



Felhőképződés dinamikai háttere

Felhő- és csapadékképződési folyamatok

3 alaptípus, 5 módozat

I. Felhajtóerő hatására történő felemelkedés
[buborék jellegű emelkedés]

II. Kényszerített felemelkedés [légréteg, vagy
légtömeg felemelkedése]

II/1. Orografikus

II/2. Front hatására

II/3. Alacsony szintű konvergencia (súrlódás)

II/4. Magas szintű divergencia (jet stream)

III. Gyakran a felhőképződés több, egymással
párhuzamosan zajló folyamat eredményeként
keletkezik

Felhő- és csapadékképződési folyamatok (3 alaptípus, 5 módozat)

**I. Felhajtóerő hatására történő felemelkedés
[buborék jellegű emelkedés]**

**II. Kényszerített felemelkedés [légréteg, vagy
légtömeg felemelkedése]**

II/1. Orografikus

II/2. Front hatására

II/3. Alacsony szintű konvergencia

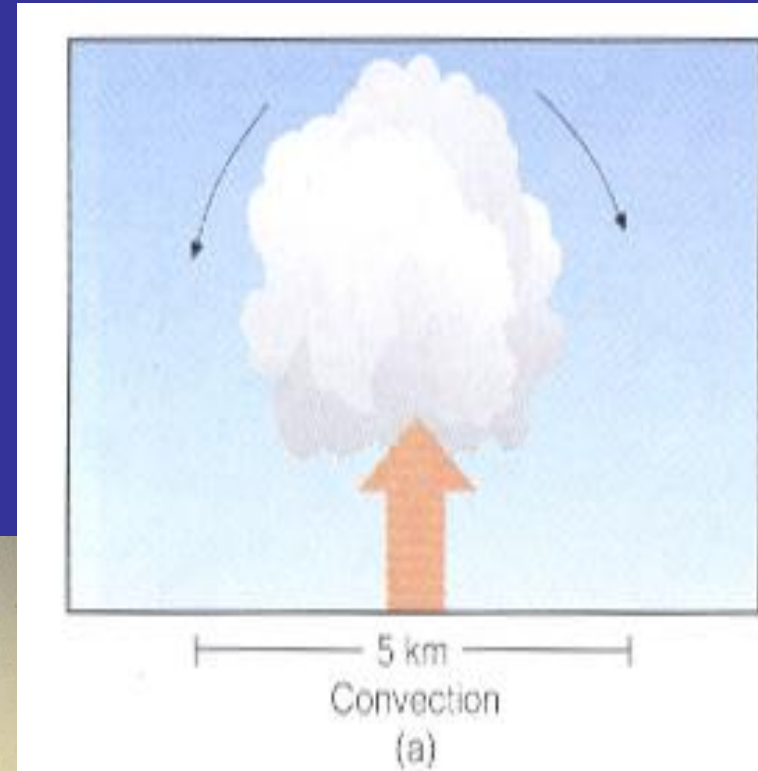
II/4. Magas szintű divergencia (jet stream)

**III. Gyakran a felhőképződés több, egymással
párhuzamosan zajló folyamat eredményeként
keletkezik**

1. Felhajtóerő hatására történő felemelkedés [buborék emelkedés]

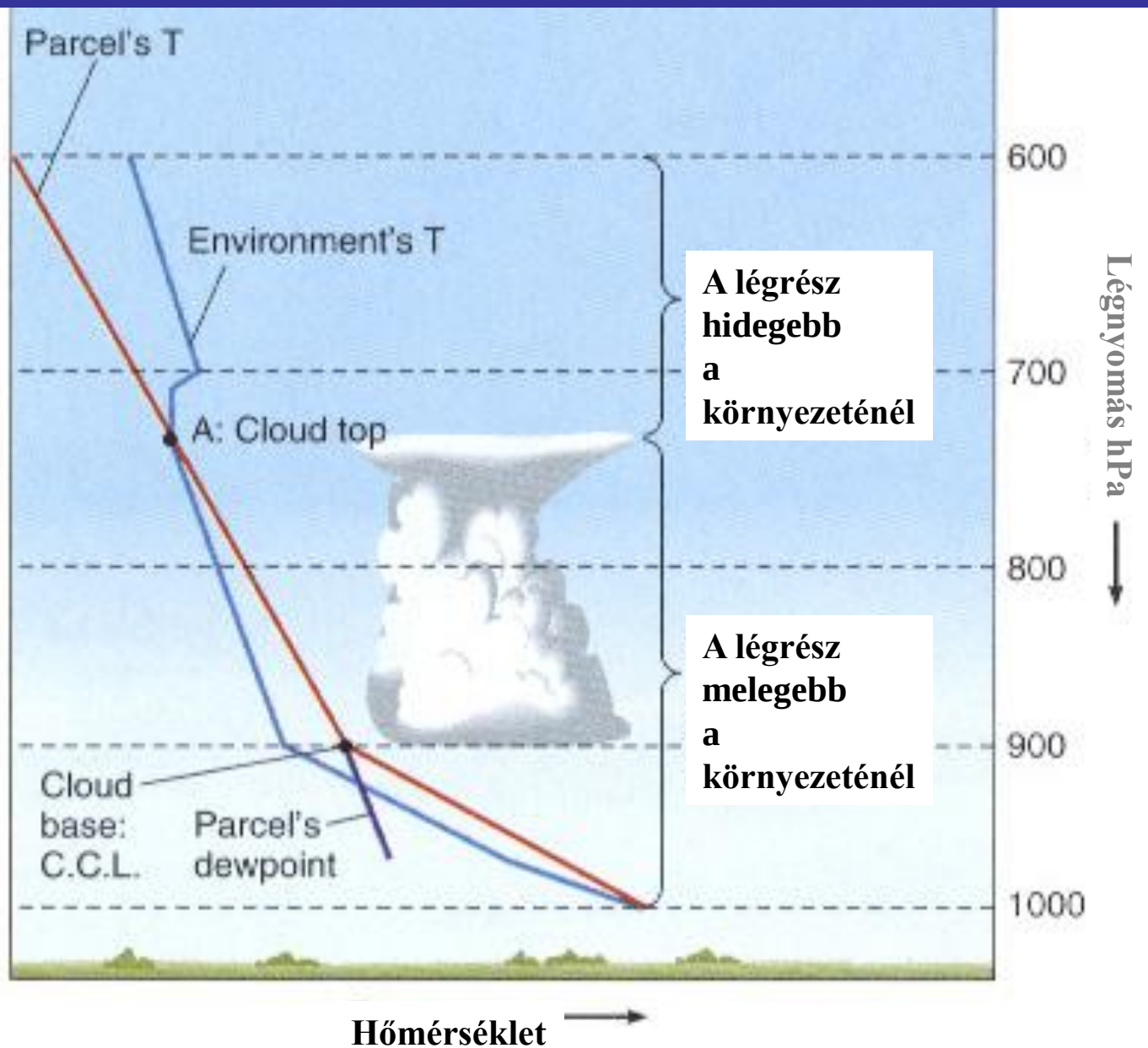


1. Felhajtóerő hatására történő felemelkedés

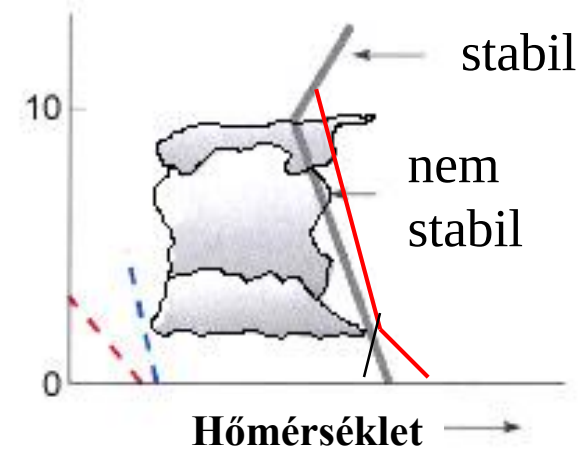
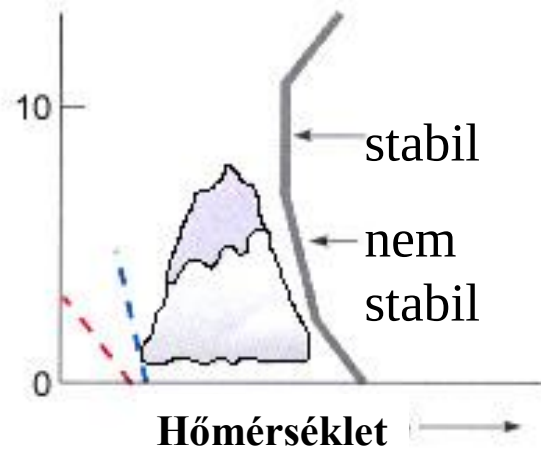


Cumulus
felhők ...

A cumulus felhők növekedése



A cumulus felhők növekedése



Cumulus humilis



Cumulus congestus



Cumulonimbus



**A hegyvonulatok felemelő hatása általában
a légtömegek destabilizációjához vezet,
...ezért ez a leggyakoribb keletkezési helye a
Cumulus (Cu) felhőknek**



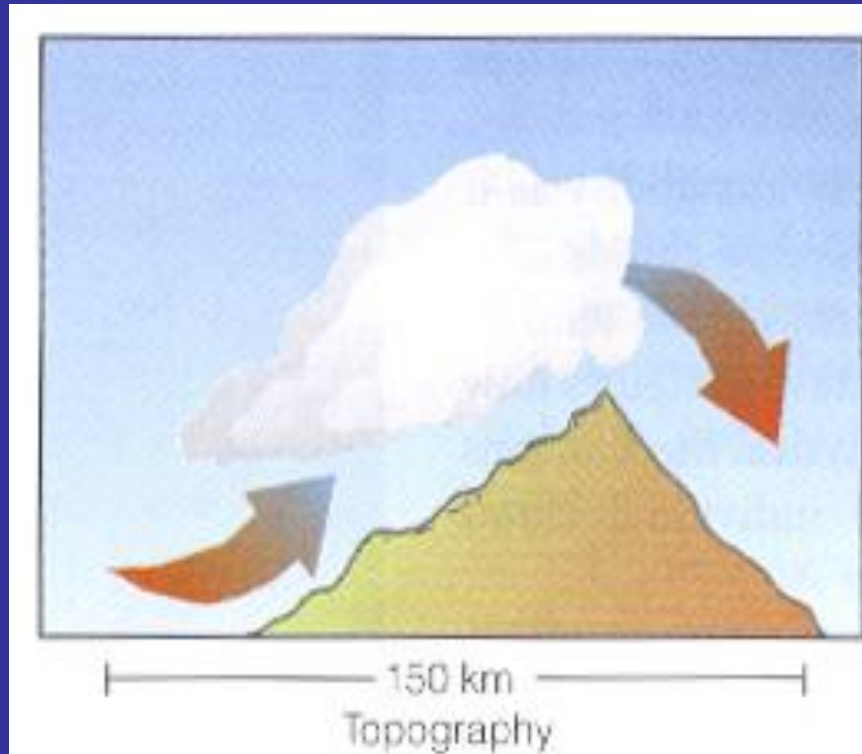
Felhő- és csapadékképződési folyamatok

- I. Felhajtóerő hatására történő felemelkedés
[buborék emelkedés]
- II. Kényszerített felemelkedés [légréteg, vagy légtömeg felemelkedése]
 - Orografikus
 - Front hatására
 - Alacsony szintű konvergencia
 - Magas szintű divergencia (jet stream)
- III. Gyakran a felhőképződés több, egymással párhuzamosan zajló folyamat eredményeként keletkezik

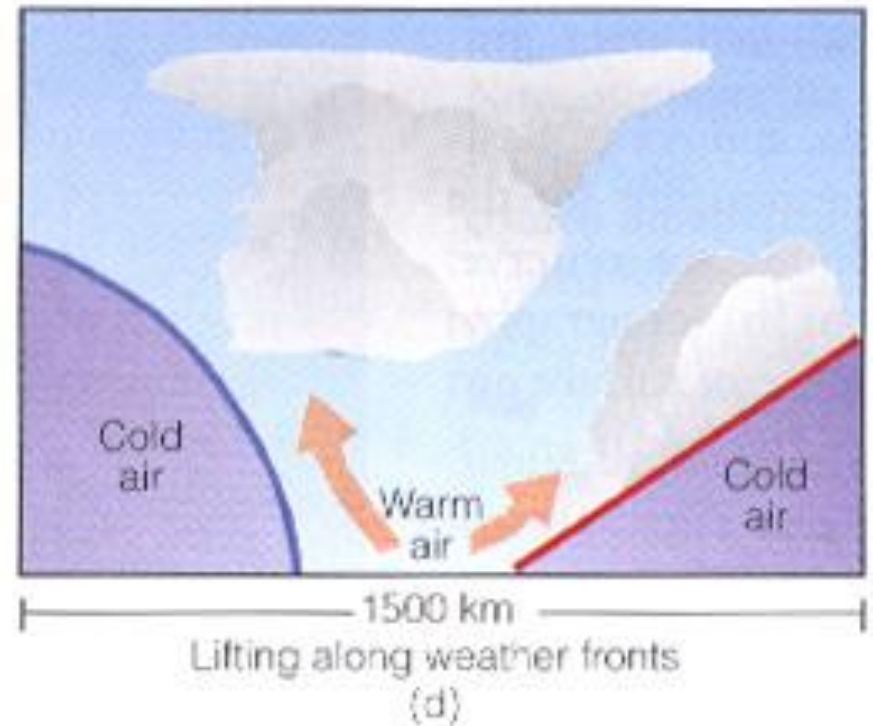
A többi négy *kényszerített* felemelkedési folyamat ...

(a) hegy felett

(b) front által



Méret: 150 km

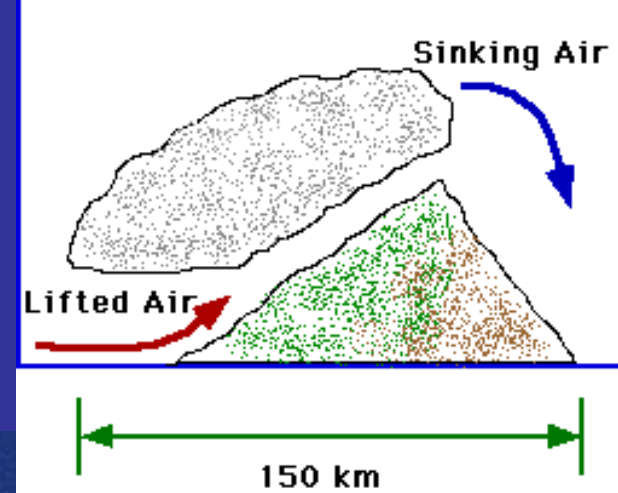


Méret: 1500 km

(a) Orografikus felhők

Orografikus felemelkedés

Alto cumulus lenticularis, Grönland



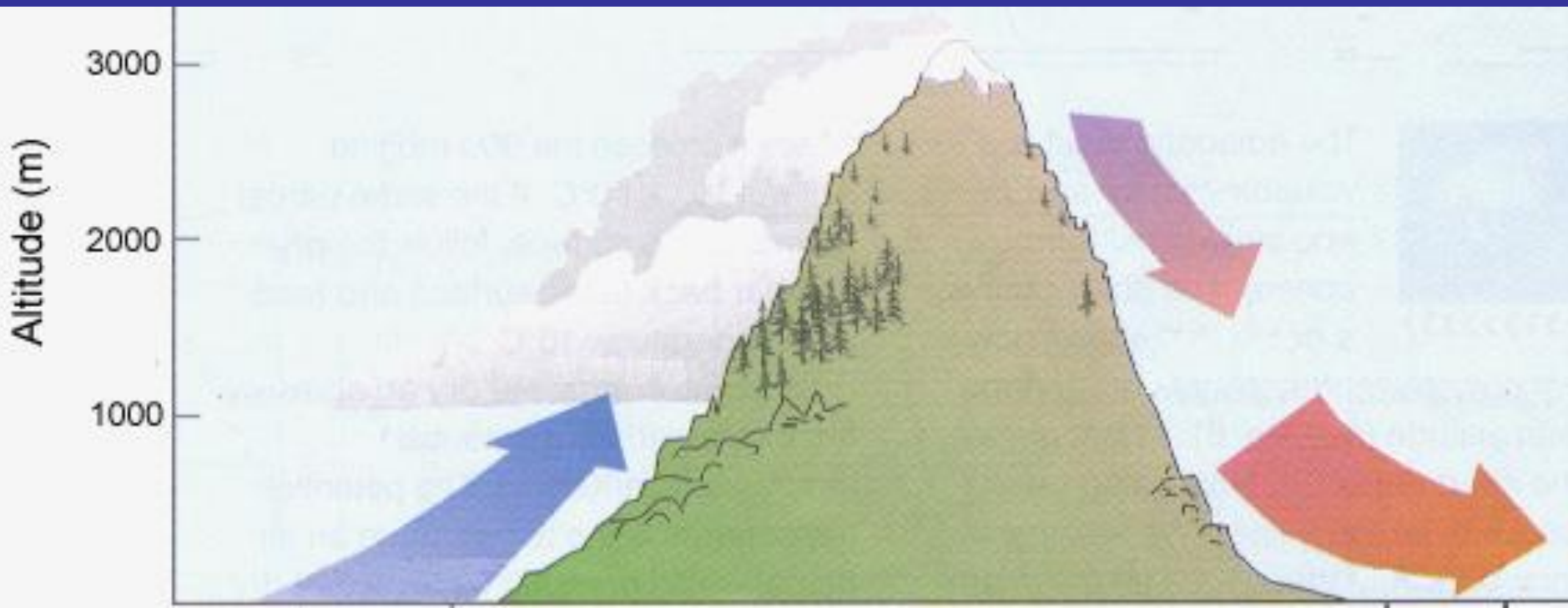
**Ha egy orografikus akadály miatt a légtömeg
felemelkedésre kényszerül, milyen időjárás várható
a hegy túloldalán?**

A: napos, hűvös

B: napos, meleg, száraz és szeles

C: napos, hűvös, párás és szélcsendes

D: hűvös, felhős, párás és szeles.



