

Agrometeorológia

Előadás

II.

A légköri sugárzásforgalom jellemzői

- A légkör és a felszín fizikai, kémiai és biológiai folyamatait a Napból elektromágneses sugárzás formájában érkező sugárzási energia vezérli. E folyamatokhoz szükséges energia közel 100%-a érkezik a Napból.
- Az általános cirkuláció, a különböző skálájú légköri mozgásrendszerek (pl. ciklontevékenység, időjárási frontok mozgásai, kisebb térskálájú örvények stb.) energetikai forrása is a Nap.

A sugárzásmérés tárgyköre

- A sugárzásmérés számos területen jelent alapvető információt.
- A mérések céljai:
 - a Föld-légkör rendszer energiaátalakulási folyamatainak, az energiaátalakulások tér-és időbeli változásainak vizsgálata,
 - légköri összetevők (mint például aeroszol részecskék, vízgőz, ózon stb.) tulajdonságainak, eloszlásának vizsgálata,
 - a bejövő rövidhullámú sugárzás, a kimenő hosszúhullámú sugárzás, valamint a sugárzási egyenleg eloszlásának és változásának vizsgálata,
 - számos felhasználási terület (pl. biológiai, egészségügyi, építészeti, mezőgazdasági stb. ipari tevékenységek) sugárzási információkkal kapcsolatos igényeinek kielégítése,
 - műholdas sugárzásmérések és számítási algoritmusok verifikálása.

A sugárzás mérése

- A sugárzásmérés során a sugárzási egyenleg komponenseit, mint a sugárzás erősségét, a napsütéses időszak hosszát (napfénytartamot) határozzuk meg.
- A sugárzás erősségét 1 négyzetméterre jutó 1 Watt energia egységben (W/m^2), a napfénytartamot, pedig a napsütéses órák számában adjuk meg.
 - A sugárzásmérés során különböző mennyiségeket határozunk meg, illetve származtatunk.

Globálsugárzás (S)

- A globálsugárzás (bejövő rövidhullámú sugárzás) a vízszintes síkra a felső féltérből érkező összes rövidhullámú sugárzás. A felszínen a 0,286 és 4 μm hullámhosszúságú sugárzást jelenti. A direkt és a diffúz sugárzások összege.

Sugárzási komponensek

- Diffúz sugárzás
 - A diffúz sugárzás (szórt, vagy égboltsugárzás) a vízszintes síkra a felső féltérből érkező összes rövidhullámú sugárzás, kivéve, ami a Nap korongjának irányából érkezik.
- Direkt sugárzás
 - A direkt sugárzás (közvetlen sugárzás) a Nap korongjának térszögéből a Nap irányára merőlegesen álló felületre belépő rövidhullámú sugárzás.
- Reflex sugárzás (E_r)
 - A reflex (visszavert) sugárzás a vízszintes síkra az alsó féltérből érkező rövidhullámú sugárzás.

Albedó

- Valamely felszín sugárzás-visszaverő képessége. Itt a vízszintes síkra beérkező, illetve onnan visszavert rövidhullámú sugárzás hányadosát értjük rajta.
 - Értéke 0 és 1 közötti szám, általában százalékban adjuk meg.
 - Az albedó a felszínre jellemző mérőszám.
 - Értéke függ a besugárzás szögétől és a sugárzás hullámhosszától is (WMO, 1986), de különböző célú modellszámítások során adott felszínekre általában egy-egy jellemző átlagos vesznek figyelembe.

Albedó

Felszín	Nyári félév	Téli félév
csupasz talaj	0,15	0,15
fűfelszín	0,19	0,23
alacsony növényzet	0,19	0,23
mezőgazdasági terület	0,17	0,23
park, gyümölcsös	0,17	0,23
lombhullató erdő	0,16	0,17
tűlevelű erdő	0,12	0,12
vegyes erdő	0,14	0,15
beépített terület	0,18	0,18
vízfelszín	0,08	0,08
hófelszín	-	0,40–0,85

Sugárzási komponensek

- Kisugárzás (E_k)
 - A kisugárzás a vízszintes síkra az alsó féltérből érkező összes hosszuhullámú sugárzás. A hosszuhullámú sugárzás a 4 és 80 μm hullámhosszúságú sugárzás, ami a Föld+légkör sugárzásának 99%-a.
- Légköri viaszasugárzás (E_{lv})
 - A légköri viaszasugárzás a vízszintes síkra a felső féltérből érkező összes hosszuhullámú sugárzás. (A felszín által felmelegített légkör energiájának egy részét viaszasugározza a felszín felé).

Sugárzási egyenleg

- Rövidhullámú sugárzási egyenleg
 - A globálsugárzás és a reflex sugárzás különbsége.
 - $E_{RH} = S - E_r = S - (S \cdot a) = S(1 - a)$
- Hosszúhullámú sugárzási egyenleg
 - A légköri visszasugárzás és a kisugárzás különbsége.
 - $E_{HH} = E_{lv} - E_k$
- Teljes sugárzási egyenleg
 - A rövid- és hosszúhullámú sugárzási egyenlegek összege.
 - A Föld-légkör rendszer számára bevétel jelentő tagokat (globálsugárzás, légköri visszasugárzás) pozitívnak, a veszteséget jelentő tagokat (reflex sugárzás, kisugárzás) negatívnak vesszük.
 - $E = E_{RH} + E_{HH} = S - E_r + E_{lv} - E_k$

Napfénytartam

- A lehetséges napfénytartam nagysága a napkelte és a napnyugta közti idővel egyezik meg. A borultság függvényében ez az érték csökken.



Sugárzásmérő műszerek

- A Napból érkező energia közvetlen mérésére nincs mód, a sugárzást ezért hatásai alapján határozzuk meg. A sugárzásérzékelők elnyelik az elektromágneses hullámokat, az elnyelés következtében létrejövő hatások pedig arányosak az elnyelt energia mennyiségével.
 - A sugárzás mérése távérzékelésen alapul, hiszen a Napból, vagy Földről jövő elektromágneses sugárzást érzékeljük.

Sugárzásmérő műszerek I.

- Fotonhatáson alapuló műszerek:
 - A sugárzás az érzékelő elektromos tulajdonságait befolyásolja. Az érzékelés során azt használjuk ki, hogy a sugárzás fotonokból áll, azok elnyelése hatással van az elnyelő anyag elektronjainak állapotára.
 - Sugárzás mérésére alkalmas eszköz lehet például a fotocella, fényelem, fotodióda, fototranzisztor, fotoellenállás, foto-elektronsokszorozó. Ezeket megfelelő elektromos áramkörbe kapcsolva azok a sugárzás mennyiségével arányos elektromos jelet hoznak létre, amit érzékelni lehet.
 - A fotonhatáson alapuló érzékelők hátránya, hogy csak keskenyebb spektrális sávban (hullámhossz tartományban) érzékenyek.

Sugárzásmérő műszerek II.

- Hőhatáson alapuló műszerek:
 - A hőhatás eredményeként hőtágulás, vagy elektromos hatás következik be. Ezt számszerűsítve tudjuk meghatározni a sugárzás erősségét.
 - kalorimetrikus érzékelők: az érzékelő belső energiája növekszik az elnyelt sugárzás hatására, s ezt a növekedést közvetlenül, vagy összehasonlítás révén tudjuk mérni.
 - termikus érzékelők:
 - termomechanikus érzékelők esetében a hőmérsékletváltozás hatására bekövetkező mechanikai jellemzők változásait mérjük.
 - termoelektromos érzékelőknél bizonyos elektromos jellemzők változásait mérjük.

A Nap, mint energiaforrás

- Az univerzum 4,6 milliárd csillaga közül a mi Napunk semmiben sem tűnik ki, mindenben átlagos.
 - Számunkra mégis különleges, hiszen mintegy 300.000-szer kisebb távolságra van ($1,5 \cdot 10^8$ km-re), mint az őt követő legközelebbi csillag.
 - A Nap mérete csillagnak ugyan közepes, mégis a Földdel, s a többi bolygóval összehasonlítva óriási.
 - Tömegének 90%-a hidrogén, 10%-a hélium, más nehezebb elemek (mint például oxigén, szén, nitrogén) csak nyomokban találhatók benne.
- A Nap által kisugárzott energia a mag közelében végbemenő nukleáris folyamatokból származik.
 - Itt, az ún. magmában a legmagasabb a hőmérséklet, mely elérheti akár a számunkra elképzelhetetlen 15 millió °C-ot.
- A Nap átlagos felszínhőmérséklete 5.800 °C körüli.

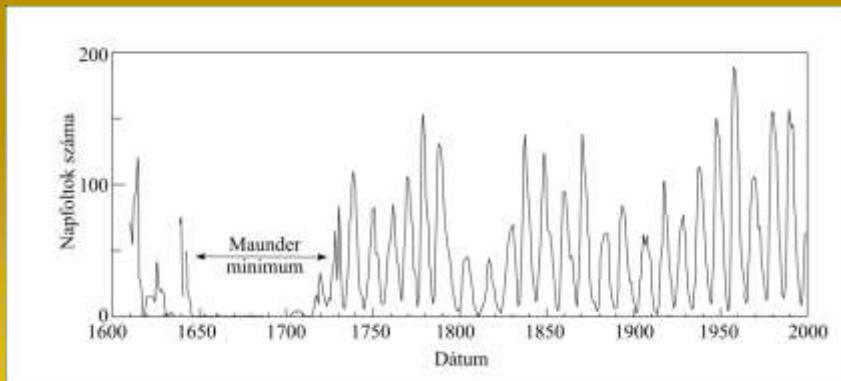
A Nap, mint energiaforrás

- A felszínéről kiáramló sugárzási energia intenzitása (becslések és mérések alapján) 62 millió W/m^2 -re tehető, amely az átlagos Nap–Föld távolságnak megfelelő 150 millió km távolságban a megfigyelhető $1367 \text{ W}/\text{m}^2$ -re csökken.
 - Ezt a mennyiséget napállandónak nevezzük, mivel értéke szinte állandó, azaz csak egy szűk intervallumon belül ingadozik.
 - A napállandó értékének nagyon kis változása is jelentős mértékben befolyásolja a Föld energia-bevételét, ezért pontos mérése, folyamatos megfigyelése elengedhetetlen.
 - A napállandó ingadozása az eddigi megfigyelések alapján nem haladja meg a 0,1%-ot, ha csak a Nap felszíni hőmérsékletének változását tekintjük (abban az esetben, ha a Nap–Föld távolság változását is figyelembe vesszük, akkor ez az érték akár a 6%-ot is elérheti).
 - A napfelszín hőmérséklet-változásának egyik feltételezett oka, hogy a felszínén időről-időre hűvösebb területek, ún. napfoltok jelennek meg.
 - A napfoltokat az átlagos felszínhőmérsékletnél lényegesen melegebb jelenségek, ún. fáklyák övezik.
 - Egy-egy napfolt és a fáklyái közel egy időben jelennek meg, illetve tűnnek el nagy mágneses aktivitás kíséretében.

A Nap, mint energiaforrás

- A Nap által kisugárzott energia mennyiségét több tényező is befolyásolja, ilyenek többek között a napfoltok száma, a fáklyák aktuális hőmérséklete, valamint ezek összegzett területeinek aránya.
 - Megfigyelhető, hogy időszakonként megemelkedik a napfoltok száma (akár 150-re is), majd lecsökken (esetenként 10 alá).
 - Ezen időszakokat napfolt-maximumnak és napfolt-minimumnak nevezzük.
 - A Nap felszínén egyidőben jelenlévő foltok számának változása 11 éves periódust mutat, ez az ún. napfoltciklus.

