

Fizikai Szemle 2007/11. 362.o.

MITŐL FÜGG AZ IDŐJÁRÁS?

Tasnádi Péter
ELTE, Meteorológiai Tanszék

Az időjárás mindnyájunkat szinte állandóan foglalkoztatja. Néha rettenetesnek érezzük kiszámíthatatlanságát, sokszor örömet szereznek a váratlanul derűs napok, vagy megnyugvással töltenek el a csapadékos növénynevelő időszakok.

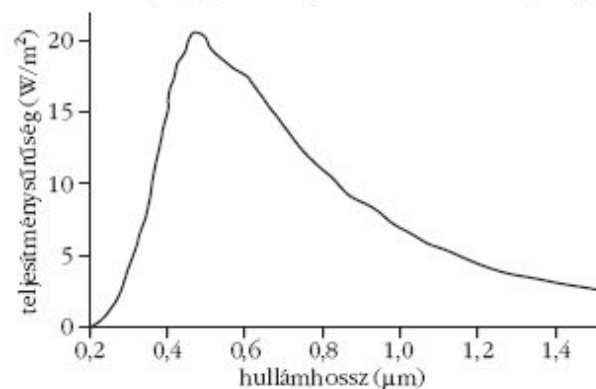
A meteorológusokat régóta foglalkoztatja a változékonyság, ugyanakkor az évszakos változatlanság oka.

A következőkben megkíséreljük számbavenni azokat a tényezőket, amelyek az átlagos időjárást alakítják, s azokat is, amelyek a bizonytalanságért felelősek. Kövessük végig a földi időjárásunkat alakító fontosabb tényezőket.

A Föld távolról nézve

Földünk a Nap körül keringő bolygó, amelynek átlagos hőmérséklete 288 K körüli. Az, hogy a Föld hőmérséklete a Napból jövő 6000 K hőmérsékletű sugárzás ellenére állandó, azt jelenti, hogy a Föld a Napból érkező energiát nem tárolja, hanem visszajuttatja az űrbe. Érdekes megvizsgálni, hogy mi lesz a sorsa a Napból a légkör határára érkező 1,39 kW/m² sugárzási energiának. Az összegező megállapításon túl, hogy a Föld a beérkező energiát kisugározza, s ez a dinamikus egyensúly alakítja ki a Föld átlagos hőmérsékletét, érdemes kissé részletesebben megvizsgálni, hogy a sugárzási egyensúly létrejöttében milyen szerepe van a légkörnek, a légköri víznek és a földfelszínnek.

1. ábra. A Nap 6000 K-es sugárzásának eloszlási görbéje.

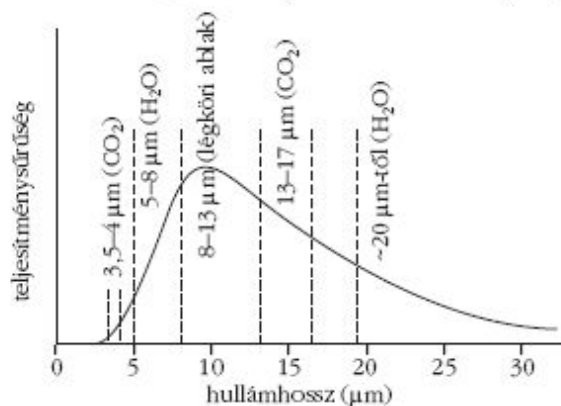


A Nap és a Föld hőmérsékleti sugárzását különböző hullámhosszúságú sugárzások elegye alkotja, az egyes összetevők súlyát a hőmérséklet függvényében a Planck-görbe adja meg. Az [1. ábra](#) a Nap 6000 K-es, a [2. ábra](#) a Föld 288 K-

