Dr. Héjjas István:

ÉGHAJLATVÁLTOZÁSOK

A Földön az éghajlat folyamatosan változik. Az utóbbi 5 millió évben nagyjából 100 ezer éves ciklusokban váltogatják egymást a jégkorszakok és a meleg korszakok. Ezt megelőzően előfordultak olyan szélsőséges állapotok, amelyeket joggal nevezhetünk globális katasztrófának, hiszen élőlényfajok tömeges kipusztulását okozták, megváltoztatva az evolúció menetét.

Az éghajlat jelenleg is változik, minden jel szerint melegedik. Hogy miért, az vita tárgyát képezi a környezetvédők, meteorológusok, geofizikusok, és más szakemberek és nem szakemberek között.

Vannak, akik szerint a melegedést az emberiség széndioxid kibocsátása okozza, míg mások szerint főleg természetes folyamatokról van szó. Lehet, hogy az igazság valahol a kettő között keresendő, ezért érdemes tisztázni, milyen szerepe lehet az emberiségnek az éghajlat megváltozásában.

Egy földrajzi térség mikroklímáját alapvetően meghatározza a felszín közelében mérhető hőmérséklet átlagos értéke, valamint annak napi és évszakonkénti ingadozása. A levegő hőmérséklete pedig attól függ, hogy a föld felszínére milyen mennyiségű napsugárzás jut, és hogy a talaj mekkora hatásfokkal nyeli el a napsugárzás energiáját, és melegíti fel a levegőt.

Nem mindegy, hogy egy adott helyen mekkora a hőmérséklet átlag körüli ingadozása. Ha valahol az éves hőmérsékleti átlag mondjuk +15 fok, akkor az úgy is kialakulhat, hogy nyáron átlag 20 fok van, télen pedig átlag 10 fok, de ugyanez az átlag úgy is létrejöhet, hogy nyáron plusz 50 fok van, télen pedig mínusz 20 fok.

Értelmezhető a hőmérséklet átlagos értéke globális szinten is, azonban ilyenkor sem mindegy, hogy bolygónk átlagos felszíni hőmérsékletéhez milyen időbeli és területi eloszlás tartozik.

A lokális és globális hőmérsékleti értékeket elsősorban az alábbi tényezők határozzák meg:

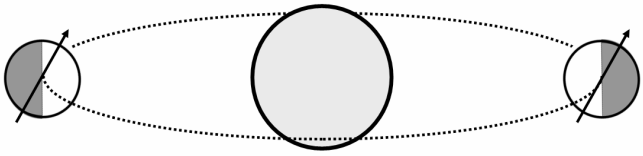
- A Föld forgási és keringési paraméterei
- A Nap ingadozó sugárzási teljesítménye
- A földfelszín átlagos fényvisszaverő képessége, vagyis az ún. „albedo” értéke
- Az egész bolygóra értelmezett planetáris albedo értéke
- A felhőképződés, amely földön kívüli tényezőktől is függ
- Az uralkodó széljárások gyakorisága, iránya, térbeli és időbeli megoszlása
- Az atmoszféra optikai transzmissziós tényezője a nap-sugárzásnak megfelelő 6000 fok körüli színhőmérsékleten
- Az atmoszféra transzmissziós tényezője a Föld felszínéről kibocsátott mintegy 290 K körüli színhőmérsékleten, más szóval az „üvegház” erőssége.
- Az emberiség beavatkozása a klímaegyensúlyba

A Föld forgási és keringési paraméterei

A Föld mozgása a világűrben jelentős mértékben meghatározza a Napból a bolygóra besugárzott összes energia mennyiségét, valamint annak térbeli és időbeli eloszlását. Nagyrészt ettől függ az átlagos éves felszíni hőmérséklet, valamint az évszakok ciklikus változása, amely az északi és a déli féltekén „ellenfázisú” időeltolással zajlik.

Ez utóbbi annak a szerencsés körülménynek köszönhető, hogy a Föld forgástengelye a keringési pályasíkra merőleges irányhoz képest kb. 23,5 fokkal elhajlik, és ezt a hajlásszöget a bolygónk körül keringő Hold nagy mértékben stabilizálja.