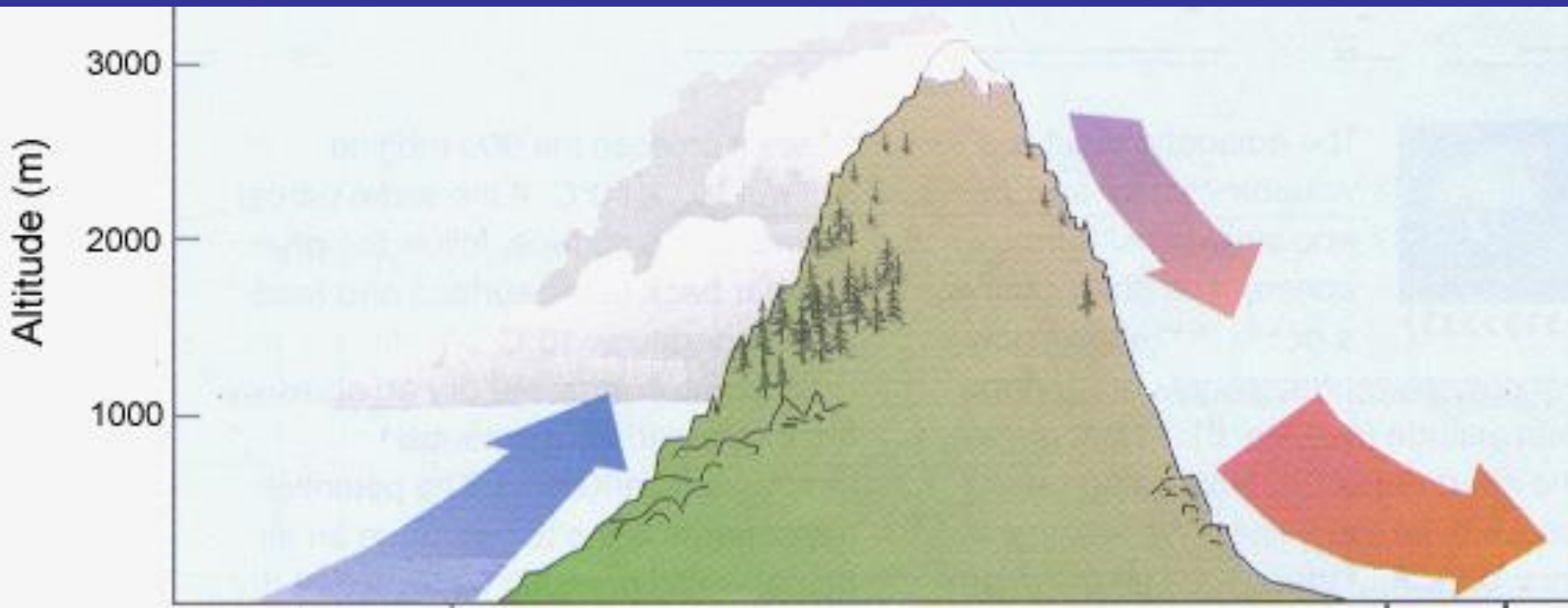
**Ha egy orografikus akadály miatt a légtömeg
felemelkedésre kényszerül, milyen időjárás várható
a hegy túloldalán?**

A: napos, hűvös

B: napos, meleg, száraz és szeles

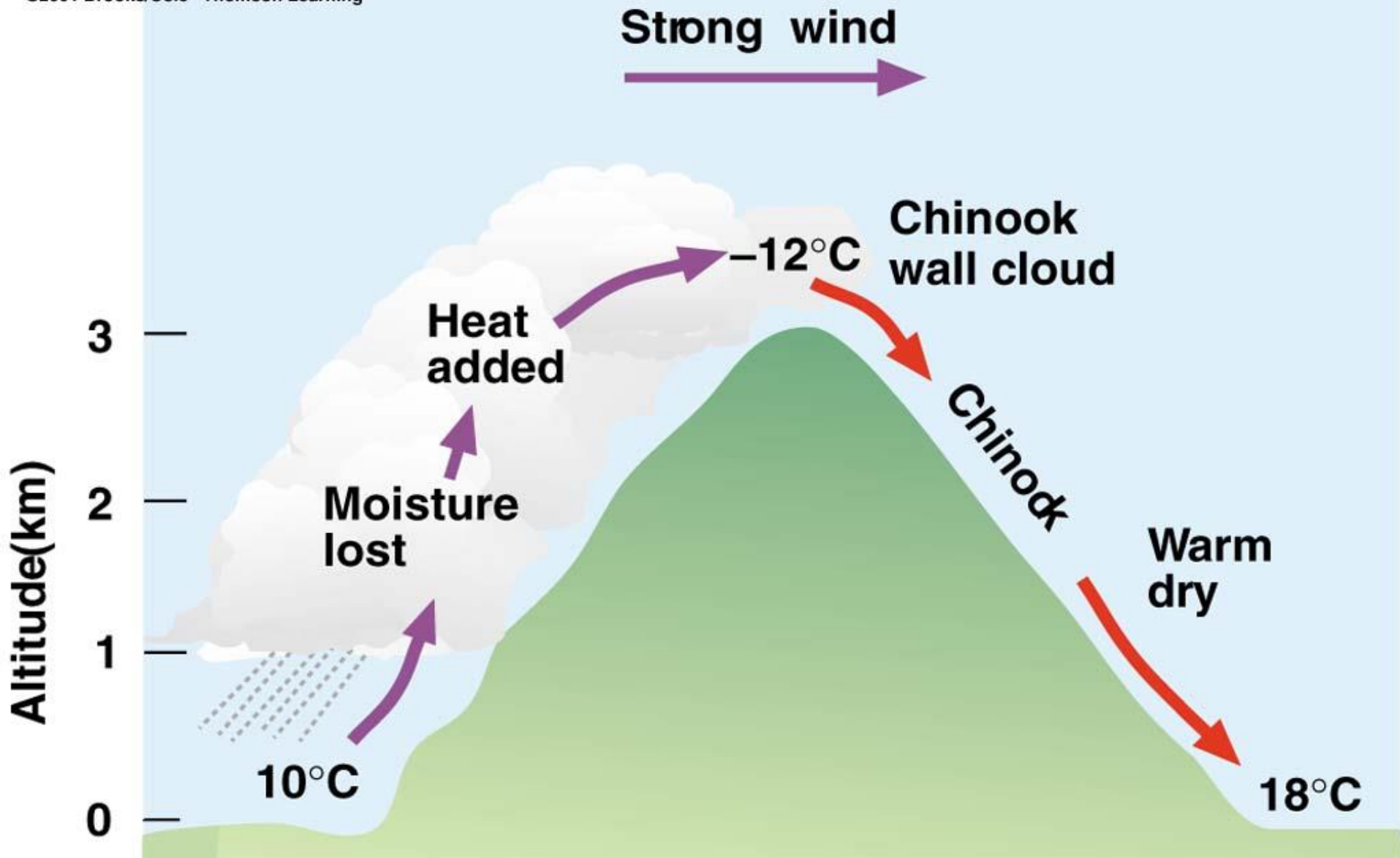
C: napos, hűvös, párás és szélcsendes

D: hűvös, felhős, párás és szeles.



A főn vagy ún. „Chinook” hatás

©2001 Brooks/Cole - Thomson Learning



Felhő- és csapadékképződési folyamatok

- I. Felhajtóerő hatására történő felemelkedés
[buborék emelkedés]
- II. Kényszerített felemelkedés [légréteg, vagy légtömeg felemelkedése]
 - Orografikus
 - **Front hatására**
 - Alacsony szintű konvergencia
 - Magas szintű divergencia (jet stream)
- III. Gyakran a felhőképződés több, egymással párhuzamosan zajló folyamat eredményeként keletkezik

Légtömegek és frontok

Légtömegek

Légtömeg:

- Nagy kiterjedésű (több millió km²) légoszlop
- A hőmérséklet és légnedvesség horizontálisan alig változik benne (légoszlopra átlagolva)
- A hőmérséklet és légnedvesség vertikális változása kicsi a térfogaton belül
- A tulajdonságait a forrásrégió sugárzás egyenlege adja meg
- A forrásrégiót elhagyva átalakul a légtömeg
- Légtömegek elnevezése általában forrás területek alapján történik

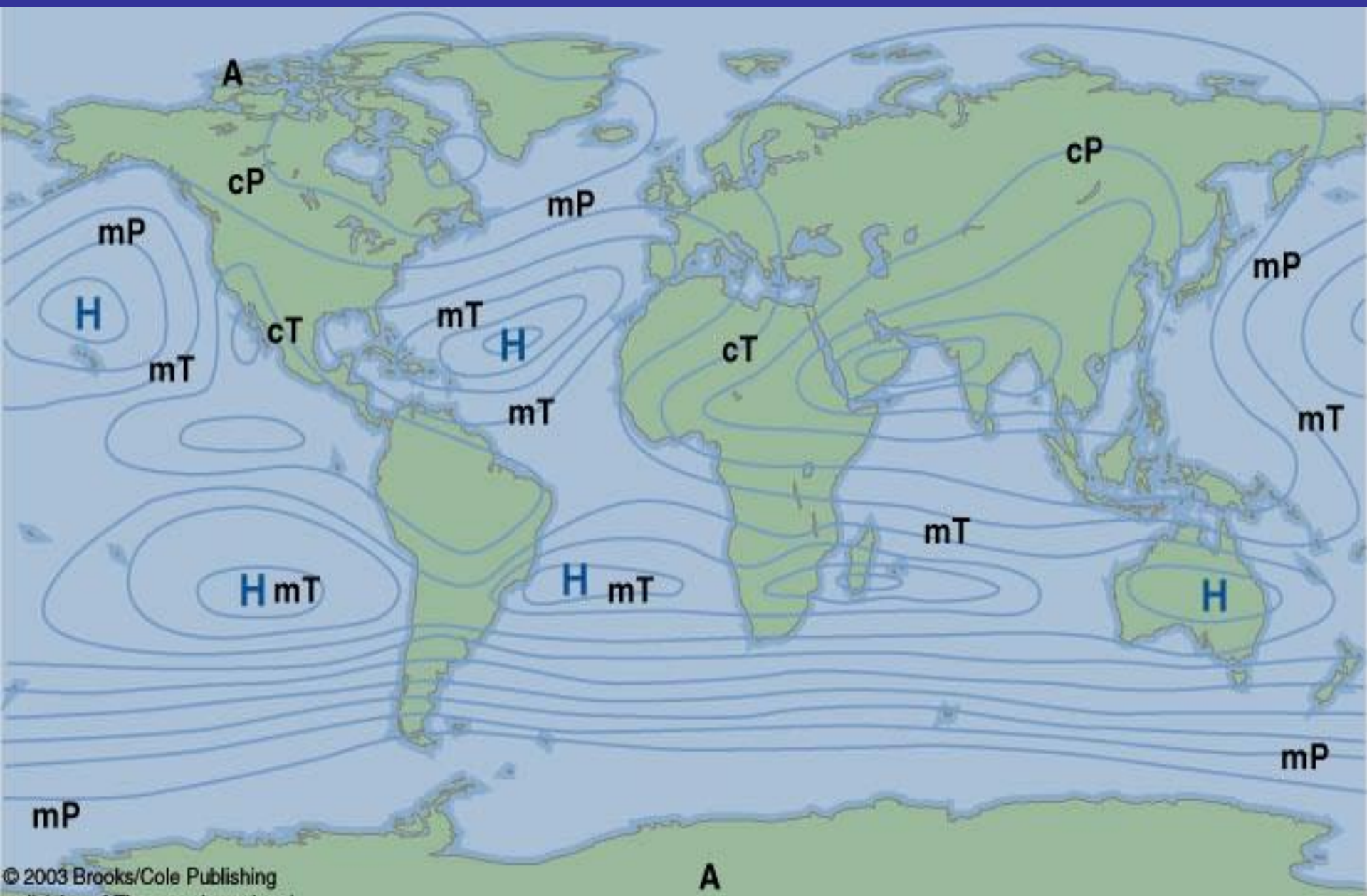
Légtömegek

- Légtömegek elnevezése általában forrás területek alapján történik
- Forrás területek:
 - Sík, egységes összetételű,
 - Gyenge szelek uralta térségek
 - Pl. hóval borított poláris területek
 - Pl. óceánok trópusi, szubtrópusi részei

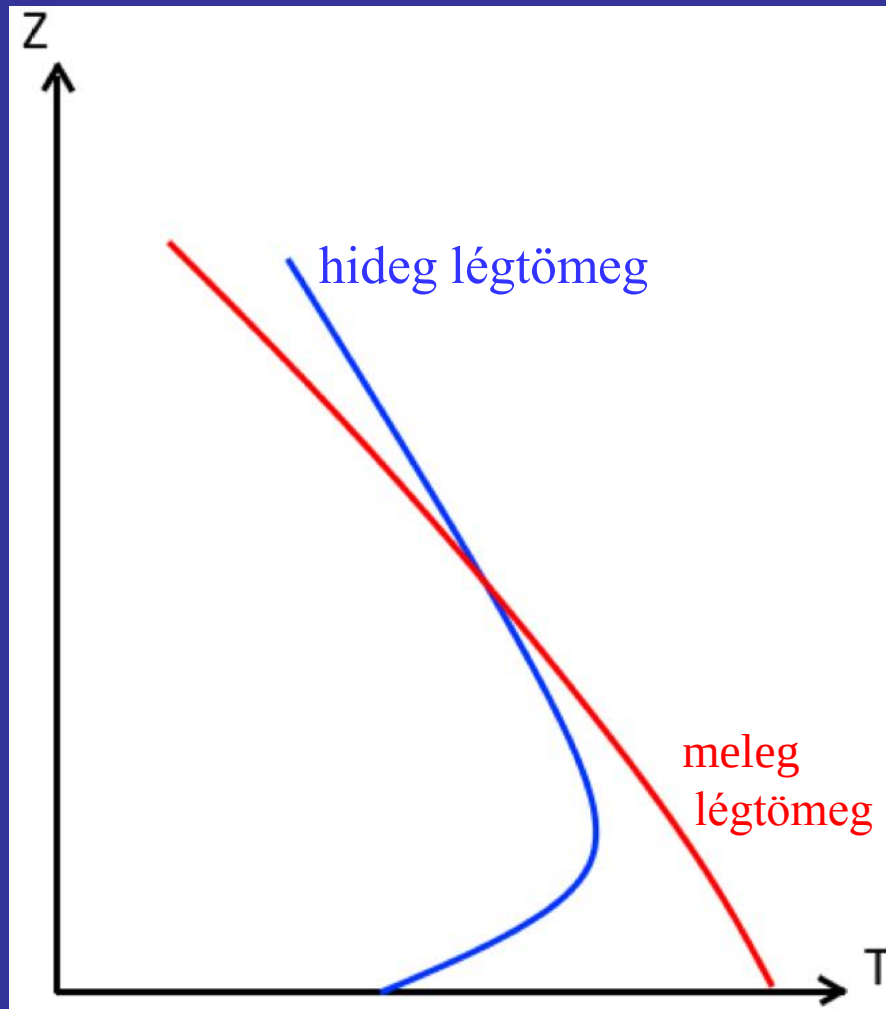
Légtömeg típusok

légnedvesség hőmérséklet	kontinentális (continental) (száraz)	óceáni (maritime) (nedves)
arktikus	A	
poláris (polar)	cP	mP
trópusi (tropical)	cT	mT

Légtömeg típusok gyakori tartózkodási helye



Hőmérsékleti rétegződés



Légtömeg típusok tulajdonságai

- cP – kontinentális poláris:
 - Télen hideg, vagy szélsőségesen hideg, nyáron enyhe,
 - Évszaktól függetlenül száraz légtömeg.
- cT – kontinentális trópusi:
 - Nyáron meleg, forró,
 - Évszaktól függetlenül általában száraz légtömeg.
- mP – óceáni poláris:
 - Télen hideg, nyáron enyhe,
 - Évszaktól függetlenül nedves légtömeg.
- mT – óceáni trópusi:
 - Származási helytől függően enyhe vagy meleg,
 - Évszaktól függetlenül nedves légtömeg.