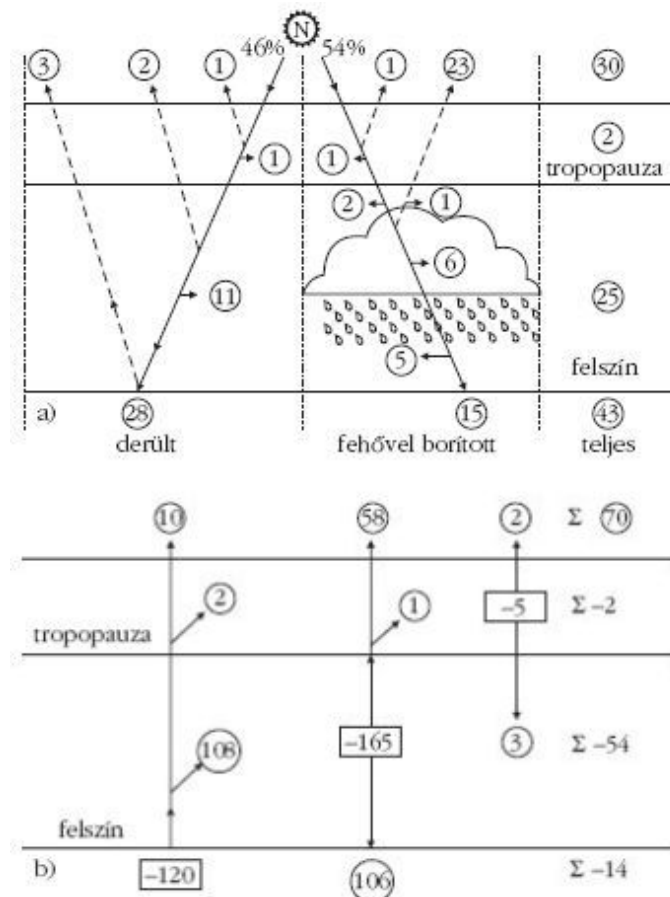
es sugárzáseloszlási görbét mutatja. Az *ábrából* látszik, hogy a Nap sugárzását döntően rövid-, a Földét hosszuhullámú összetevők alkotják. A két sugárzási tartomány gyakorlatilag nem fedi át egymást, hiszen a napsugárzás 2 μm körüli hullámhosszakon már gyakorlatilag semmilyen összetevőt sem tartalmaz, a Föld kisugárzása pedig innen indul a nagyobb hullámhosszúságú összetevők felé. Ez lehetővé teszi, hogy a mérésekben elkülönítsük a Nap rövidhullámú és a Föld hosszuhullámú sugárzását. (A [2. ábra](#) néhány olyan folyamatra is utal, amelyekkel most nem kívánunk foglalkozni. Mutatja, hogy a légköri gázok a Föld hőmérsékleti sugárzásából egyes hullámhossz-tartományokban erősen elnyelnek. Ez az üvegházhatás, ami a Föld átlagos hőmérsékletét mintegy 20 K-nel növeli.)

A folyamatokat távolról szemlélve, és a Nap sugárözönében fürdő Földet a globális energiamérleg szempontjából figyelve az mondhatjuk tehát, hogy a Föld a sugárzás egy részét elnyeli, más részét visszaveri a világűrbe. A elnyelt sugárzás energiája semtárolódik, hanem a Föld hosszuhullámú sugárzása formájában visszajut az űrbe, azaz a rövidhullámú napsugárzás egy részét a Föld hosszuhullámúvá alakítja.

2. ábra. A Föld 288 K-es sugárzásának eloszlási görbéje.



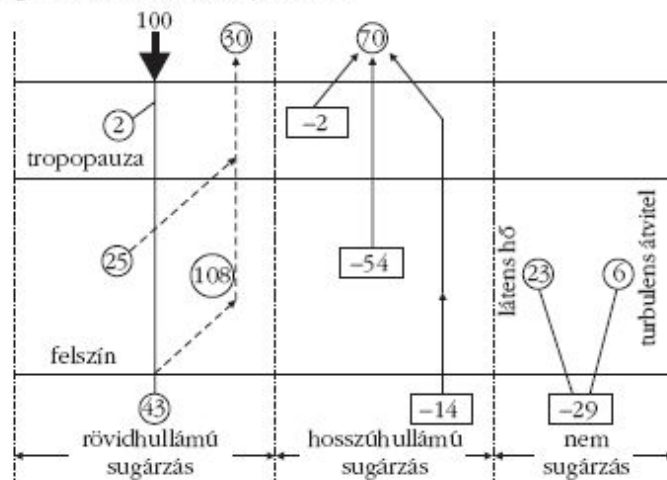
A kétféle sugárzás bonyolult visszaverődési és elnyelődési folyamatok során alakítja ki a Föld egyensúlyi hőmérsékletét. A folyamatok összegzését a Nap rövidhullámú, valamint a Föld hosszuhullámú sugárzására a [3. ábra](#) szemlélteti. Az *a)* és *b)* *ábrák* a Napból jövő energia százalékában mutatják a légkör derült és felhős részében, illetve a talajon elnyelt és visszavert (visszasugárzott) energiát. A százalékos értékek becslések eredményei. Az energiaegyensúly értelmezéséhez kissé közelebről kell szemügyre vennünk a Földet és légkörét. Az *ábrákon* leválasztottuk a Földről az időjárási jelenségek színhelyét, a troposzférát, mely mintegy 10 km vastagságú légréteg (a Föld sugara 6390 km), és a levegő nagy részét tartalmazza.