A keringési pályát vázlatosan az ábra szemlélteti. A méretarányok persze nem valóságosak, hiszen a Nap átmérője kb. 109-szer nagyobb, mint a Föld átmérője, a Nap és a Föld közötti átlagos távolság pedig kb. 107-szer nagyobb, mint a Nap átmérője.



Az ábrából látszik, hogy a Föld forgási tengelyének elhajlása miatt néha az északi, máskor pedig a déli félteke kap több napfényt, ez okozza az évszakok váltakozását, és azt is, hogy nyáron hosszúak a nappalok és meleg van, télen pedig hideg van, és a nappalok rövidek.

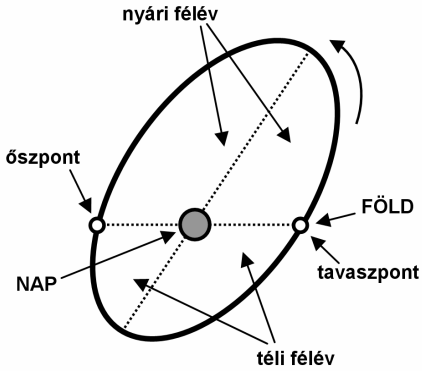
A Föld keringési pályája nem teljesen kör alakú, hanem kissé elnyúlt ellipszis, ezért a Föld-Nap távolság az átlag körül kb. +/–3% körüli mértékben ingadozik. Bármennyire meglepő, a Föld akkor van legtávolabb a Naptól, amikor nálunk Európában éppen nyár van.

Bár a Föld a forgási tengelyének dőlésszögét viszonylag stabilan tartja, ez nem jelenti azt, hogy mindig teljesen változatlan. Bolygónk hasonlóan viselkedik, mint egy pörgettyű, vagy mint egy búgócsiga. Ha az asztalon a pörgettyűt megforgatjuk, eleinte stabilan tartja a függőleges helyzetét, de amikor lassulni kezd, egyre jobban kezd imbolyogni, miközben a dőlés mértéke ingadozik, és a forgástengely egy képzeletbeli kúp palástján vándorol.

Hasonló történik a Földdel is. Változik a forgástengely dőlésszöge, és az iránya is, miközben a forgása lassul. Ebben szerepet játszik az is, hogy a Hold lassan távolodik a Földtől, és emiatt a stabilizáló hatása csökken. A folyamat lassú, csak évszázadok, sőt évezredek alatt válik a hatás mérhetővé az éghajlatra, azonban az emberiséget arra kényszeríti, hogy időnként beiktasson egy-egy naptár reformot.

Ráadásul a „tavaszpont” helyzete is változik, és emiatt a tavaszi nap-éj egyenlőség idején (március 21-22) a Nap látszólagos helyzete a csillagképekhez viszonyítva vándorol.

A keringési pálya adatok elrendeződését „felülnézetben” az alábbi ábra szemlélteti.



A keringési pálya paramétereinek változásai jelentősen befolyásolják az éghajlatot, a bolygónkra jutó napsugárzás eloszlását az északi és a déli félteke között, valamint a különféle szélességi körök között is, továbbá hatással vannak annak időbeli eloszlására is.

Milutin Milankovics elmélete szerint a csillagászati eredetű klímaszabályozás három összetevője a következő:

1. A Föld forgástengelyének hajlásszöge, amely 41 ezer éves periódussal ingadozik kb. 21,5 és 24,5 fokok között. Minél nagyobb a hajlásszög, annál szélsőségesebbek az évszakok mindkét félgömbön, miközben a sarkkörök a sarkoktól távolodnak.
2. A keringési pálya alakja, amely százezer éves periódussal változik, és néha megnyúlt ellipszis, máskor pedig csaknem kör alakú.
3. A precesszió, vagyis a földtengely irányának ciklikus megváltozása a Nap és a Hold hatására, 23 000 éves periódus idővel. Ez határozza meg, hogy az északi és a déli féltekén a nyár a földpálya napközeli vagy naptávoli pontjára esik-e.

Milankovics szerint a három tényező együttes hatása miatt az északi sark közelében a nyári napsugárzás mennyisége akár 20%-kal is megváltozhat, és ez okozhatja a jégmezők előrenyomulását.