Légtömegek hatására kialakuló időjárás Magyarországon

- cP – kontinentális poláris
 - Télen: csillagos éjszakák, erős inverzió, nagyon hideg, nincs csapadék
 - Nyáron: gomolyfelhő képződés, délután, estefelé lehetnek záporok zivatarok
- cT – kontinentális trópusi
 - Télen nem jellemző a megjelenése
 - Nyáron: felhőmentes, forró, száraz időjárás
- mP – óceáni poláris
 - Mérsékelt övi ciklonok hatására érkezik
 - Télen: inverzió nappal is lehet, ködös időjárás
 - Nyáron: gomolyfelhő képződés, délután, estefelé lehetnek záporok zivatarok
- mT – óceáni trópusi
 - Télen mediterrán ciklonokkal érkezhetsz, de marad fenn tartósan, inkább a ciklon frontrendszerével távozik => csapadékos időjárás

Légtömegek átalakulása

- Felszín hatására:
 - Hűlés
 - Melegedés
- Emelés vagy süllyedés
 - Front
 - Domborzat
- Turbulens átkeveredés
- Áthelyeződés => általános cirkuláció
 - Rossby-hullám
 - ITCZ

Milyen időjárás jellemző Magyarországon, ha:

- 1. Nyáron, afrikai, szubtrópusi eredetű levegő található tartósan Magyarország területén?
 - a) Felhőtlen, forró, száraz idő
 - b) Gyengén felhős, meleg idő
 - c) Változóan felhős (cumulusok), gyenge zápor előfordulhat
 - d) Délután a záporok, zivatarok gyakoriak

Milyen időjárás jellemző Magyarországon, ha:

- 1. Nyáron, afrikai, szubtrópusi eredetű levegő található tartósan Magyarország területén?
 - a) **Felhőtlen, forró, száraz idő**
 - b) Gyengén felhős, meleg idő
 - c) Változóan felhős (cumulusok), gyenge zápor előfordulhat
 - d) Délután a záporok, zivatarok gyakoriak

Milyen időjárás jellemző Magyarországon, ha:

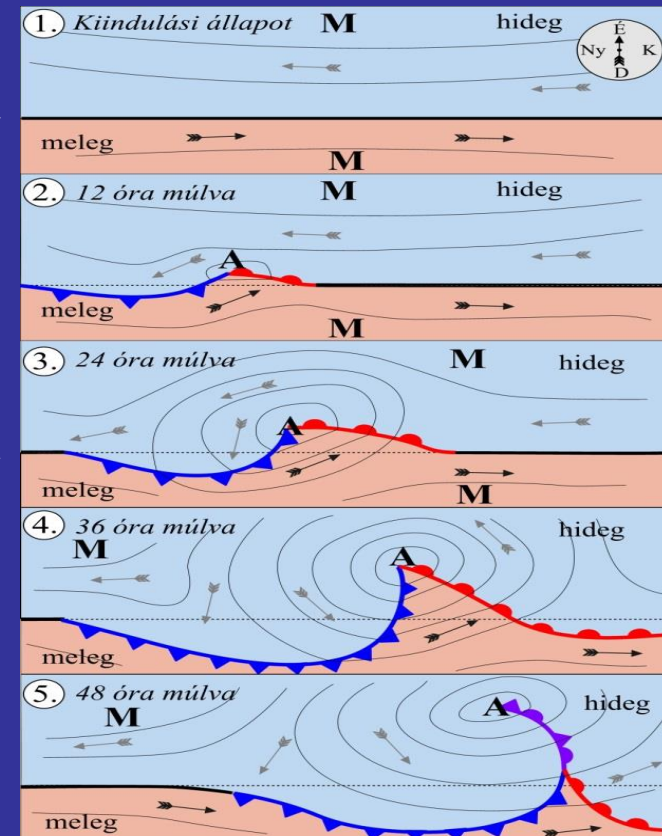
- 2. Télen, mediterrán, szubtrópusi eredetű található tartósan Magyarország területén?
 - a) Gyengén felhős, enyhe idő
 - b) Gyengén felhős, hideg idő
 - c) Borult, hideg idő
 - d) Esős, enyhe idő

Milyen időjárás jellemző Magyarországon, ha:

- 2. Télen, mediterrán, szubtrópusi eredetű található tartósan Magyarország területén?
 - a) Gyengén felhős, enyhe idő
 - b) Gyengén felhős, hideg idő
 - c) Borult, hideg idő
 - d) **Esős, enyhe idő**

Mérsékelt övi ciklon-keletkezés fő lépései:

1. Stacionárius front nagy hőmérséklet gradienssel
2. Frontális hullám, kis amplitúdójú hullám jelenik meg, mélyülő alacsony nyomású központtal
3. Nyílt hullám fázis: meleg- és hidegfrontok kialakultak, légnyomás továbbra is csökken, jól láthatóvá válik az örvény
4. Fejlett fázis: a központban okklúzió történik, hideg központtal, a légnyomás süllyedés leáll
5. Teljesen okkludált ciklon fázis: felszíni hőmérsékleti gradiens kicsi, a ciklonális örvény disszipálódik



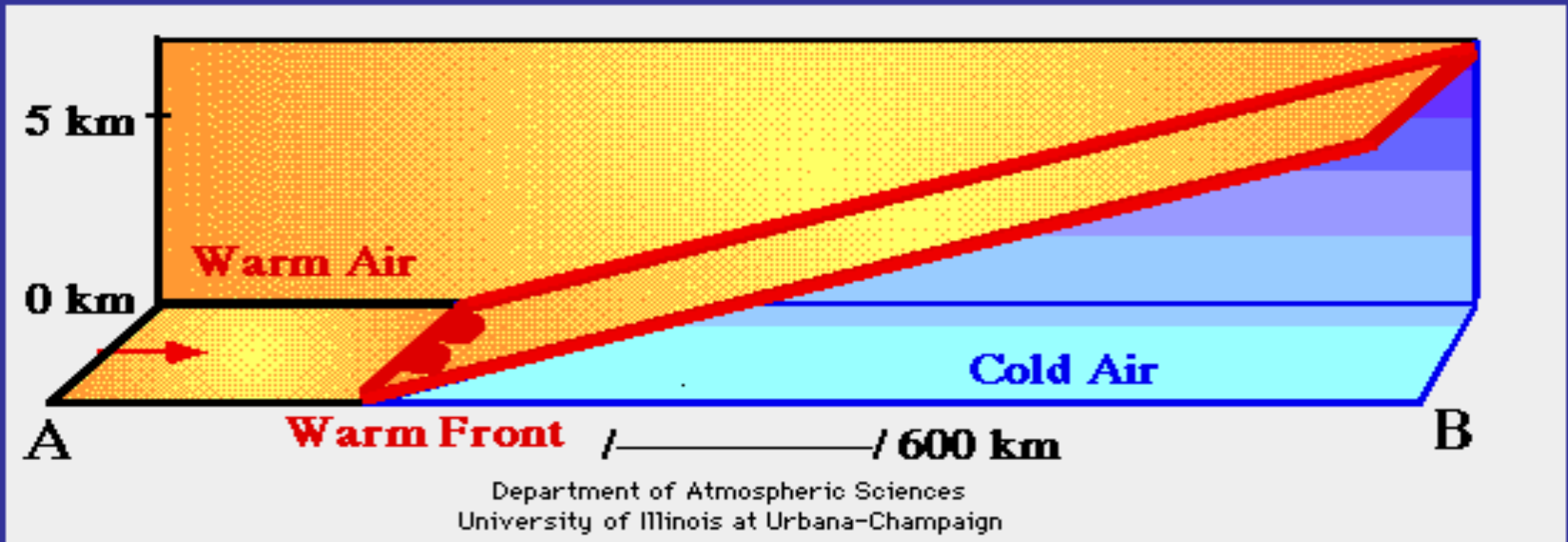
Időjárási frontok

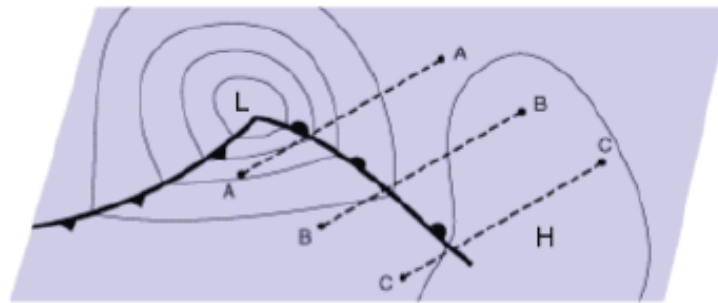
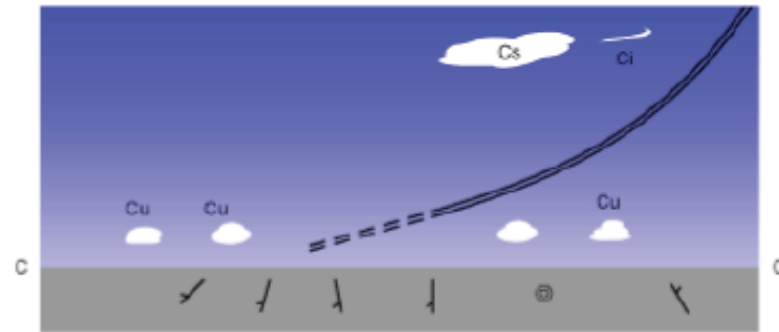
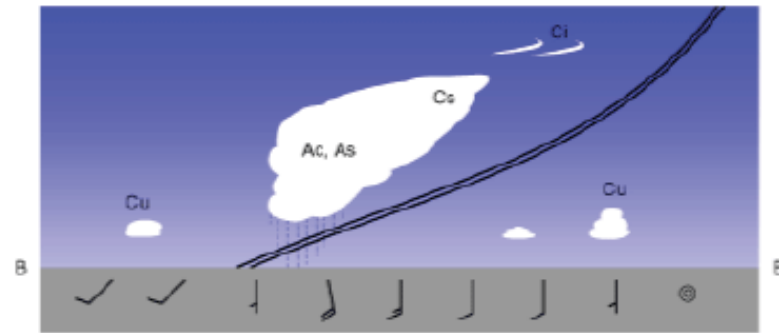
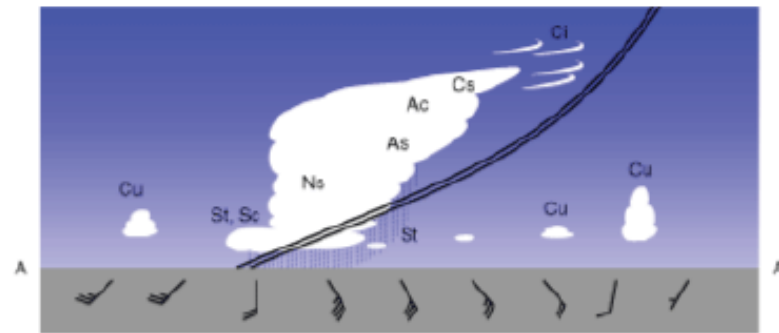
- Időjárási front: két légtömeg közötti átmeneti zóna, amelyben a meteorológiai elemek értéke horizontális irányban jelentősen megváltozik.
- Mivel az egyes légtömegek homogén eloszlásúak, két légtömeg határán nagy a változás, ún. "szakadása" van a légköri állapotváltozóknak.
 - Állapotváltozóban nem lehet ugrás, de a változásukban igen=>
 - Sűrűsödő izovonalak (elsősorban izobárok) jelölik
- Frontok típusai:
 - Meleg front
 - Hideg front
 - Okklúziós front

Meleg front

- Front mögött magasabb hőmérsékletű légtömeg van, mint előtte
- Mivel a meleg levegő több nedvességet képes magában tárolni, ezért magasabb a nedvességtartalma is
- Meleg levegő sűrűsége kisebb mint a hidegé =>