A Nap, mint energiaforrás

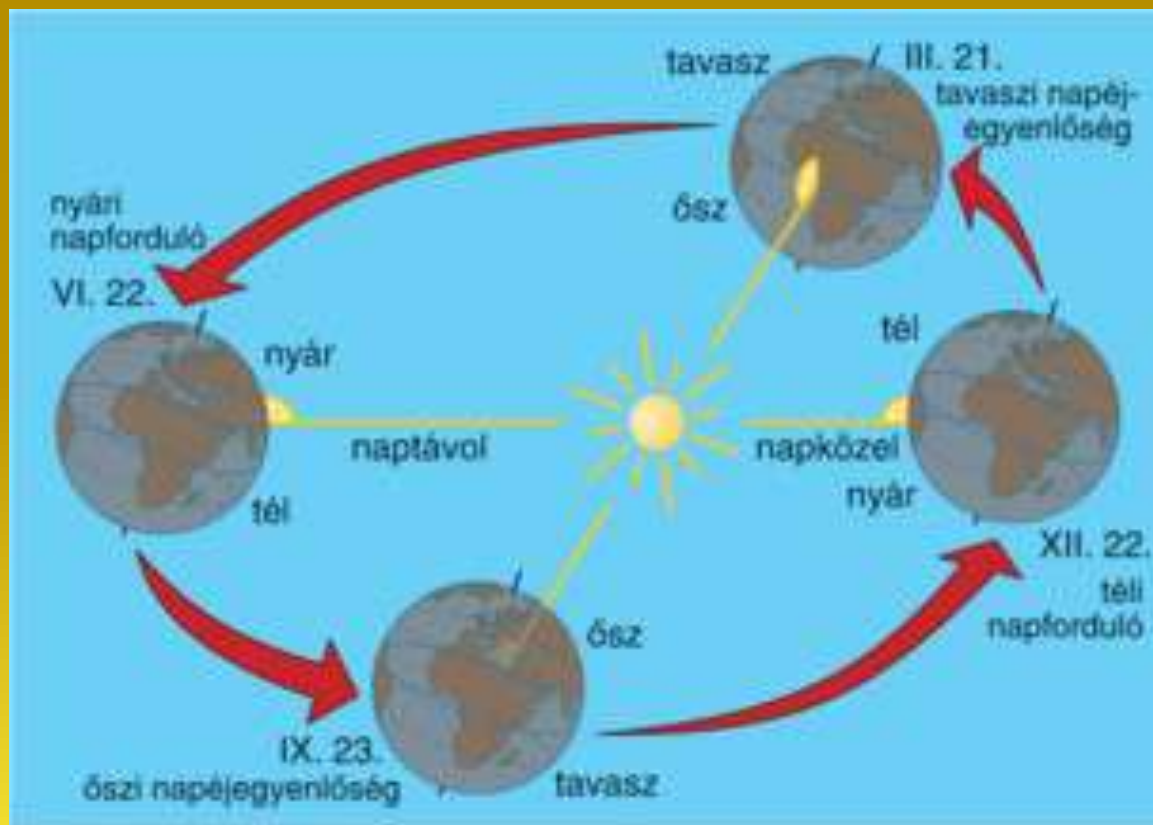


- Jól kirajzolódik a 11 éves napfoltszám ciklus, melyet egyrészt az 1600-as években észlelt rendkívülien kis értékek, illetve teljes napfolt-hiány (a csillagászok Maunder-féle minimumnak nevezik), másrészt a XX. század növekedő tendenciája módosít.
 - A Maunder-féle minimum oka nem ismert, de feltevések szerint ez is közrejátszhatott a szakirodalomban kis-jégkorszak néven számon tartott középkori hideg időszak kialakulásában.

A Föld Nap körüli forgásának változásai

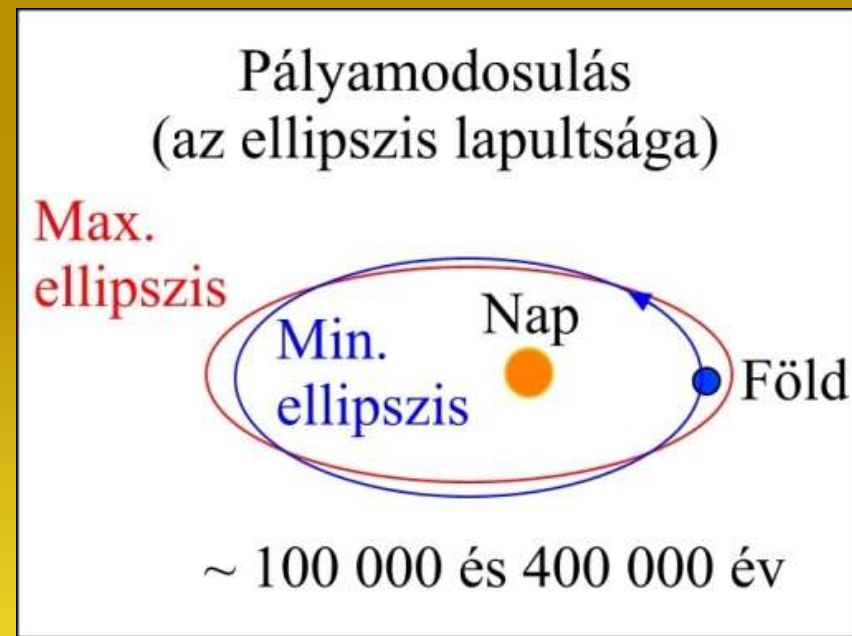
- A Föld, a Naprendszer többi bolygóéhoz hasonlóan a Nap körül kering.
 - E keringés következménye az évszakok megjelenése.
- A Föld saját tengelye körül is forog
 - Ez magyarázza az éjszakák és nappalok váltakozását.
- Több ezer, illetve több tízezer éves időskálán a Nap körüli keringés orbitális paramétereinek periodikus változása a földfelszín sugárzási bevételeinek jelentős mértékű ingadozását eredményezi.

A Föld Nap körüli forgásának változásai



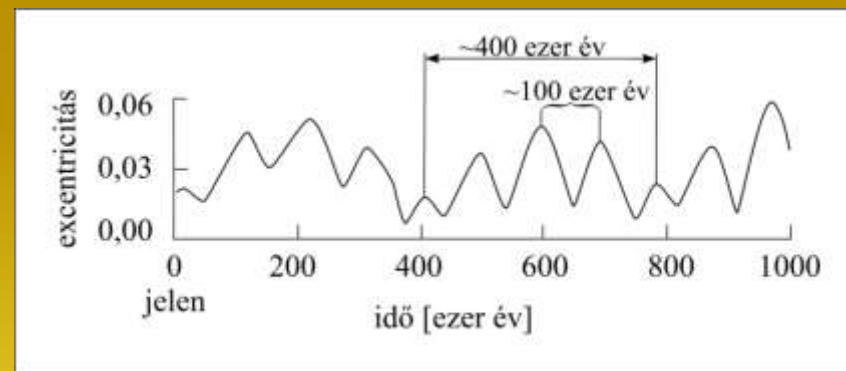
Excentricitás

- A Föld ellipszis pályán kering, melynek egyik gyújtópontjában a Nap áll. A Föld bolygó Nap körüli keringése által kifeszített síkot nevezzük az ekliptika síkjának. Az ellipszis pálya nagytengelyének két végpontjában (a perihélium és afélium pontokban) a Nap–Föld távolság értelemszerűen nem azonos. Emiatt a földi légkör felső határára érkező sugárzás mennyisége e két pontban kb. 7% eltérést mutat.



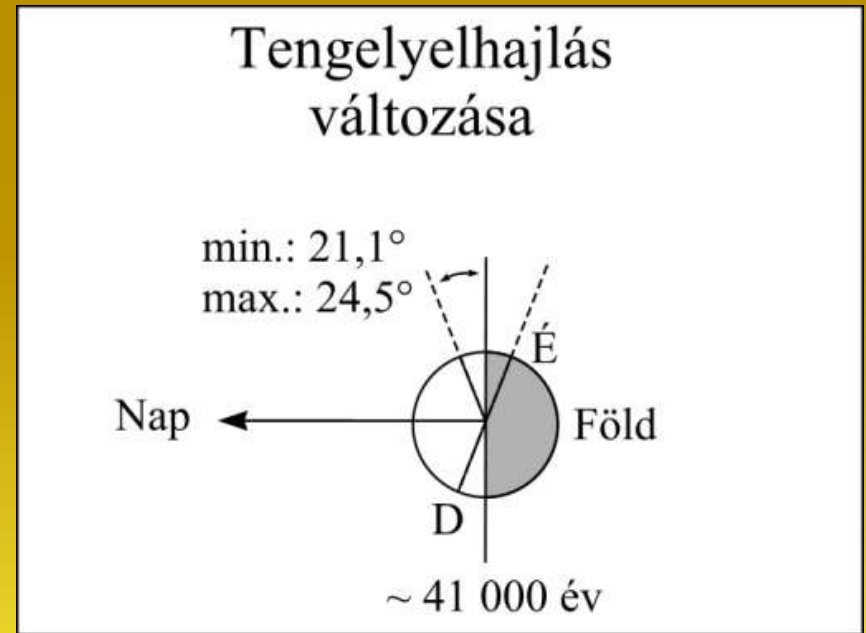
Excentricitás

- A Föld a Nap körül nem mindig ugyanazon a pályán kering, az ellipszis pálya lapultságának (excentricitásának) változásában egy 100.000 és egy 400.000 éves kettős periódus figyelhető meg.

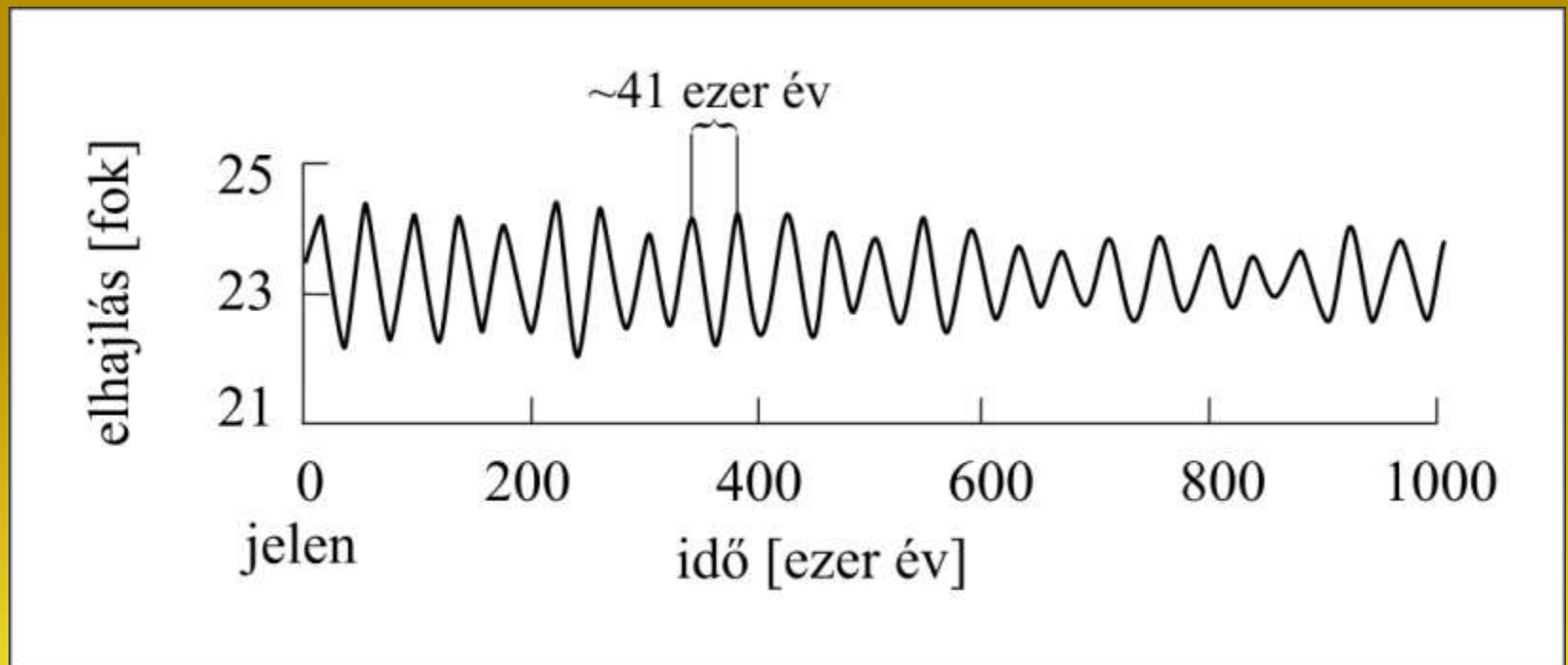


Nutáció

- A Föld saját tengelykörüli forgása sem állandó, az ekliptika síkjával bezárt szöge 41.000 éves periódussal $21,1^\circ$ és $24,5^\circ$ között változik.
 - A nagyobb tengelyelhajlásnál nő a hideg és meleg évszakok közötti kontraszt, különösen a magasabb földrajzi szélességeken (azaz mindkét féltekén hidegebb telek és melegebb nyarak jellemzik ezt az időszakot).