3. ábra. Az a) ábra jobb oldali oszlopa mutatja azt az (összegzett) eredményt, hogy a Napból a Földre érkező energia 30%-a a légkör különböző elemeiről és a talajról közvetlenül visszaverődik és visszakerül az űrbe. A bejövő energia 70%-át a Föld és a légkör elnyeli és hosszuhullámú hőmérsékleti sugárzássá alakítva sugározza vissza. A b) ábrán a hosszuhullámú kisugárzás egyenlegét a jobb oldali oszlop összegzi. Megállapítható, hogy a kisugárzás döntő részéért (54%) a troposzféra felelős.

Kérdés, hogy van-e jelentősége ennek az átalakításnak azon a döntő megállapításon túl, hogy a Föld energetikailag dinamikus egyensúlyban van. A választ a termodinamika második főtételéből kaphatjuk meg. A tétel szerint az olyan rendszerekben, amelyekben spontán folyamatok mennek végbe, a rendezetlenségnek s az azt mérő entrópiának növekednie kell. A földi élet keletkezése azonban ennek ellentmondani látszik, hiszen például az élő szervezetek keletkezése rendeződési folyamatot, entrópiacsökkenést jelent. Az ellentmondás éppen a sugárzó energiának a rövid hullámhosszúságú tartományból a hosszuhullámú felé való átalakításának figyelembe vételével oldható fel. A rövidhullámú sugárzást nagy frekvenciájú, s így nagy energiájú fotonok alkotják, a visszasugárzott energiában a fotonok energiája sokkal kisebb, így a Föld sokkal több fotonot bocsát ki, mint amennyit elnyel. A Napból érkező kevesebb foton rendezettebb állapotot képvisel, mint a Földről távozó sok foton, azaz a Napból kis entrópiájú sugárzás érkezik, s a Földről nagy entrópiájú sugárzás távozik. A sugárzás entrópiájának növekedése lehetővé teszi, hogy a Földön rendeződési folyamatok történjenek.

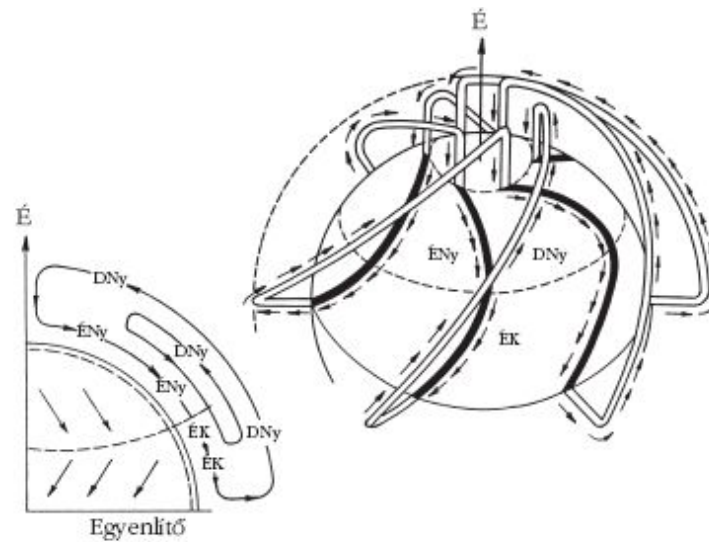
4. ábra. Az ábra a sugárzási egyensúly arányait szemlélteti. A visszavert és elnyelt sugárzás mennyiségét most is a Napból érkező sugárzás százalékában fejeztük ki.



Messze kalandoztunk az időjárástól! Térjünk vissza az alapkérdésünkhöz, és vegyük jobban szemügyre a troposzférában zajló energetikai folyamatokat. A troposféra keskeny levegőrétege természetesen önmagában is termikus egyensúlyban van.

A [4. ábra](#) mutatja, hogy a bejutó energia nagyobbik részét a Föld felszíne nyeli el. Ugyanakkor a hosszúhullámú kisugárzásért főként a troposféra felelős. Hogyan tud a légkör több energiát kisugározni, mint amennyit elnyel? Ehhez a Föld felszínéről energiát kell átvinni a légkörbe! Az energiamérleg kialakításában, a felszín és a légkör közötti hőcsere biztosítására újabb szereplők, a légköri víz és a turbulens hőátvitel jelenik meg. Csodálatos, hogy a légkör össz tömegének átlagosan csak 0,25%-át képviselő víz az energiaháztartásban hogyan tud 23%-os szerepet játszani.

A magyarázatot egyrészt a víz gyors körforgása, másrészt nagy párolgáshője adja. A légkör teljes víztartalma körülbelül 10 naponként cserélődik, s 1 kg víz elpárologtatásához több mint 2000 kJ energia szükséges. Így már érthető, hogy a rövidhullámú sugárzástól felmelegített Földről elpárolgó, majd a magasban újra lecsapódó víz valóban hatalmas mennyiségű energiát szállít a légkörbe.