Milankovics elméletét Bacsák György, a földtani tudományok doktora (1870-1970) pontosította és fejlesztette tovább. Szerinte a jégkorszakok kialakulásának az a feltétele, ha hosszú hűvös nyarak és rövid, enyhe csapadékos telek követik egymást, mert ilyenkor történik a hó felhalmozódása és a jegesedés a sarkvidékek közelében, ami tovább fokozza a lehűlést, mivel a hó és a jég visszaveri a melegítő napsugarakat. A jégtakarók visszahúzódását pedig a hideg száraz telek és a forró száraz nyarak eredményezik.

Bacsák György szerint a Föld forgástengely és a keringési pályasík (ekliptika) által bezárt szög 40.000 éves periódussal ingadozik, az ellipszis alakú pálya kistengelyének és nagytengelyének aránya 92.000 éves periódussal mutat ingadozást, a keringési pálya nagytengelyének iránya pedig 110.000 év ciklus idővel fordul körbe. Ezek szuperponált hatása befolyásolja a Földre jutó napenergia térbeli és időbeli elosztását, és idézi elő a jégkorszakok és melegedési korszakok ciklikus változását.

Bacsák professzor egy millió évre visszamenőleges számításainak helyességét a földtani kutatások igazolják. Szerinte az utolsó jégkorszak 10 ezer évvel ezelőtt ért véget, jelenleg pedig két jégkorszak közötti melegedő periódusban vagyunk, amely kb. 70 ezer év múlva ér majd véget.

A Napsugárzás erőssége

Az éghajlatot befolyásoló csillagászati tényezők közé tartozik a Nap ingadozó sugárzási teljesítménye, és az is, ahogyan a naprendszerünk vándorol a Tejútrendszerben, amely egy kb. 100 ezer fényév átmérőjű spirál-galaxis, amelyben a Nap most éppen egy kis spirálkar közelében helyezkedik el, elég távol a központi hatalmas fekete lyuktól, és elég távol a perifériától is.

Ez azért jó, mert kicsi körülöttünk a csillag sűrűség, és így kicsi az ütközés kockázata, miközben kapunk a „központból” még annyi kozmikus sugárzást, amennyi az evolúciót mozgató spontán mutációkhoz szükséges, de mégsem olyan sokat, hogy az képes legyen elpusztítani a földi életet.

A naprendszerünk időnként csillagközi porfelhőkön halad keresztül, ilyenkor a Földet érő napsugárzás akár évmilliókig erősen legyengülhet. Egyes kutatók szerint ez lehetett az oka annak, hogy 800 millió évvel ezelőtt a Föld csaknem az Egyenlítőig eljegesedett.

Egy másik elmélet szerint az ok inkább óriási vulkanikus aktivitás lehetett, amelynek során az Egyenlítő környékén egy hatalmas bazaltkiömlés miatt nagy területen mállékony felület alakult ki, ez megkötötte a légköri széndioxid jelentős részét, és emiatt az üvegház katasztrofális mértékben meggyengült.

A „hólabda-Föld” legfontosabb bizonyítéka az, hogy a nyolcszázmillió éves afrikai kőzetekben olyan oxigénizotóp-összetételeket találtak, amelyek semmi máshoz nem köthetők, mint a gleccserjéggel való kölcsönhatáshoz. A gleccserjég ugyanis nagyon kevés nehéz oxigénizotópot tartalmaz, viszont erőteljesen dúsul könnyű izotópban.

Albedo

Ha egy forró nyári napon a pesti kőrúton sétálunk, és érezzük, hogy melegünk van, kirándulhatunk a budai hegyekbe, ahol akár 4-5 fokkal hűvösebb lehet. A különbség attól függ, hogy a felszín a reá jutó napsugárzás mekkora hányadát nyeli el, és mekkora hányadát veri vissza a világűr felé. Ez utóbbi mérőszáma az albedo. Más szóval: az „albedo” a felszín reflexiós képessége az elektromágneses spektrum optikai (ultraibolya plusz látható fény plusz infravörös) tartományában.

Értelmezhető a planetáris albedo fogalma is, amely azt mutatja, hogy az egész bolygóra beeső összes napsugárzás hány százaléka verődik illetve szóródik vissza a világűr felé.

A planetáris albedo értéke 30 % körül becsülhető, és nem azonos a talajszinten mérhető albedo értékek átlagával.