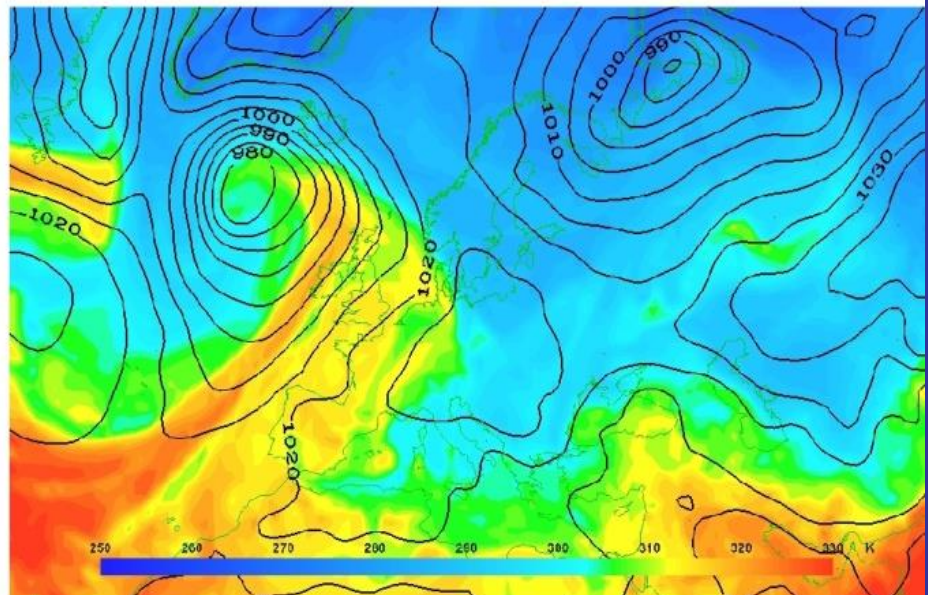
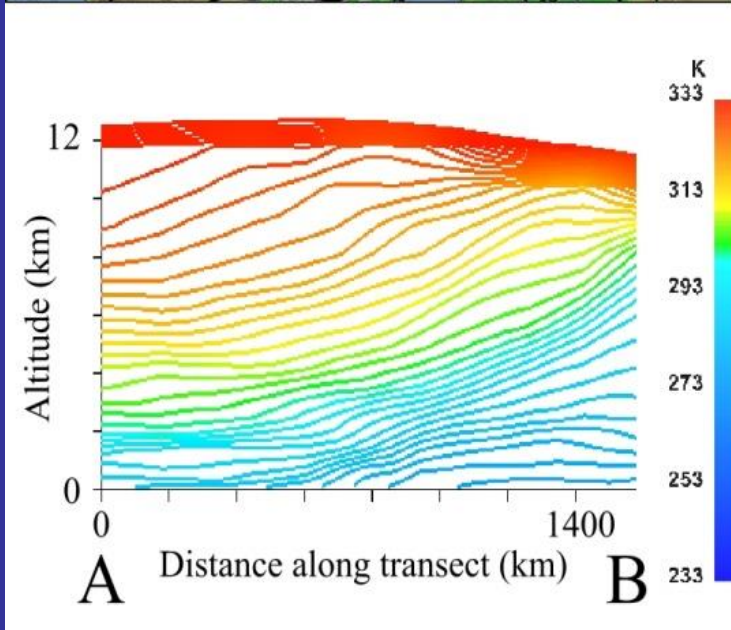
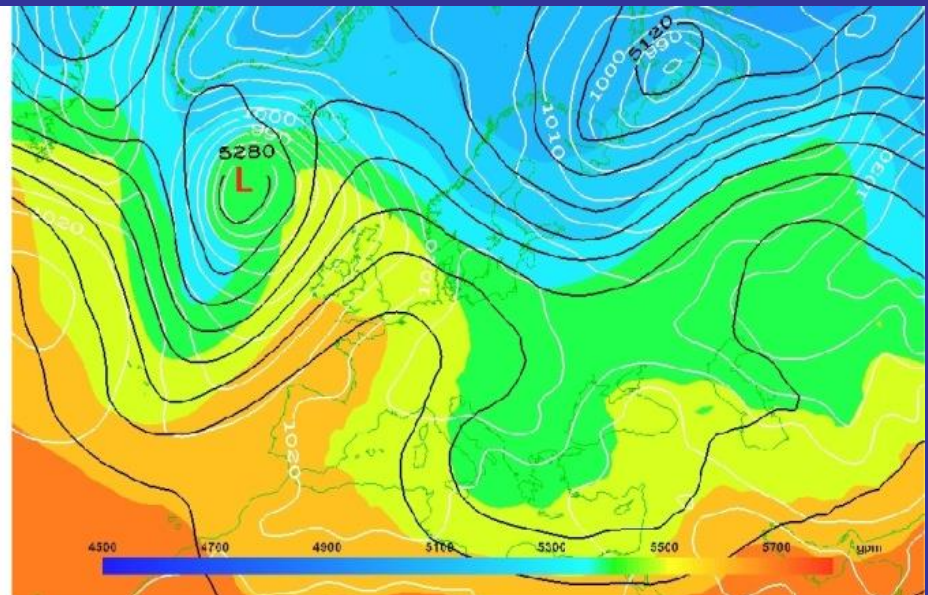
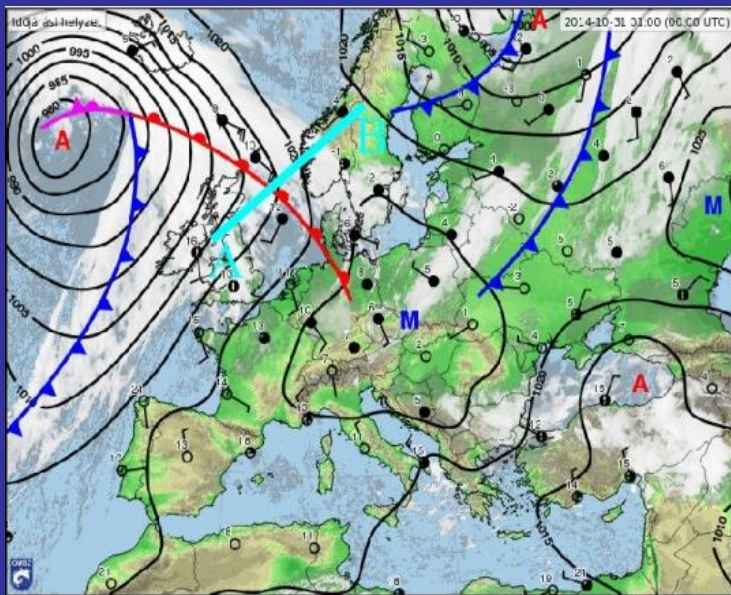
A hideg légtömegre „felkúszik” a meleg ...





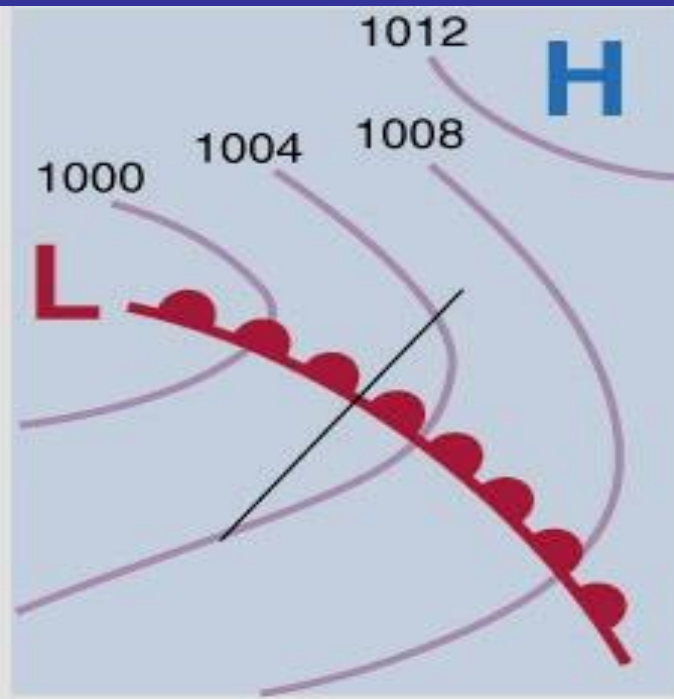
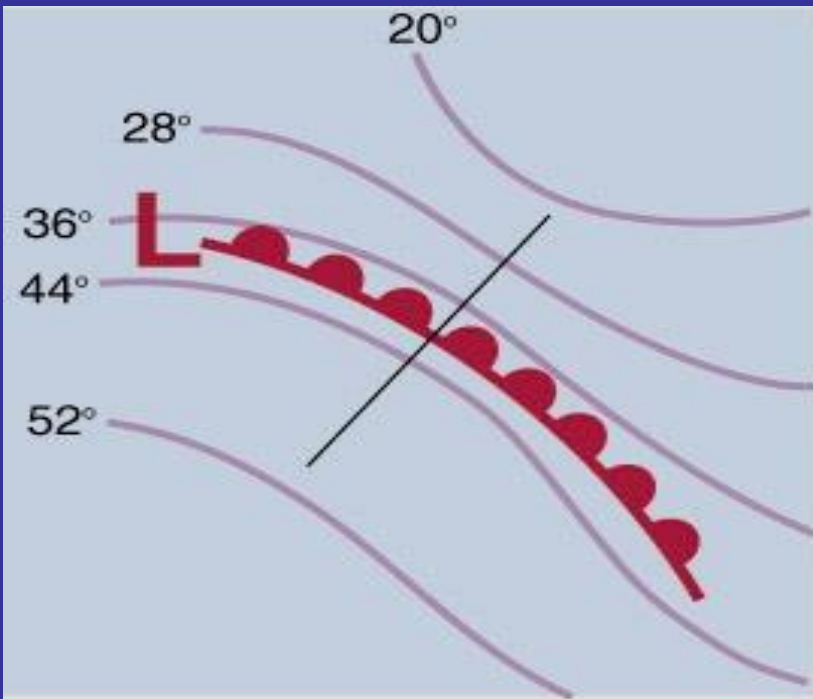
Melegfront tulajdonságai

- általában gyenge feláramlás jellemzi ($< 0,1$ m/s)
- nagy nedvességtartalom, 500–600 km szélesen szétterülő, 6–9 km magas felhőzet
- először magas-szintű felhők, utána középmagas és alacsony, többnyire rétegfelhők
- a front előtt kb. 300 km-rel elkezdődik a csapadékhullás
- jellemző időjárás: tartós esőzés/havazás, esetenként átmeneti záporos szakaszok
- hideg felszín felett a front lelassul, a magasban előresiet a meleg => ónos eső



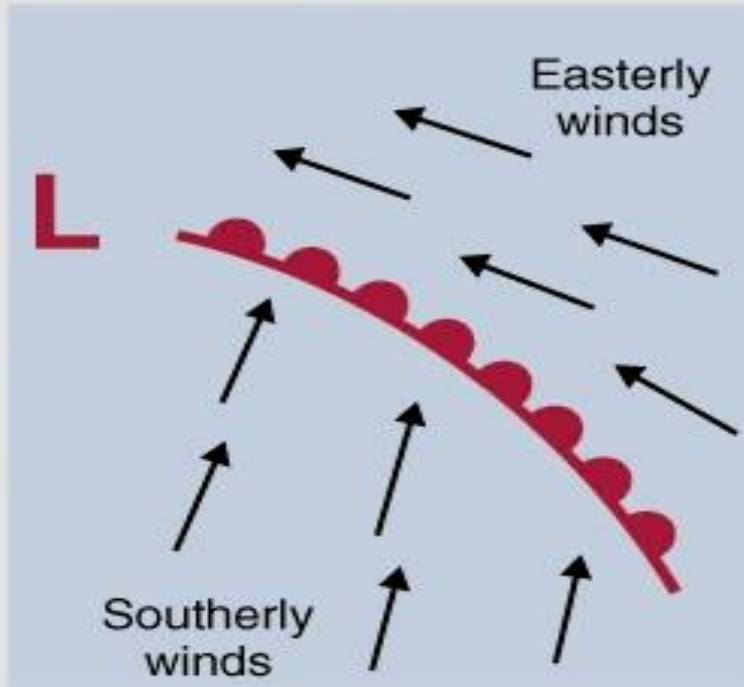
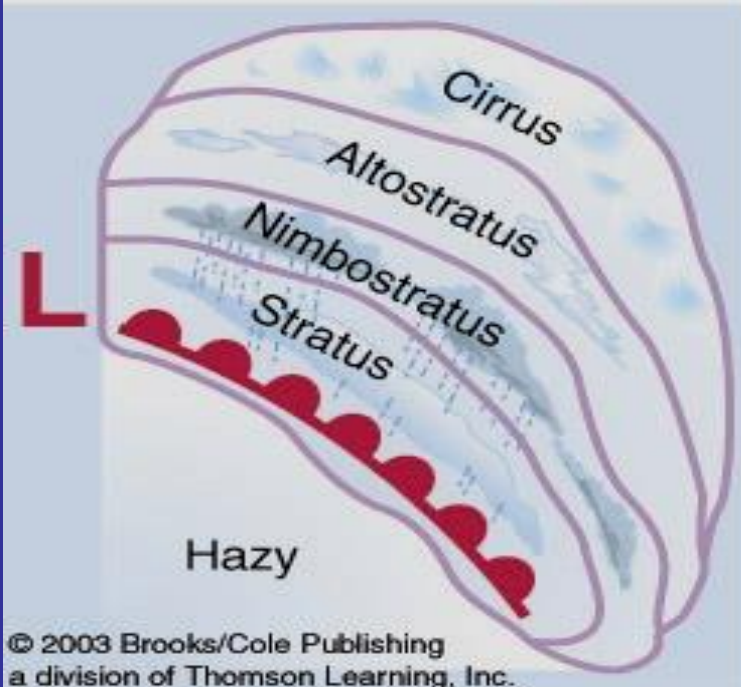
Melegfront a Brit-szigetek felett, bal felső: időjárási térkép; jobb felső: 500 hPa geopotenciál szint (fekete vonal), tengerszintre számított nyomás (fehér vonal), 500/1000 hPa szint vastagsága (színezett); bal alsó: potenciális hőmérséklet vertikális keresztmetszete; jobb alsó: 850 hPa szint ekvivalens potenciális hőmérséklete

Hőmérséklet [F]



Légnyomás

Felhőzet



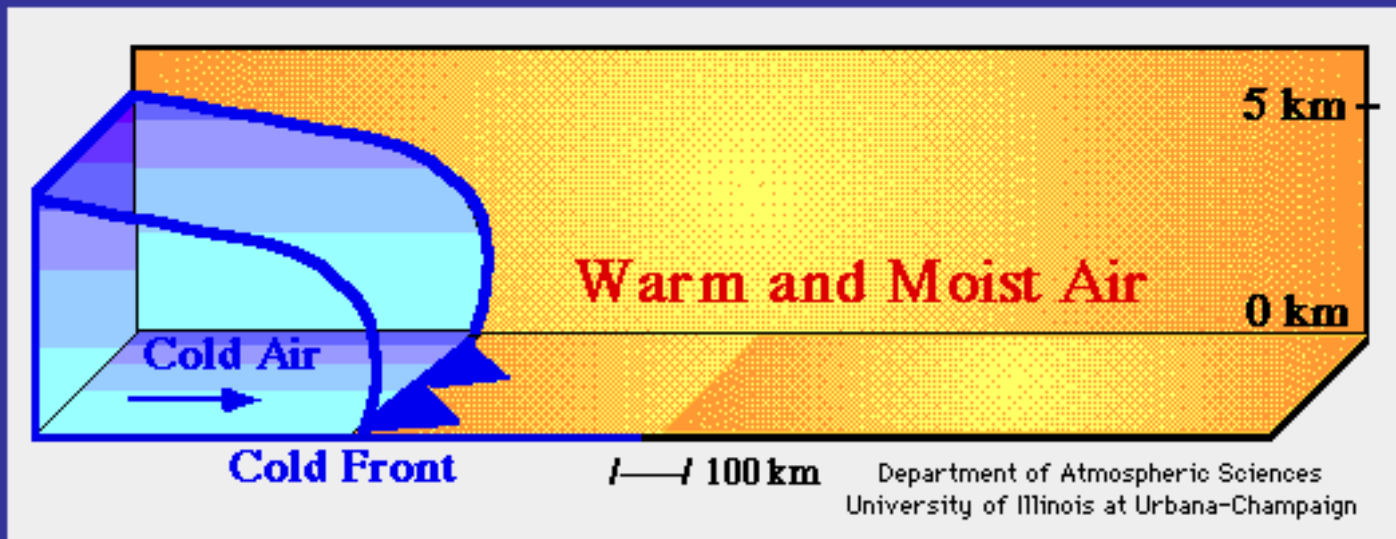
Szél

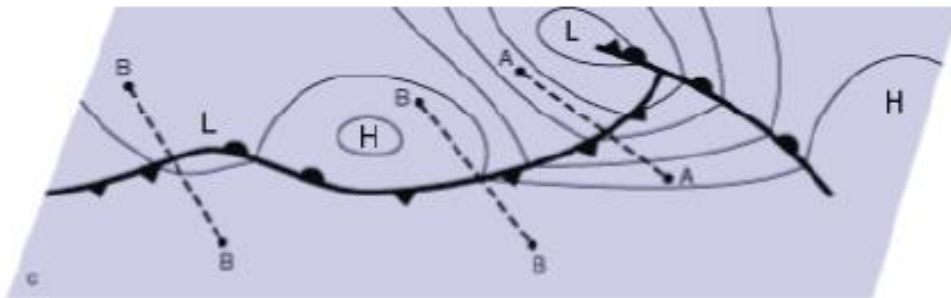
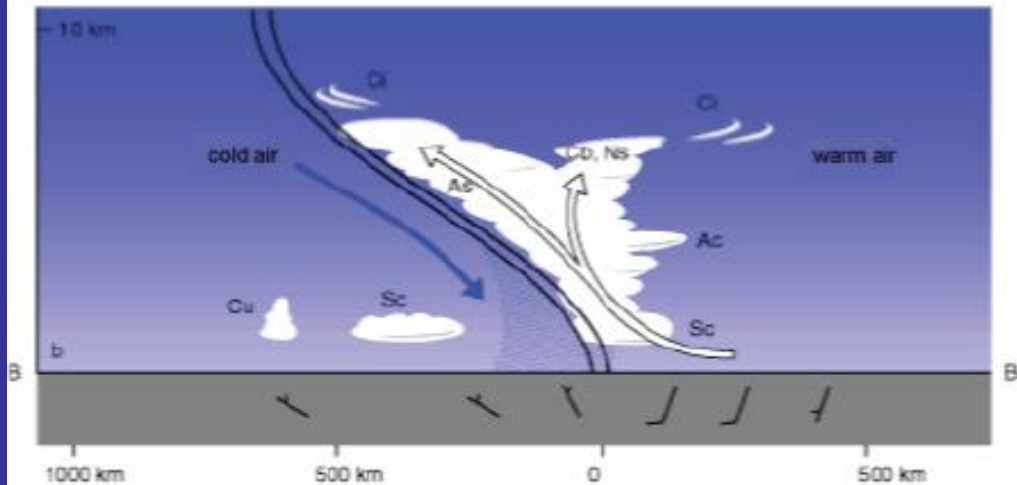
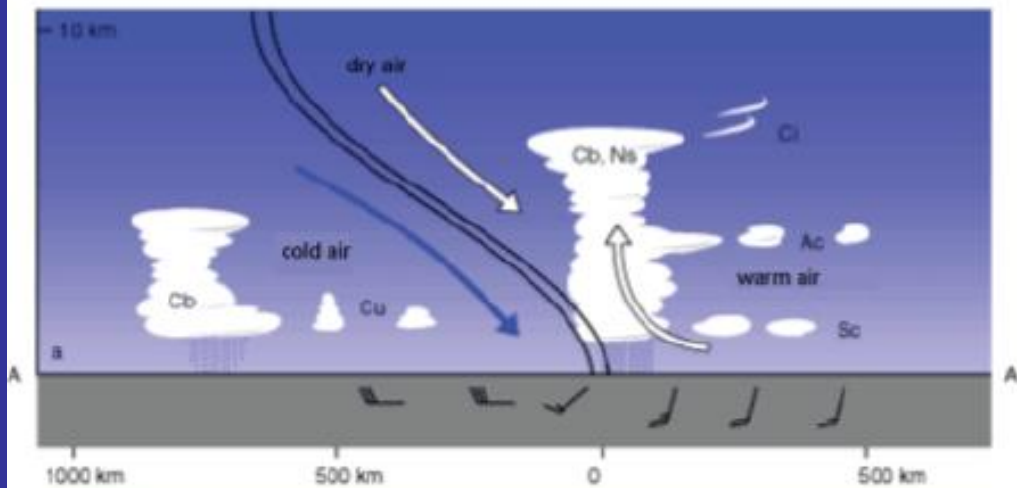
Meteorológiai elemek változása a felszínen – melegfront esetén