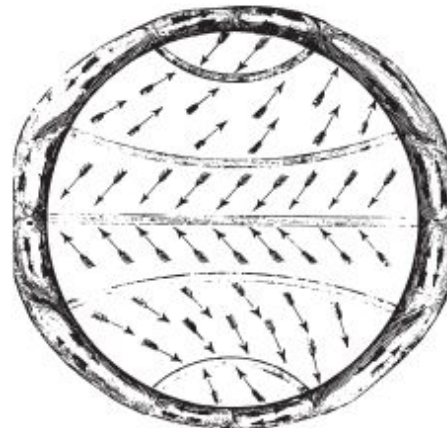


5. ábra. A légköri mozgások Hadley által elképzelt modellje.

A párolgás - lecsapódás (felhőképződés) - csapadék hullás körforgás hozza létre a gyönyörű és sokszor félelmetes zivatarfelhőket, s a víz körforgalma felelős a légkör elektromosságáért és a villámokért is.

A Föld tengelye dőlt

Térjünk vissza ismét az időjárást alakító okok tisztázásához. A Földet a Nap sugárzása egyenetlenül melegíti. Ez akkor is így lenne, ha a Föld tengelye merőlegesen állna az ekliptika (Földpálya) síkjára, azaz a napsugarak éppen az Egyenlítőn érkeznének merőlegesen a Földre. Észak és dél felé haladva a sugarak egyre laposabb szögben érnék a Föld felszínét, azaz egyre kisebb energia esne egységnyi felületre. Ekkor az Egyenlítő környékén mindig nyár, a sarkok közelében mindig tél lenne.



6. ábra. Ferrell széliránytérképe.

A Föld tengelye azonban 23,5%-os szögben hajlik az ekliptika síkjához. Emiatt az északi félteke nyarán a Ráktérítő környezetében, a délién pedig a Baktérítő környékén érkeznek a napsugarak merőlegesen a Földre. A Föld keringése miatt ily módon keletkezik az évszakok váltakozása.

Az egyenetlenül melegedő Földön a sarkok közelében sűrűbb hideg, az Egyenlítő környékén kisebb sűrűségű meleg levegő halmozódik fel.

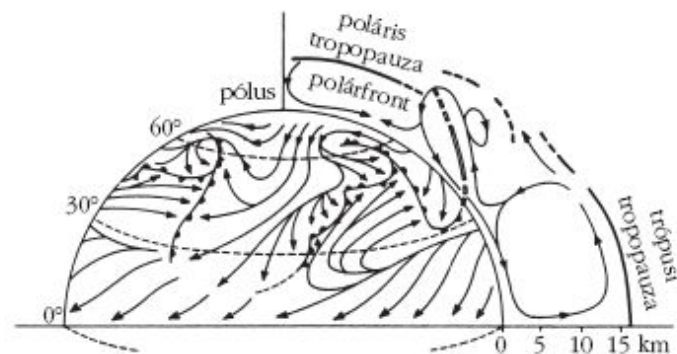
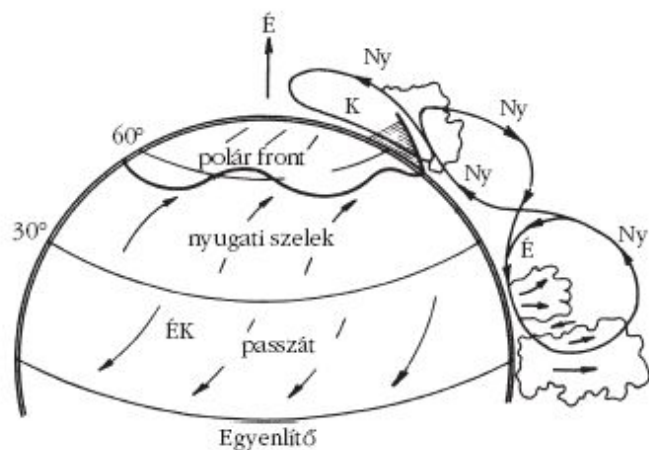
Áramlások a légkörben

A Nap sugárzása, a földtengely ferdesége és a Föld forgása bonyolult viszonyokat teremt, és a légkörben az egyenetlen felmelegedés és a forgás hatására áramlások indulnak. Ezek az áramlások nagy átlagban mindig ugyanúgy mennek végbe, azonban mind időben, mind helyileg nagy ingadozások is felléphetnek bennük. Az áramlások nagy vonalakban történő áttekintéséhez ideális, csak egy-egy fontos hatást figyelembe vevő áramlási képeket képzelhetünk el, majd ezeket egymásra szuperponálva megérthetjük a földi légköri átlagos viselkedését.