Az eltérés egyik oka, hogy a légkörben felhők is vannak, és ezek a besugárzás egy részét visszaverik, még mielőtt az a talajszintet elérhetné. A másik ok az, hogy az atmoszféra hullámhossz-függő szűrő hatása miatt a talajszintre jutó besugárzás spektrális teljesítmény eloszlása eltér a napsugárzás eredeti spektrumától.

Néhány felszíni albedo hozzávetőleges értéke a következő:

- vízfelület 5 – 10 %
- erdő 10 – 15 %
- szántóföld 15 – 30 %
- hómező 50 – 95 %
- köd, felhő 40 – 80 %

A felszíni albedo óriási mértékben befolyásolja mind lokális, mind pedig globális szinten az éghajlatot. Pedig az emberiség ebbe igen nagy mértékben avatkozik bele már évezredek óta, hiszen aA mezőgazdasági tevékenység jelentősen megváltoztatja a felszíni albedo értékét. Azzal, hogy szűz földeket törünk fel, szántunk vetünk, aratunk, szőlőt, gyümölcsfákat telepítünk, és konyhakerti növényeket termesztünk, nagyobb mértékben avatkozunk bele az éghajlat működésébe, mint az ipari tevékenység.

Ha pedig „természetvédelmi” indokból erdők, mezők helyére energiafű és bio-üzemanyag ültetvényeket telepítünk, ezzel tovább fokozzuk a mesterséges beavatkozást a természet működésébe.

A felszíni albedo értékét jelentősen befolyásolja az egyre több út és épület is, mivel a felszín hőelnyelő képessége megnő, fényvisszaverő képessége csökken, ami növeli a felszíni hőmérsékletet.

A természet persze igyekszik visszaszerezni az ember által elrabolt területeket, például úgy, hogy ha valahol abba hagyjuk a mezőgazdasági tevékenységet, vagy magára hagyjuk a romba dőlt épületeket és tönkrement utakat, hamarosan megindul az erózió, és megjelenik a parlagfű, vagy más olyan növény, amelyet a mezőgazdasági kultúrához szokott ember a gyomnövények közé sorol. Pedig éppen ezek lennének a „természetes” növények, és nem a fajtanemesítésnek nevezett lassú génmódosítással létrehozott kényes „haszonnövények”, amelyek rendszeres emberi gondozás, beavatkozás nélkül nem is lennének képesek „természetes” módon fennmaradni.

Felhőképződés

A felhők hatalmas fehér fényvisszaverő felületeket képeznek, amelyek visszaverik a napsugárzás jelentős részét a világűr felé, még mielőtt azok elérhetnék a felszínt. A felhő képződés intenzitása függ a levegő hőmérsékletétől és annak relatív nedvességtartalmától. Minél melegebb a levegő, annál több vízgőzt képes elnyelni, magába fogadni anélkül, hogy az apró vízcseppek, azaz pára formájában kicsapódna.

A felszálló levegő adiabatikus állapotváltozáson megy keresztül, vagyis kitágul, a sűrűsége csökken, és közben le is hűl, ezért a vízgőz elnyelő képessége csökken, ami azt jelenti, hogy a tényleges gőztartalom százalékos aránya a kicsapódási határértékhez képest relatíve növekszik, és amikor eléri a 100% körüli értéket, megkezdődik a köd, illetve felhő képződés.

Hogy ez mikor indul meg, és milyen gyorsan alakul ki, azt földön kívüli hatások is befolyásolják. A távoli csillagrendszerekből érkező nagy energiájú töltött részecskékből álló kozmikus sugárzás ugyanis képes még a troposzféra szintjén is ionizálni a levegőt, az ionok fokozott jelenléte pedig elősegíti a köd és felhőképződést.

Amikor azonban a Nap elektromágneses aktivitása (általában 11 éves ciklusidővel) fokozódik, ez eltéríti a Föld közeléből a nagy energiájú töltött részecskék jelentős részét, és fékezi a felhőképződést. Emiatt a ciklikusan ismétlődő napfolt tevékenység is hatással van az időjárás alakulására.

Széljárások

Hiába van valahol vakító napsütés, amely magas fényenergia elnyelő képességű (alacsony albedo szintű) talajra sugárzódik, ha egy heves sarki eredetű szélvihar kisöpri a meleg levegőt, és a helyére akár 10-15 fokkal hidegebb szél áramlik. A gyakori, tipikus széljárások számtalan meteorológiai tényező hatására alakulnak ki. Tulajdonságaikat befolyásolja a Föld gravitációs teréből adódó nehézségi erő, a Föld forgásából eredő centrifugális és coriolis erőhatások, a napsugárzás intenzitása, a felhőképződés elrendeződése, és még sorolhatnánk.