- *talajközeli szél:*
 - a front közeledtével megélénkül, és a fronttal párhuzamos irányba fordul (jobbra)
 - maximális szélsébség a front előtt található, a front áthaladtával átmenetileg gyengül a szél
- *nyomástendencia:* a front előtt a legnagyobb a nyomássüllyedés, mögötte gyengébb
- *hőmérséklet:* 2 m-en a front átvonulása után nő, de a csapadékképződés miatt átmenetileg alacsonyabb lehet
- *látástávolság:* a front közelében a csapadék miatt romlik, majd a meleg légtömegben is alacsony marad (páráság, köd is lehet)

Hideg front

- Front mögött alacsonyabb hőmérsékletű légtömeg van, mint front előtt
- Mivel a meleg levegő több nedvességet képes magában tárolni, ezért alacsonyabb a nedvességtartalma
- Meleg levegő sűrűsége kisebb mint a hidegé => maga előtt tolja a meleg levegőt és kényszeríti emelkedésre





Hidegfrontnak két típusa van:

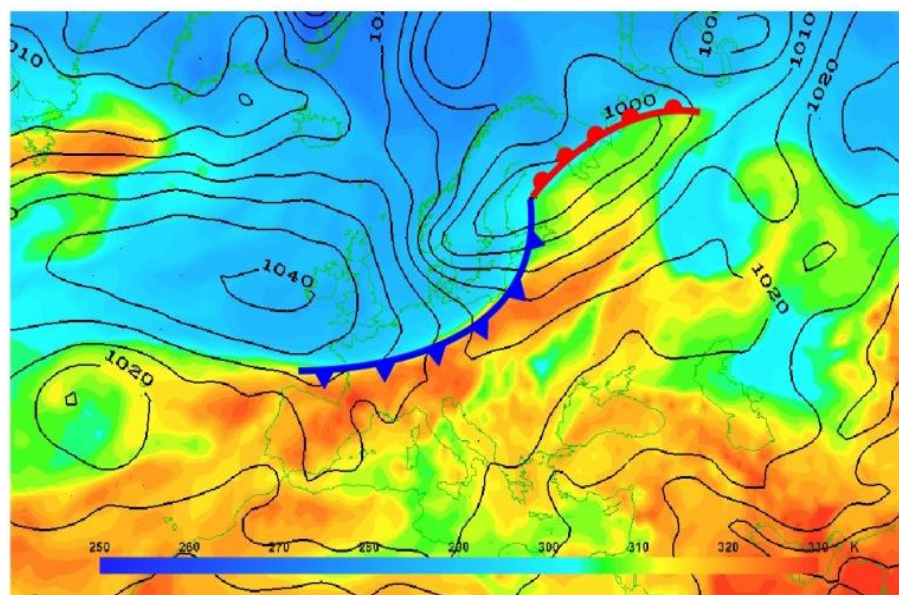
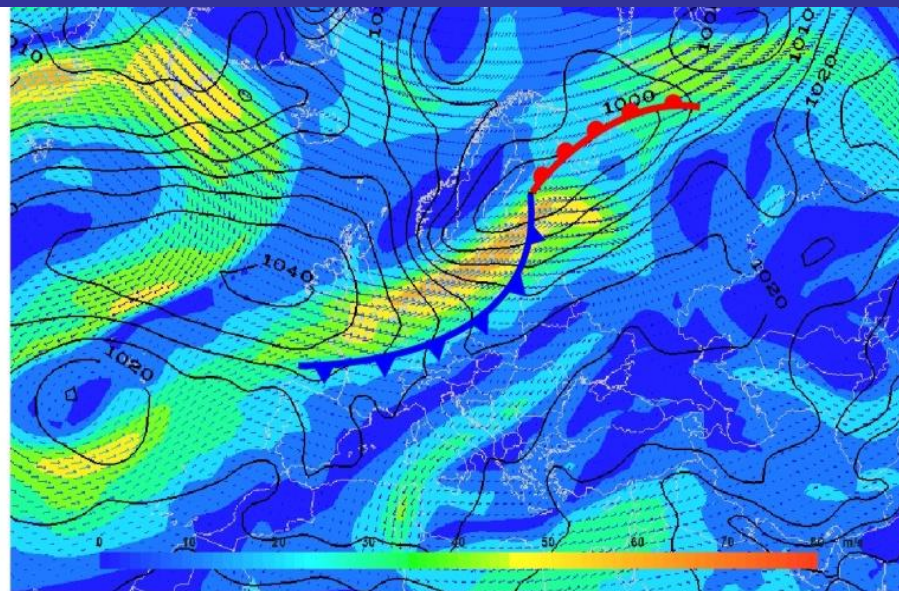
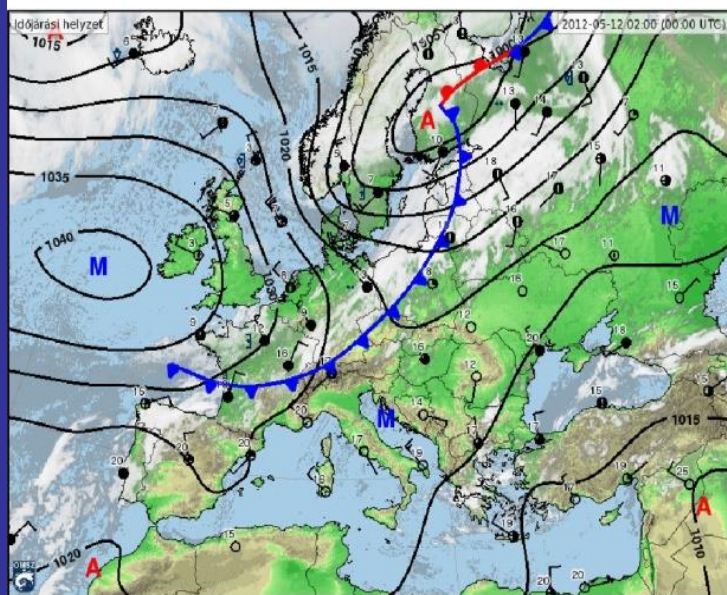
- Elsőfajú (B): ciklon középponttól távol
- Másodfajú (A): ciklon középponthoz közel

Hidegfront tulajdonságai – elsőfajú

- frontvonal közel párhuzamos az izobárokkal => kicsi a vonulási sebesség
- csapadék talajfront mögött van
- felhőzet 200-300 km-en nyúlik el, front határán akár a tropopauzáig
- felhőzete hasonlít a melegfrontéhoz: magas => alacsony
- a front mögött gomolyfelhők alakulnak ki
- függőleges kiterjedés: 1–2 km-rel alacsonyabb, mint a melegfront, viszont meredekebb

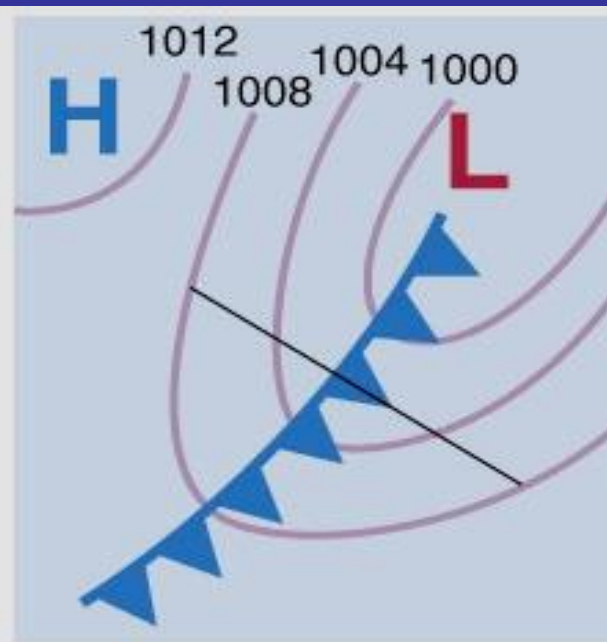
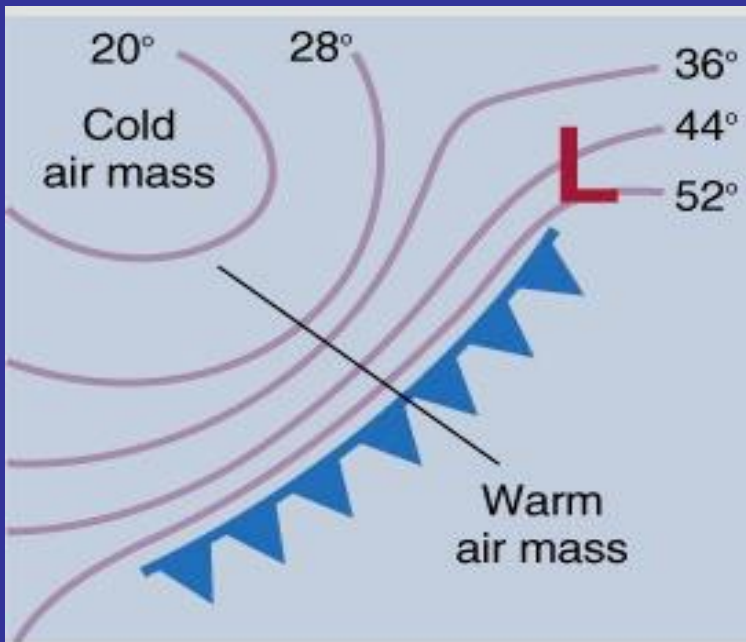
Hidegfront tulajdonságai – másodfajú

- fejlődő vagy kifejlett ciklonban, a ciklon középpontjához közel található
- a frontvonal közel merőleges az izobárokra => gyors vonulási sebesség
- felhőzet 150-200 km-en nyúlik el, front határán akár a tropopauzáig
- elsősorban nagy feláramlású gomolyfelhők és zivatarfelhők a talajfront mentén,
- a csapadék a front előtt hullik, de keskeny a csapadékzóna
- a front dőlése meredek
- front mögötti nyomásemelkedés miatt, derült sáv követi, majd gomolyfelhősödés



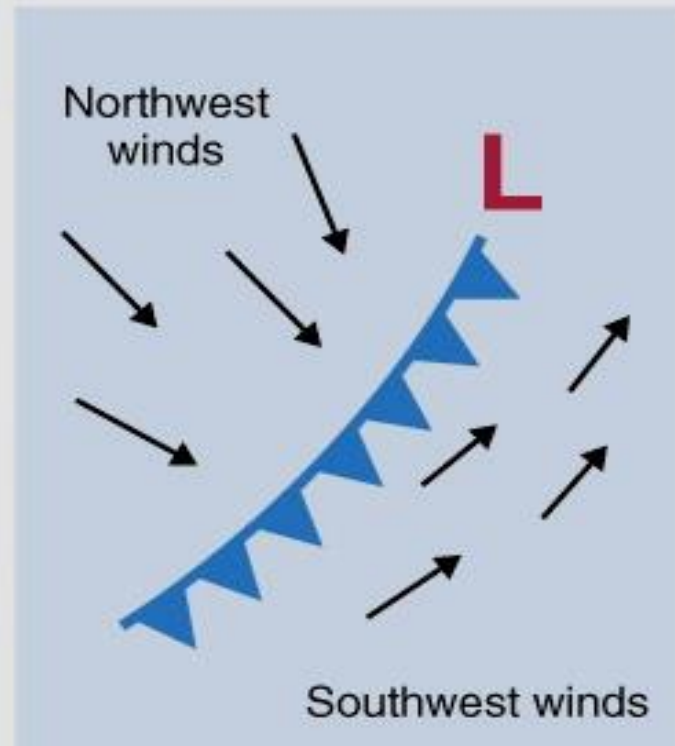
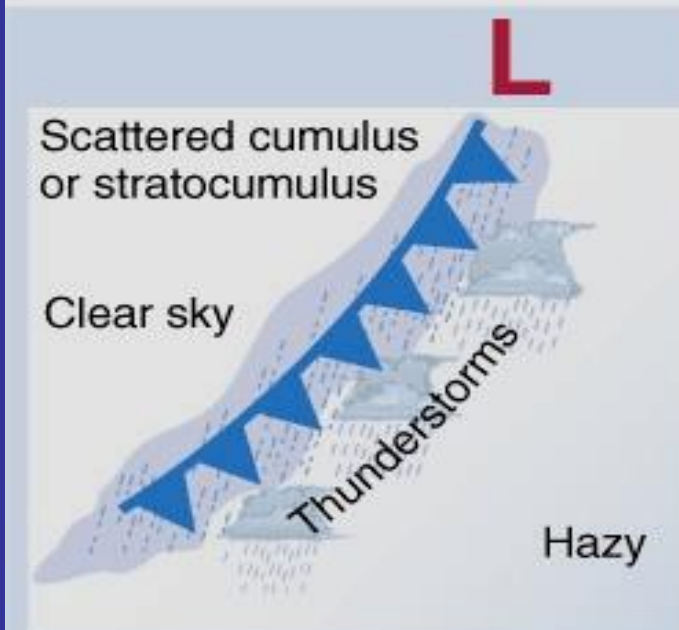
Hidegfront Nyugat-Európa felett. Bal oldalon: időjárási térkép; jobb felső: tengerszintre számított légnyomás (fekete vonal), 300 hPa szint szélmezeje; jobb alsó: 850 hPa nyomási szint ekvivalens potenciális hőmérséklete (színezett), tengerszintre számított légnyomás (fekete vonal)

Hőmérséklet [F]



