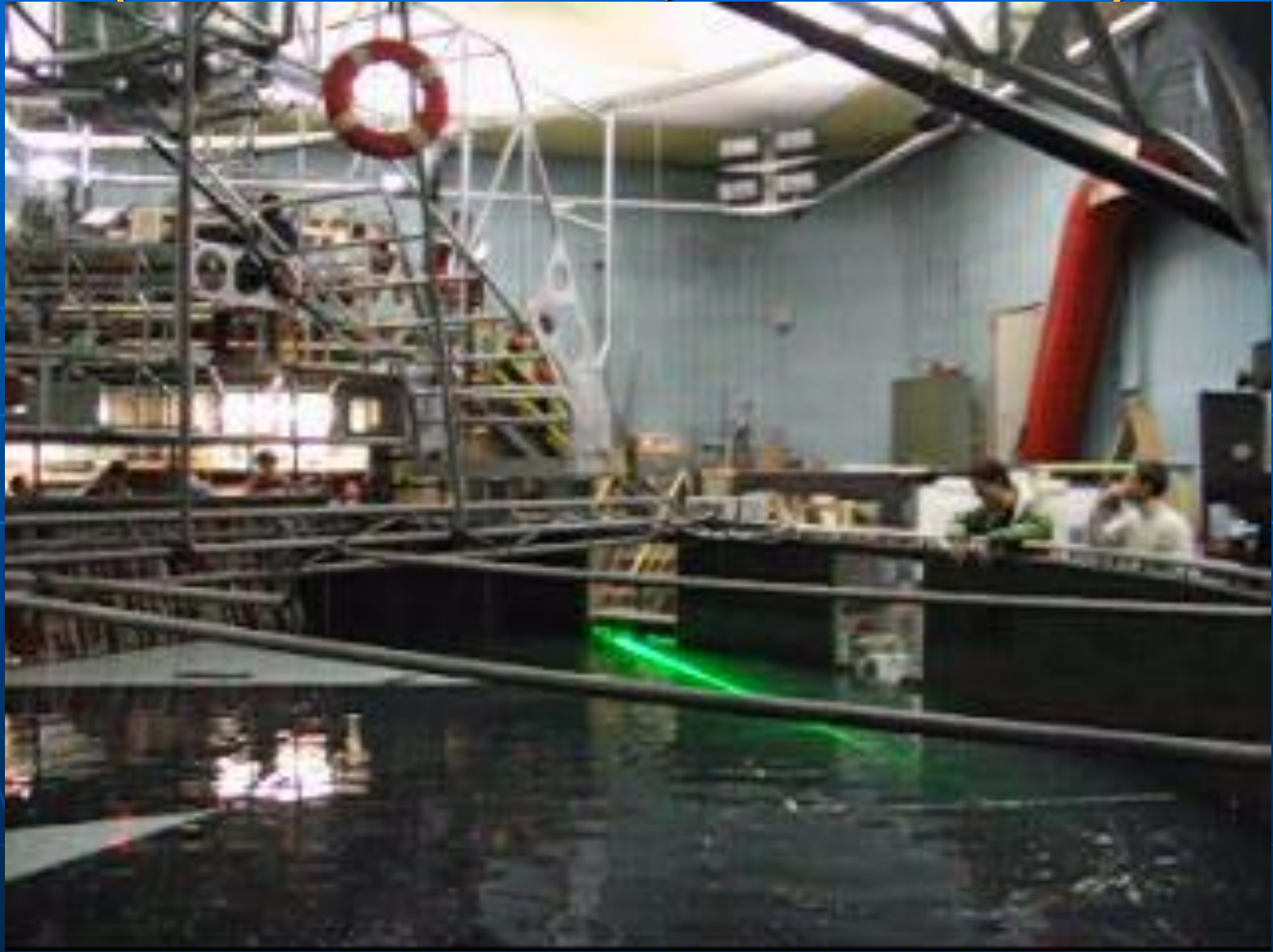
A hullámok előre dőlnek, és így biztosítják az impulzusmomentum szállítását.

ELTE: jelenleg is látható -  
KÁRMÁN Áramlástani  
Laboratóriumban





# Forgókádas kísérlet (*Coriolis Inst., Grenoble*)



# Az általános légkörzési modellek fejlődése

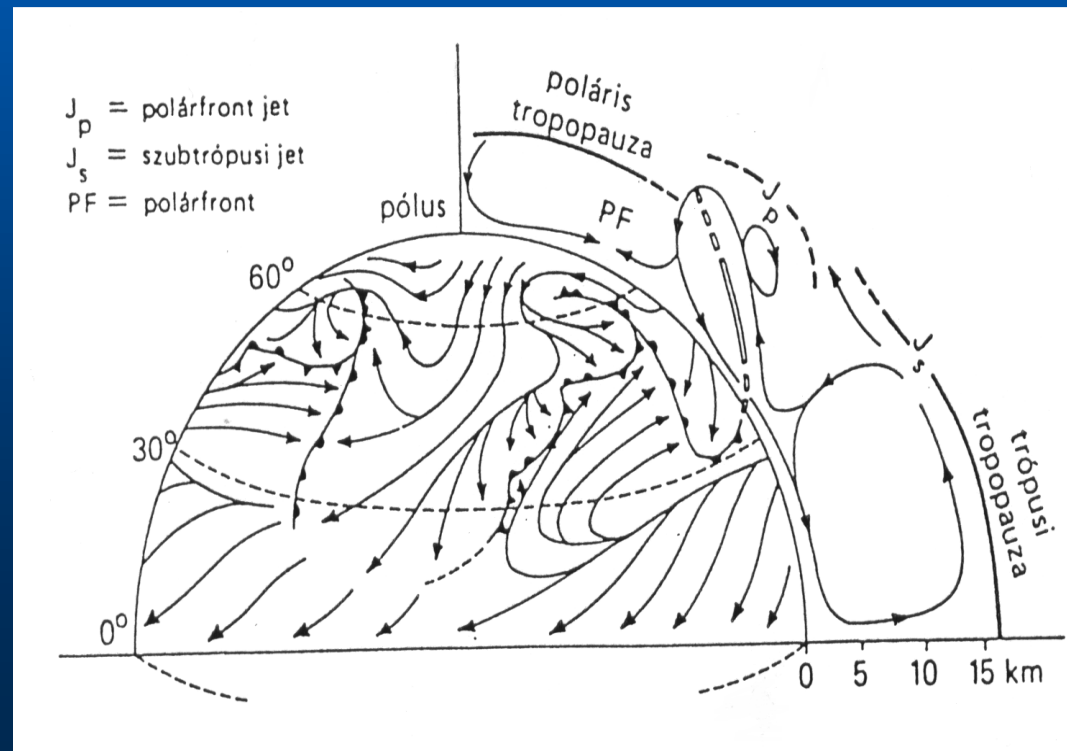
## 8. Defant testvérek, 1958:

3 cellából áll:

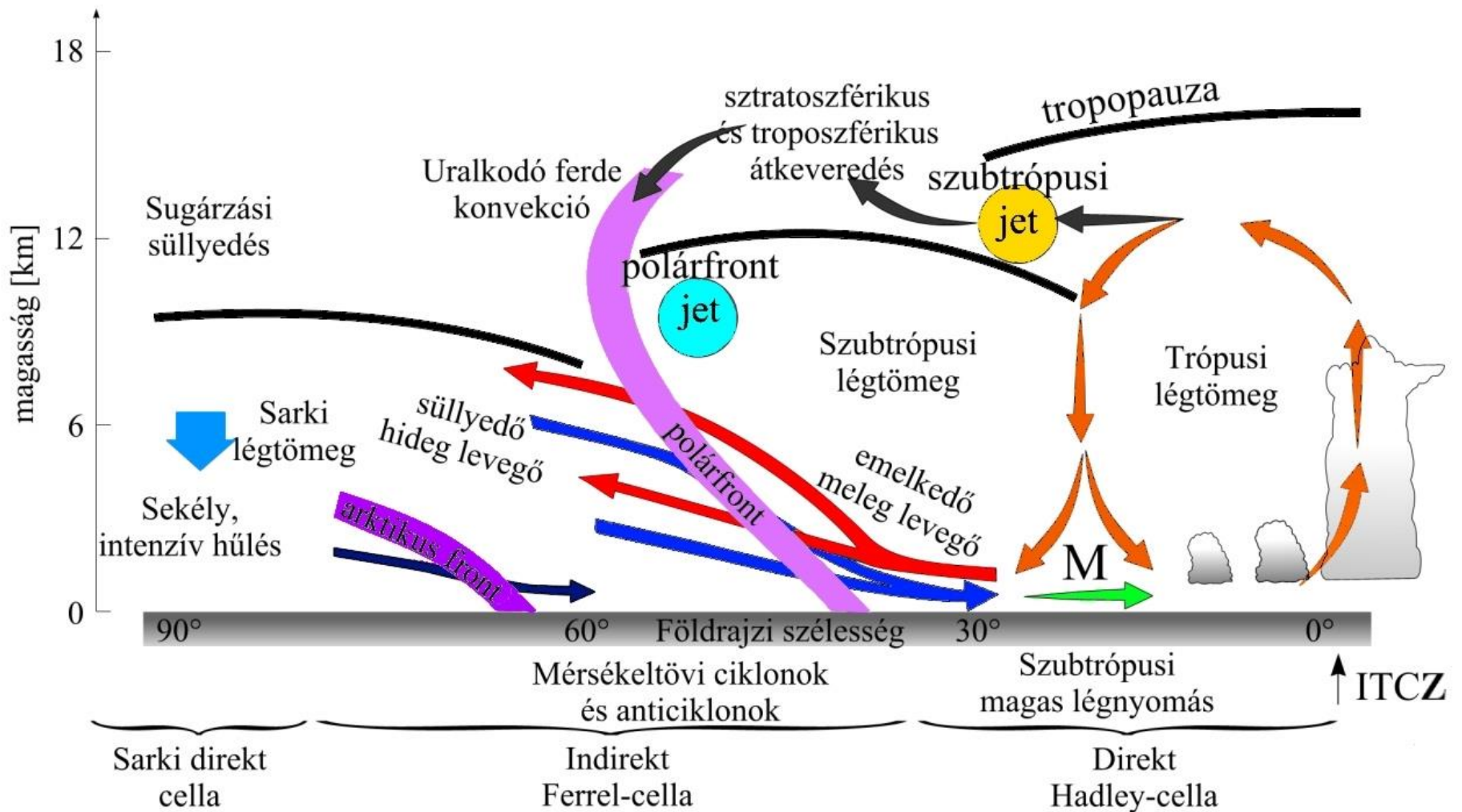
- trópusi cella / Hadley–cella
- polárfront–cella / Ferrel–cella
- szubpoláris cella

2 fő frontálzóna választja el őket egymástól:

- szubtrópusi frontálzóna
- polárfront



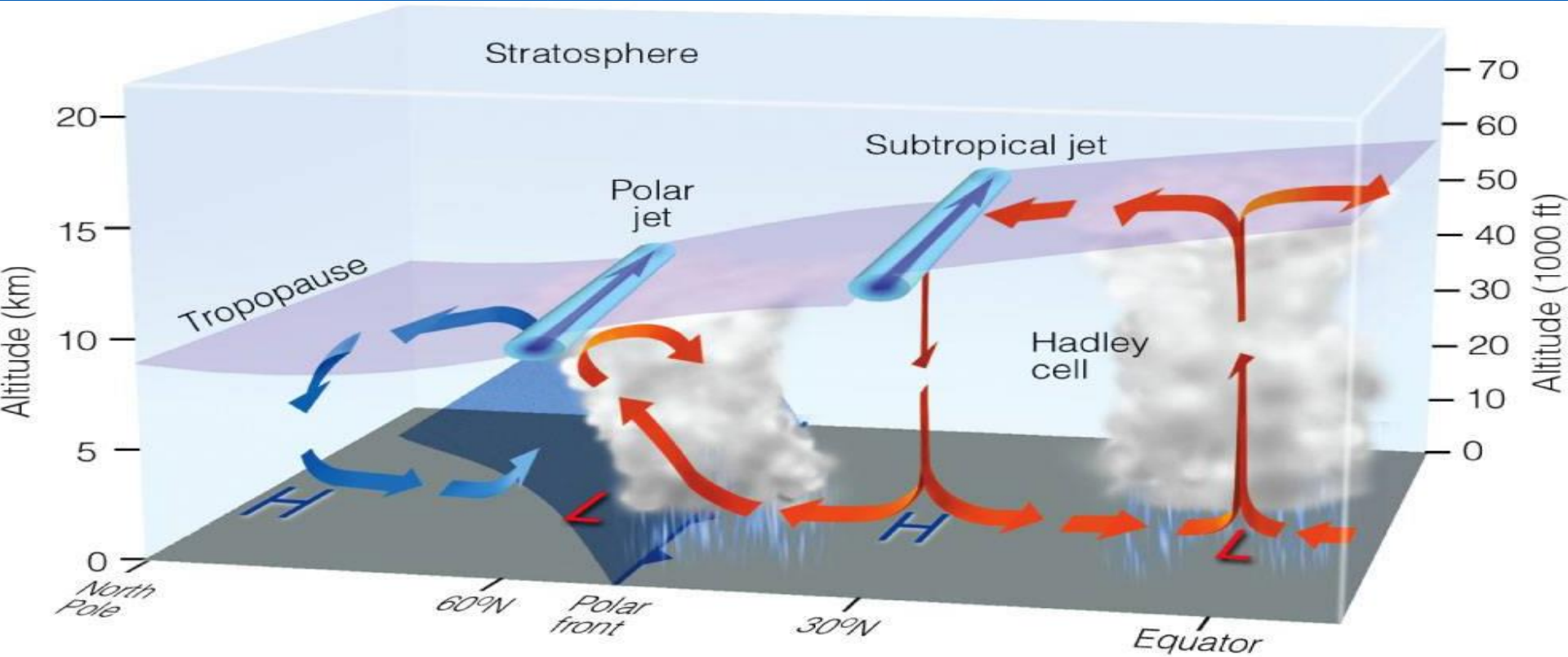
# Az általános légkörzési modell



# Jet streamek (futó áramlások)

A felső troposzféra gyors légáramlatai, törésekkel.  
(*tengelymenti sebessége*  $> 30 \text{ m/s}$ ).

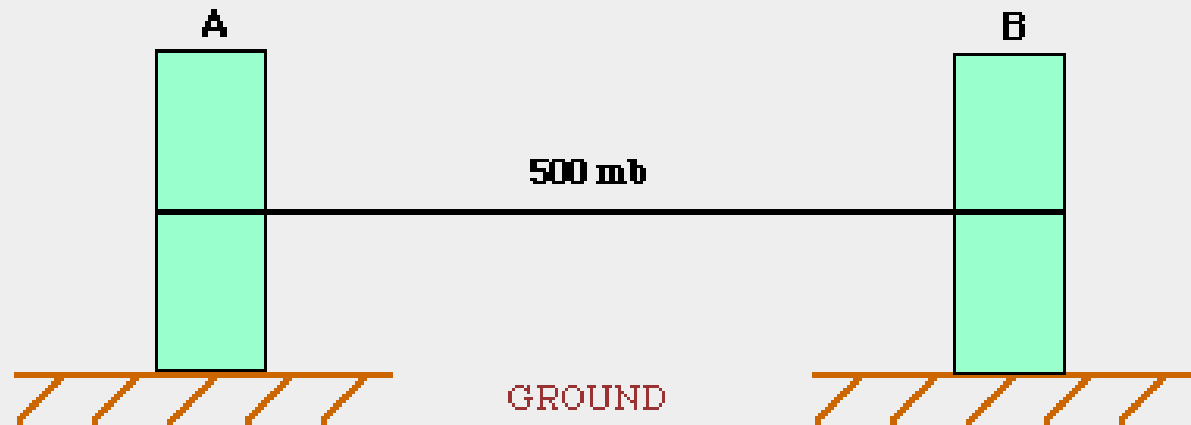
A **poláris jet** és a **szubtrópusi jet** a troposzféra tetején, a tropopauzánál helyezkedik el, közvetlenül a cirkulációs cellák határán.