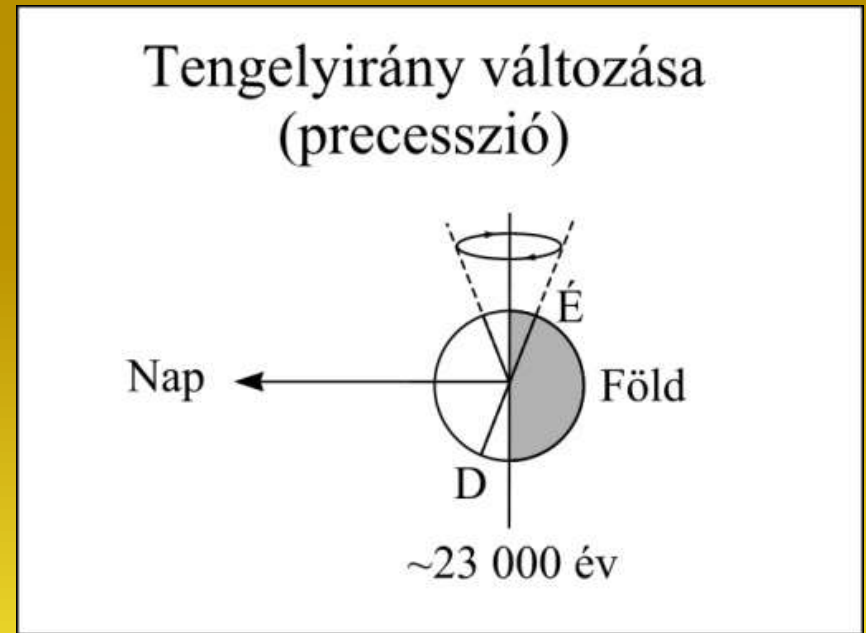


Nutáció

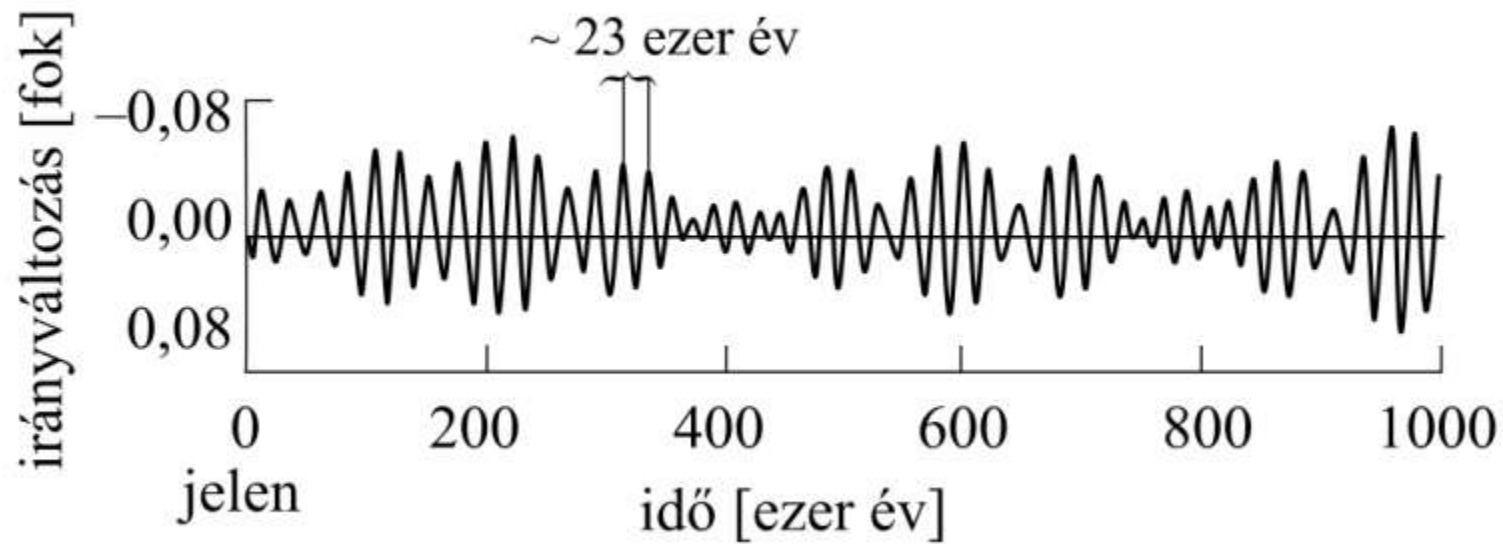


Precesszió

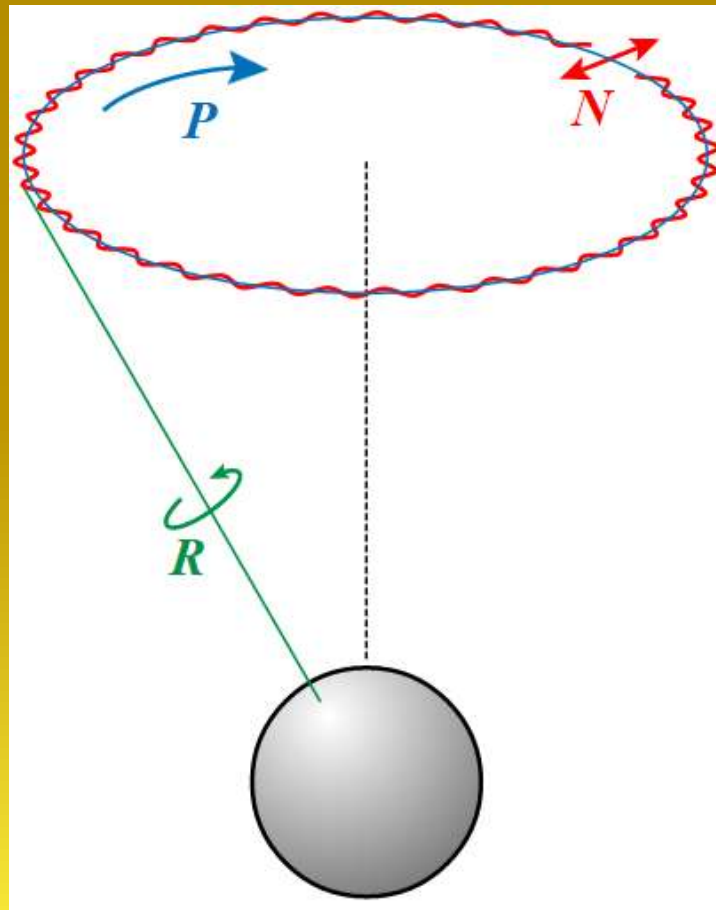
- A forgástengely iránya is változik eközben egy képzeletbeli kúp palástját sűrölva, e folyamat periódusideje 23.000 év.



Precesszió



Precesszió és nutáció

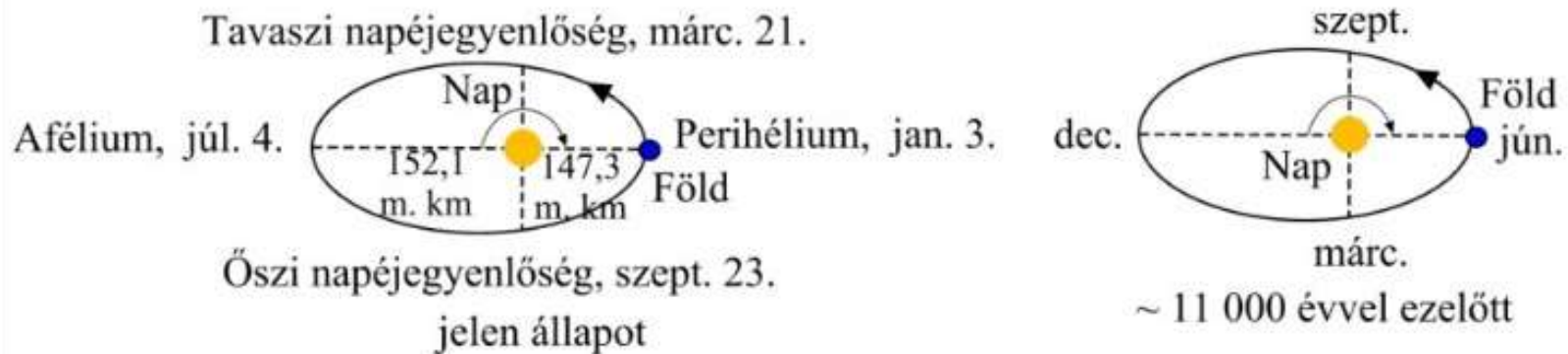


Perihélium eltolódás

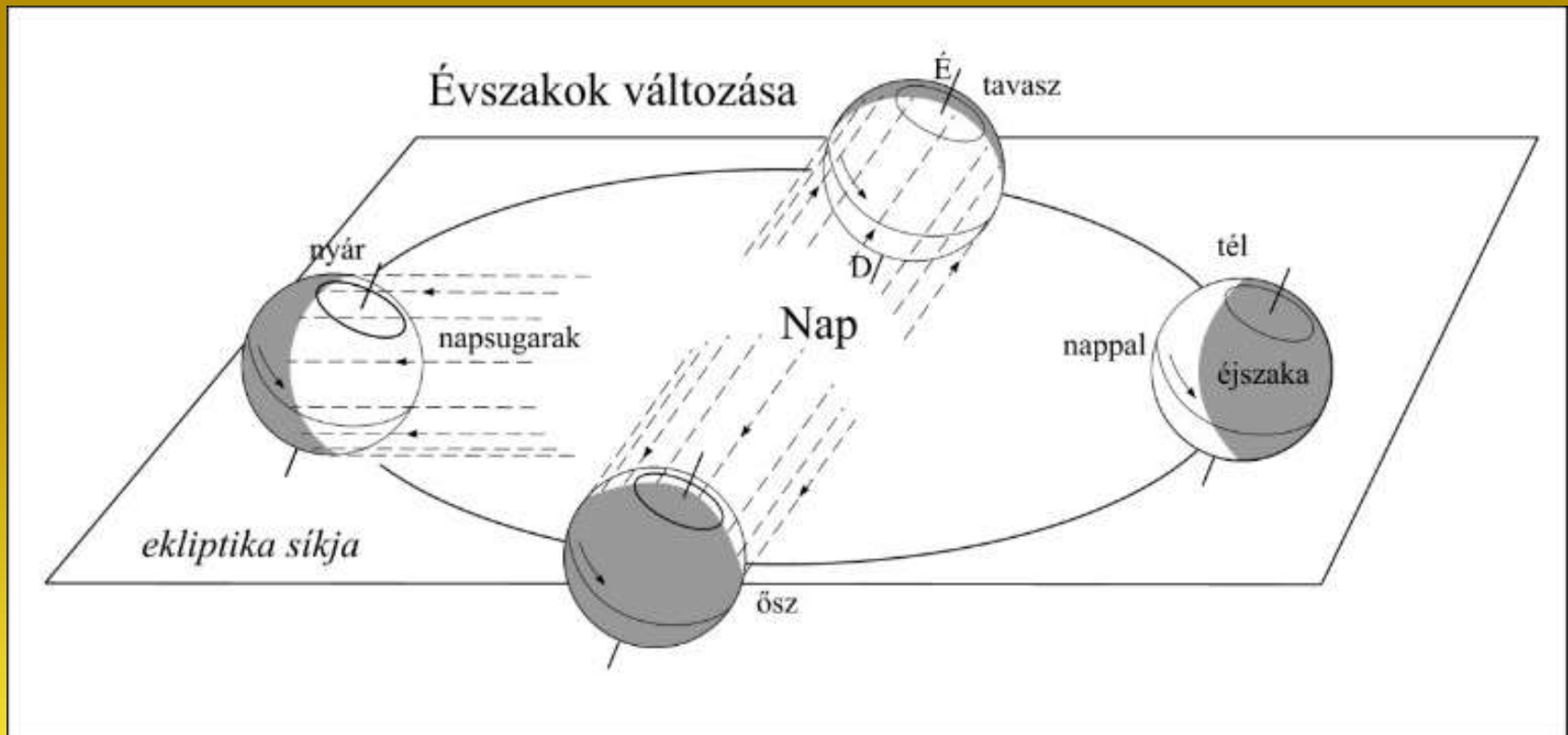
- A Föld az ellipszis pálya perihélium és afélium pontjában a naptári évnek nem mindig ugyanazon napján tartózkodik. Jelenleg rendre január 3-án, illetve július 4-én érkezik e pontokba a Föld, s 70 évenként 1 nappal lépked tovább, mely változások periódusideje 22.000 év.