Légnyomás

Felhőzet



Szél

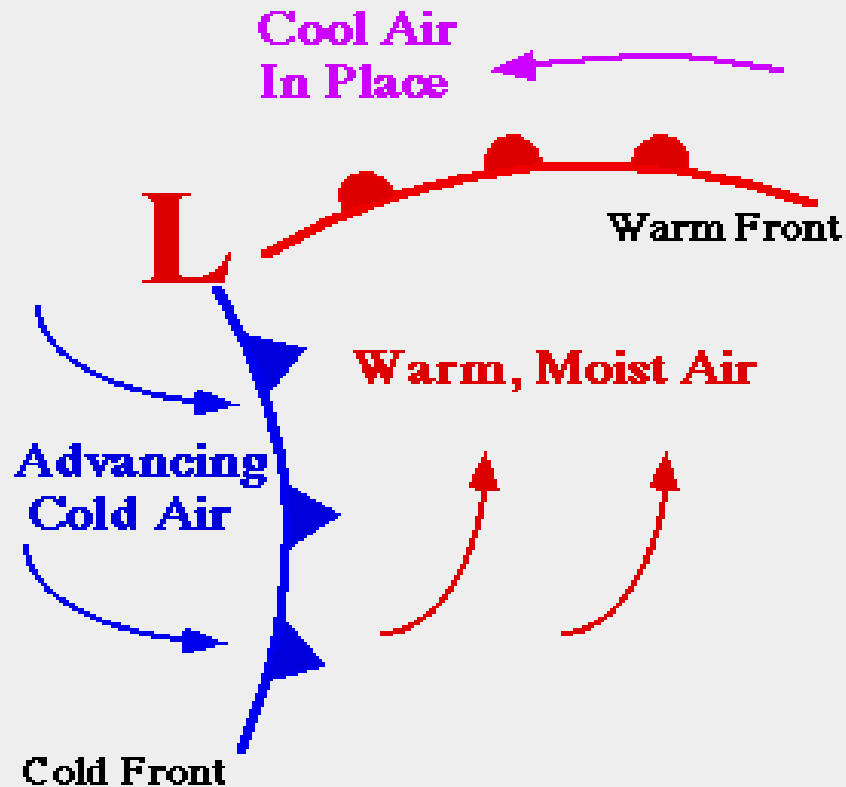
Meteorológiai elemek változása a felszínen

– hidegfront esetén

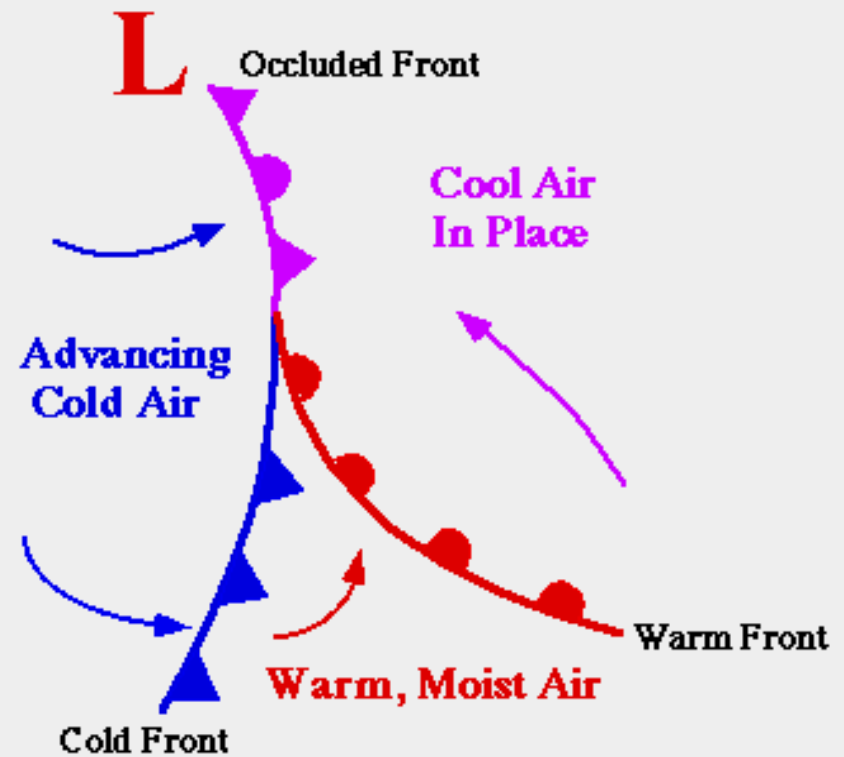
- *talajközeli szél*: a front közeledtével megélénkül, és a fronttal párhuzamos irányba fordul (jobbra).
 - elsőfajú mögött mérséklődik
 - másodfajú mögött tovább erősödik, viharos, gyakran lökéses lesz
- *nyomástendencia*: gyenge nyomássüllyedés a front előtt, nyomásemelkedés a front mögött – legnagyobb emelkedés közvetlenül a frontvonal mögött.
 - elsőfajú mögött erős emelkedés
 - másodfajú mögött igen erős emelkedés
- *harmatpont*: front mögött csökken
 - elsőfajú: gyengén,
 - másodfajú: ugrásszerűen
- *hőmérséklet*: a front előtt emelkedik, a másodfajú előtt jelentősen megélénkülő szél miatt erősen emelkedik, nyáron gyakori a fülledtségerzet. A front területén alacsony. Front mögött:
 - elsőfajú: alacsony marad
 - másodfajú: a csapadék megszűnése és a hirtelen felszakadozó felhőzet miatt átmenetileg emelkedhet, majd drasztikusan csökken
- *látástávolság*: a front előtti meleg levegőben rossz, front területén gyenge.
 - elsőfajú mögött gyenge marad
 - másodfajú mögött jelentősen javul.

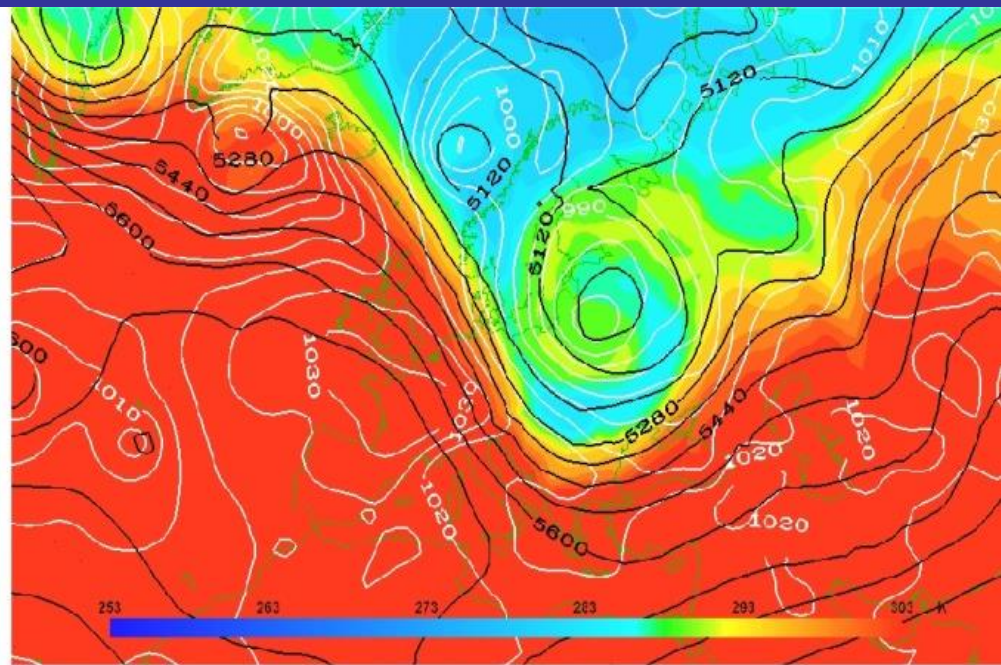
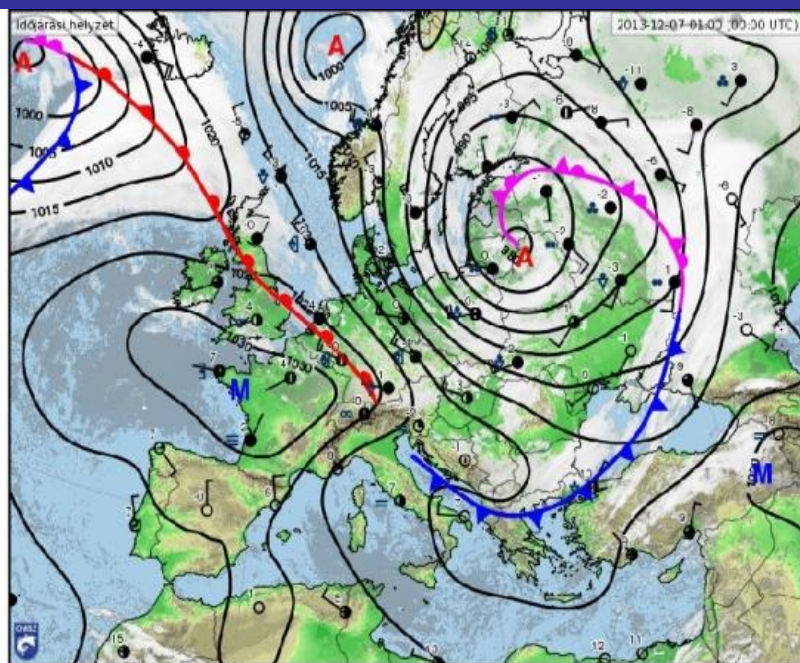
Okklúziós front

I. fázis



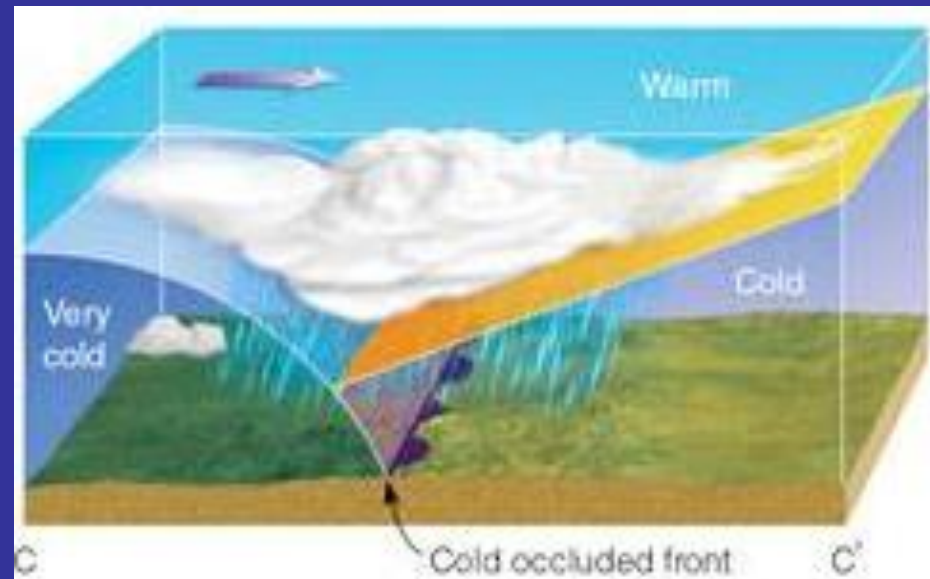
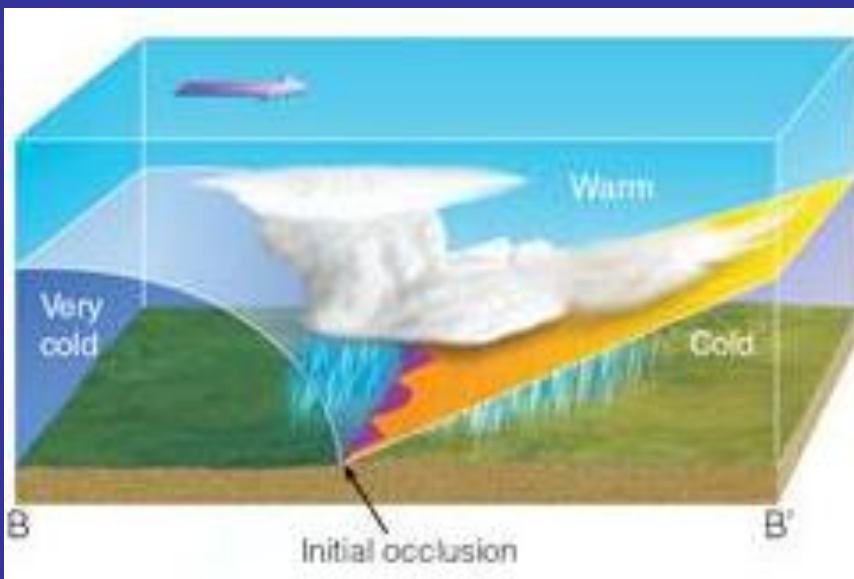
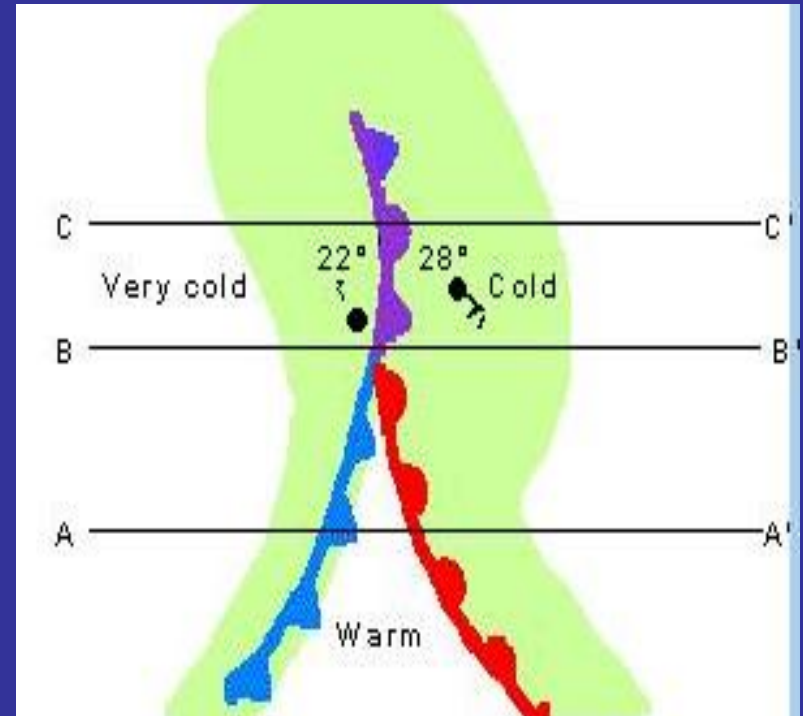
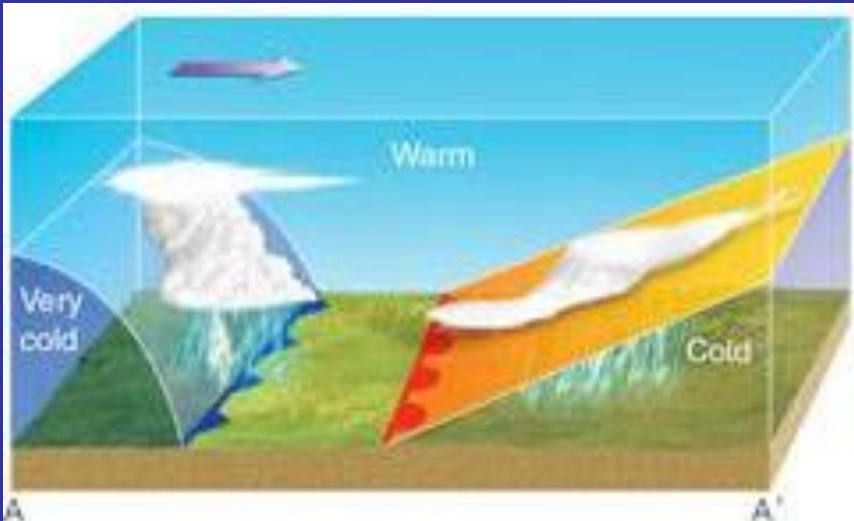
II. fázis