Átlagos sebesség nyáron: 18 m/s, télen: 34 m/s

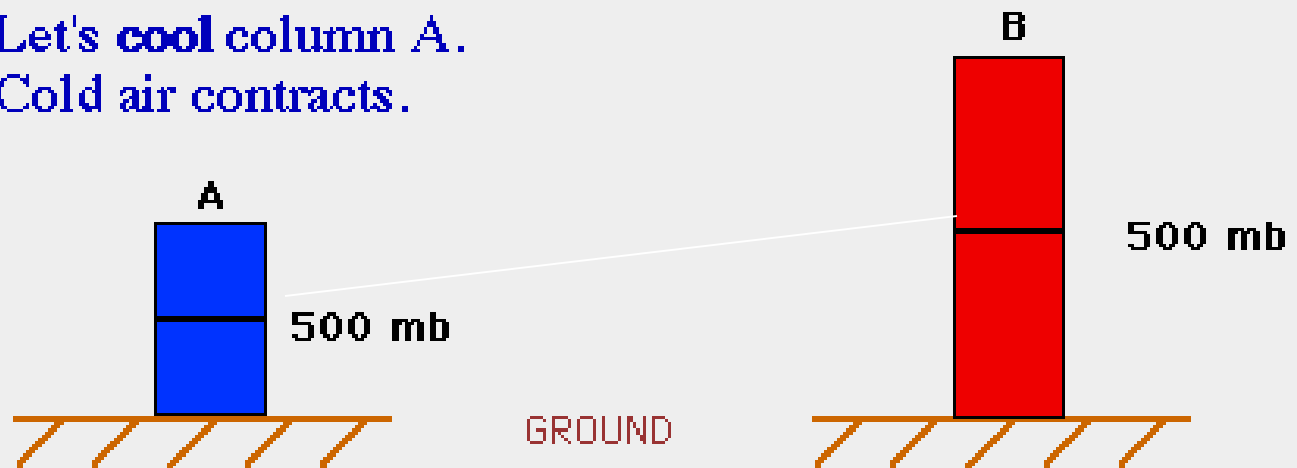
# A jetek (futó áramlások kialakulása)

Consider two identical columns of air (A and B) above the ground. Since they are identical, the 500 mb surface is found at the same height in each column.



Let's **heat** column B.  
Warm air expands.

Let's **cool** column A.  
Cold air contracts.



The 500 mb surface is found at a lower height  
in the cool air than in the warm air.

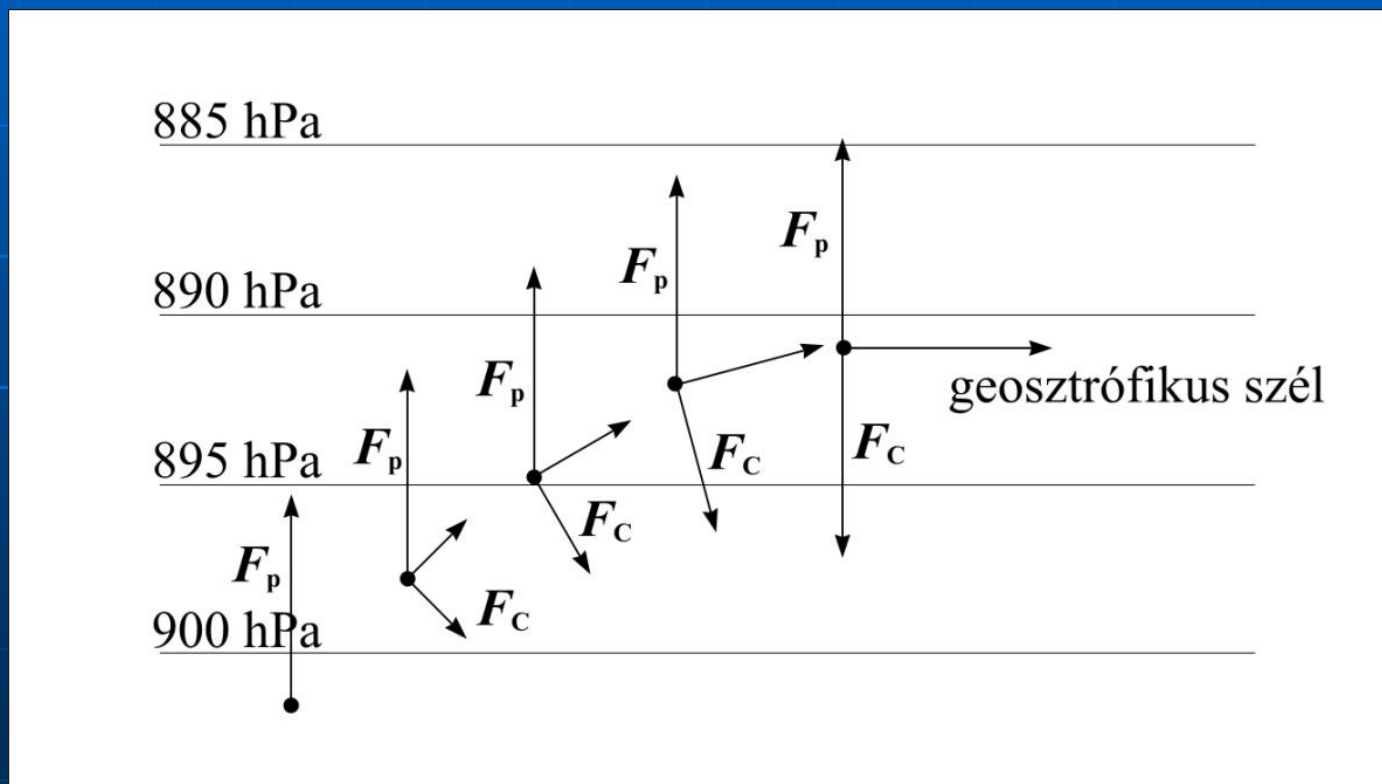


# A jet streamek kialakulása

A hőmérséklet különbsége lejtő izobár szinteket és magassági felszíneket eredményeznek

Ez a különbség légnyomási gradiens erőként jelentkezik, amely a Coriolis erő hatására

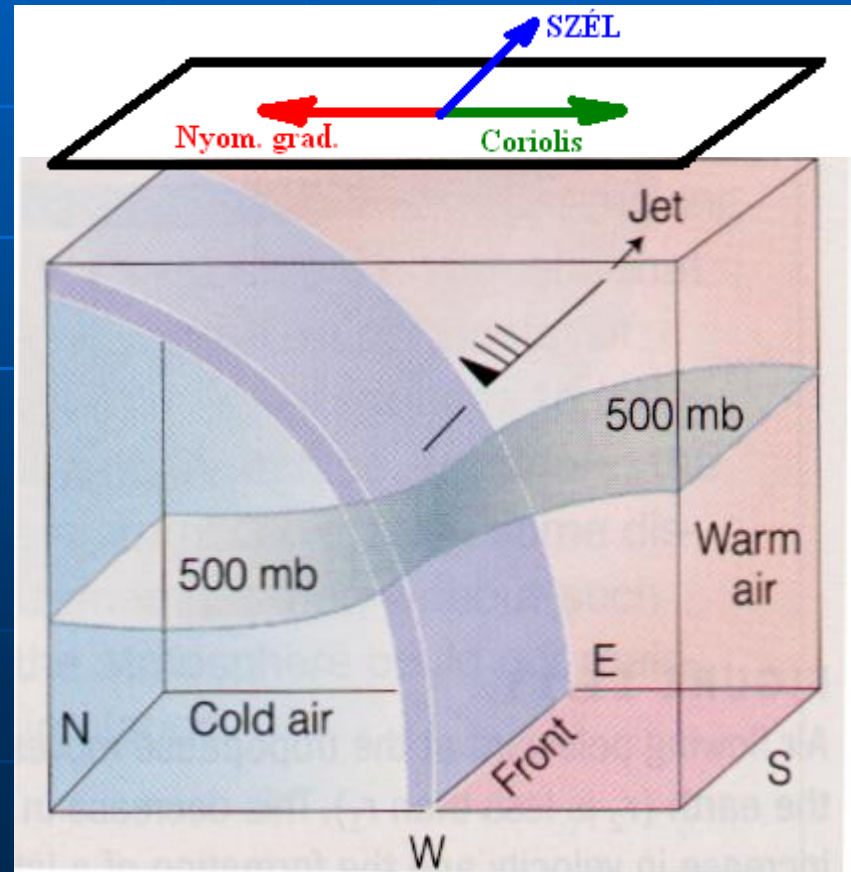
nagysebességű Ny-ról K felé fújó szeleket eredményeznek.



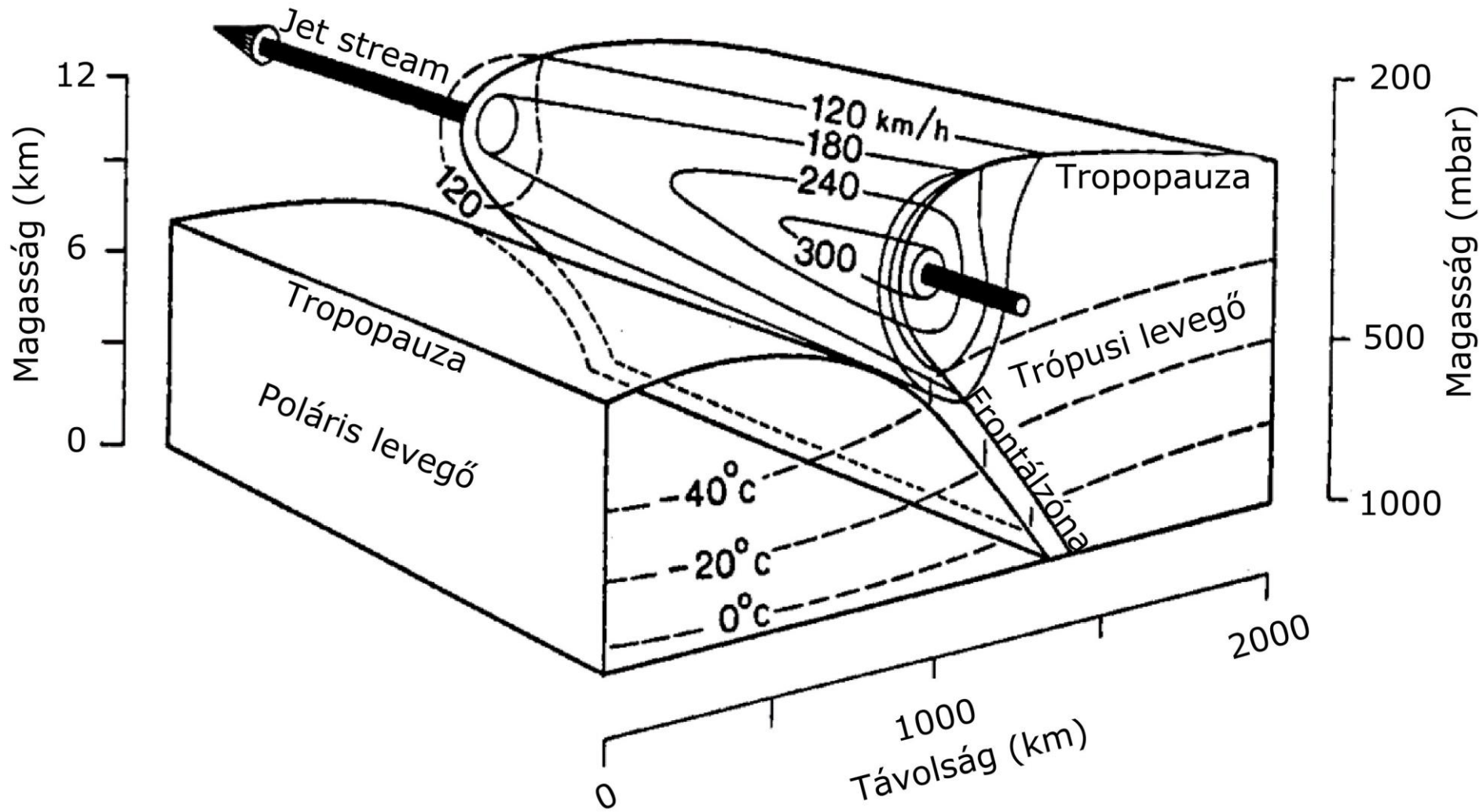
# A jet streamek kialakulása

legerősebb: legnagyobb a hőmérséklet különbség => front

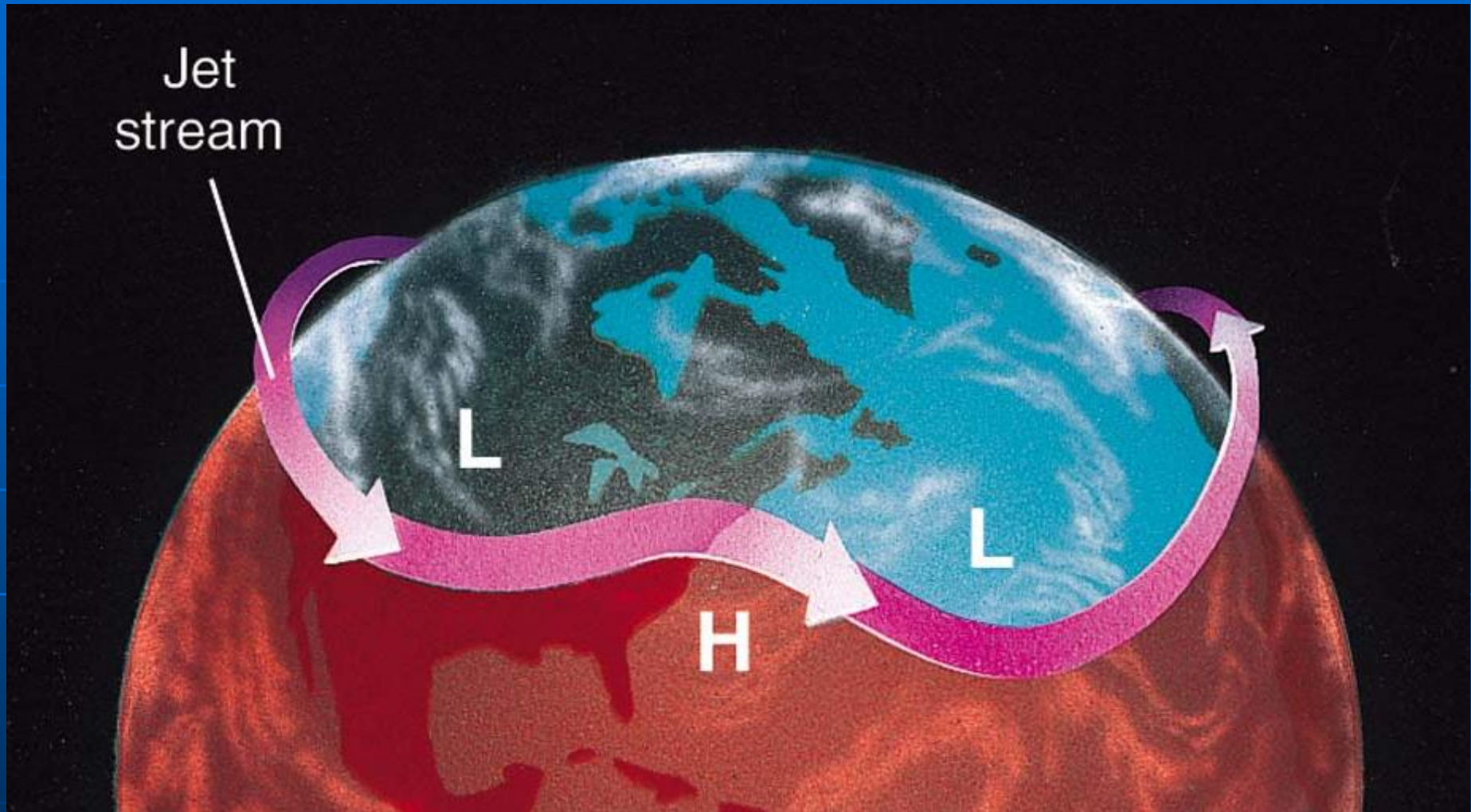
- nyomási gradiens  $D \Rightarrow \acute{E}$
- felszín – súrlódási erő
- magasabb – ritkább levegő –  
súrlódási erő elhanyagolható
- Coriolis erő  $\Rightarrow NY \Rightarrow K$
- Tropopauza:  $\approx$  állandó  $T$   
-Tropopauza alatt