Perihélium eltolódás

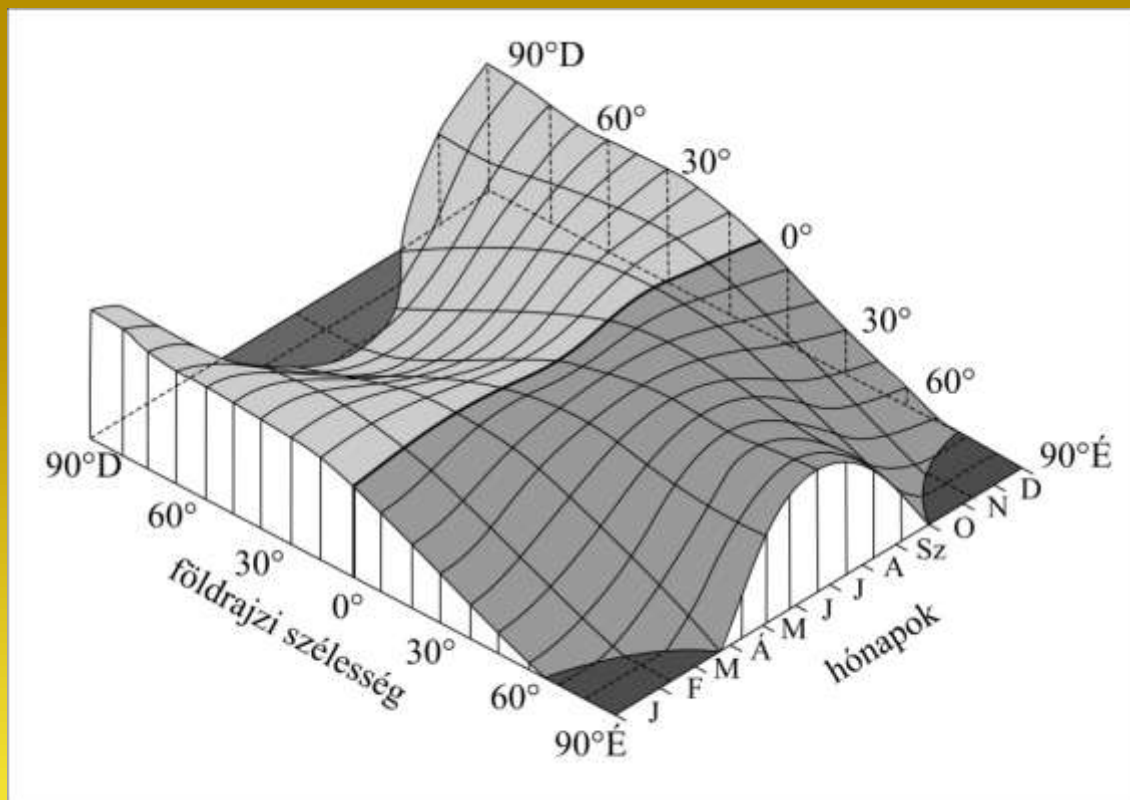
Perihélium eltolódás



Az évszakok változása



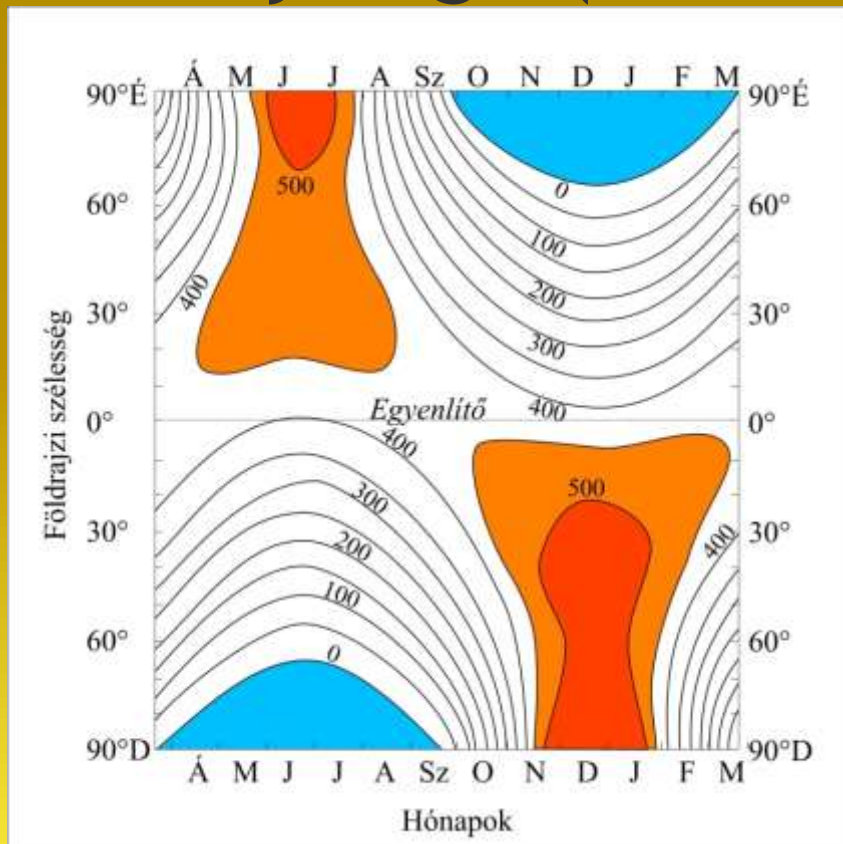
A napsugárzás változása a földrajzi szélesség és a hónapok függvényében, légkör nélküli Földet feltételezve



A napsugárzás változása a földrajzi szélesség és a hónapok függvényében, légkör nélküli Földet feltételezve

- A Föld forgási tengelyének dőléséből származó évszakos eltérések a különböző földrajzi szélességeken nagyon jelentős besugárzási különbségekhez vezetnek.
 - Elég, ha az Egyenlítő menti állandó 12 órás nappalokat összevetjük a sarkok közelében tapasztalható 0-tól 24 óráig változó nappalok hosszával, vagy még inkább, ha az Egyenlítő-menti viszonyokat összevetjük a sarkokon tapasztalható féléven át tartó „nappallal” s az azt felváltó féléves „éjszakával”.

A légkör felső határán horizontális felszínre érkező napi napsugárzás mennyisége (W/m^2)



- Elhanyagoltuk a földi légkör szerepét, s így értelemszerűen a légkörön való áthaladás sugárzási veszteségeit, vagyis tulajdonképpen a légkör felső határát jellemző viszonyokat vizsgáltuk.

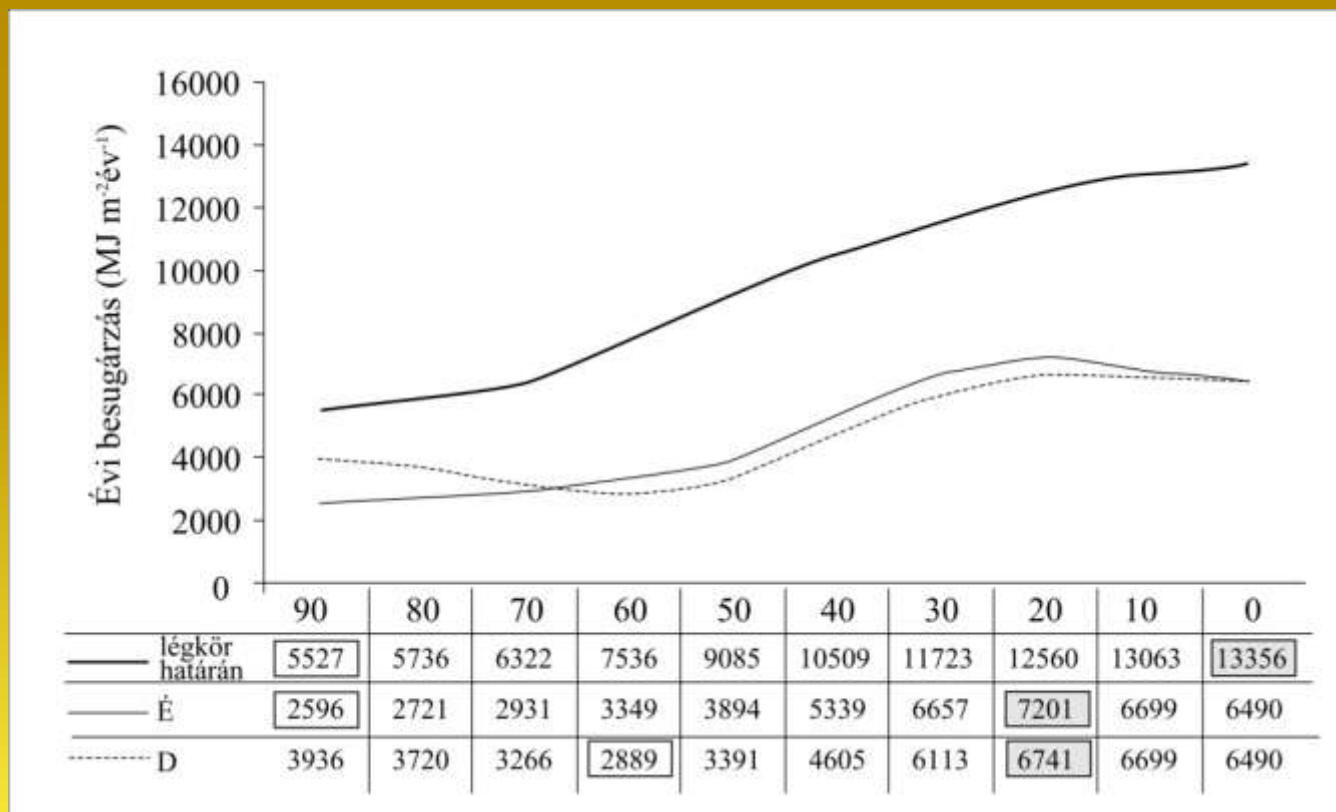
A légkör felső határán horizontális felszínre érkező napi napsugárzás mennyisége (W/m^2)

- Június 22-én a nyári napforduló idején az Északi sark közelében találjuk a földre érkező besugárzás maximumát ($538 \text{ W}/\text{m}^2$), mely egyértelműen a fehér éjszakákkal magyarázható (ebben az időszakban napi 24 órán át nem megy le a Nap).
- Hasonlóan kiugró, magas sugárzási értéket ($547 \text{ W}/\text{m}^2$) találunk a téli napforduló idején december 22-én a Déli sarkon.
- Jelentős aszimmetria jelentkezik az északi és a déli félteke besugárzása között.
 - A tisztán csillagászati okokra visszavezetett besugárzási aszimmetria egy lényeges új elem, hiszen az északi és déli hemiszféra eltérő éghajlatának magyarázatául általában a kontinens-óceán arány eltérését, a kontinensek földrajzi szélesség szerinti eloszlását, az eltérő orográfiai viszonyokat, illetve az óceáni és légköri áramlásokat említi a legtöbb forrás.

A légkör külső határára érkező sugárzási energia

- A légkör külső határára érkező energia mennyiségét alapvetően négy tényező befolyásolja:
 - a Naptól kibocsátott energia mennyisége,
 - a Nap–Föld távolság,
 - a napmagasság (a Nap irányának a horizont síkjával bezárt szöge)
 - a nappalok hossza.

Különböző földrajzi szélességekre érkező sugárzás mennyiségének évi összegei




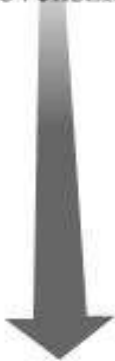






Különböző földrajzi szélességekre érkező sugárzás mennyiségének évi összegei

- Évi átlagban a légkör felső határára az Egyenlítőnél közel kétszer annyi sugárzás érkezik, mint a sarkok körzetében.
- Az Egyenlítőnél a légkör felső határára érkező sugárzásnak csak a fele jut le a földfelszínre, a többi visszaverődik, szóródik, elnyelődik a légkörben.
- Míg a légkör felső határán az Egyenlítőnél van az évi besugárzási összegek maximuma, addig a felszínen mindkét féltekén ez áttevéődik a 20° szélességekre (a trópusok nagycsapadékú zónája, illetve a magas borultság miatt).
- Míg a légkör felső határán a Sarkoknál van az évi besugárzási összegek minimuma, addig a földfelszínen a minimális besugárzás csak az északi féltekén esik a sarkvidékre, a déli hemiszférán eltolódik egészen a 60° földrajzi szélességig.