Amennyiben az álló Földet a Nap az Egyenlítő síkjában naponta körbejárná (ahogyan ezt az ókorban képzeltek), akkor a sugárzás a levegőt az Egyenlítőtől a sarkokig egyenetlenül melegítené fel. Az Egyenlítőn felmelegedő levegő felszállna, helyére a talajon hideg levegő áramlana, a meleg levegő pedig a magasban a sarkok felé áramlana, ahol kihűlve lefelé mozogna. Mindkét féltekén kialakulna tehát egy-egy légköri áramlás, ami a hőmérséklet kiegyenlítését szolgálná.

Ha a Föld forogna és a Nap nem melegítené a légkört, akkor a levegő hamarosan felvenné az adott helyen a forgásnak megfelelő sebességet, azaz a Földhöz képest nem jönnének létre áramlások.

7. ábra. Az északi félteke légköri áramlásainak rendszere Rossby szerint.



8. ábra. A légköri áramlások jelenleg általánosan elfogadott rendszerének képe az északi féltekén.

A valóságban a két hatás együtt működik, megtévezve azzal, hogy a Föld tengelye nem merőleges az ekliptika síkjára. Ez utóbbi hatás okozza - mint már említettük - az évszakok változását. Az általános légköri áramlások vizsgálatakor azonban eltekinthetünk tőle.

Gondoljuk végig, mi történik a napsugárzás hatására az Egyenlítő felől a magasban észak felé áramló meleg levegővel! Az Egyenlítőn a levegő a Földdel együtt forgott nyugatról keletre. Amikor észak felé áramlik, akkor a magasabb szélességeken nem tudja azonnal felvenni az adott szélességi körön a Föld forgásából adódó sebességet, hanem megőrzi az egyenlítői mozgásnak megfelelő sebességét. Ez azt eredményezi, hogy az Egyenlítő felől érkező levegő a Földhöz képest kelet felé mozog, vagyis ott nyugati szél fúj. Hasonló okból az Egyenlítő környékén a visszaáramló hideg levegő, mintegy lemaradva a Föld forgásától, keleties szeleket eredményez. Ezt az elképzelést tükrözi az [5. ábra](#), amely a légkörzést *Hadley* elképzelése szerint mutatja az északi féltekére vonatkozóan.

Látható, hogy a sarkkör közelében a talaj mentén mozgó hideg levegő is nyugatról keletre mozog (nyugati szél). Ez azzal magyarázható, hogy a sarkok közelében leszálló levegő még a talaj közelébe jutva is őrzi az Egyenlítőnél a Föld forgása miatt szerzett többletsebességét, s csak a térítőkörök mentén csökken sebessége (a súrlódás hatására) annyira, hogy az Egyenlítő környékére érve keleti szelet hozzon létre. *Hadley* modellje volt az első, amely már reális elemeket tartalmazott az általános légkörzésről, s az egyenetlen melegedés mellett a Föld forgásának hatását is figyelembe vette.

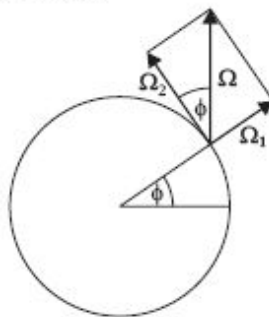
A tapasztalatok azonban mást mutattak. A hajósok már az újkor kezdetén feltérképezték a tengereken fújó szelek irányát, s a *Hadley*-modell csak részben tükrözte a tapasztalatokat.

A [6. ábra](#) *Ferrell* egyszerű, de a felszín mentén az átlagos szélirányokat jól tükröző térképét mutatja. A térkép rámutat arra, hogy a *Hadley*-modell, amely egyetlen légkörzéssel, úgynevezett cellával kívánja leírni egy-egy félteke általános légkörzését, nem tartható. A térkép szerint mind az északi, mind a déli féltekén nagyjából a Ráktérítőig, illetve a Baktérítőig az Egyenlítő felé fújó keleties, onnan a sarkkörig a sarkkör felé fújó nyugati, majd a sarkok felől a sarkkörökig ismét keleti szél az uralkodó. Tehát a féltekék átlagos áramlási képe nem írható le egyetlen cellával.