# A jetek szerkezete

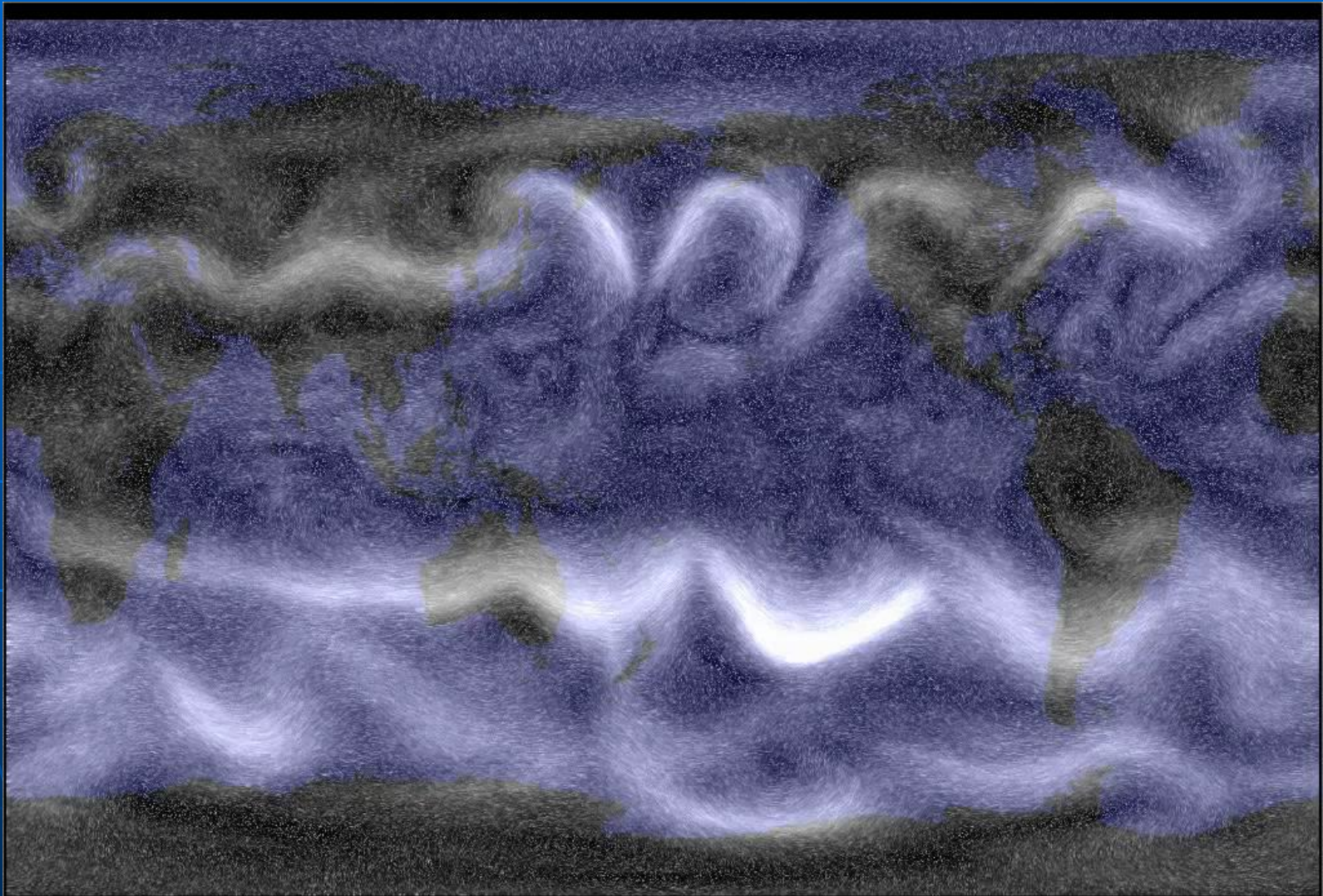


**A jetek (PFJ és STJ) a felső troposzférában helyezkednek el, a polár front illetve a szubtrópusi front felett.**



**Mivel a hőmérsékleti gradiens a front mentén télen a legnagyobb, ezért a futóáramláson belüli szélsőségek is ekkor a legnagyobbak.**

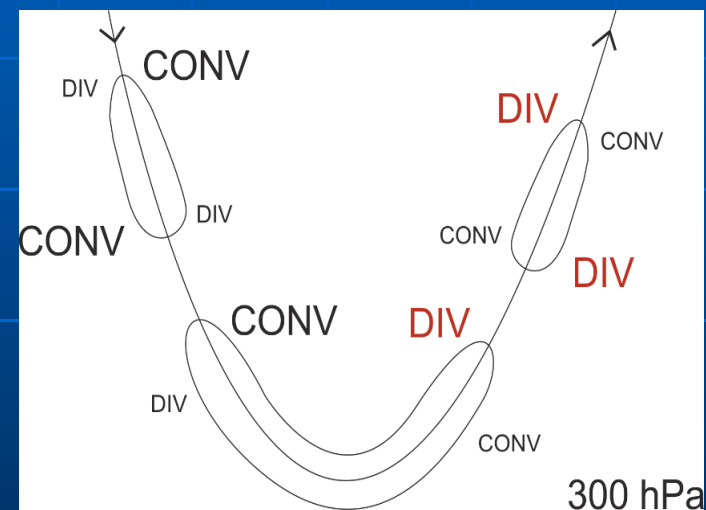
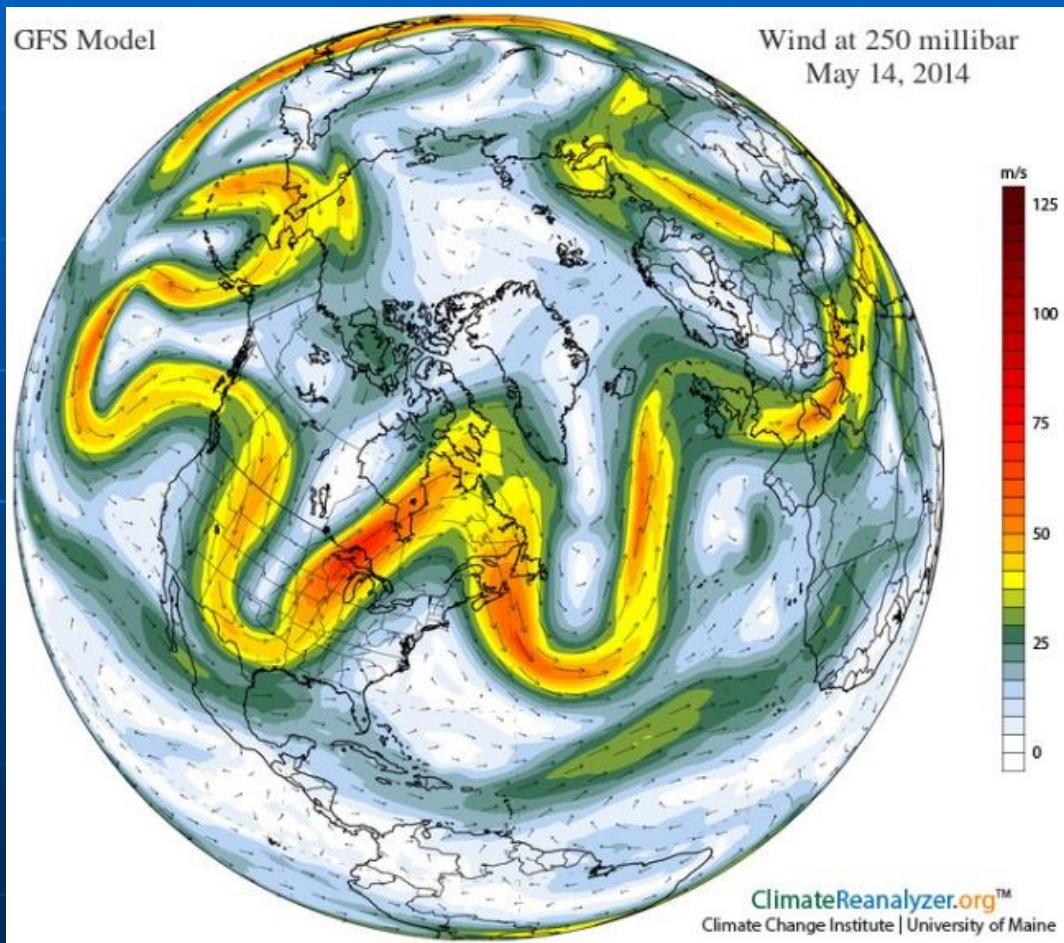
# Jet stream

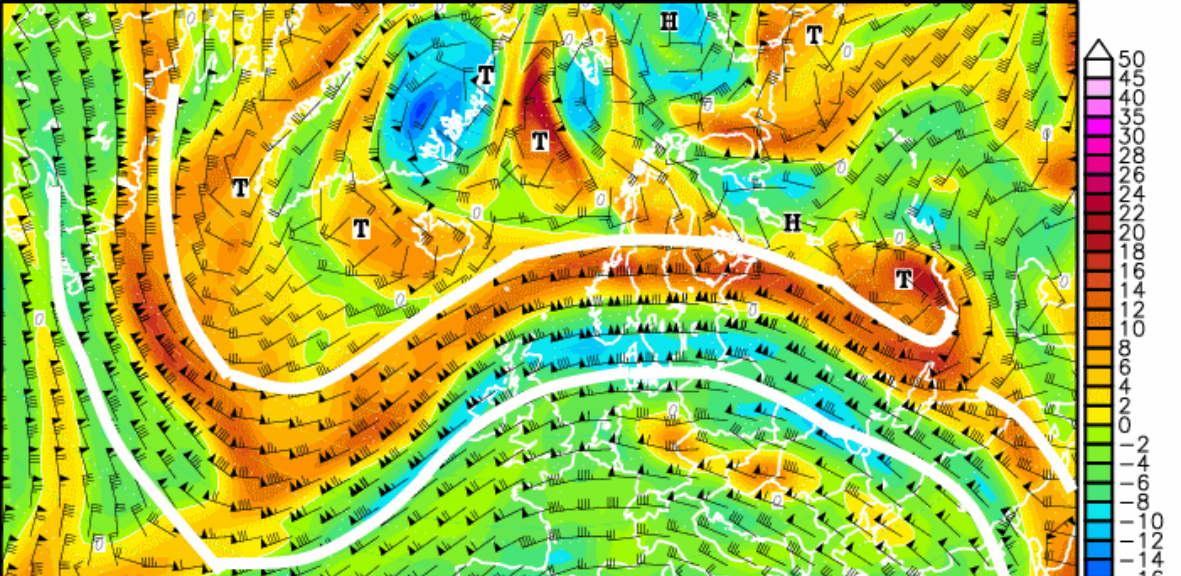


200 hPa wind

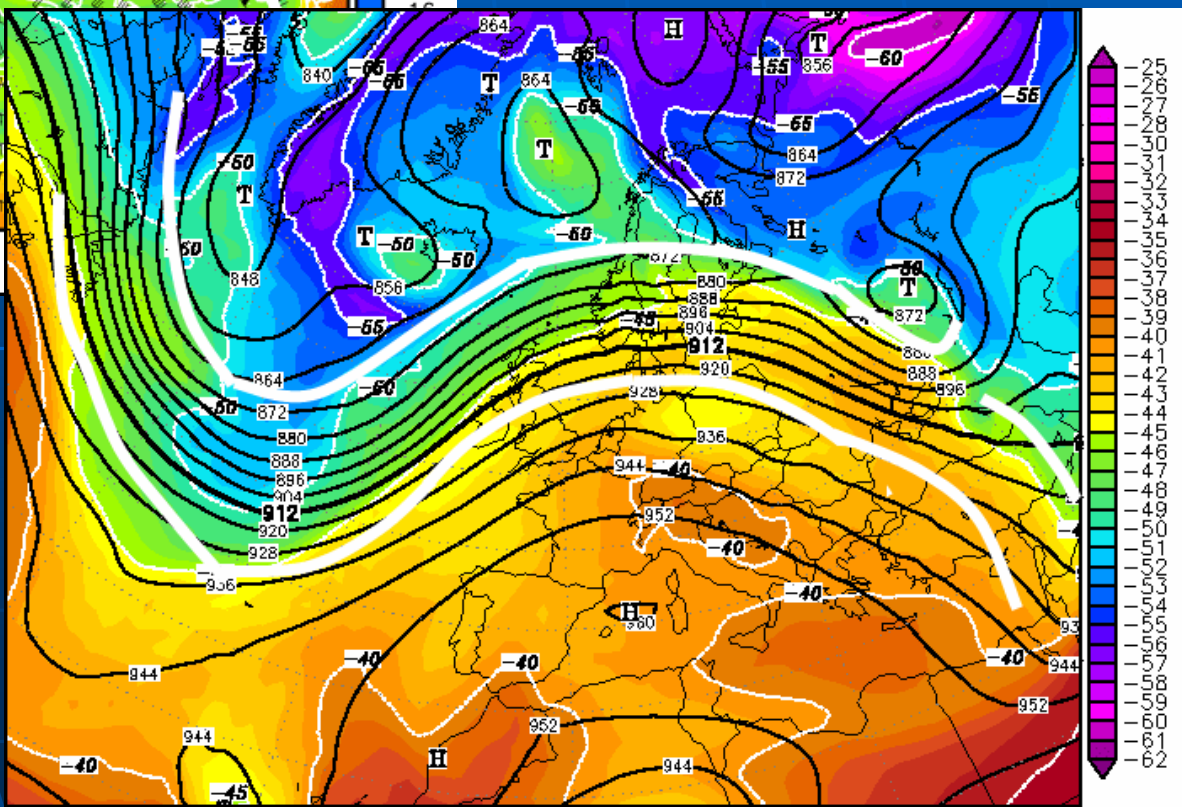
Tue Aug 31 12:15:00 2004

# Jetek áramlási tulajdonságai





300 hPa Wind [kn] (Max: 220 kn), Relative Vorticity [ $10E-5/s$ ]  
 Mittwoch, 11-11-2015 06 UTC (GFS) (Analyse)