A sugárzás spektruma és törvényszerűségei

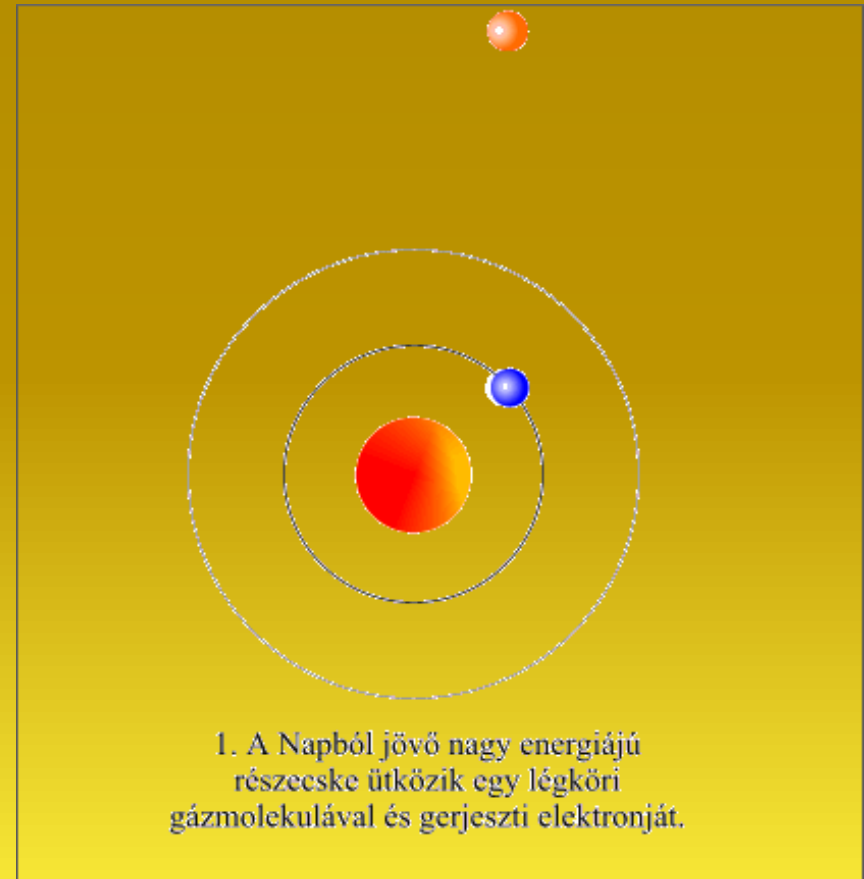
- Megfigyelhetjük, hogy a napra kitett tárgy felforrósodik. A napsugár a levegőn áthaladva eljut a tárgyig, s felmelegíti azt, úgy hogy közben a levegőre alig van hatással. A Napból a tárgyhoz eljutott energia az ún. sugárzási energia vagy sugárzás. Ez az energia elektromágneses hullám formájában terjed, s csak akkor alakul hőenergiává, amikor elnyeli egy tárgy. Mivel e hullámoknak egyaránt vannak elektromos és mágneses tulajdonságaik, ezért elektromágneses hullámoknak nevezzük őket.
- A hullámhosszak jelentős mértékben eltérnek egymástól, a legnagyobb és a legkisebb jellemző hullámhossz között 11 nagyságrend eltérés van.
 - A sugárzási energia és a hullámhossz egymással fordítottan arányos, azaz minél kisebb a sugárzás hullámhossza, annál nagyobb az általa hordozott energia mennyisége.
 - E hullámoknak nincs szükségük közegre tovaterjedésükhöz.
 - Vákuumban (légüres térben) állandó (300 000 km/s) sebességgel haladnak, értelemszerűen ez a látható fény terjedési sebessége is.

Az elektromágneses sugárzás típusai, s azok jellemző hullámhosszai

sugárzás típusa	relatív hullámhossz	jellemző hullámhossz [m]	a fotonáram által szállított energia
rádióhullám		100	a hullámhossz csökkenésével növekszik 
televízióhullám		1	
mikrohullám		10^{-3}	
infravörös hullám		10^{-5}	
látható fény		$5 \cdot 10^{-7}$	
ultraibolya hullám		10^{-7}	
röntgen-sugárzás		10^{-9}	

A sugárzás spektruma és törvényszerűségei

- A Napból érkező sugárzást egymástól nagyon eltérő formákban érzékeljük: pl. látható fény, hősugárzás vagy rádióhullámok.
- Mégis a sugárzás hullámhosszától függetlenül a légkörben lezajló folyamatok lényege közös: a légköri atomok és molekulák részére a sugárzási energia elnyelése, illetve kisugárzása biztosítja az átmenetet egy-egy magasabb, illetve alacsonyabb energiaállapot között.
 - Mikor egy-egy részecske sugárzás révén energiát nyel el (abszorbeál), vagy energiát ad le (emittál), akkor az elektronok egy magasabb, illetve alacsonyabb energiaszintre ugranak.

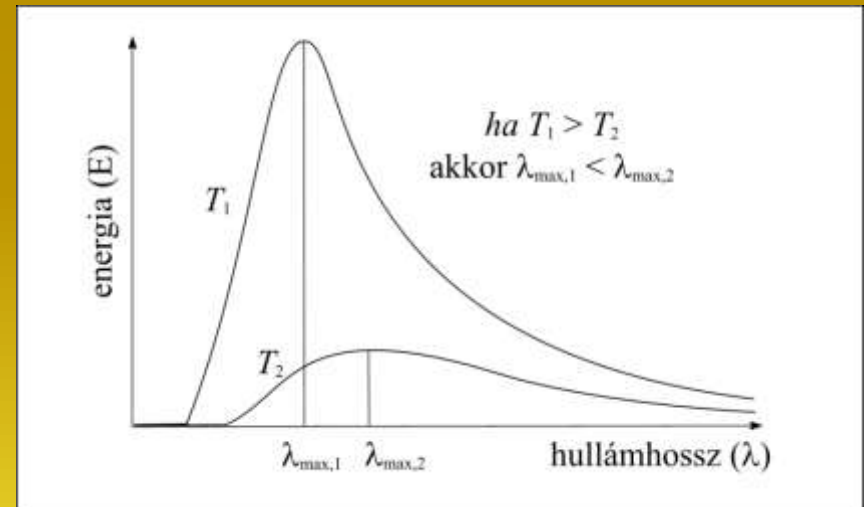


A sugárzás spektruma és törvényszerűségei

- A vizsgált tárgy lehet bármi, egy szék, egy könyv, egy virág, egy csillag vagy a Föld, amennyiben hőmérséklete az abszolút nulla fok (-273 °C) felett van, energiát sugároz ki.
 - Ezt a nagyon fontos állítást akár a nulladik sugárzási törvénynek is nevezhetjük.
 - Azon nem csodálkozunk, hogy egy forró radiátor vagy a Nap energiát sugároz, de a fenti törvény értelmében azt is el kell fogadnunk, hogy a relatíve hűvös Föld bolygó vagy a sarki jégsapkák dermesztően hideg jégmezői is hőenergiát sugároznak.
- A sugárzástanban leggyakrabban az ún. abszolút hőmérsékleti skálát használjuk, melynek mértékegysége a Kelvin ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$, továbbá 1 K hőmérsékletváltozás megfelel 1 °C hőmérsékletváltozásnak).

Sugárzási törvények

- Négy fontos törvényszerűség szabályozza a vákuumban zajló sugárzási viszonyokat, melyek egyben jól közelítik a Nap-légkör-Föld rendszer folyamatait is.



Sugárzási törvények I.

- Egy adott hőmérsékletű test által kisugárzott energia spektrumát (hullámhossz szerinti eloszlásfüggvényét) írja le a Planck törvény, azaz, hogy mely hullámhosszon mennyi energiát sugároz ki a test.
 - Minden testre kiszámítható és megrajzolható egy ún. Planck függvény.
- Ha egy test T_1 hőmérséklete nagyobb egy másik test T_2 hőmérsékleténél, akkor a Planck függvények tulajdonságai:
 1. a teljes spektrumon (hullámhossz tartományon) kisugárzott energia mennyisége (a görbe alatti terület reprezentálja) annál nagyobb, minél nagyobb a sugárzó test hőmérséklete;
 2. a maximális energia-kisugárzáshoz tartozó hullámhossz (λ_{\max}) annál nagyobb, minél kisebb a test hőmérséklete, azaz λ_{\max} fordítottan arányos a test hőmérsékletével.

Sugárzási törvények II.

- A Kirchoff-törvény megállapítja, hogy a test által kibocsátott (emittált) és elnyelt (abszorbeált) energiák hányadosa nem függ az anyag minőségétől, viszont a jól elnyelő test egyben jó kisugárzó is, illetve a gyengén elnyelő test egyben gyengén kisugárzó.

Sugárzási törvények III.

- Az egyik legnagyobb jelentőségű sugárzási összefüggés a Stefan-Boltzmann törvény, mely alapján a teljes spektrumon kisugárzott összes energia mennyisége (E) az alábbiak szerint írható fel: $E = \sigma_{SB} T^4$ [W/m^2], ahol σ_{SB} a Stefan-Boltzmann állandó, melynek értéke $\sigma_{SB} = 5,67 \cdot 10^{-8}$ [$W/(m^2K^4)$] és T a sugárzó test hőmérséklete Kelvin egységben.
 - E törvény kimondja, hogy a test által kisugárzott teljes energia mennyisége csak a sugárzó test hőmérsékletétől függ, s annak negyedik (!) hatványával arányos.

Sugárzási törvények IV.

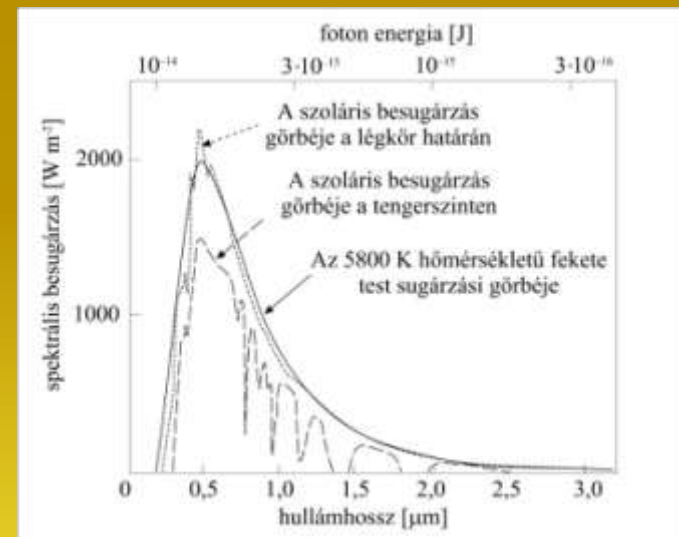
- Az utolsó a sugárzási összefüggések sorában a Wien-féle eltolódási törvény, mely szerint $\lambda_{\max} = 2884/T$ [μm].
 - Ezen állítás azt jelenti, hogy a sugárzó test azon hullámhossza, melyen maximális energiával sugároz nagyon egyszerűen számítható, s e hullámhossz fordítottan arányos a test abszolút hőmérsékletével.

A Nap és a Föld sugárzási spektruma

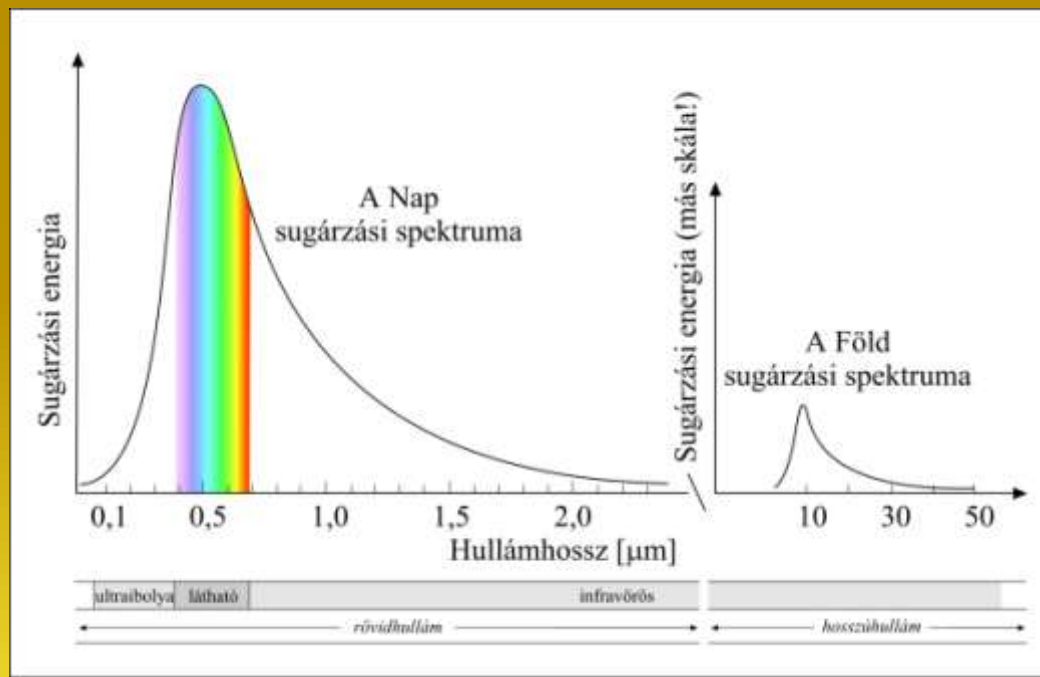
- A földi légkör és felszín levegőfizikai, levegőkémiai és biológiai folyamatait tápláló energia 99,99%-a a Napból érkezik elektromágneses sugárzás formájában. A többi, viszonylag kis mennyiségű (mindössze 0,01%) energia a Föld forrón izzó belsejéből származik.
 - Ezért mondjuk, hogy a Napból jövő energia vezérli a földi légkör és az óceánok mozgásrendszerét.