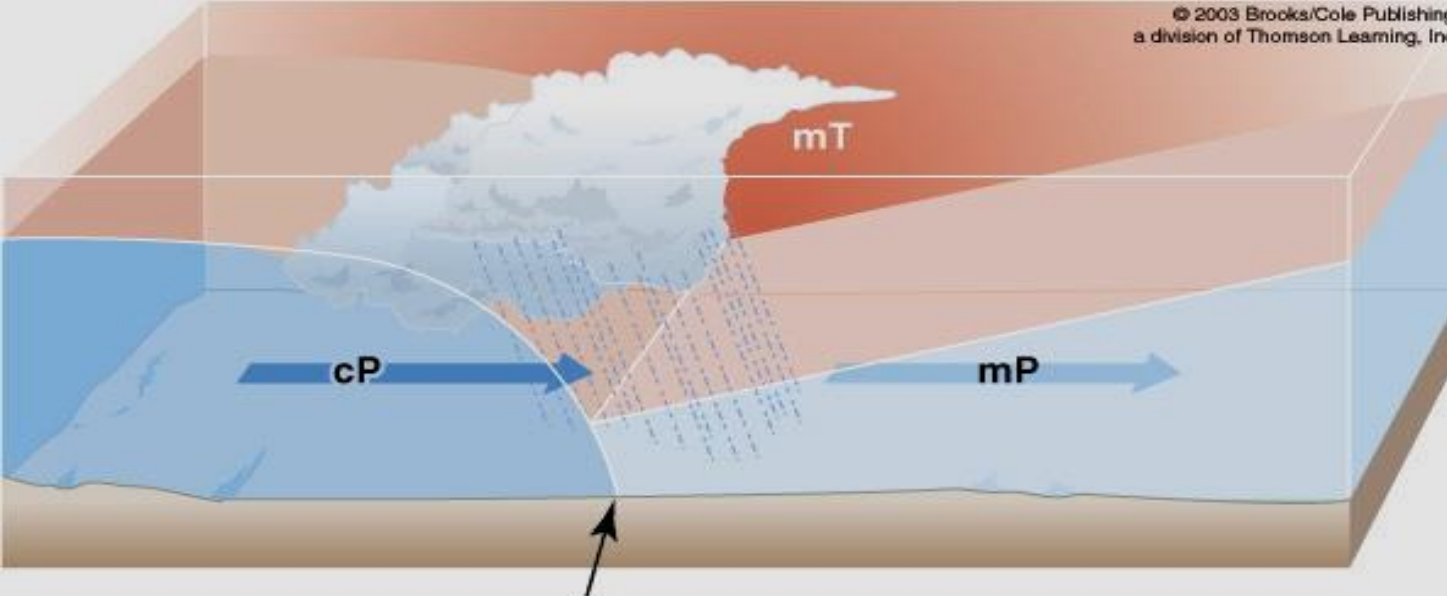




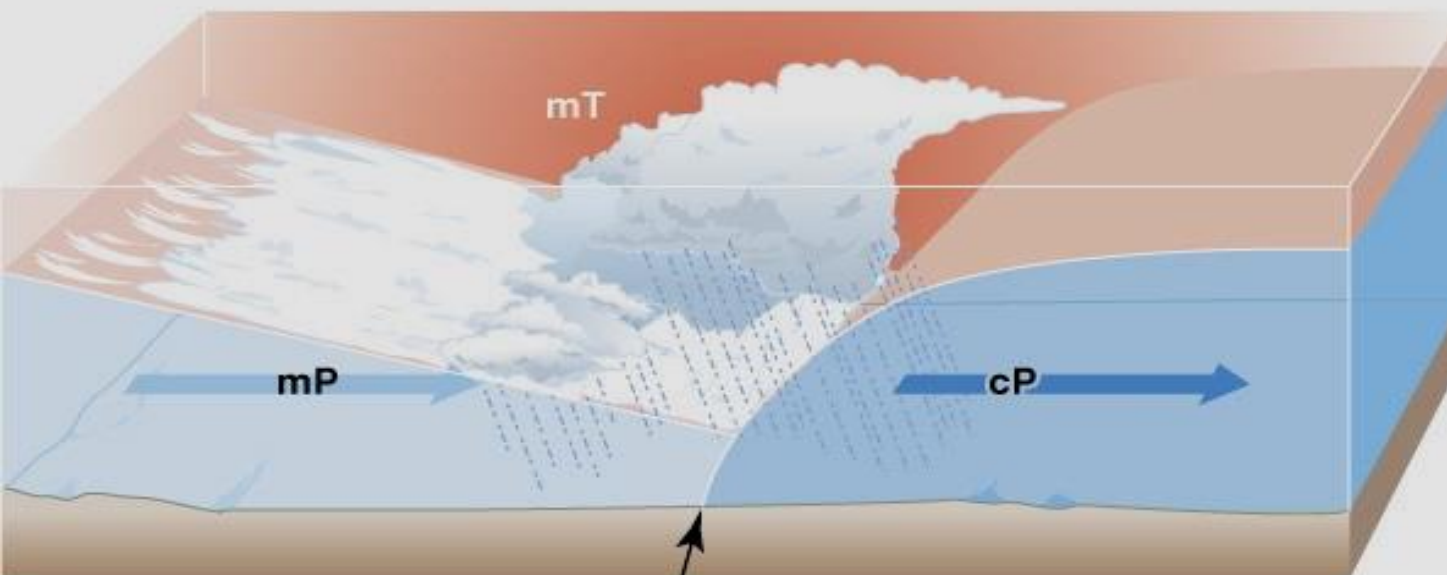
Okklúziós front Nyugat-Európa felett. Bal oldal: időjárési térkép; jobb oldal: tengerszinti légnyomás (fehér vonal), 500 hPa nyomási szint geopotenciál szint (fekete vonal), 500 hPa nyomási szint ekvivalens potenciális hőmérséklete (színezett)

Okklúziós front vertikális metszete





Occluded front
at the surface



Occluded front
at the surface

Hideg okklúzió

cP: kontinentális
poláris

mP: óceáni
poláris

mT: óceáni
trópusi
légtömeg

Meleg okklúzió

mP: óceáni
poláris

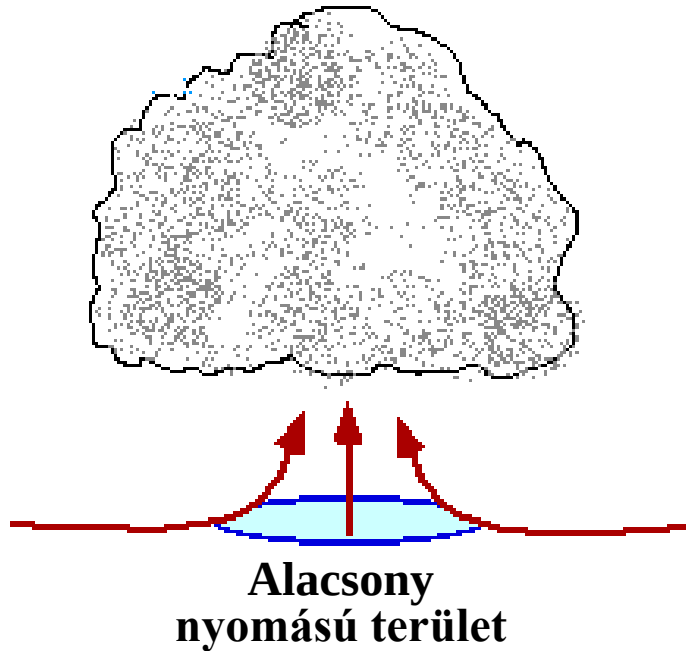
cP: kontinentális
poláris

mT: óceáni
trópusi
légtömeg

Felhő- és csapadékképződési folyamatok

- Felhajtóerő hatására történő felemelkedés [buborék emelkedés]
- **Kényszerített felemelkedés [légréteg, vagy légtömeg felemelkedése]**
 - Orografikus
 - Front hatására
 - **Alacsony szintű konvergencia**
 - Magas szintű divergencia (jet stream)
- Gyakran a felhőképződés több, egymással párhuzamosan zajló folyamat eredményeként keletkezik

**Összeáramló levegő
(konvergencia)**



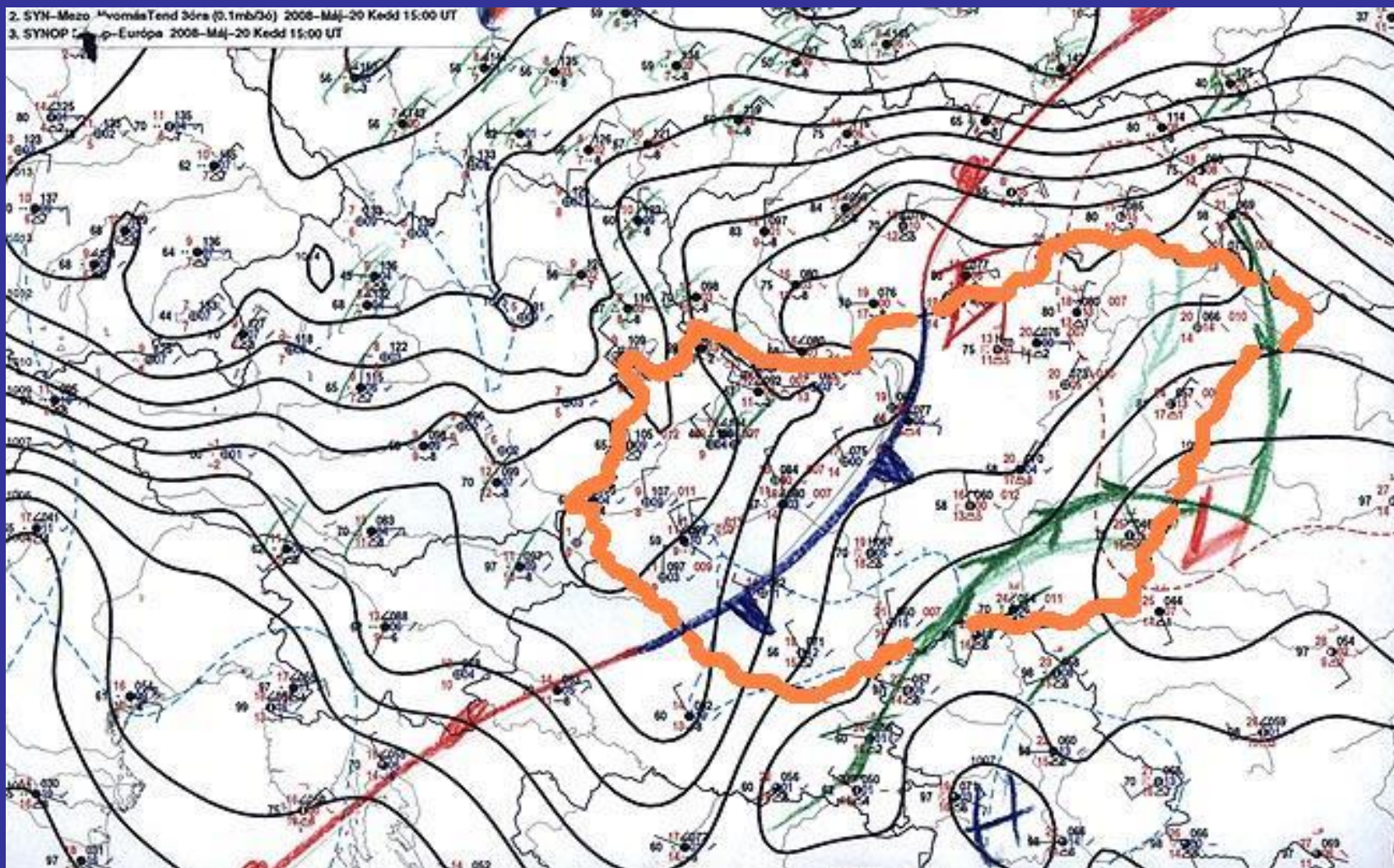
Méret: 500 km

**(c)
Konvergencia
a felszíni
alacsony
nyomású
területek felé**

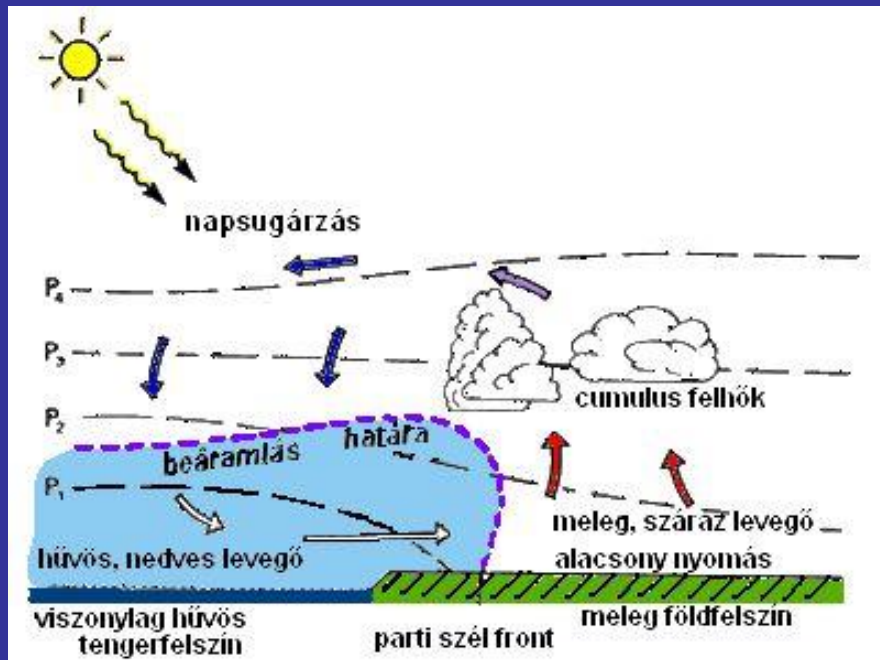
(c) Alacsonyszintű konvergencia

- **Kialakulásának okai lehetnek:**
 - **Alacsony szinten, meleg levegő advekciója**
 - Gyorsabb mint a melegfront és meredekebb a dőlésszöge
 - Intenzívebb és nagyobb mennyiségű csapadék (zápor, zivatar)
 - **Súrlódás**
 - Különböző felszíneknek eltérő a súrlódása => módosíthatja a felszínközeli szél sebességét és irányát => konvergencia
 - **Időjárási frontok**
 - **Parti szél**

1) Frontok hatására



2) Parti szél

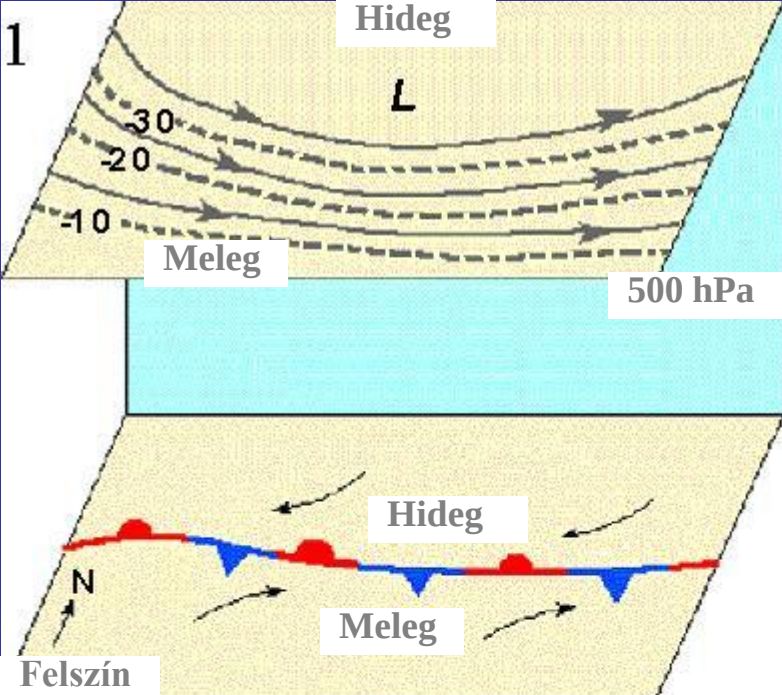


**(c) Alacsonyszintű konvergencia hatására
alacsony nyomású centrumok, örvények
alakulhatnak ki:**

- 1) Trópusi ciklonok (hurrikánok)
energiájukat a látens hőből nyerik –
elsősorban meleg óceáni felszín**
- 2) Mérsékelt övi ciklonok**