A valóságban az Egyenlítő felől a magasban a sarkok felé mozgó levegő gyorsan hűl, és a tapasztalat szerint már a térítőkörök mentén a talajra kényszerül, ott kettévál, egy része keleties irányú passzát szelek formájában az Egyenlítő felé mozog, más része nyugati szeleket okozva a sarkok felé halad. A szélirányok mindkét esetben a Föld forgása miatt térnek el az észak-déli iránytól. Az áramlási kép leírásához már három cella szükséges. Tovább bonyolítja a képet, hogy a 40-ik és a 60-ik szélességi kör között, mint azt *Rossby* megállapította, létrejön egy hullámzó, az egész Földet körbeérő, a sarki hideg és az egyenlítői meleg levegőt elválasztó úgynevezett polárfront. A [7. ábra](#) az áramlási rendszer *Rossby* elképzelése nyomán kialakítható képét mutatja. A képen berajzoltuk a három zárt légkörzési cellát és a hullámzó polárfrontot.

A valóságban azonban a cellák, elsősorban az Egyenlítőtől távolabb eső kettő, nem zártak. A hullámzó polárfront kitüremlései megnövekedhetnek és a frontról lefűződve zárt örvények, ciklonok és anticiklonok formájában, leszakadhatnak. A ciklonok ott keletkeznek, ahol a meleg levegő észak felé nyúlik. A meleg levegőben a nyomás alacsonyabb, így a ciklonok alacsony nyomású képződmények, amelyekben a dél felé nyúló hideg levegő gyorsabban mozog mint a meleg. A frontvonalról véletlenszerűen leszakadó ciklonok aztán nyugatról keletre haladnak, forgásirányuk az északi féltekén az óramutató járásával ellentétes, a déli féltekén azonos irányú. (A [8. ábra](#) szematikusan mutatja ezt a ma elfogadott általános áramlási képet.) Az anticiklonokban az északi féltekén a forgás iránya az óramutató járásával megegyező.

9. ábra. A Föld szögsebességének vízszintes és függőleges komponensei ϕ földrajzi szélességen.



A mérsékelt öv, így hazánk napi időjárását, az előre nehezen jósolható változékonyságot lényegében a törvényszerűen keletkező mérsékelt égövi ciklonok hozzák létre. Az örvények leszakadásának a Föld egyenetlen melegedése és forgása miatt törvényszerűen be kell következnie, az örvények keletkezésének azonban sem a helye, sem az ideje nem jósolható hosszú időtartamra előre.

A Coriolis-erő, avagy merről fúj a szél

A ciklonok forgásirányának magyarázatához az eddigi nagyon általános érveléssel szemben részletesen kell vizsgálnunk a levegőrészek mozgását létrehozó erőket. A szabad légkörben a nehézségi erő mellett a levegőrészek mozgását csak a nyomásból származó erő alakítja. A mozgást azonban a Földhöz képest kívánjuk leírni, ezért figyelembe kell vennünk, hogy a Föld forgása miatt a hozzá rögzített koordináta-rendszer gyorsuló mozgást végez, azaz nem inerciarendszer.

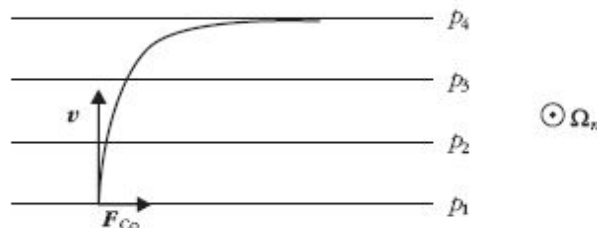
Ahhoz, hogy a Newton-törvényeket forgó rendszerekben is az inerciarendszerben megszokott formában alkalmazhassuk, tehetetlenségi erőket kell bevezetnünk.

A forgó rendszer tehetetlenségi erői közül a légköri mozgásokat elsősorban a Coriolis-erő befolyásolja. A Coriolis-erő a forgó rendszerhez képest v sebességgel mozgó testekre hat, és az

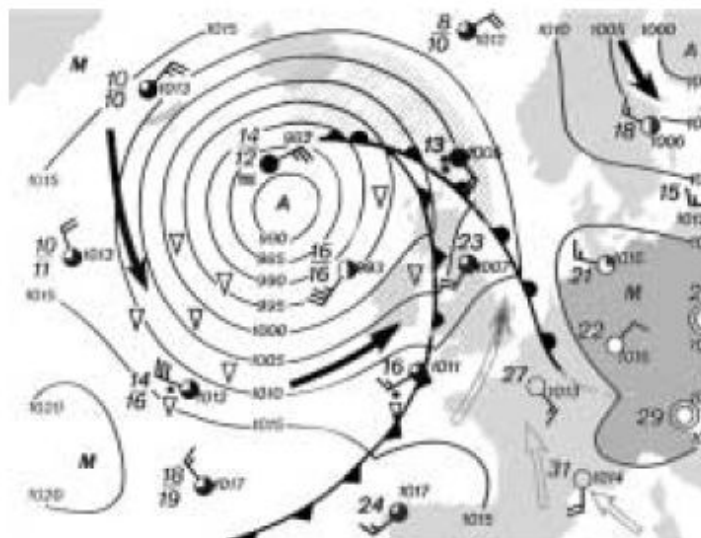
$$\mathbf{F} = 2 m (\mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega})$$