A Nap és a Föld sugárzási spektruma

- A Nap számított és mért sugárzási spektruma jól megegyezik.
- A napsugárzás, áthaladva a földi légkörön komoly veszteségeket szenved.
 - A veszteség mértékének a hullámhossztól való függését a két görbe közötti terület nagysága reprezentálja.
 - A légköri részecskéknek más és más az ún. elnyelési sávja, amely hullámhosszon az áthaladó napsugárzás jelentős hányadát abszorbeálni tudják.
 - A földfelszínre érkező sugárzás energiaspektrumában található nagyobb abszorpciós sávokat főleg az oxigén (O_2), az ózon (O_3), a vízgőz (H_2O) és a szén-dioxid (CO_2) gázok okozzák.



A Nap és a Föld sugárzási spektruma

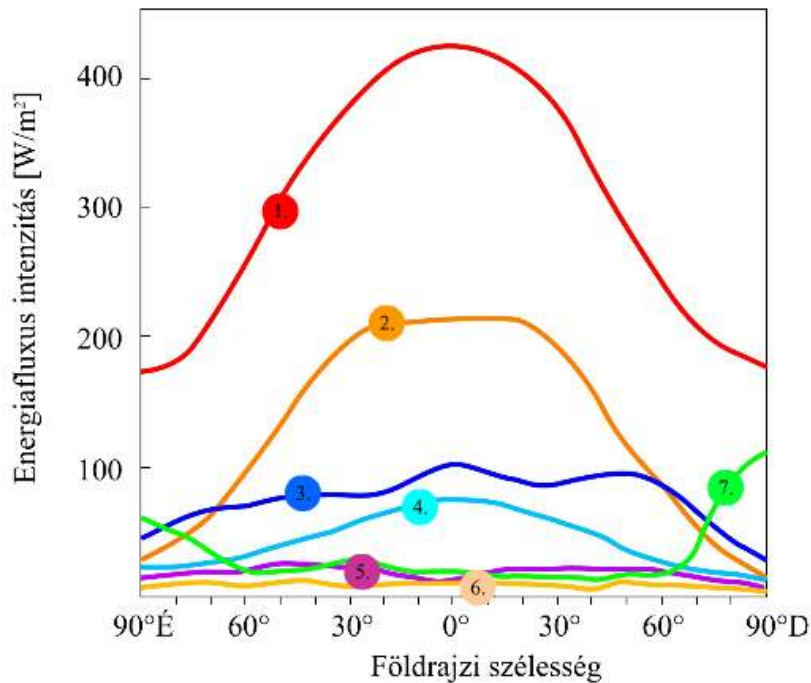


A Nap és a Föld sugárzási spektruma

- Bármely test sugárzásának hullámhossz spektruma csak az energiát kibocsátó objektum hőmérsékletétől függ (Planck-törvény).
 - A Nap nagyon magas hőmérséklete miatt a rövidhullámú (látható fény) tartományban sugároz 0,5 μm -es maximummal, míg a lényegesen alacsonyabb hőmérsékletű Föld a hosszuhullámú (infravörös) tartományban sugároz 10 μm -es maximummal.
- A fentiek igazolására az előző szakaszban tárgyalt Wien-féle eltolódási törvény alkalmazásával is meghatározhatjuk a Nap és a Föld maximális energiával sugárzó hullámhosszait:
 - $\lambda_{\text{max-NAP}} = 2884/5800 [\mu\text{m}] \approx 0,497 [\mu\text{m}] \approx 0,5 [\mu\text{m}]$.
 - $\lambda_{\text{max-FÖLD}} = 2884/298 [\mu\text{m}] \approx 9,677 [\mu\text{m}] \approx 10 [\mu\text{m}]$
- Mivel a Föld és a Nap energiaspektruma között alig van átfedés, s a légkört alkotó gázok elnyelési sávjai nem egyenletesen fedik le a sugárzási hullámhosszak tartományát, ezért a légkörben bárhol elfogott, bármilyen irányból jövő energianyaláb eredete (a hullámhossz ismeretében) elég nagy biztonsággal behatárolható.

A napsugárzás elnyelődése a légkörben, az óceánokban és a talajban

- A Naptól érkező sugárzási energia éves átlagainak földrajzi szélesség szerinti eloszlása (W/m^2)



1. Napsugárzás a légkör külső határán,
2. A felszín által elnyelt sugárzás,
3. Visszaverődés a felhőkről,
4. Légköri elnyelés,
5. Légköri visszaverődés,
6. Elnyelés a felhőkön,
7. Felszíni visszaverődés

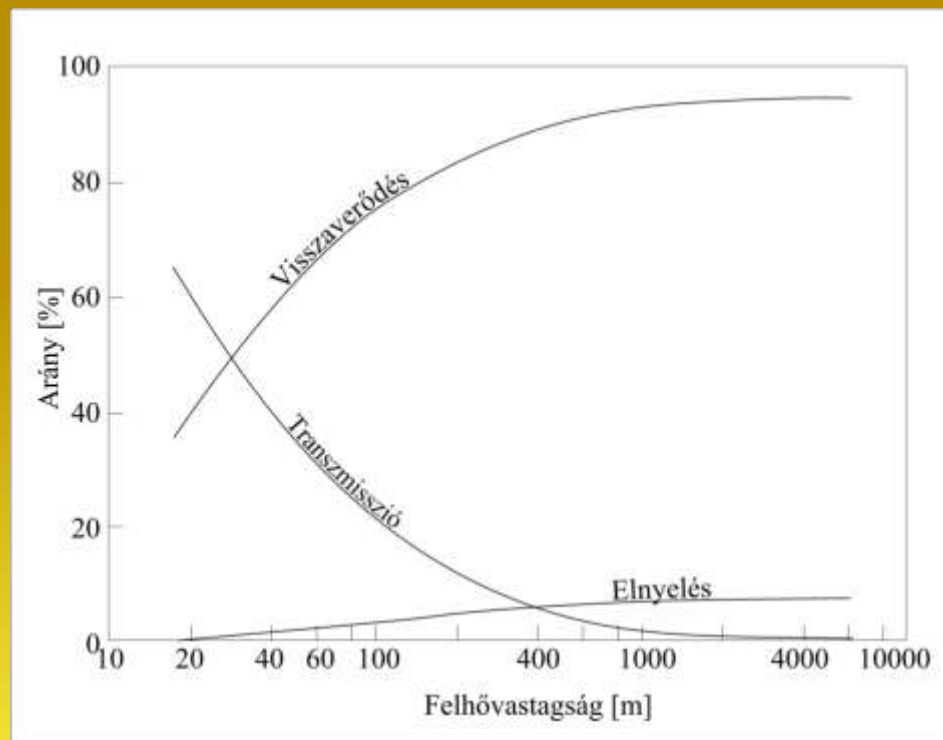
A napsugárzás elnyelődése a légkörben, az óceánokban és a talajban

- A légkör felső határára érkező napsugárzásnak csak közel fele érkezik le a földfelszínre
- A legnagyobb zonális különbségeket a légkör külső határára érkező napsugárzás, illetve a szárazföldek és vízfelszínek által elnyelt sugárzás mutatja
- Kicsit kisebb mértékű a felhőkről való visszaverődés és a légköri elnyelés földrajzi szélességek szerinti változása, míg a felhőkön való elnyelődés és a légköri szóródás miatti visszaverődés nem mutat zonális eltéréseket
- A felszínről való visszaverődés a sarkvidékek körzetében a legnagyobb, hiszen itt a felszín hó- és jégborítottsága miatt kimagasló albedó értékek jelentkeznek.

A napsugárzás elnyelődése a légkörben

- A légkör felső határára érkező napsugárzás mintegy 30%-a azonnal visszaverődik a világűr felé, s a légköri áthaladás során is sok veszteség éri.
 - A felhőtakarón történő visszaverődés (reflexió), elnyelés (emisszió) és transzmisszió (áteresztés) százalékos aránya nagyon jelentősen függ a felhőréteg vastagságától.
 - Az elnyelési arány akár több kilométeres vastagságnál sem éri el a 10%-ot.
 - A visszaverődési és áteresztési képesség százalékos aránya egymással ellentétesen változik, a felhőkről való visszaverés 35%-ról akár 90–95%-ra is megnőhet a felhővastagsággal, míg az áteresztőképesség 65%-ról akár 0%-ra is lecsökkenhet.

A felhőrétegen visszaverődött, elnyelt és áteresztett (transzmittált) napsugárzás százalékos arányai a felhővastagság függvényében (%)

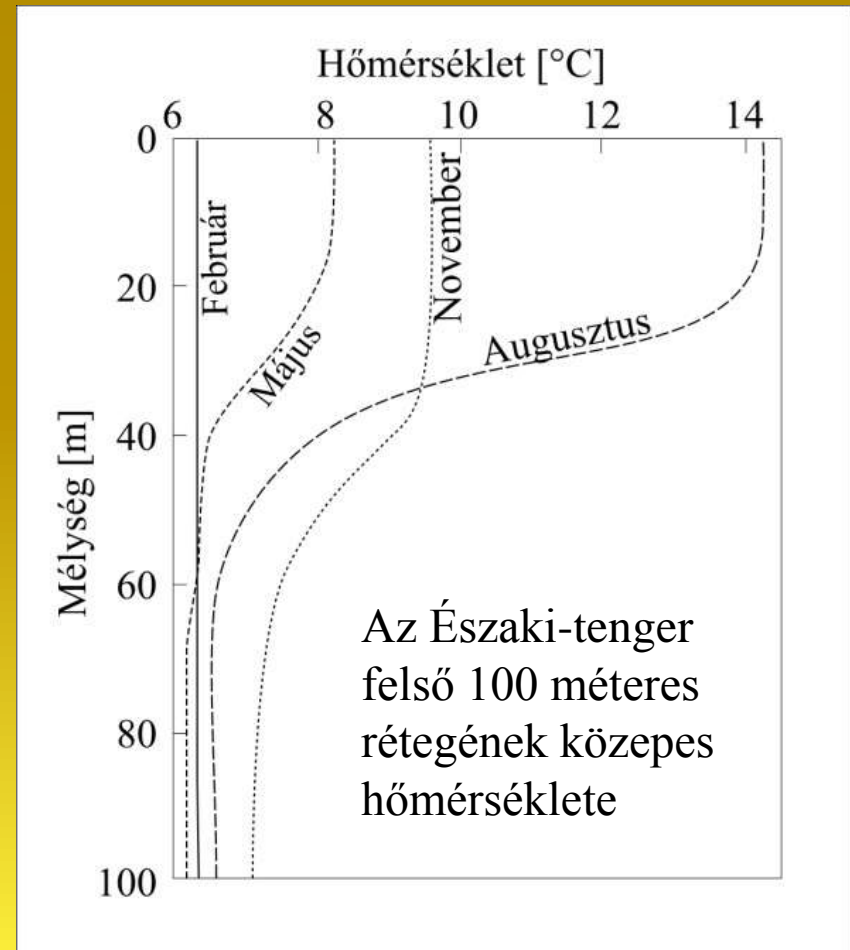


A napsugárzás elnyelődése a talajban és az óceánokban

- A napsugárzás légköri veszteségeit sokszorosán meghaladja az óceánok vizébe és a talajba lejutó sugárzás vesztesége.
 - Átlagosan azt mondhatjuk, hogy a talajban nem haladja meg a 8-10 méteres mélységet az éves hőmérsékleti ciklus érzékelési szintje, míg a tengerekben, óceánokban ez a mélység egy nagyságrenddel nagyobb, eléri a 80–100 métert.