Ezekben a folyamatokban nagyon sok a bizonytalansági tényező, a modellezésük rendkívül bonyolult és körülményes, éppen ezért nagyon nehéz hosszabb távú meteorológiai előrejelzést adni. Sok paraméteres többszörösen visszacsatolt folyamatokról van szó, amelyek káoszelméleti modellekkel írhatók le, és ún. pillangó effektusokkal is számolni kell, amelyek miatt a kiinduló adatokban kimutatható csekély eltérés hatalmas eltérést okozhat az eredményben.

Üvegház effektus

Fontos szerepet tölt be a felszíni hőmérséklet alakulásában a sokat emlegetett „üvegházhatás”.

Sokan láttak már fóliasátrat, amely alatt friss zöldségeket termesztenek, holott kívül még hűvös kora tavaszi időjárás uralkodik. Máshol ehhez üvegházat használnak, de a működési elv itt is ugyanaz. Az üveg és a fólia optikai tulajdonságai hasonlóak. A napsugarak áthatolnak az üvegen vagy a fólián és bár a fény egy része visszaverődik és szóródik, ámde bent a napfény energiájának jelentős része elnyelődik bármilyen tárgyban, termőföldben, berendezési tárgyban, növények szárán vagy levelein, és ezeket felmelegíti. Az elnyelő tárgyak azután az elnyelt energiát kisugározzák, csakhogy nem látható fényként, hanem infravörös sugárzás formájában. Ez utóbbi azonban csak részben tud áthatolni a fólián vagy az üvegen, ezért az energiájának egy része csapdába kerül, és a belső teret melegíti.

Hasonlóan működik a Föld üvegháza is, csakhogy itt a fóliát vagy az üveget a Földet körülvevő, beborító levegő réteg, vagyis az atmoszféra helyettesíti. Ezáltal jön létre az a kellemes klíma, amely a bolygónkat alkalmassá teszi az emberi életre.

Az éghajlatot jelentősen meghatározza az átlagos felszíni hőmérséklet, amelynek a stabilitása azon múlik, hogy megfelelő-e a bolygónk „hűtése”, vagyis hogy egyensúlyban van-e egyfelől a Földre beérkező és a Földön termelődő hőenergia, másfelől a Földről a világűrbe kiáramló hőenergia mennyisége.

A Földet főleg a Nap melegíti, és ehhez adódik hozzá az a hőenergia, amely a Föld belsejében zajló radioaktív bomlásokból, vulkáni tevékenységből, erdőtüzekből, és egyéb természetes hő termelő folyamatokból származik, valamint az a hőenergia is, amelyet az emberi tevékenység termel.

A legfontosabb melegítő tényező a napsugárzás. A Nap felszíne négyzetméterenként mintegy 62-65 megawatt teljesítménnyel sugároz, ami a Föld keringési pályáján négyzetméterenként kb. 1368 Watt besugárzási teljesítményt jelent. Figyelembe véve a bolygó napsugárzással szembeni kb. 128 millió négyzetkilométeres hatáskeresztmetszetét, az atmoszféra felső rétegét elérő összes besugárzási teljesítmény 160 milliárd megawatt körül becsülhető. Mivel ez több mint három nagyságrenddel meghaladja a Föld belsejéből felfelé áramló mintegy 40 millió megawattnyi geotermikus hő-teljesítményt, így ez utóbbi a számításoknál gyakorlatilag figyelmen kívül hagyható, akárcsak az emberi tevékenységből származó hőtermelés.

A Napból érkező besugárzás, és a Földről a világűr felé történő kisugárzás is a légkörön halad keresztül, amely bizonyos sugárzásokat átereszt, másokat elnyel, visszaver, vagy szétszór. Atmoszférikus „ablaknak” nevezik azokat a hullámhossz tartományokat, amelyekben a légkör áteresztő képessége magas.

A Nap felszínén a hőmérséklet kb. 5.800 kelvin fok, ez mintegy húszszor akkora, mint a Földön, ezért a maximális napsugárzási intenzitás a zöld színnek megfelelő 0,5 mikron hullámhossz körül van.