összefüggéssel adható meg, ahol $\boldsymbol{\Omega}$ Föld szögsebessége. A Coriolis-erő tehát merőleges mind a mozgó test sebességére, mind a Föld szögsebességére. A troposzférában létrejövő, meteorológiai szempontból fontos mozgások általában csak a horizontális síkban rendelkeznek jelentős sebességgel, ezért a Coriolis-erő kiszámításakor a Föld szögsebességének többnyire csak az adott helyen vett vertikális összetevőjét kell figyelembe venni. A [9. ábra](#) mutatja a szögsebességvektor függőleges és vízszintes komponensekre bontását.

10. ábra. A nyomáskülönbség és a Coriolis-erő együttes hatására kialakuló légköri mozgás sebességvektorának iránya az izobár felületekre merőlegestől eltér, végül azokkal párhuzamossá válik.



Hétköznapi tapasztalataink arra utalnak, hogy a levegő a nagyobb nyomású hely felől áramlik a kisebb nyomású felé. (A kiszúrt luftballonból a belső nagyobb nyomás hatására áramlik ki a levegő.) A légkörben azonban a Coriolis-erő ezt az egyszerű szabályt elrontja. Ha egy légréteg a fellépő nyomáskülönbség hatására vízszintes irányban mozogni kezd az izobárokra merőlegesen, akkor a Coriolis-erő hatására pályája addig változtatja irányát, míg sebessége párhuzamossá nem válik az izobárokkal. A Föld forgása miatt a szél nem a magasabb nyomású hely felől fúj az alacsonyabb nyomású felé, hanem az izobárokkal párhuzamosan, azaz az azonos nyomású görbék mentén. Ekkor ugyanis egyensúlyba kerül a nyomásból származó és a Coriolis-erő. A [10. ábra](#) sematikusan mutatja a nyomásváltozás miatt fellépő és a Coriolis-erő hatását egyenes izobársereg esetén.



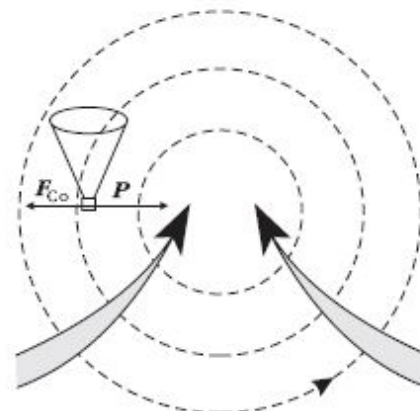
11. ábra. Részlet egy időjárás térképből.

Ciklonok, anticiklonok, frontok

A Coriolis-erő ismeretében már megérthetjük a ciklonok örvénylését is. Az időjárás térképek sok egyéb mellett megmutatják a légkör nyomás- és hőmérsékleteloszlását, és úgynevezett szélzászlók segítségével feltüntetik a szélirányt is. A zászló nyele a szélirányt jelzi, maga a zászló pedig rövid és hosszú vonalakból áll. Egy rövid vonal körülbelül 2,5 m/s, egy hosszú körülbelül 5 m/s sebességnek felel meg. A [11. ábra](#) időjárás térképrészletet mutat. A folytonos vonalak

izobárokat (azonos nyomású helyeket) jelölnek. A rájuk írt szám a nyomás értékét jelenti hektopascalban. Az *ábra* közepén, az Ír-sziget mellett alacsony nyomású középponttal koncentrikus izobárokból álló képződmény, ciklon látható. A külső izobárok két pontban, ahol a háromszögekkel jelölt hideg, illetve félkörökkel jelölt melegfront elmetszi őket, kissé megtörnek.

A szélzászlók jól mutatják, hogy a ciklonban a levegő az izobárok mentén mozog, az alacsony nyomású hely körül örvénylik. A légréseket a nyomáscsökkenés miatt befelé mutató és a radiálisan kifelé mutató Coriolis-erő eredője tartja fenn. A ciklon mozgásában elsődleges a horizontális örvénylés, azonban másodlagos mozgásként az alacsony nyomású középpontban felszálló légmozgások is létrejönnek. Az emelkedő levegő lehűl, páratartalma kicsapódik, és felhők keletkeznek benne.