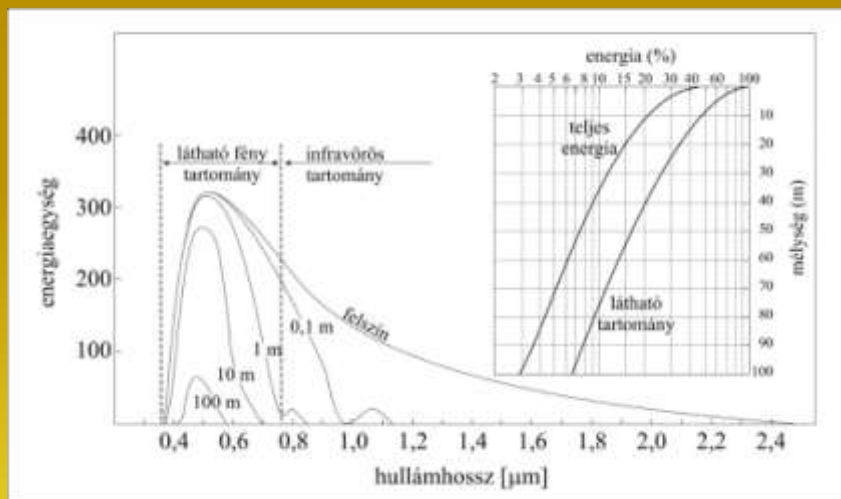
A napsugárzás elnyelődése a az óceánokban

- Az óceánok hőháztartásában jelentős szerep jut a Naptól érkező sugárzási energiának.
- A mélyebb óceáni rétegek felé az energiát az óceáni áramlások, s a turbulens átkeveredés közvetíti.



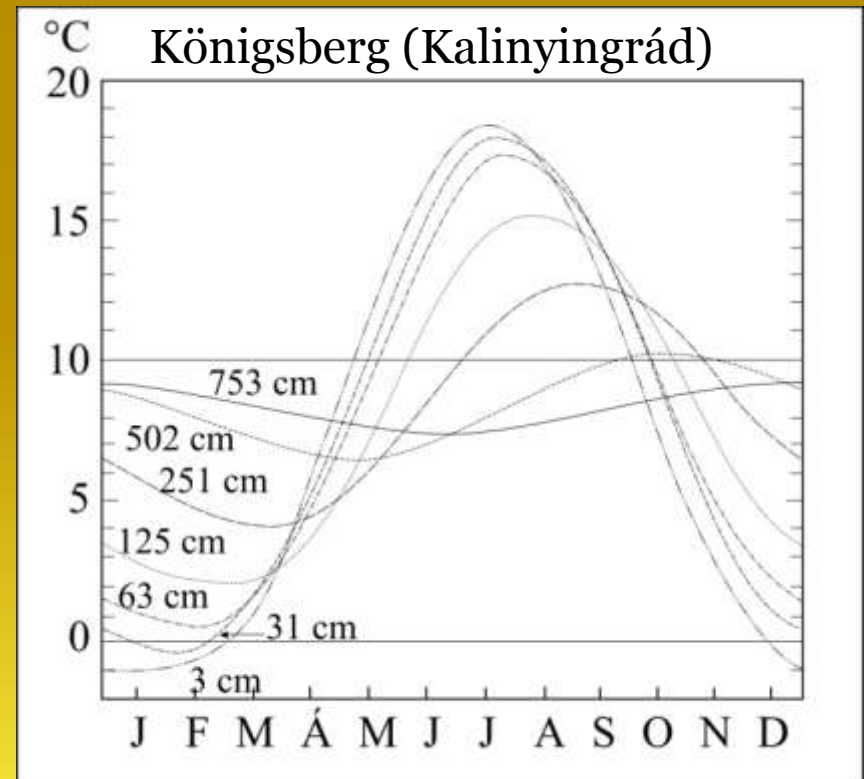
A napsugárzás elnyelődése az óceánokban

- Csak a látható fény tartományú sugárzás képes 1 m-nél nagyobb mélységekbe lejutni, s 100 m alá csupán a teljes sugárzási energia 3%-a jut le.



A napsugárzás elnyelődése a talajban

- A talajban még az óceánok vizénél is sokkal rosszabbak a feltételek a sugárzási energia terjedéséhez.
- A talajban szinte csak és kizárólag kondukciós folyamatok révén terjed az energia.
 - E folyamat hatékonysága jelentős mértékben függ a talaj porozitásától és a nedvességtartalomtól.
- 10 m mélységben lényegében már nem érzékelhető a Naptól érkező sugárzás szezonális változása

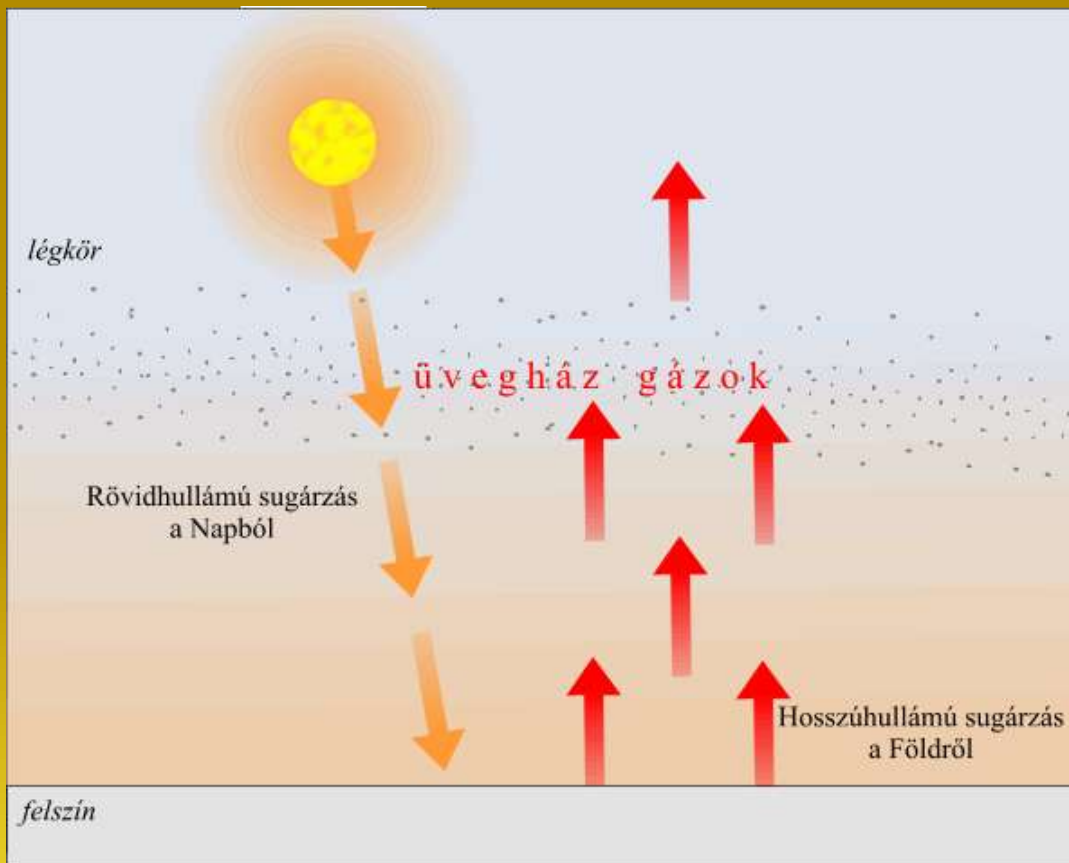


A földfelszín kisugárzása, üvegházhatás

- A légkörben lévő üvegházgázok az infravörös tartományba eső földfelszíni kisugárzást részben elnyelik, illetve visszasugározzák.
 - Így mindössze a hosszuhullámú tartományba eső sugárzási energia 5%-a tud akadálymentesen a világűr felé távozni. A légköri gázoknak ezt a szelektív abszorpciós képességét, s a következményként jelentkező melegebb légkört nevezzük a légkör üvegházhatásának.
- A légkör természetes üvegházhatása teszi lehetővé, hogy nem -18°C a Föld átlaghőmérséklete, hanem 15°C .
 - Ebből a 33°C -os hőmérsékleti többletből rendre 21°C , 7°C , 2°C és 1°C -ért felelősek a légkör fontosabb üvegházhatású gázai: a vízgőz, a szén-dioxid, az ózon és a dinitrogén-oxid.

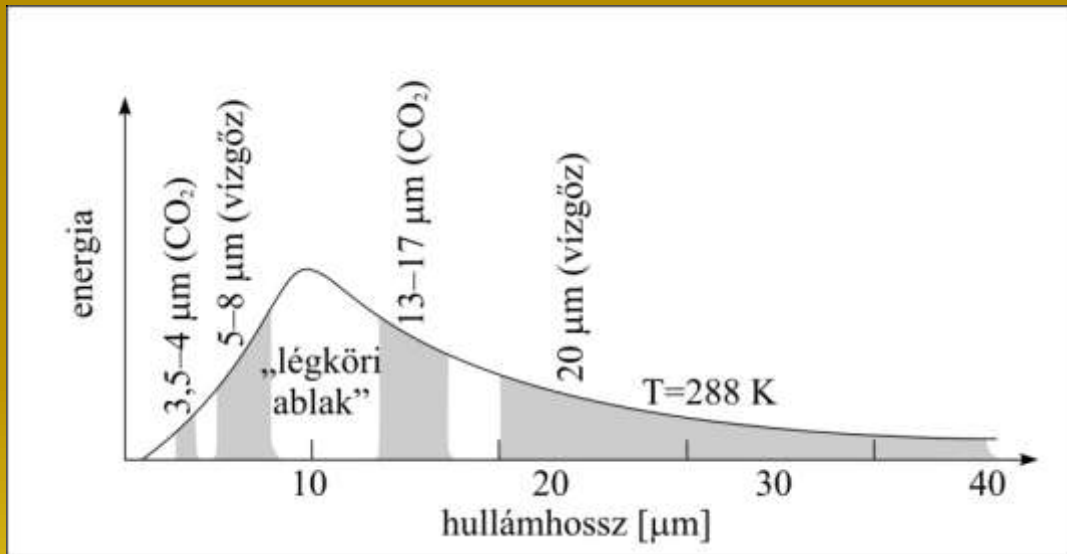
A földfelszín kisugárzása, üvegházhatás

- Az üvegházgázok légköri koncentrációja szignifikánsan megváltozott az elmúlt évszázadban, illetve néhány gáz esetében csupán az utolsó évtizedekben.
 - Ez maga után vonja a légköri energiamérleg komponenseinek változását, az üvegházhatás fokozódását, mely a sokrétű visszacsatolási mechanizmusok egyidejű működése miatt nehezen modellezhető, s nehezen prognosztizálható folyamatláncolatokat eredményez.



A légköri üvegházhatás

A Földfelszín hosszúhullámú kisugárzásának egy részét a légkör alkotóelemei (légköri gázok, aeroszol részecskék, felhők) elnyelik, majd egy részüket a felszín felé újra kisugározza mintegy „visszatartják” a hőt.