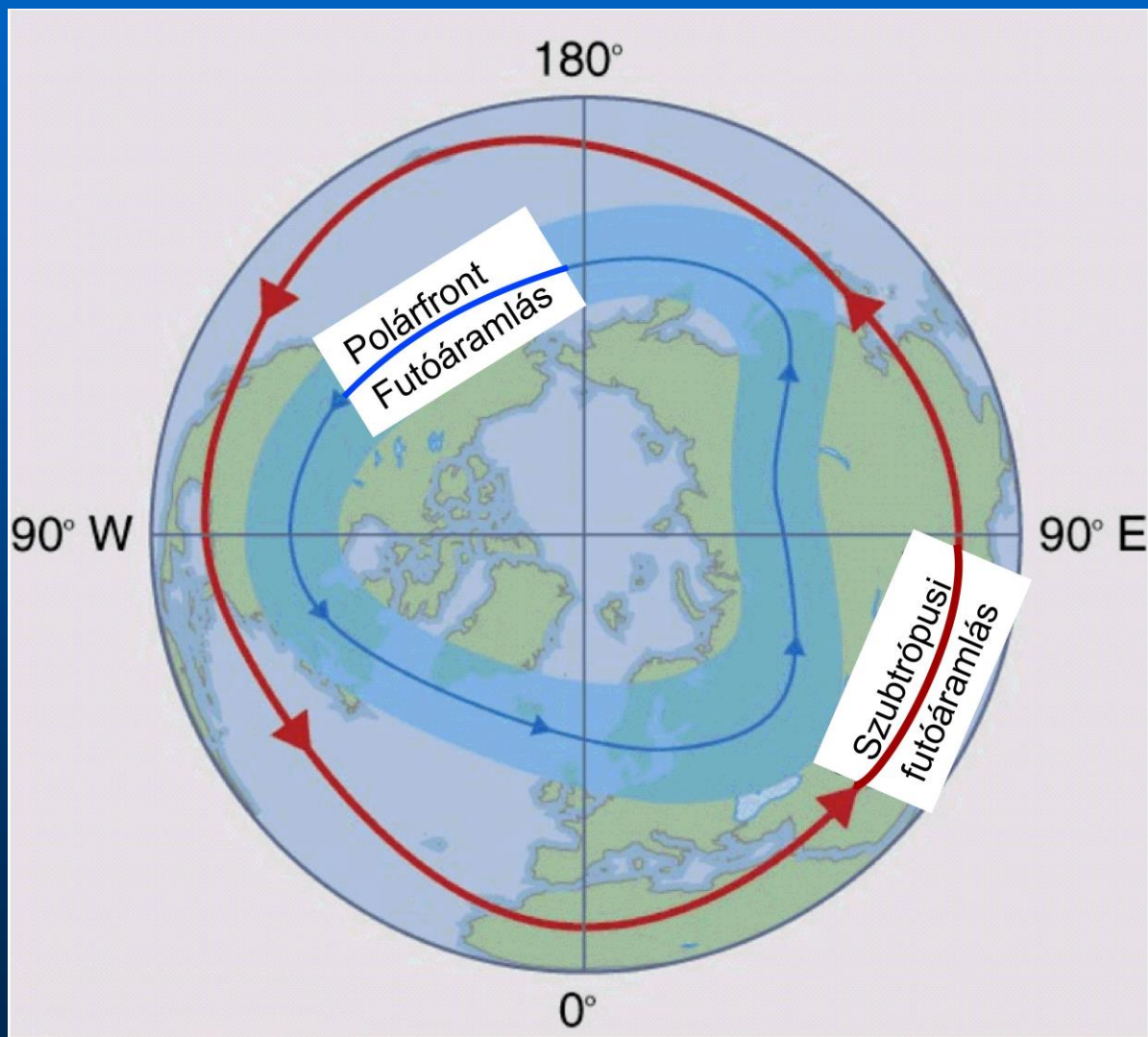


300 hPa Geopotential [gpdam], Temperatur [Grad C]  
 Mittwoch, 11-11-2015 06 UTC (GFS) (Analyse) © www.wetter3.de

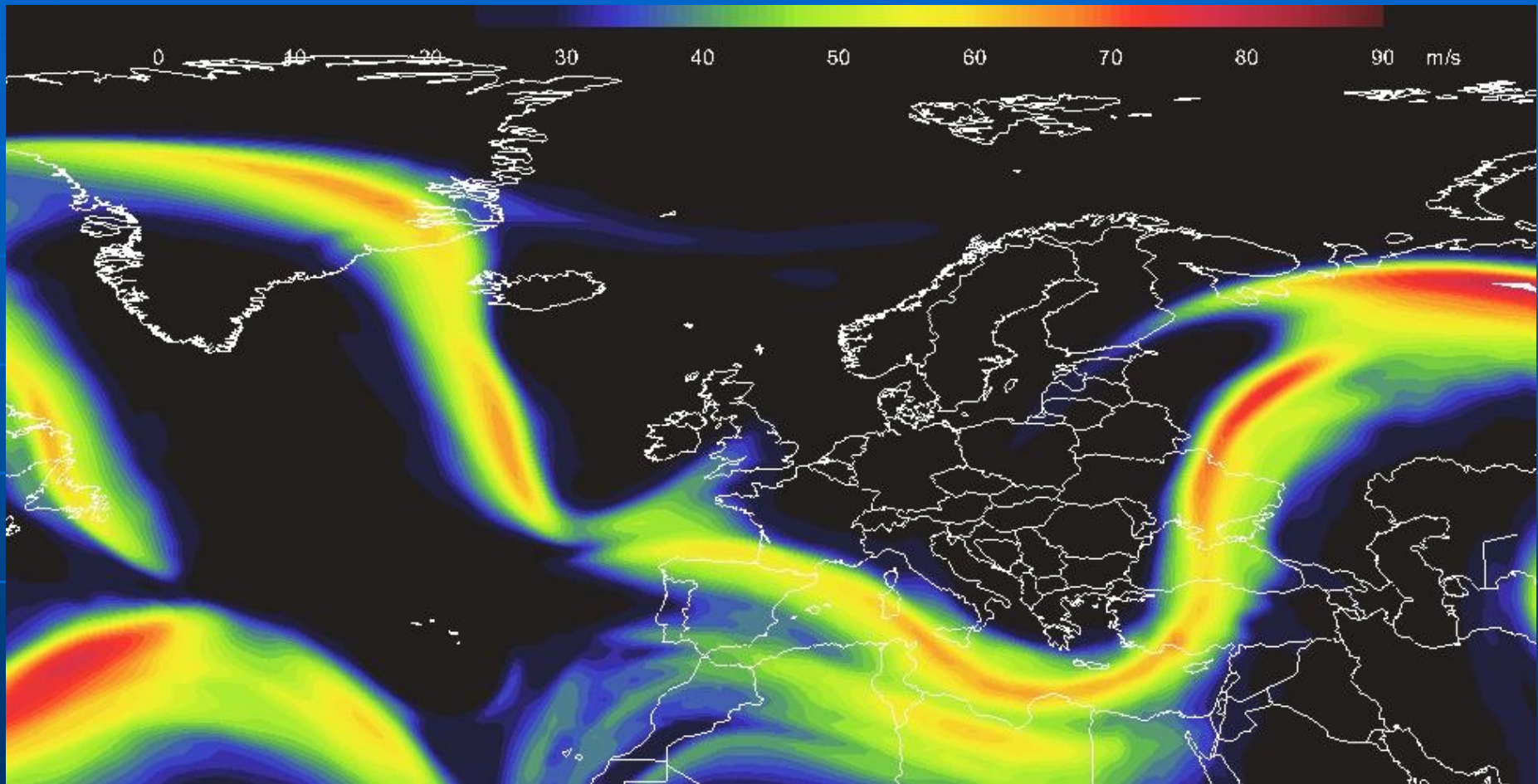
# A JETEK ÁLTALÁNOS ELHELYEZKEDÉSE AZ ÉSZAKI HEMISZFÉRÁN

A cellák rendszerében 2 nyugatias jet:

- A frontálzónák és a tropopauza szögletében helyezkednek el,
- Mindkét jetnél törik a tropopauza,
- Míg a szubtrópusi mindig ugyanott helyezkedik el, addig a poláris széles sávban mozog (évszakosan)

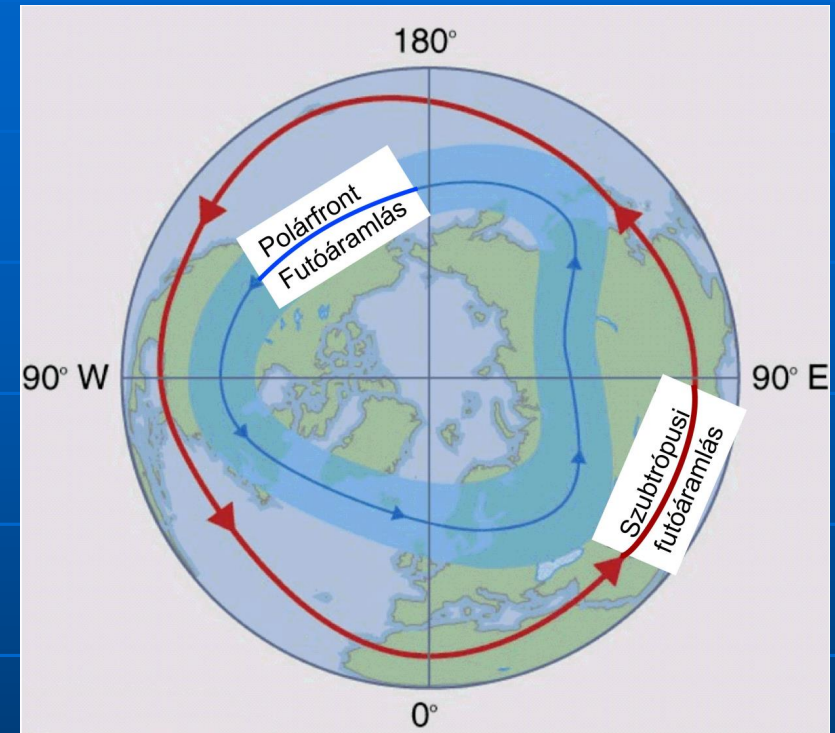
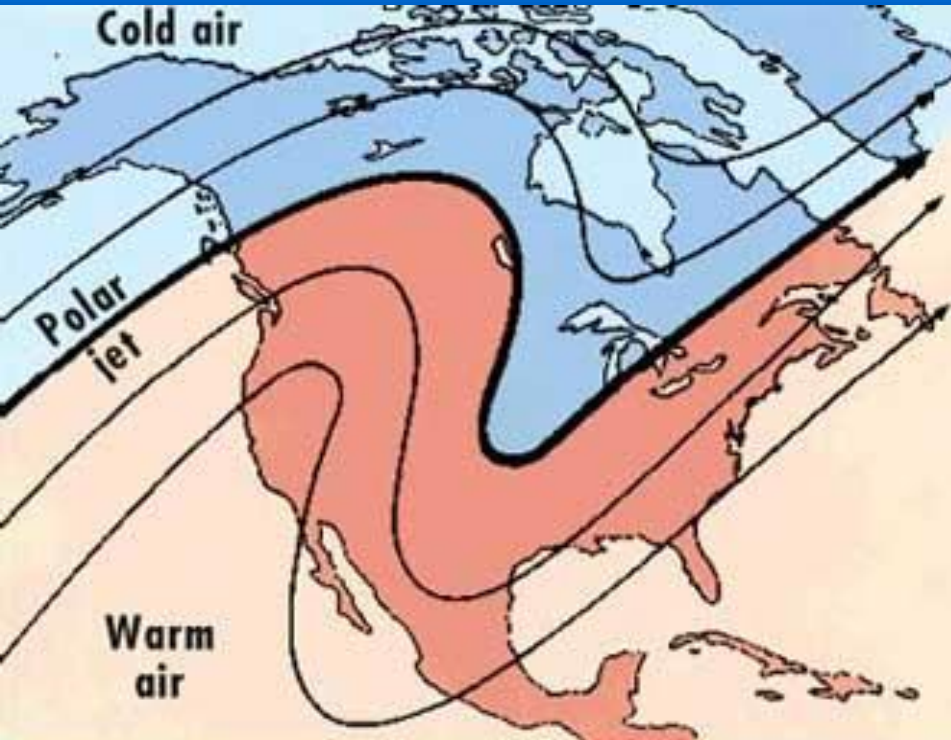






Egyesülő poláris és szubtrópusi jet, a 300 hPa nyomási szint szélmezejében

A poláris jet áramlása (a poláris front felett) nagy hullámokat (meandereket) ír le, s nyugatról keletre halad. Ezek a *Rossby* hullámok.



A Rossby hullámok kialakulása és felbomlása



# Rossby-hullámok

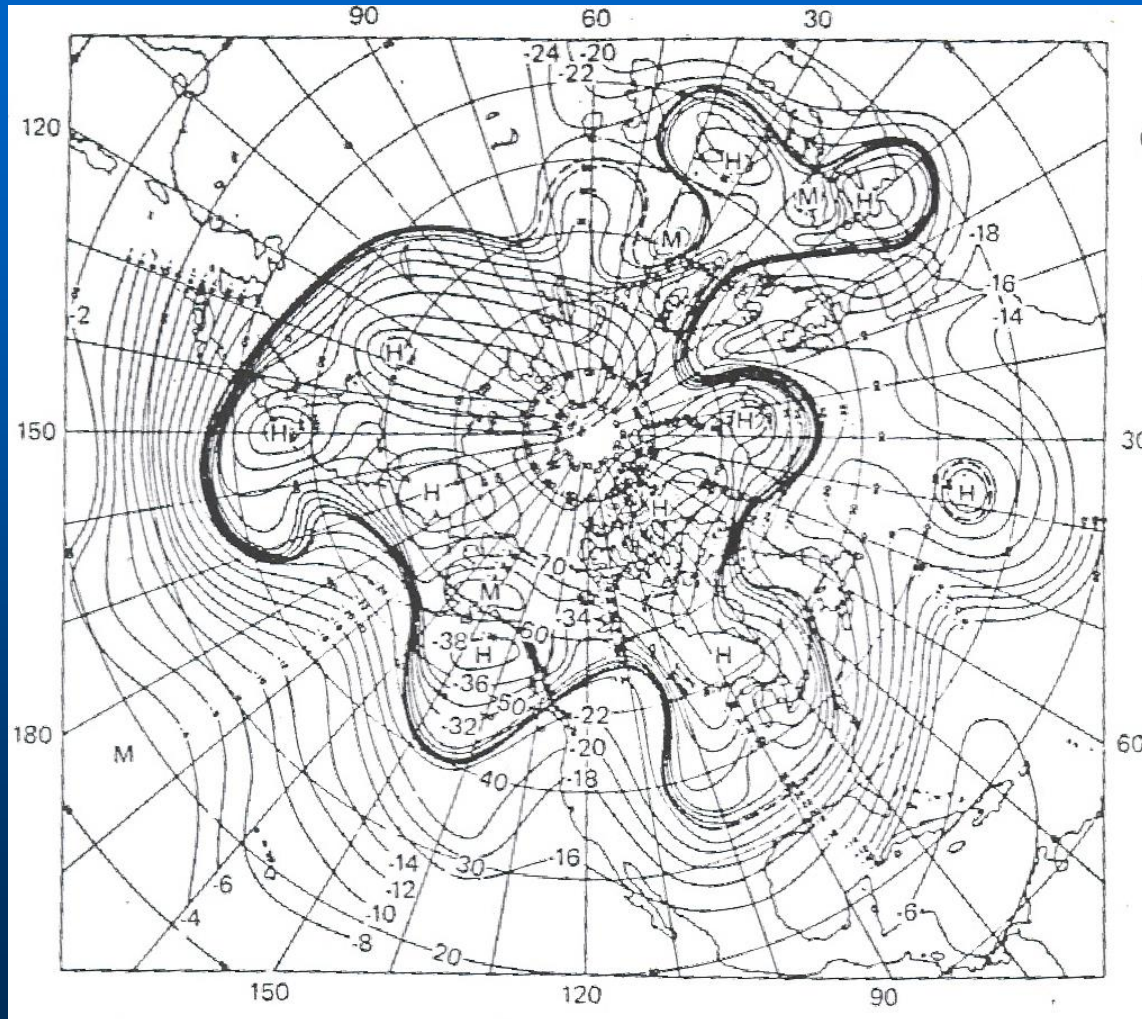
**Inerciális hullámok:** a Coriolis-erő hatására ( $\varphi$  szerinti változása miatt) vízszintes síkban kialakuló hullámmozgások.