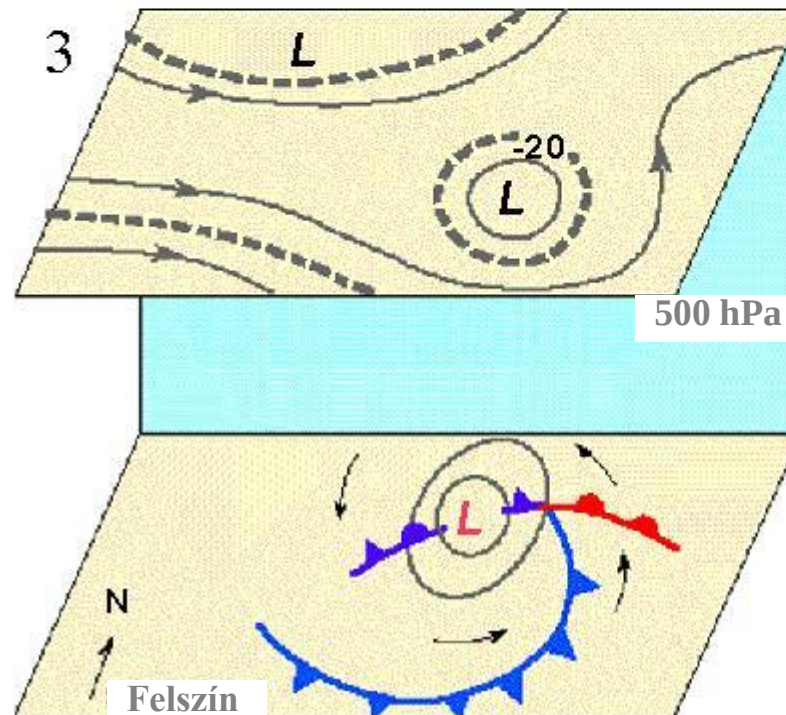
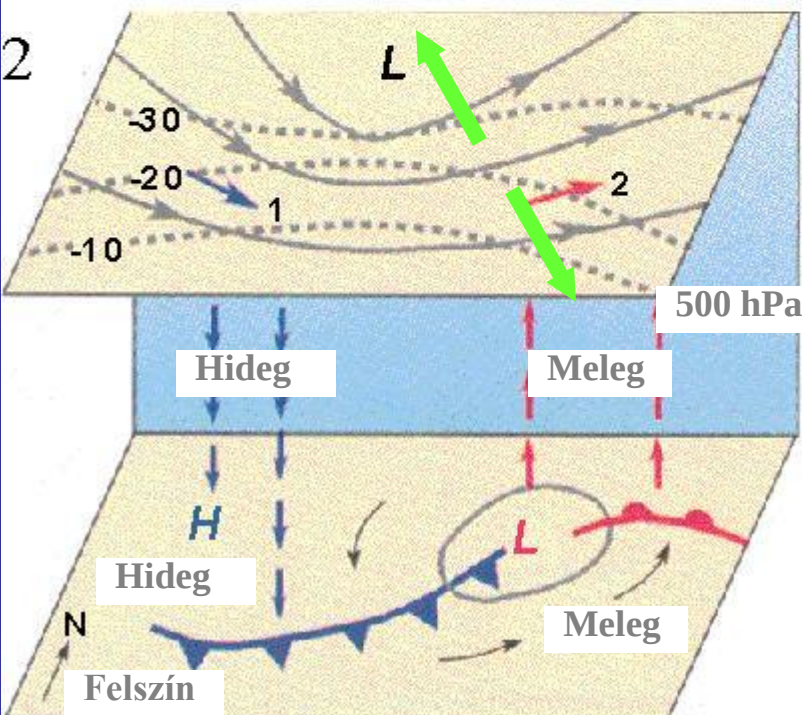
Felhő- és csapadékképződési folyamatok

- Felhajtóerő hatására történő felemelkedés [buborék emelkedés]
- **Kényszerített felemelkedés [légréteg, vagy légtömeg felemelkedése]**
 - Orografikus
 - Front hatására
 - Alacsony szintű konvergencia
 - **Magas szintű divergencia (jet stream)**
- Gyakran a felhőképződés több, egymással párhuzamosan zajló folyamat eredményeként keletkezik



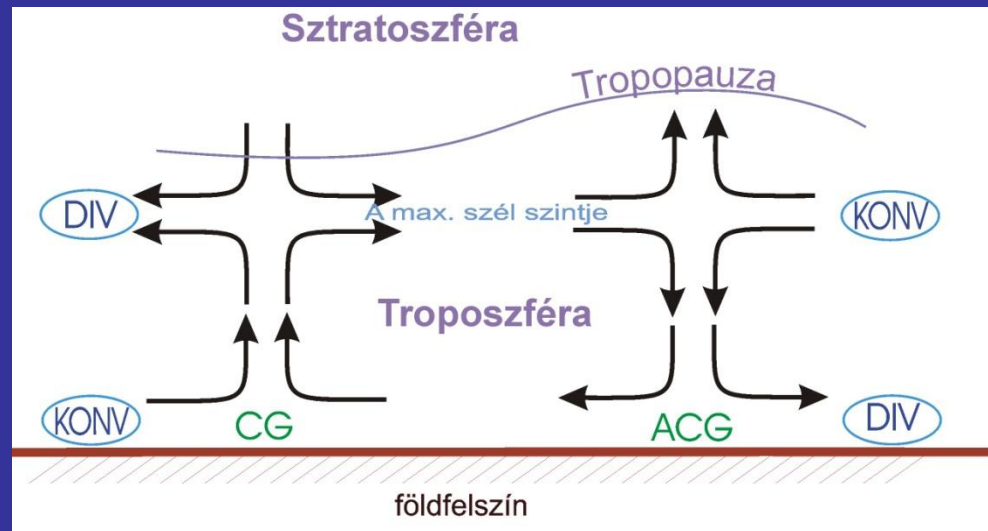
(d) Jet stream-ek (futóáramlások) által kényszerített felemelkedés

Divergencia a magasabb
légrétegekben



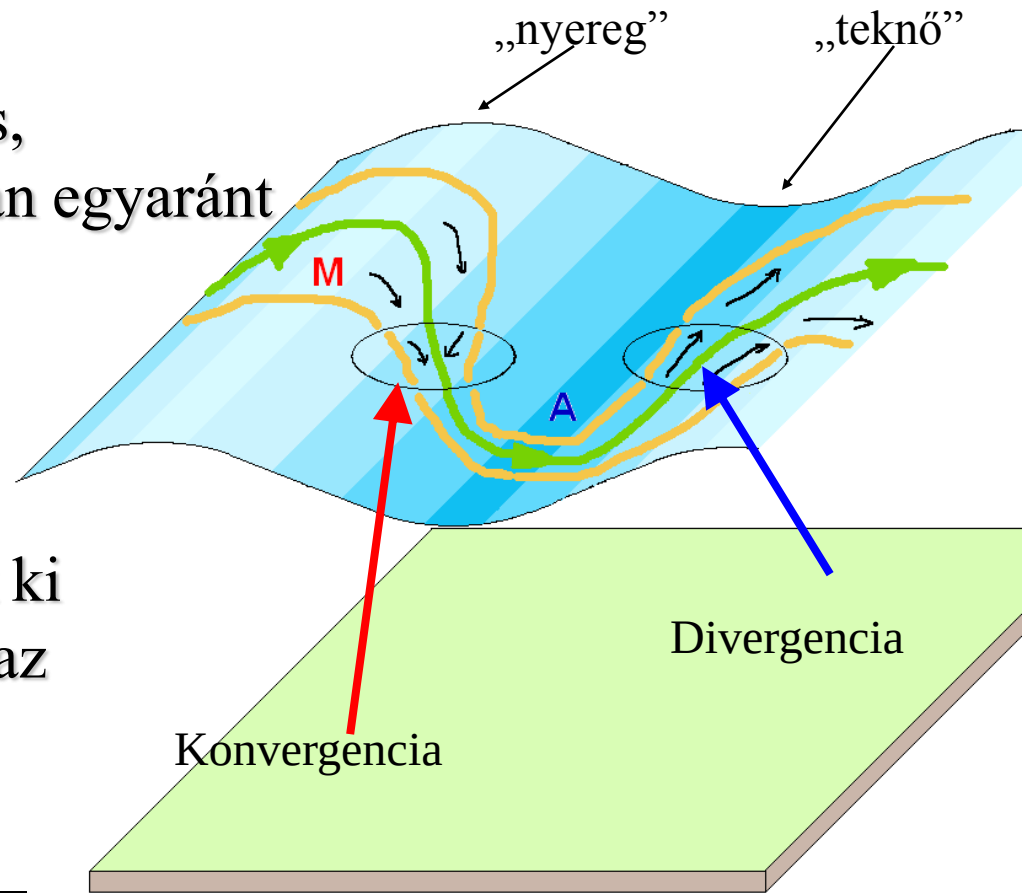
(d) Magas szintű divergencia (jet stream)

- Ismételés – jet stream
 - Nagy sebességű szélcsatornák a szubtrópusi és a polár fronthoz kapcsolódóan a tropopauza közelében
 - A nagy hőmérsékleti gradienssel konzisztens az elhelyezkedése
 - Átlagos tengelymenti sebessége $>30\text{m/s}$
 - Hullámzó horizontális mozgás – Rossby – hullám
 - A poláris jetnek nem folytonos
 - A szubtrópusi és poláris jet összekapcsolódhat



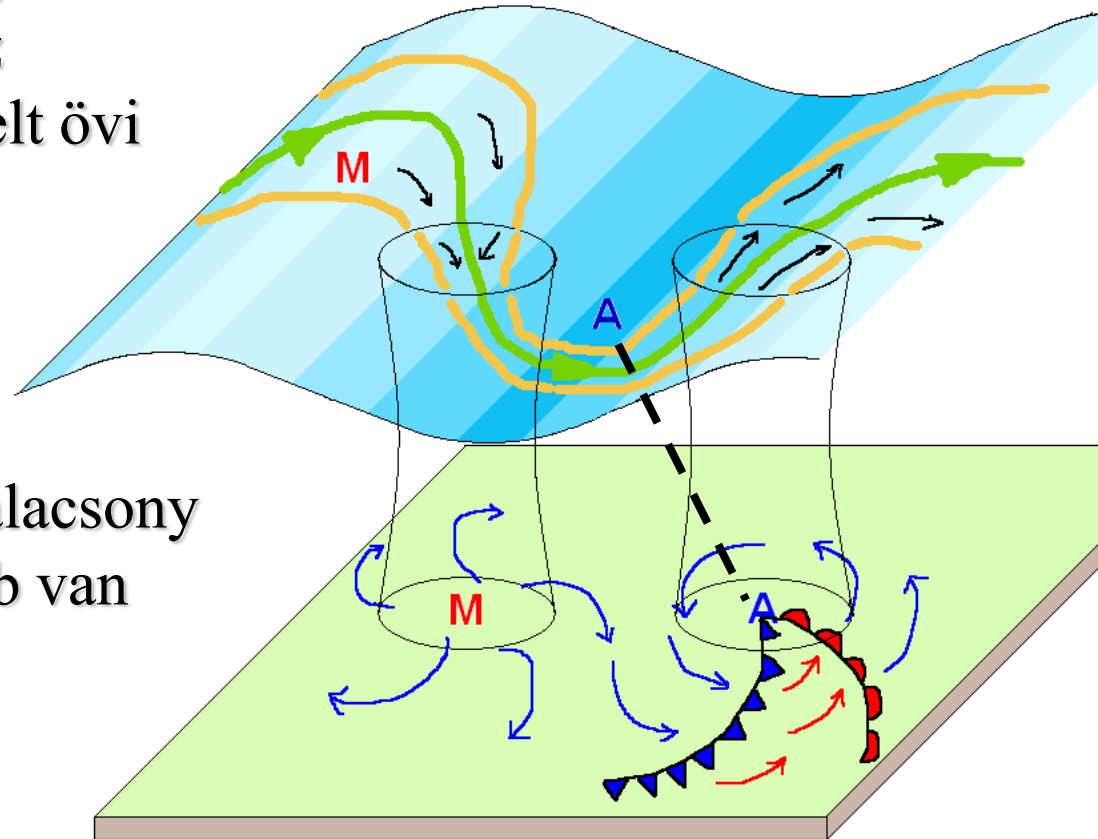
(d) Magas szintű divergencia (jet stream)

- Jet stream mozgása 3 dimenziós, függőleges és vízszintes irányban egyaránt végez hullámmozgást
- Egy adott szinten a különböző légnyomás értékek hatására ún. nyomási „teknők” (alacsony) és „nyergek” (magas) alakulnak ki
- Nyomási teknőben sűrűsödnek az izobárok => levegő szűkebb csatornába kényszerül
- Teknő előoldalán összeáramlás – konvergencia alakul ki
- Teknő hátoldalán a szűkebb légtérbe jutva a kiáramló levegő szétáramlik – divergencia alakul ki



(d) Magas szintű divergencia (jet stream)

- A magasban kialakuló divergencia a felszínen konvergenciát okoz
=> szerepet játszik a mérsékelt övi ciklonok keletkezésében
- Mivel a magaslégköri divergencia „megelőzi” az alacsony nyomású teknőt, a felszínen kialakuló ciklon alacsony nyomású központja is előrébb van
=> ciklonok tengelye döntött
- Egyes esetekben a szupercellák erősítésében és fenntartásában is közre játszik



Milyen lesz az időjárás Magyarországon, ha:

- 1. Nyáron egy észak-nyugati irányból mP, hideg légtömeggel kísért HIDEG FRONT érkezik és előtte afrikai, szubtrópusi eredetű levegő hatására, felhőtlen égbolt és 34°C körüli napi maximum hőmérséklet volt jellemző?
 - a) Gyengén felhős, cumulusokkal tarkított égbolt, csapadék nincs, meleg idő
 - b) Erősen felhős, alacsony és közép magas felhőzet egyaránt előfordul, csapadék nincs, enyhe idő
 - c) Változóan felhős, zápor előfordulhat, meleg idő
 - d) Front mentén záporok, zivatarok alakulnak ki, a hőmérséklet visszaesik

Milyen lesz az időjárás Magyarországon, ha:

- 1. Nyáron egy észak-nyugati irányból mP, hideg légtömeggel kísért HIDEG FRONT érkezik és előtte afrikai, szubtrópusi eredetű levegő hatására, felhőtlen égbolt és 34°C körüli napi maximum hőmérséklet volt jellemző?
 - a) Gyengén felhős, cumulusokkal tarkított égbolt, csapadék nincs, meleg idő
 - b) Erősen felhős, alacsony és közép magas felhőzet egyaránt előfordul, csapadék nincs, enyhe idő
 - c) Változóan felhős, zápor előfordulhat, meleg idő
 - d) Front mentén záporok, zivatarok alakulnak ki, a hőmérséklet visszaesik

Milyen lesz az időjárás Magyarországon, ha:

- 2. Télen mediterrán, szubtrópusi eredetű levegőt (napi maximum hőmérséklet 7°C körüli, változóan felhős égbolt, csapadék nincs) Kelet-Európai síkságról érkező cP légtömeg váltja fel?
 - a) Gyengén felhős, enyhe idő
 - b) Gyengén felhős, igen hideg idő
 - c) Borult, hideg idő
 - d) Esős, enyhe idő

Milyen lesz az időjárás Magyarországon, ha:

- 2. Télen mediterrán, szubtrópusi eredetű levegőt (napi maximum hőmérséklet 7°C körüli, változóan felhős égbolt, csapadék nincs) Kelet-Európai síkságról érkező cP légtömeg váltja fel?
 - a) Gyengén felhős, enyhe idő
 - b) Gyengén felhős, igen hideg idő
 - c) Borult, hideg idő
 - d) Esős, enyhe idő

Milyen lesz az időjárás Magyarországon, ha:

- 3. Télen cP légtömeg tartózkodik Közép-Kelet-Európában (napi maximum hőmérséklet -4°C körüli, felhő szinte nincs) majd egy „mediterrán” ciklon helyeződik az Magyarország fölé?
 - a) Ködös, hideg idő
 - b) Gyengén felhős, enyhe idő
 - c) Havazás, hideg idő
 - d) Esős, enyhe idő

Milyen lesz az időjárás Magyarországon, ha:

- 3. Télen cP légtömeg tartózkodik Közép-Kelet-Európában (napi maximum hőmérséklet -4°C körüli, felhő szinte nincs) majd egy „mediterrán” ciklon helyeződik az Magyarország fölé?
 - a) Ködös, hideg idő
 - b) Gyengén felhős, enyhe idő
 - c) Havazás, hideg idő
 - d) Esős, enyhe idő