A Föld hosszúhullámú kisugárzásának Planck-függvénye

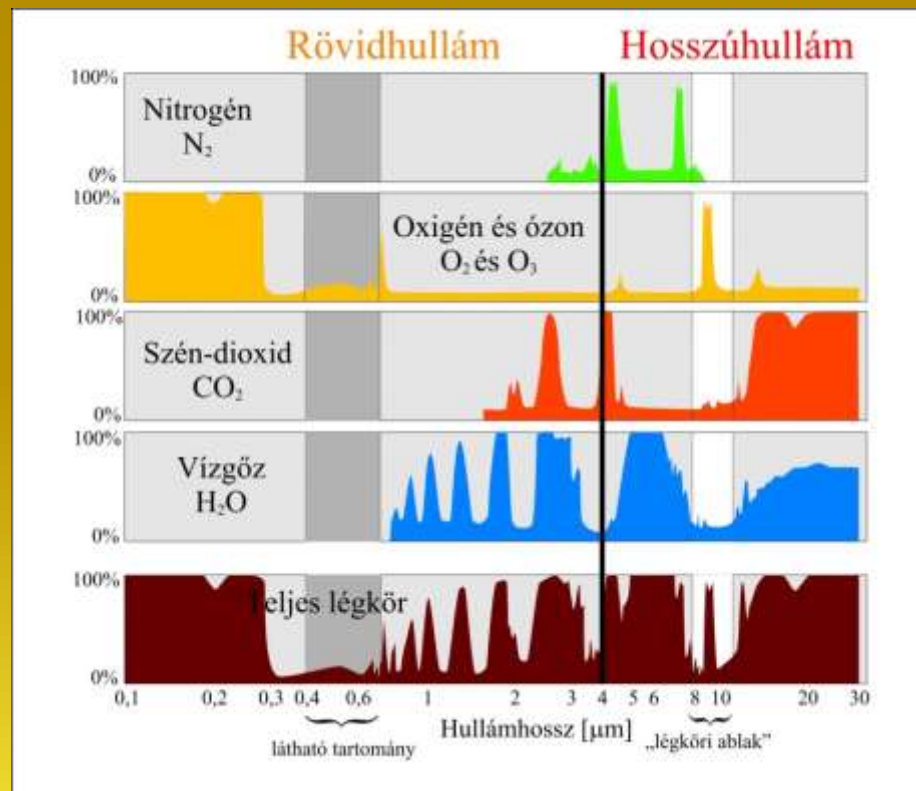
A légköri üvegházhatás két legfontosabb elemének, a vízgőznek és a széndioxidnak a fontosabb elnyelési sávjai.

A $10\text{ }\mu\text{m}$ -es hullámhossz környezetében található az ún. légköri ablak, ahol szinte akadálymentesen történhet a földi kisugárzás.

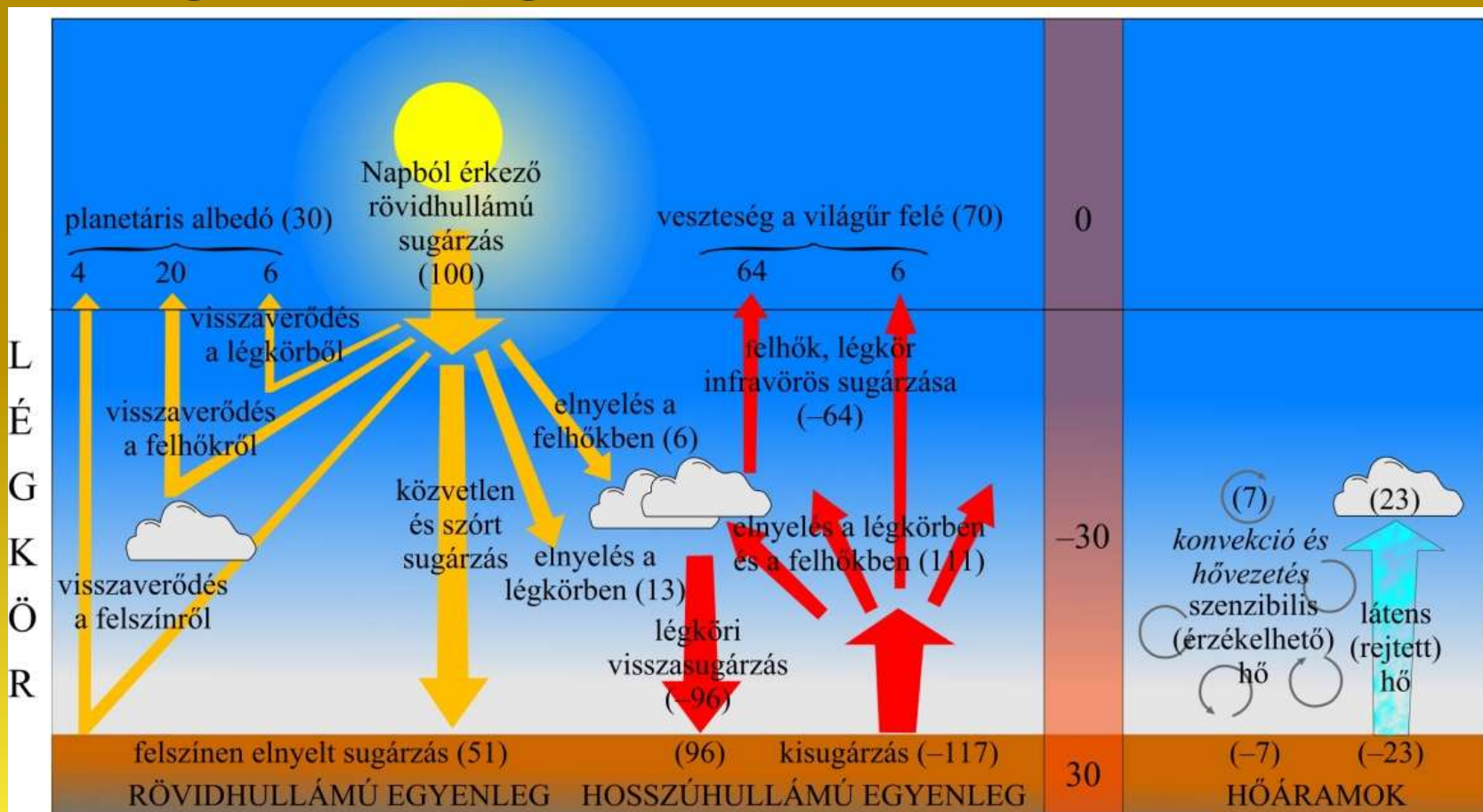
A felszín-légkör rendszer energiamérlege

- Légkörünk jelentős szerepet játszik a sugárzási viszonyok, s ezáltal az energiamérleg kialakításában.
 - A légkört alkotó gázok mind rövid-, mind hosszúhullámú tartományban jelentős elnyelési sávokkal rendelkeznek.
- A rövid- és hosszúhullámú sugárzási egyenleg által meghatározott hőenergia részben a légkör melegítésére, részben a felszíni vizek párologtatására fordítódik.
- A légkört a sugárzási folyamatok által felmelegített felszín melegíti alulról.
 - Ez elsősorban a felszínről a légkörbe irányuló konvektív hőszállítás, kisebb mértékben hővezetés formájában megy végbe (e folyamatokat együttesen szenzibilis vagy érzékelhetőhőáramnak nevezzük).
 - Az időjárási folyamatok szempontjából kiemelt jelentőségű vízforgalom részeként pedig a felszínről elpárolgó víz (látens vagy rejtett hőáram) is felhasználja a rendelkezésre álló energia egy részét.
 - Ez a „vízgőzbe rejtett” hőmennyiség a felhő- és csapadékképződés során szabadul fel, melegítve a légkör magasabb részeit.
- A felszín és a légkör közötti hőáramok jelentős szerepet játszanak a felszín és a légkör közötti energiacserében, az időjárási folyamatok alakításában.

A felszín-légkör rendszer energiamérlege

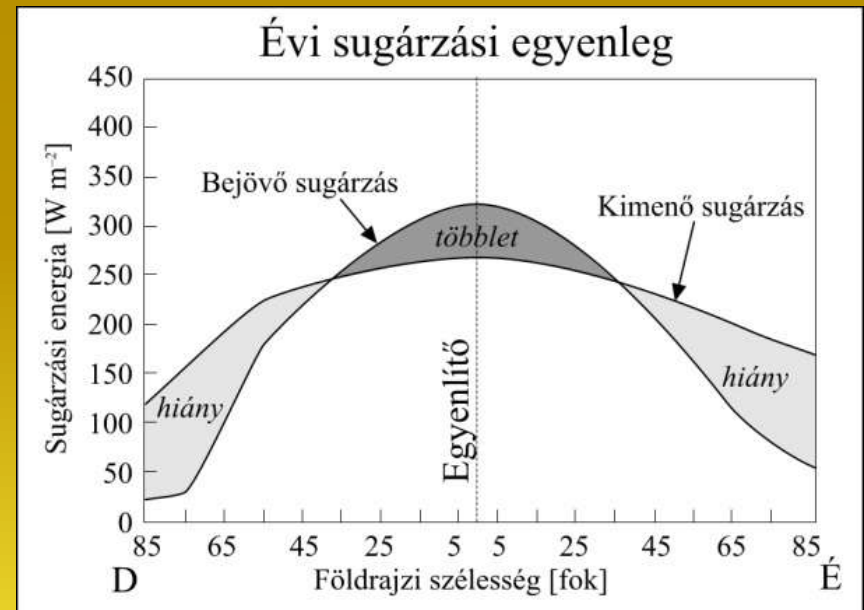


A felszín-légkör rendszer energiamérlege

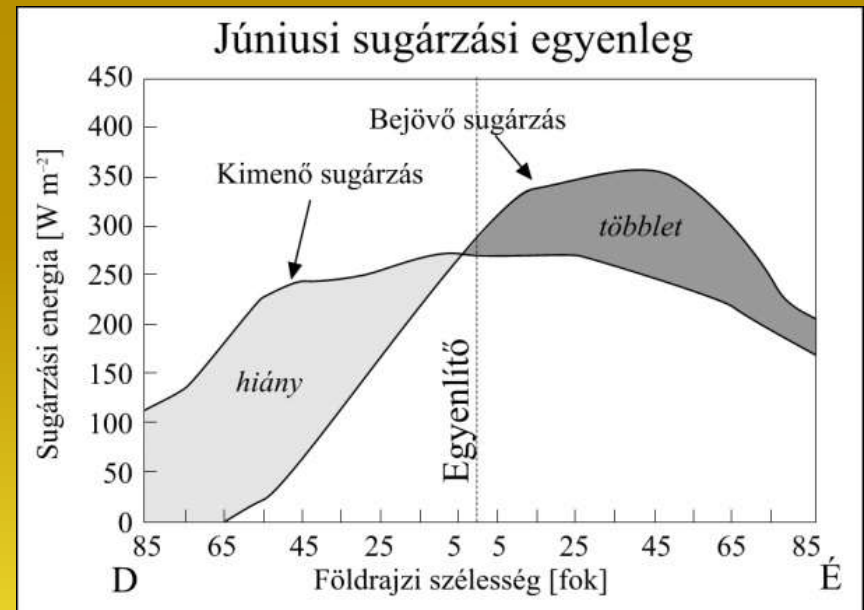
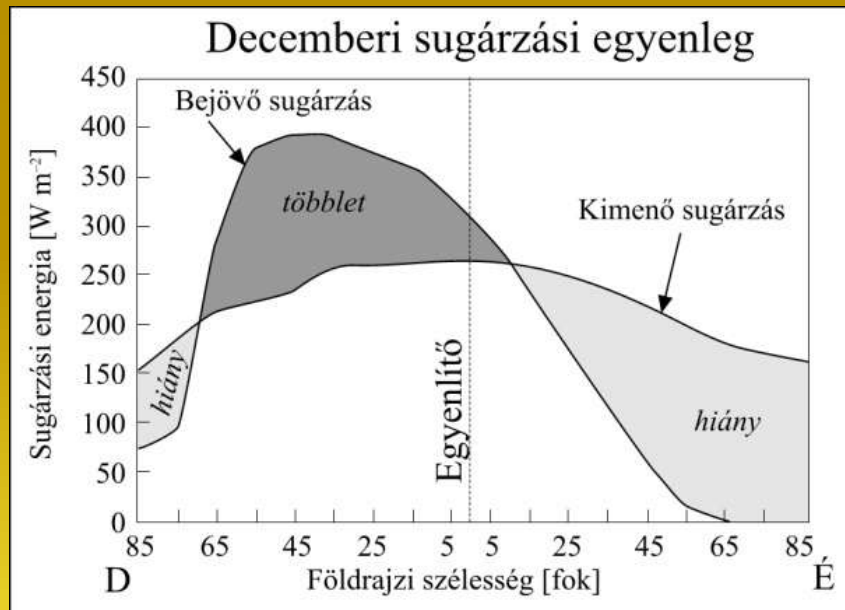


A felszín-légkör rendszer energiamérlege

- A légkör és a Föld felszíne a Napból érkező sugárzás révén energiát vesz fel.
 - Az energia felvétele, az egyes energiaszintek közötti átalakulás és átadás folyamatosan zajlik, ami a Föld egyes régióiban és az év különböző időszakában eltérő mértékű.
 - Ez alapvetően meghatározza a légkörben kialakuló cirkulációs rendszereket, az időjárást és ezzel együtt az éghajlati viszonyokat.



A Felszín-légkör rendszer energiamérlege



Köszönöm a figyelmet!