**Jelentős amplitúdójúak,** az időjárás kialakulásában alapvető fontosságúak.

A **ciklonok és anticiklonok fejlődése és áthelyeződése** a Rossby-hullámok amplitúdójában és helyzetében bekövetkező változás.

Minden földrajzi szélességen azonos idő alatt tesznek meg egy kört  $\Rightarrow$  **fázisban maradnak.**

# A poláris frontálzóna elhelyezkedése



Az 500 hPa-os magassági szint hőmérsékleti eloszlása

# Forgókádas kísérlet



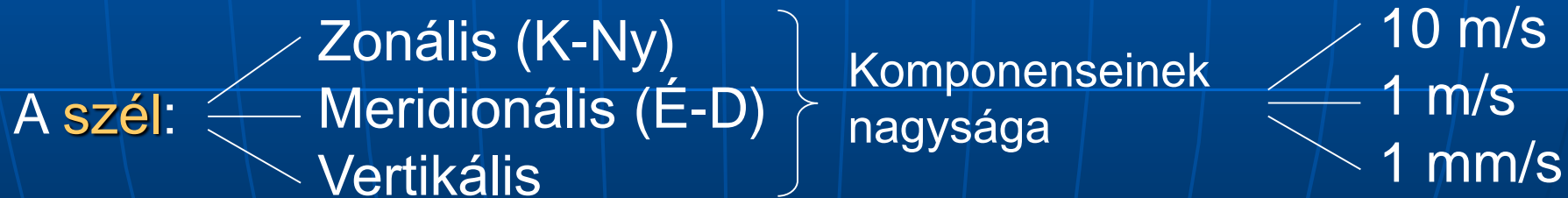
**TAPASZTALATI TÉNYEK AZ  
ÁLTALÁNOS CIRKULÁCIÓRÓL  
(MÉRÉSEK EREDMÉNYEI)**

# TAPASZTALATI TÉNYEK - MÉRÉSI REDMÉNYEK

A troposzféra és a magasabb légrétegek uralkodó szelei:

Adatok: rádiószondákkal és meteorológiai rakétákkal az alsó 100-200 km-ről (T, q, V)

Szabadlégekőri megfigyelések szerint:



Általános cirkuláció: ~ keleties/nyugatias szélövek földgömbi eloszlása, ezek évszakos változásai

# TAPASZTALATI TÉNYEK - MÉRÉSI REDMÉNYEK

## Megfigyelések:

### A) Troposzférában: 3 jellegzetes szélöv:

⇒ **Trópusi övben – Keleties szelek uralkodó jellege**

/A keleties szél függ a földrajzi szélességtől

- Egyenlítőnél 12 km-ig K-ies
- 20°-os  $\varphi$ -nél 5-6 km-ig K-ies
- 25-30°-os  $\varphi$ -nél 1-2 km-ig K-ies/

⇒ **Mérsékelt övben – Nyugatias szelek**

/Nyáron egészen a sarkokig Ny-ias

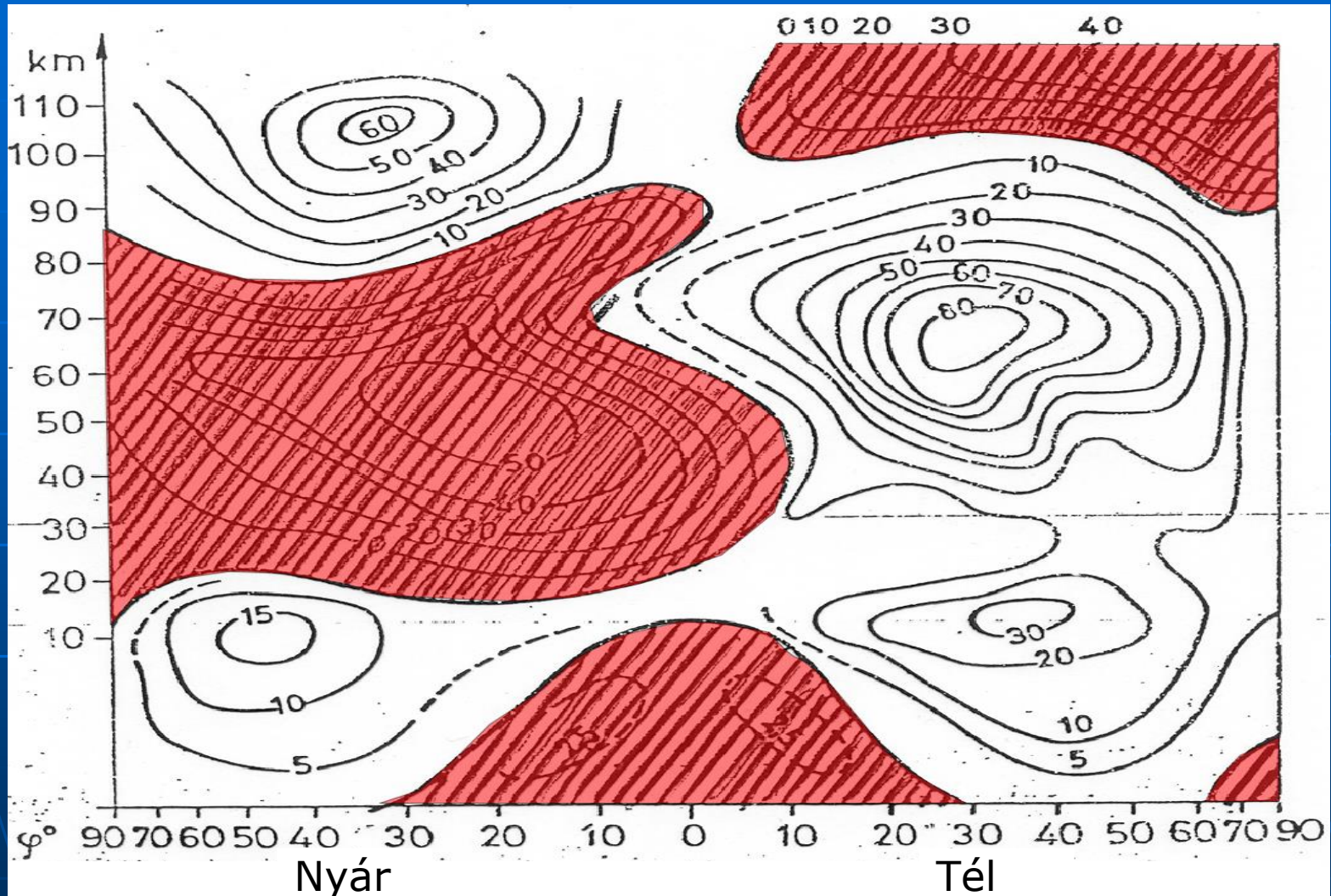
Télen a pólusok területén ismét K-ies szelek (1-2 km)/

A magasban a Ny-ias áramlás kiterjed É-D irányokba.

A felső rétegekben az egész Földön uralkodóvá válik a Ny-ias szélirány



# TAPASZTALATI TÉNYEK - MÉRÉSI REDMÉNYEK



Az eredő szél zonális összetevői (m/s)

 Keleties  
áramlás

 Nyugatis  
áramlás

# TAPASZTALATI TÉNYEK - MÉRÉSI REDMÉNYEK

⇒ **Tropopauza:** kb. 8-12 km magasságban ( $\varphi = 30-40^\circ$ -on)

**Futóáramlások** (jet stream): az egész Földet körülfolymja, helyzete évszakonként változik:

- Nyár:  $\varphi = 40-42^\circ$
- Tél:  $\varphi = 30-34^\circ$

## B) Sztratoszféra:

Szélirányok évszakos átváltódása:

- Nyári félgömbön – Keleties szelek
- Téli félgömbön – Nyugatias szelek

**12 km-re feljuttatott ballon által megtett út 33 nap alatt  
(a felső légrétegekben NY-ias áramlás)**

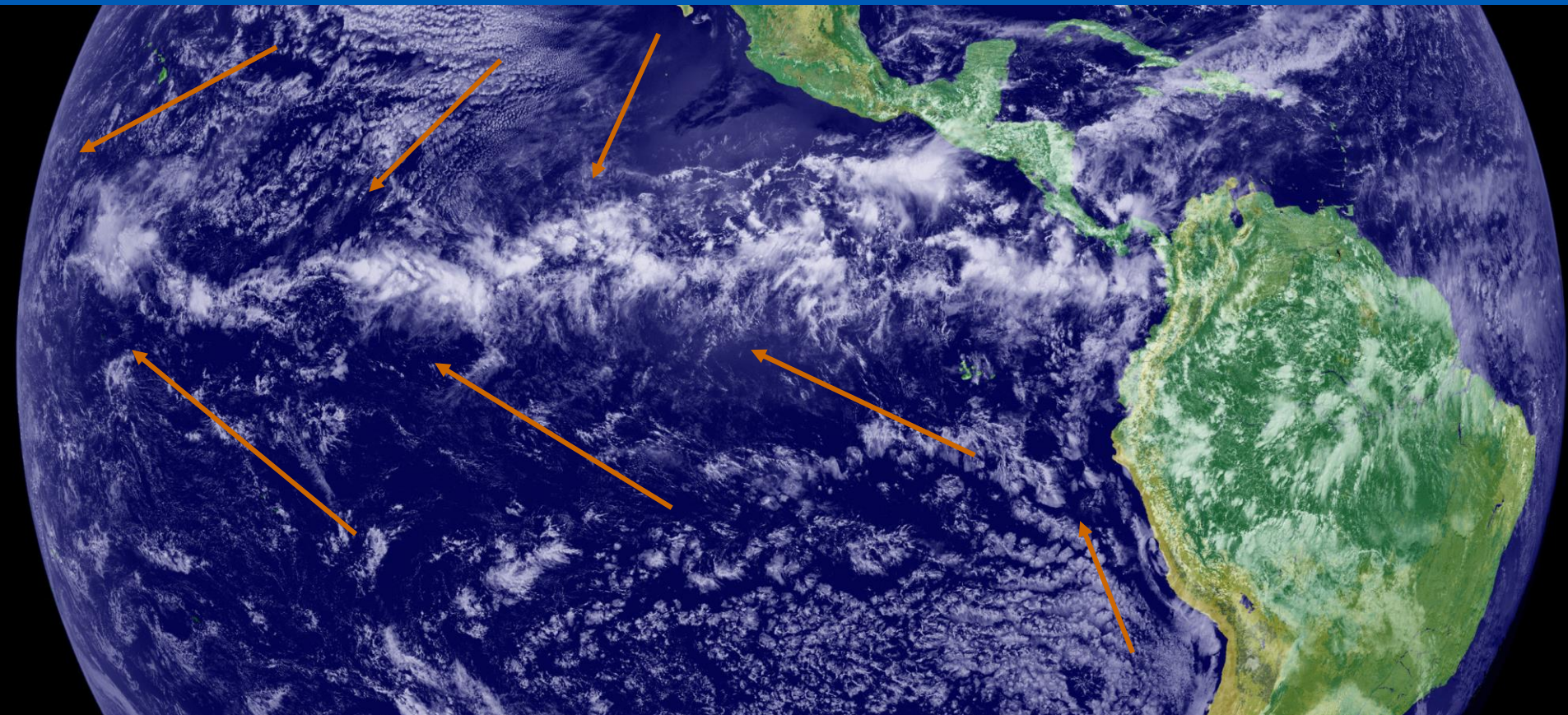


**AZ ITCZ**  
**(TRÓPUSI ÖSSZEÁRAMLÁSI VONAL)**

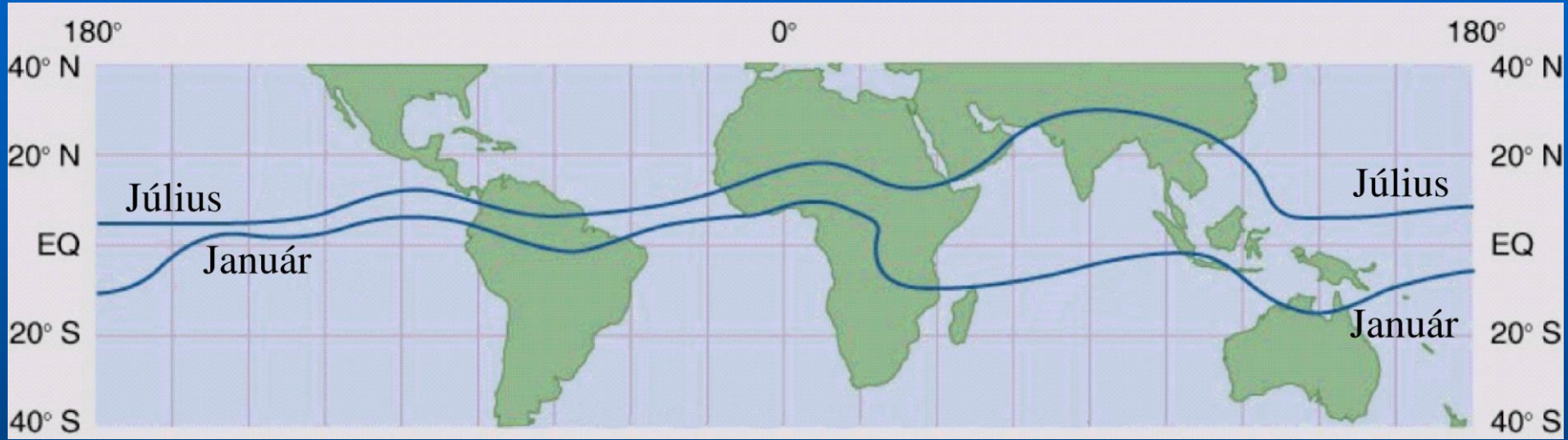
/A legalacsonyabb nyomású pontokat  
összekötő vonal/

# Konvergencia, avagy összeáramlás

A trópusi összeáramlási zónán belül (ITCZ), ahol az északi és a déli féltekéről származó levegő összeáramlik.