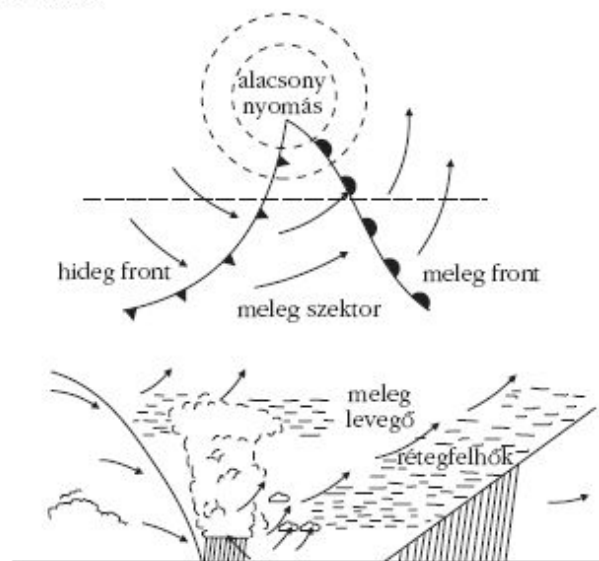
12. *ábra.* Mozgás egy ciklon „erőterében”.

Ha például egy hőlégballon mozgását figyeljük a ciklonban, akkor a ballon először befelé mozog a ciklon alacsony nyomású középpontja felé. A Coriolis-erő azonban eltérítene egészen addig, amíg valamelyik állandó nyomású görbe (izobár) mentén „stabil pályára” nem állna. Ezt az esetben a centripetális erőt a csökkenő nyomás miatt fellépő, befelé mutató, erő (P) és a kifelé mutató Coriolis-erő (F_{Co}) eredője szolgáltatja (12. *ábra*).

Az anticiklonokban a nyomás közepén a legmagasabb és kifelé haladva csökken. Ez azt jelenti, hogy a forgás mellett fellépő másodlagos mozgás ebben az esetben középen leszálló és kifelé tartó áramlás. A leszálló levegő melegszik, ezért a benne lévő felhők vízcseppjei elpárolognak. Az anticiklonokban jellegzetes "felhősízelő" hatás működik.

Térjünk vissza a ciklonokhoz! A ciklonok, mint említettük, a hideg és meleg levegő határán képződő hullámszerű zavarokról leszakadó örvények, amelyekben a hideg és meleg levegő határvonalai, a frontok jól észlelhetőek. A frontok mozgása közben az elől haladó meleg levegő felsiklik az előtte elhelyezkedő hidegebb fölé, míg a hátul haladó hidegfront megemeli az előtte lévő meleg levegőt. Amikor a gyorsabban haladó hidegfront utoléri a melegfrontot, úgynevezett "okkludált" front jön létre, akkor a meleg levegő kiszorul a talajszintről és a hideg fölé kerül, a ciklon élete lényegében befejeződik (13. *ábra*).

13. ábra. Egy ciklon megsemmisülését eredményező légköri mozgások vázlatja.



Időjárás szempontból a frontok a leglátványosabb képződmények, változatos felhőzetük és csapadékuk mindig szolgálhat meglepetéssel. Nagy általánosságban azt mondhatjuk, hogy a ciklon melegfrontja előtt rétegfelhők alakulnak ki, a melegszeletben (a meleg és hidegfront között) kicsit javul az idő, elszórtan, véletlenszerűen gomolyfelhők keletkeznek, a hideg-front pedig általában viharos szélkéséssel érkezik, és erős zivatarokat hoz. Ugyanakkor nyáron a tartósan meleg, télen a tartósan hideg és mindkét esetben gyakorlatilag felhőmentes időért az erős, nagykiterjedésű anticiklonok felelősek.

A fentiekben vázolt kép természetesen elnagyolt. Az időjárást rengeteg helyi tényező alakítja, a szárazföldek és vizek váltakozása, a hegységek elhelyezkedése mind-mind befolyásoló tényező, a mikroklímán akár egy faszor kivágása is változtathat.

Irodalom

1. Czelnai Rudolf: *Bevezetés a Meteorológiába I. Légkörtani alapismeretek*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
2. Czelnai Rudolf, Götz Gusztáv, Iványi Zsuzsanna: *Bevezetés a Meteorológiába II. A mozgó légkör és Óceán*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
3. Tasnádi Péter, Juhász András, Horváth Gábor: *Fizika körülöttünk*. Műzsák, Budapest, 1994.
4. W.J. Burroughs, B. Crowder, T. Robertson, E. Wallier-Talbot, R. Whitaker: *Meteorológia*. Trio, 2000.(angol eredeti: US Weldon Owen Inc., 1996.)
5. Mészáros Ernő: *A Környezettudomány alapjai*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001.

ákifelé mutató Coriolis-erő