# Az ITCZ és a Hadley-cella évszakos mozgása

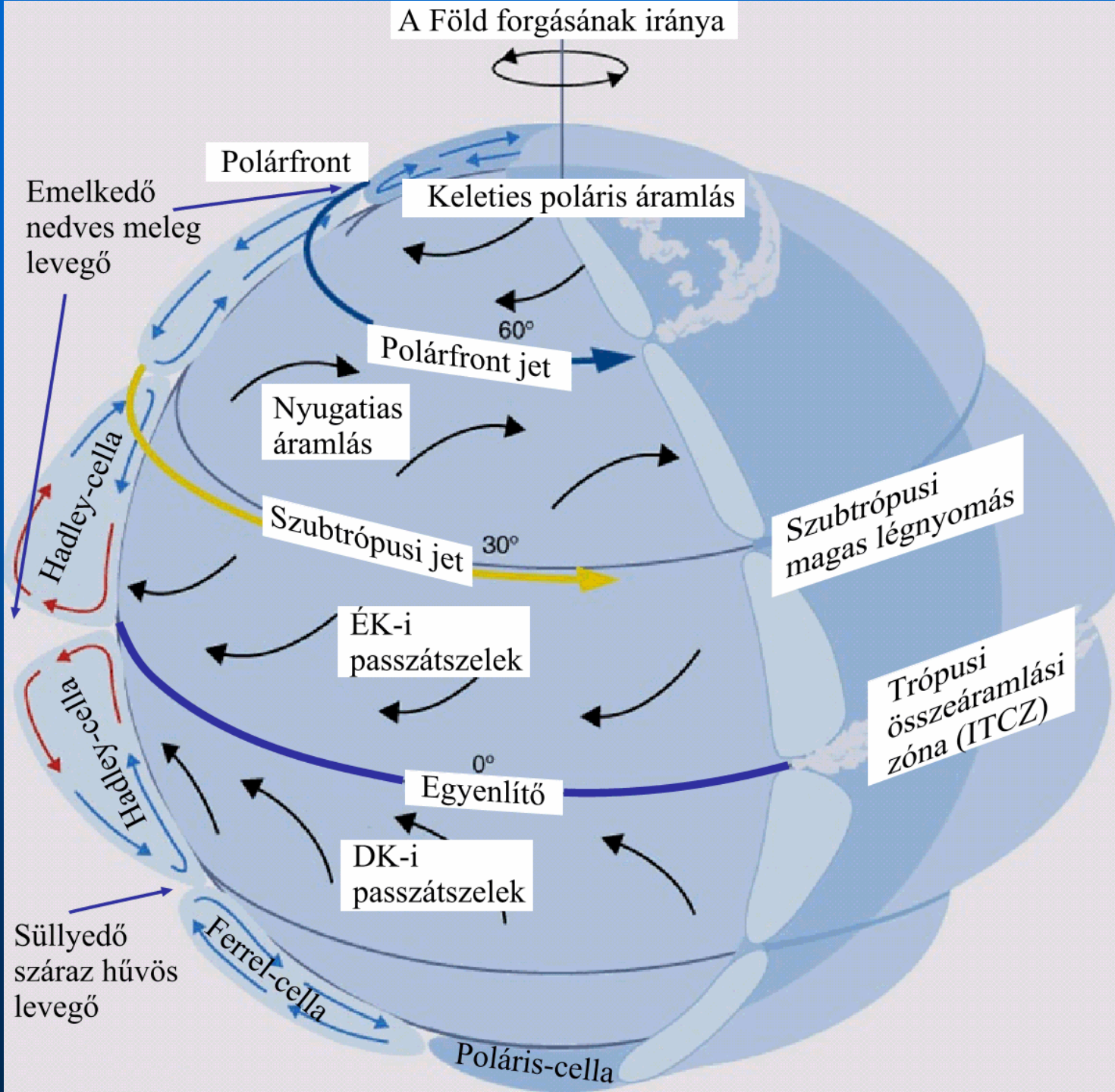


Ez irányítja a trópusi csapadékszrendszereket.

A felszíni konvergencia

az ITCZ mentén a trópusokon és a polárfrontnál:

a levegő felemelkedik, a légnyomás lecsökken.



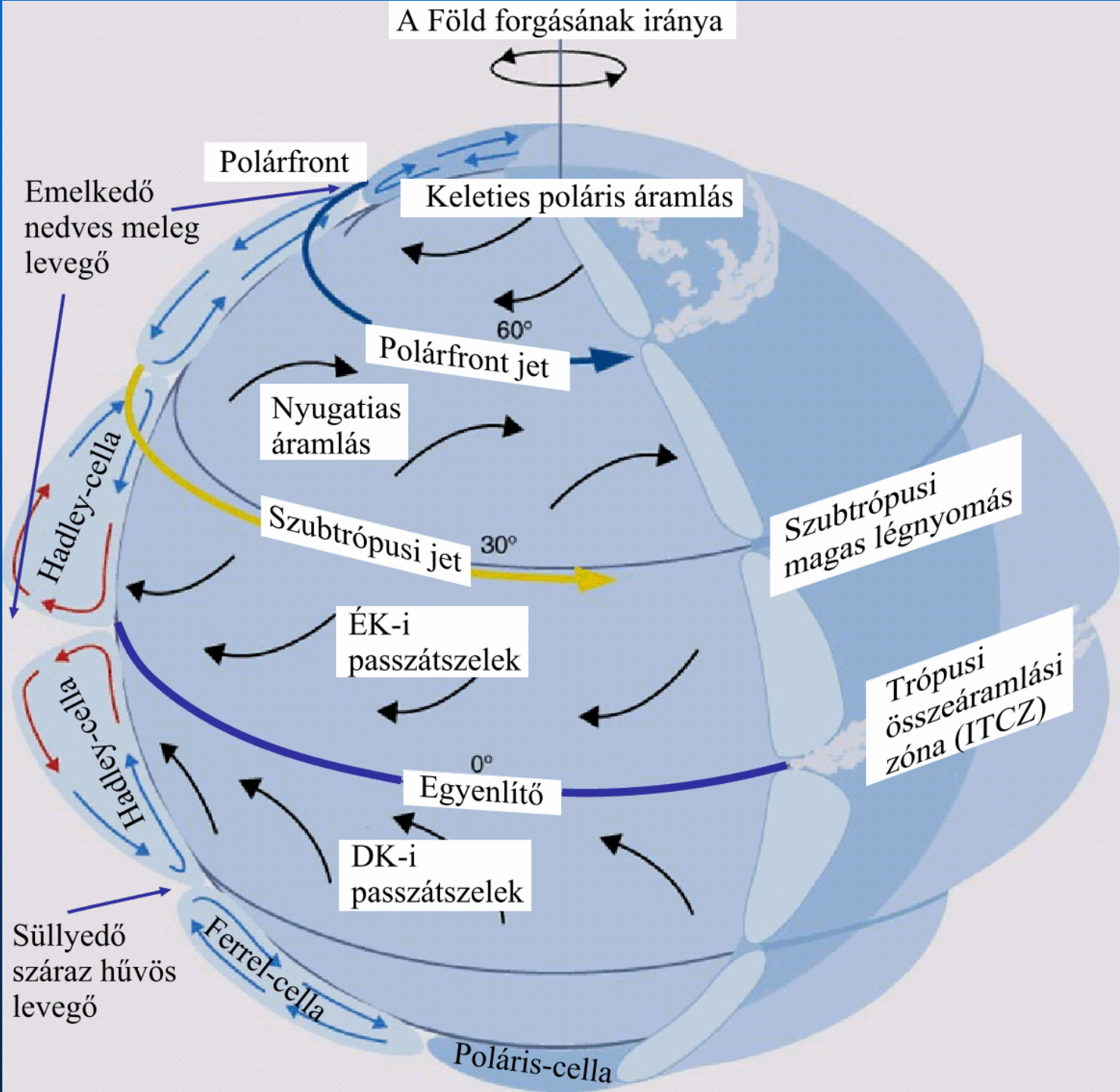




## A felszíni divergencia

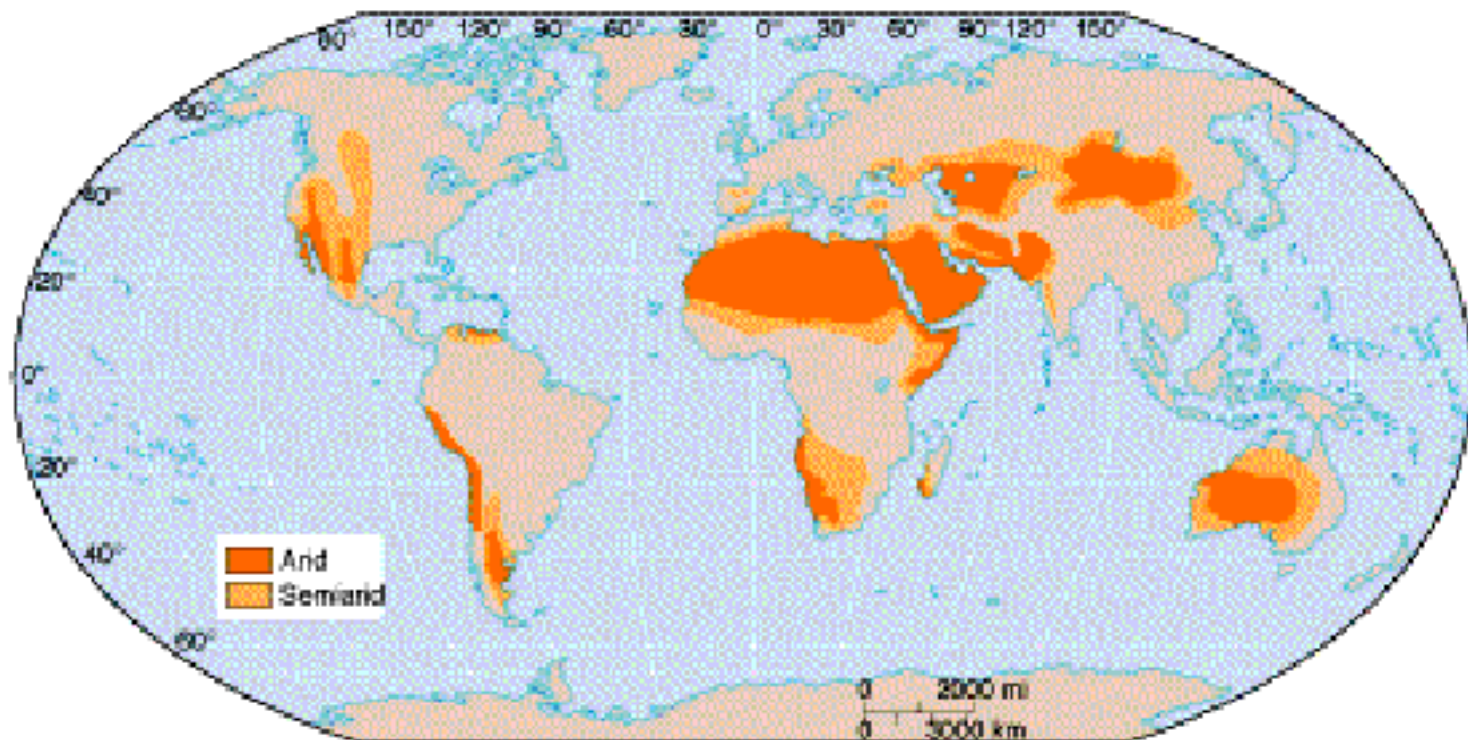
~ 30° mentén és a sarkoknál:

a magasban lévő konvergencia miatt a levegő a felszínen itt süllyed, a légnyomás emelkedik.

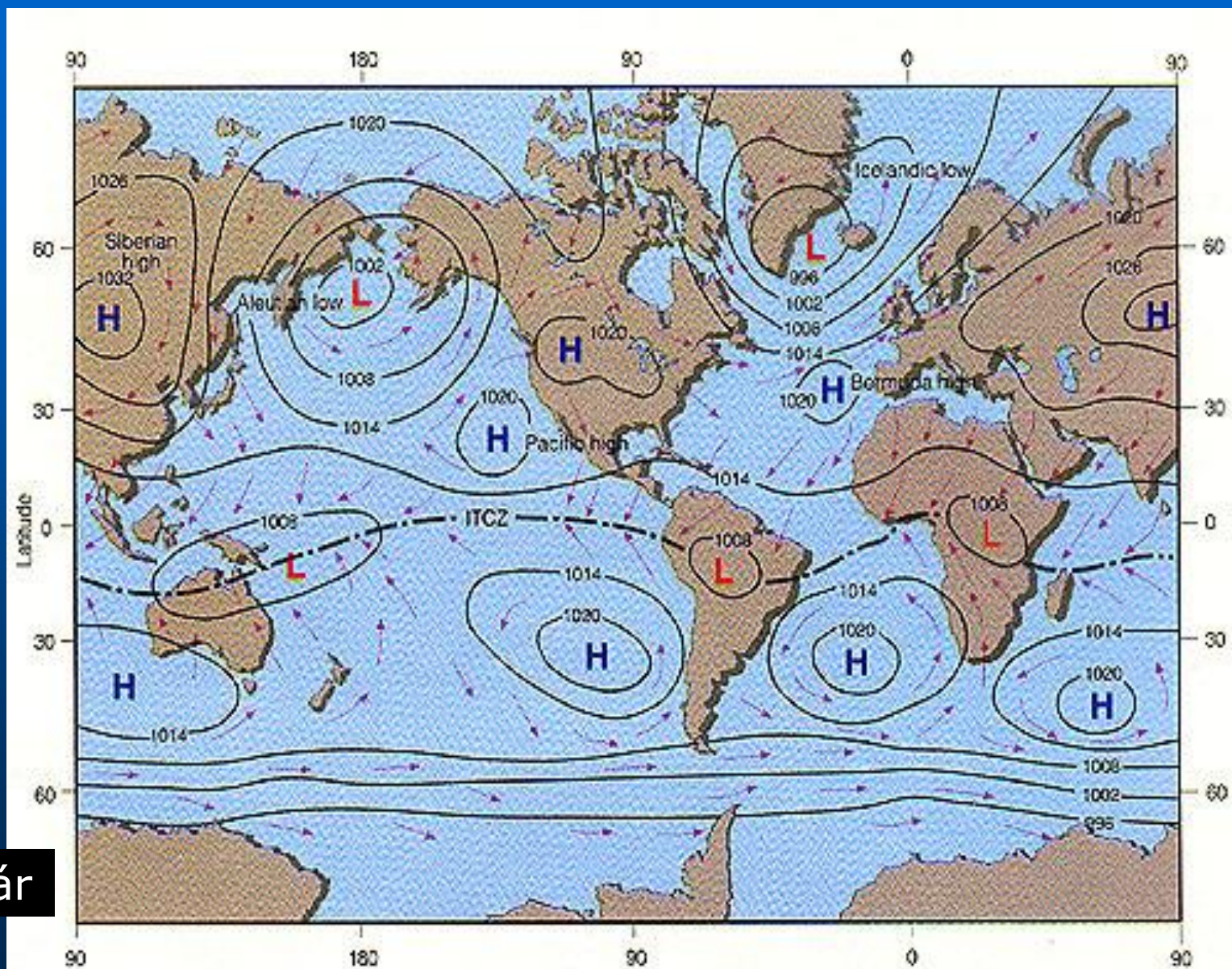


# A süllyedő levegő hatására létrejövő felhőtlen és alacsony csapadékú területek

## Arid Regions

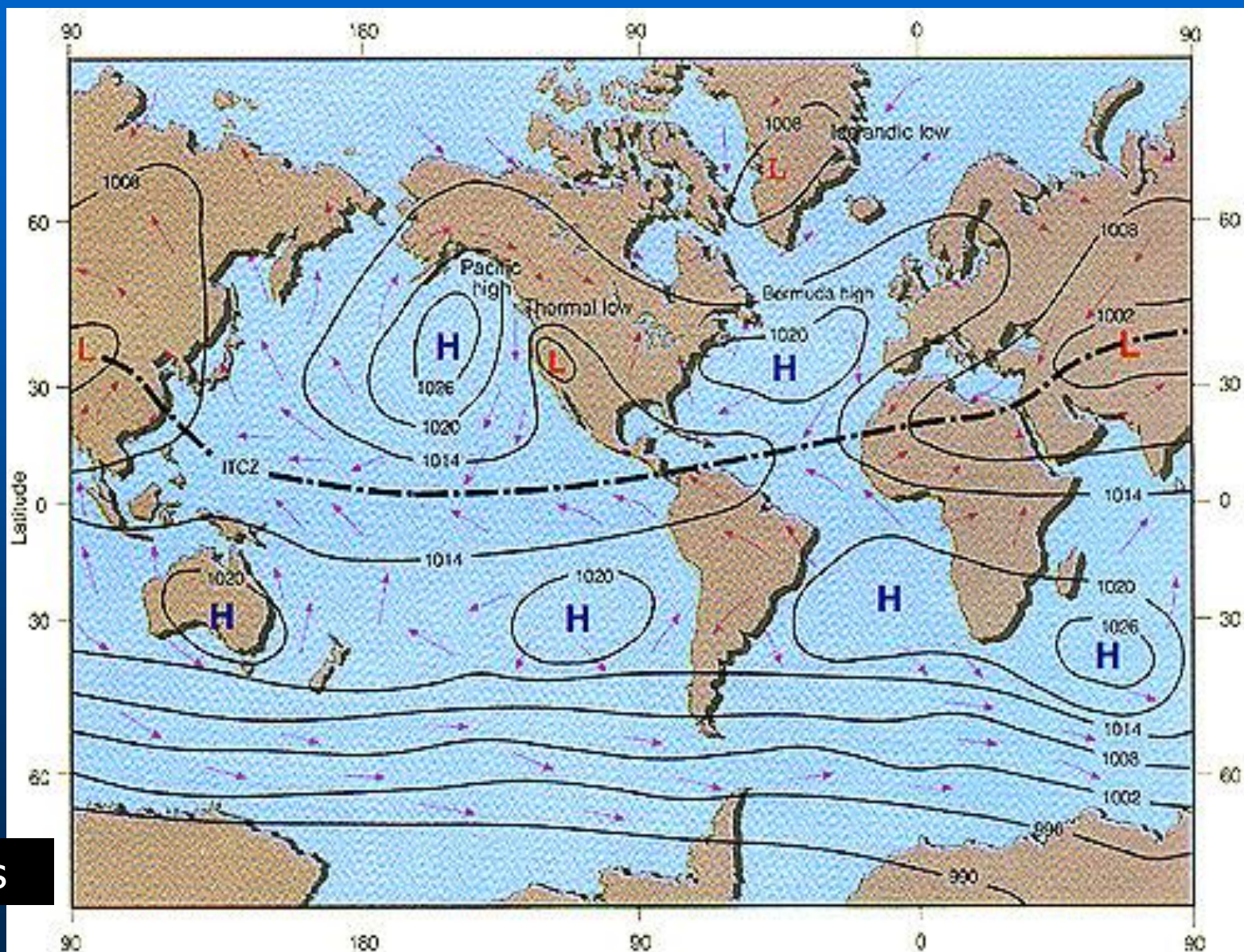


# Globális általános légkörzés - megfigyelések



Január

# Globális általános légkörzés - megfigyelések



Július

# Megfigyelések alapján:

Az ITCZ és a főbb szélövek januárban Délre, júliusban Észak felé mozognak.

## Óceán:

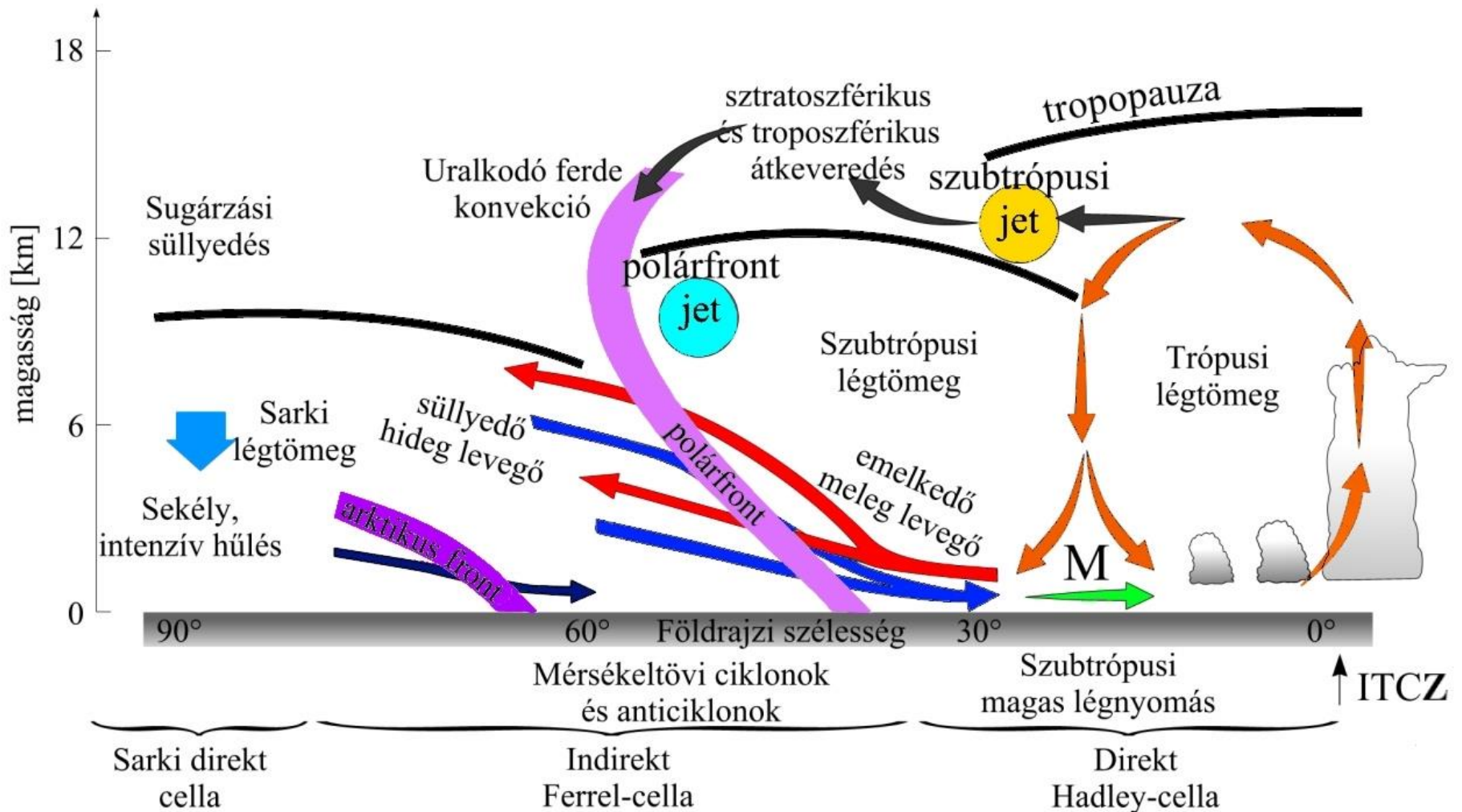
- A szubtrópusi magas nyomású területek nyáron erősebbek [*Pacifikus*, *Bermuda*]
- A közepes szélességek alacsony nyomású területei télen erősebbek [*Aleuti*, *Izlandi*]

## Szárazföld

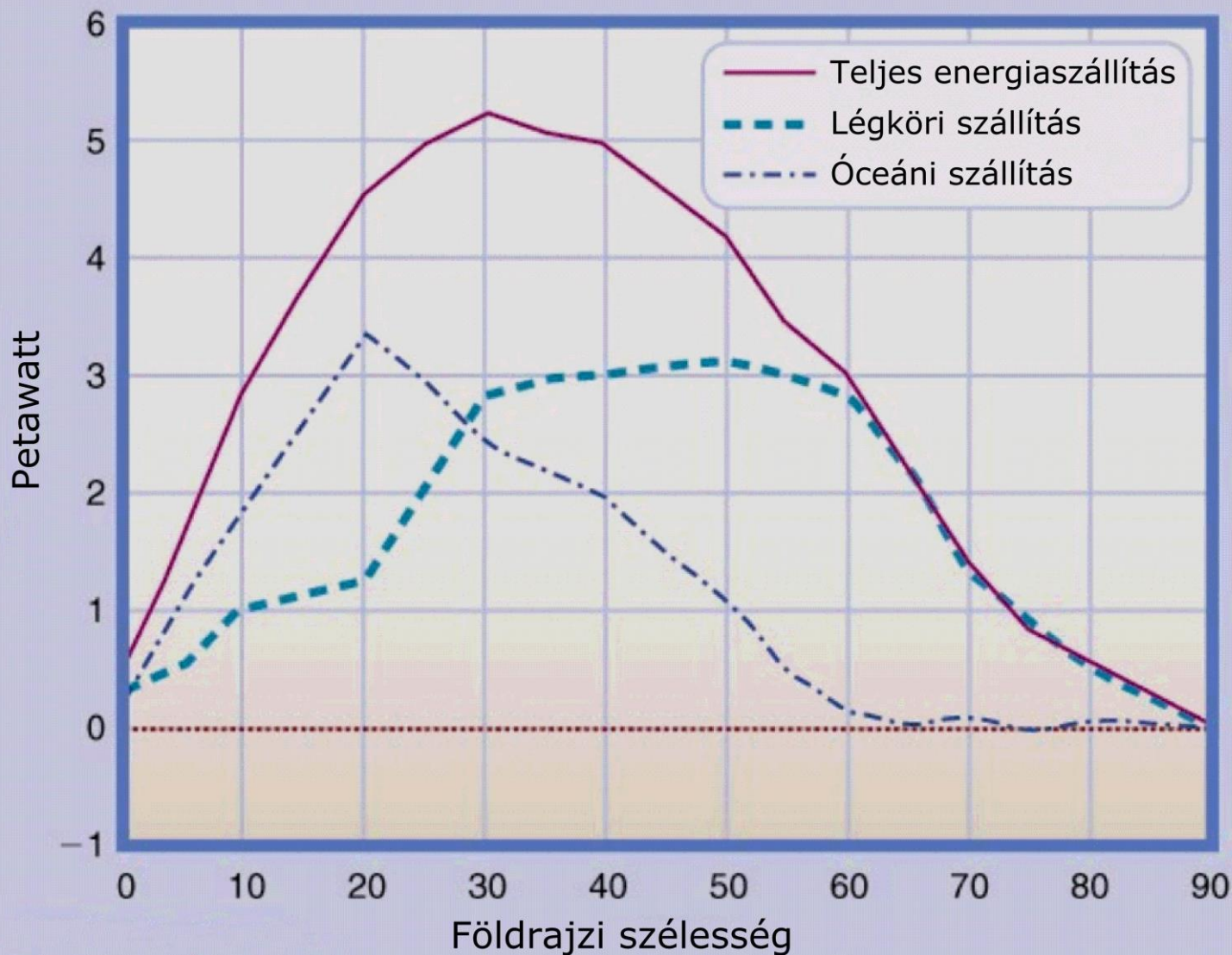
- A szubtrópusi magas nyomású területek télen [*Sonora*, *Pakisztán*]
- A közepes szélességek alacsony nyomású területei nyáron [*Szibériai*]

# **A MÉRSÉKELT ÖV LÉGKÖRI CIRKULÁCIÓJA**

# Mérsékelt övi cirkuláció



Ezek a frontok, mérsékeltövi ciklonok szállítják a sarkok irányába az energiát. Erre a kiegyenlítésre a földrajzi szélességekre érkező egyenlőtlen besugárzás miatt van szükség.



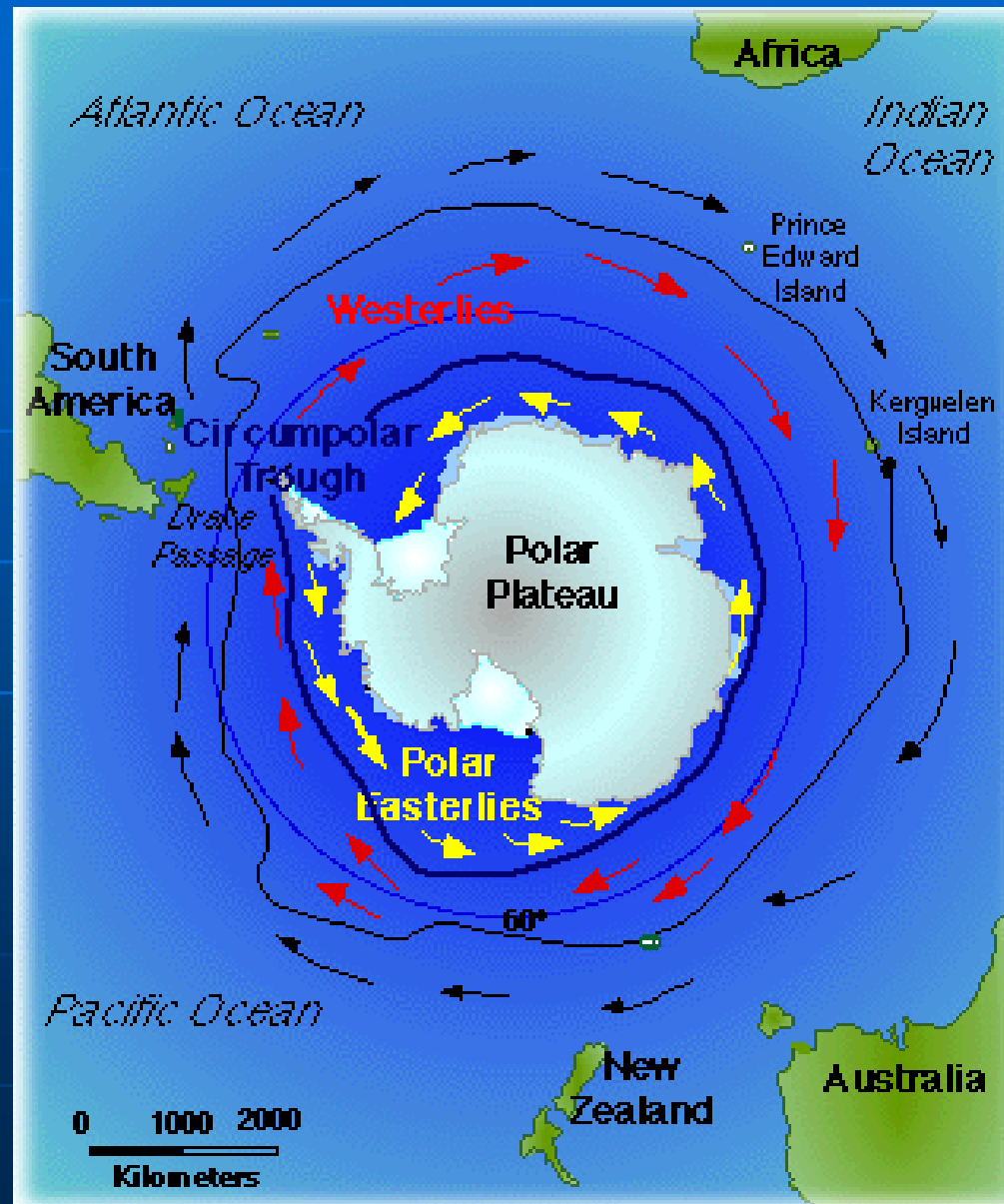


# Poláris cirkuláció

A sarkok közelében, a poláris cellán belül nagyon hideg keleties szelek fújnak a felszínen (cirkumpoláris szelek).

A front túlsó oldalán, az alacsonyabb szélességeken melegebb nyugatias szeleket találunk.

A Polár Front két oldala között nagy a hőmérséklet különbség (hőmérsékleti gradiens).



# **AZ ÓCEÁNOK CIRKULÁCIÓJA**

- Az Egyenlítő és a Pólus közötti összes energia-cserének 40 %-át képviselik.

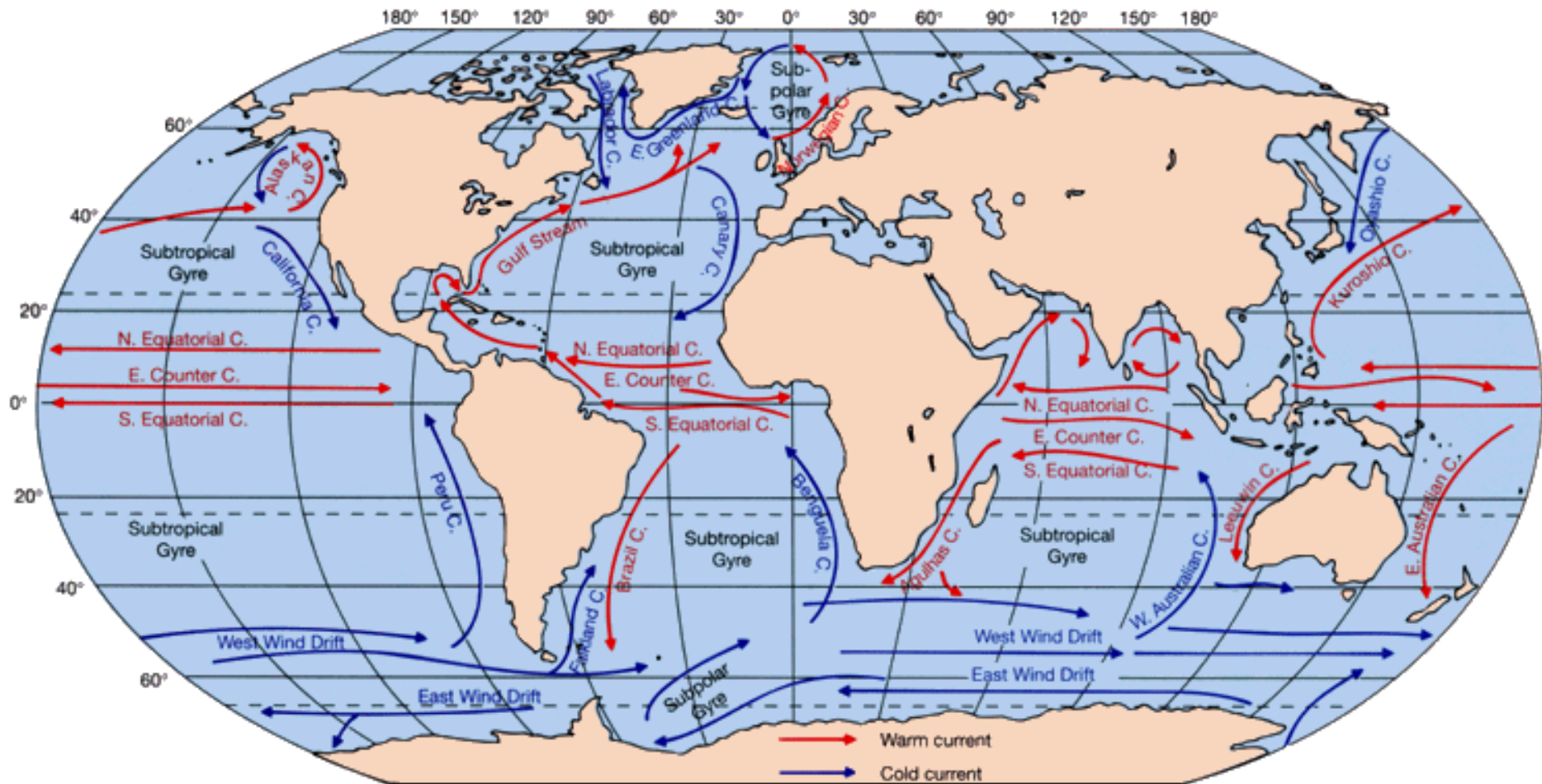
- Átlaghőmérséklete 5,7 °C, Troposzféráé -17°C

⇒ NAGY HŐENERGIA VAN ELRAKTÁROZVA!

- **Cirkulációját meghatározza:**

- a sugárzás egyenlőtlen eloszlása (+ Coriolis-erő)
- a légkör cirkulációja
- a kontinensek elhelyezkedése
- a sókoncentrációk különbségei (sűrűségkülönbséget eredményez)
- az albedója
- **Átlagos sókoncentráció** a felszínen: 34,84 ‰  
Ez a térítőknél max. a csapadék és a párolgás arányának köszönhetően.
- Egy átlagos tengerfelszíni áramlás 19 m/s,  
vízhozamuk:  $10^8$ - $10^9$  m<sup>3</sup>/s

# Szél által hajtott felszíni áramlatok Februárban és Márciusban

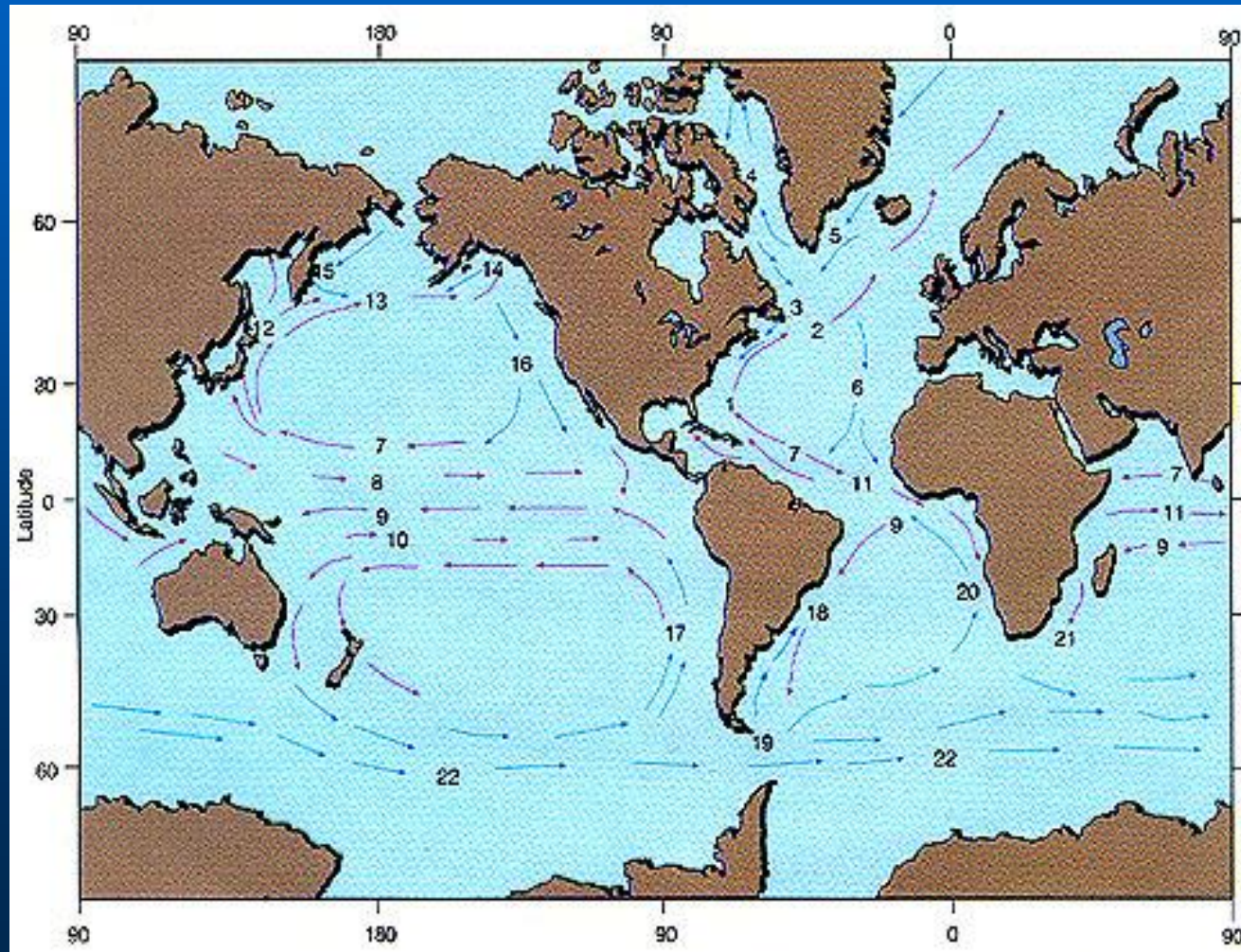


# Globális szélrendszerek és óceánfelszíni áramlások

*Az óceáni áramlatok tükrözik a globális szélmintát,  
Nagyon lassúak a jóval nagyobb súrlódás miatt.*

## Néhány fontosabb áramlás:

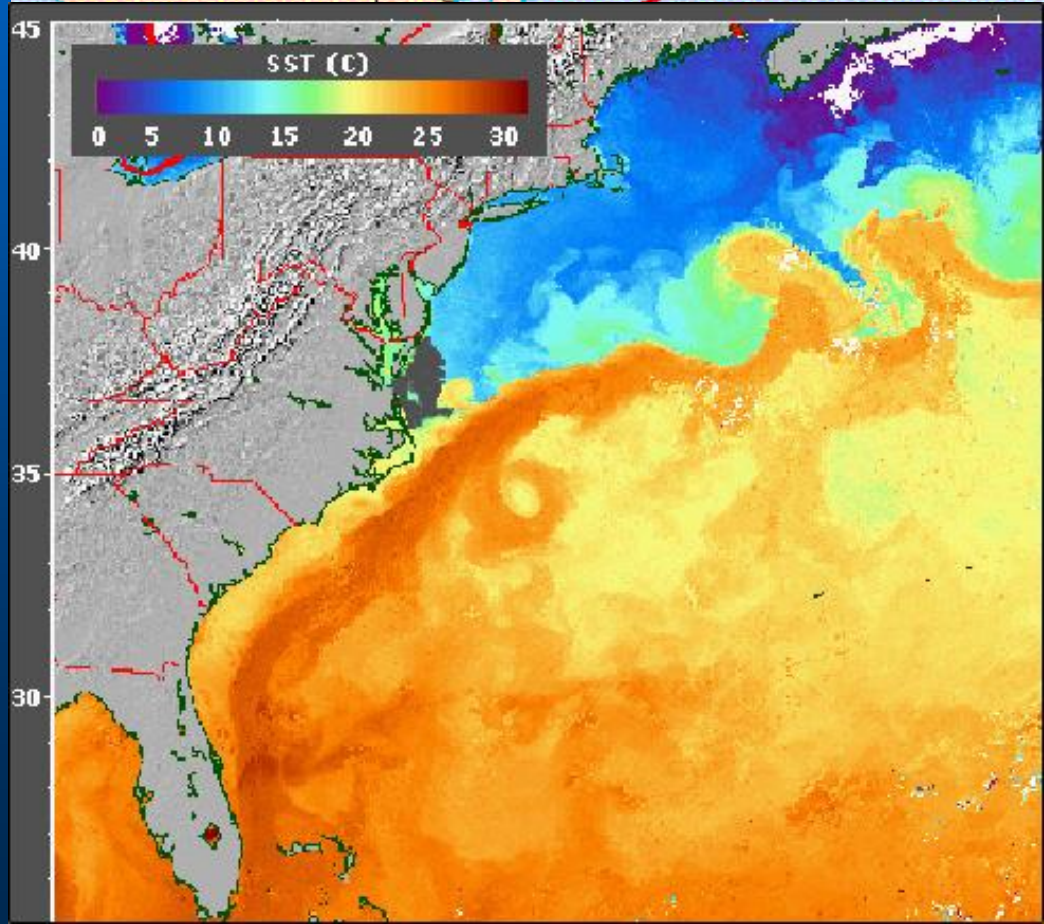
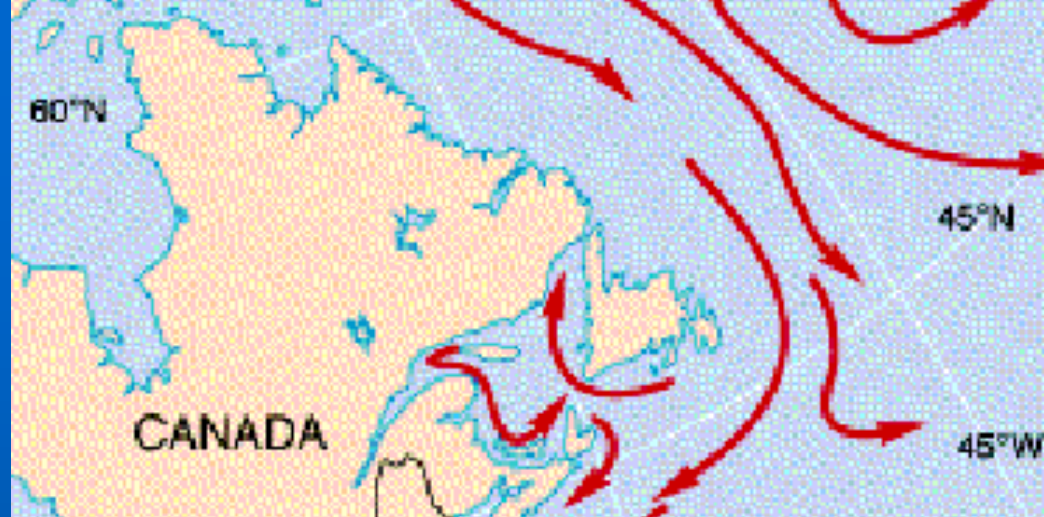
1. Golf Áramlás
2. É. atlanti
3. Labrador
16. Kaliforniai
17. Humbolt
22. Nyugati Szél



## A Golf áramlás és az Észak-atlanti áramlás

A Golf áramlás által észak-nyugatra, Európa felé szállított meleg vizek felmelegítik a felettük lévő légtömegeket.

E melegedés következtében Európa egy sokkal enyhébb klímát élvezhet, mint ezen a földrajzi szélességen különben lenne.



# Köszönöm a figyelmet!