Ennek mintegy 60-70%-át a légkör a 0,4-1,3 mikron közötti hullámhossznak megfelelő atmoszférikus ablakon átengedi és eljut a felszínre, amely a sugárzás kb. 30%-át visszaveri, 70%-át elnyeli, amitől a föld felszíne felmelegszik, és hőmérsékleti sugárzást bocsát ki a szemmel láthatatlan infravörös tartományban.

A kisugárzás legnagyobb intenzitása 9-10 mikron hullámhossz körül van, ennek 60-70%-át a légkör a 7,5-14 mikron közötti atmoszférikus ablakon át kiereszti a világűrbe, a többit elnyeli, és ennek jelentős részét visszasugározza a felszínre.

A visszasugárzás következménye az „üvegházhatás", egy járulékos melegedés az atmoszféramentes állapothoz képest.

A Földön az átlagos éves középhőmérséklet +16°C körül van. Ha nem volna üvegház, de a felszín elnyelési tulajdonságai nem változnának, az átlagos hőmérséklet–18°C körül lenne. Ez persze csupán elméletileg van így. Ha ugyanis nem lenne üvegházhatású atmoszféra, akkor a felszín fényelnyelő képessége is jelentősen megváltozna, mivel a kettő kölcsönhatásban van egymással.

Az üvegház stabilitása, optimális energetikai egyensúlya létfontosságú a bioszférát benépesítő élőlények szempontjából. A Földön az egyensúly megbomlása esetén természetes önszabályozó folyamatok – negatív visszacsatolások – igyekeznek helyreállítani az egyensúlyt, ámde ennek nagyobb mértékű megbomlása esetén már negatív visszacsatolások helyett önmagát felerősítő láncreakciószerű folyamat (pozitív visszacsatolás) is kialakulhat. Ha például az üvegház hatás nagyon lecsökkenne, a hőmérséklet csökkenése miatt sok víz fagyna meg, és mivel a jég és hó sok fényt ver vissza, ez tovább gyorsítaná a lehűlést.

Az üvegházi egyensúly ellenkező irányban is felborulhat. Ha az üvegház erősödik, a víz fokozott párolgása miatt a levegő páratartalma növekszik és mivel a vízgőz jó infravörös elnyelő, a melegedés erősíti önmagát.

Itt is működik azonban egy negatív visszacsatolás. Amikor ugyanis már nagyon magas a levegő páratartalma, beindul a fokozott pára és felhő képződés, és mivel a felhők a világűr felől nézve nagy fehér fényvisszaverő felületeket alkotnak, kevesebb napsugárzási energia éri el a talajszintet, és ez ellene hat a további melegedésnek.

Bár az üvegházi egyensúly elvileg mindkét irányban felborulhat, jelenleg a Földön a melegedési típusú egyensúlyvesztés jelenti a nagyobb kockázatot.

Az emberi tevékenység hatása az éghajlatra

Nem vitatható, hogy az utóbbi évszázadokban az emberiség gazdasági tevékenysége is hatással van vagy lehet az éghajlatra, még ha a hatás mértéke vitatható is. A folyamatban lévő tagadhatatlan globális melegedéssel kapcsolatban a leginkább elfogadott és hangoztatott nézet szerint az éghajlatváltozás oka elsősorban az üvegház erősödése, ebben viszont a legfontosabb tényező az ipari tevékenységből származó széndioxid kibocsátás. Bár ezt a nézetet számos tudós vitatja, ámde a véleményük ritkán jut el a szélesebb közvéleményig.

Érdemes alaposabban megvizsgálni, mekkora lehet a klímaváltozásban az üvegház szerepe, ezen belül a széndioxid szerepe, és ennek mértékében az emberi tevékenység szerepe, annál is inkább, hiszen a Földön több milliárd év óta folyamatosan zajlik a klímaváltozások sorozata.

Csupán a legutóbbi 100 millió év során is többször előfordult a mainál akár 15-20 fokkal magasabb hőmérséklet, és emiatt az élőlények jelentős része kipusztult, miközben más élő szervezetek elszaporodtak. Ez a mechanizmus is fontos szerepet játszik az evolúcióban. Kb. 10-12 ezer évvel ezelőtt fejeződött be az utolsó nagy jégkorszak, azóta kisebb-nagyobb kilengésekkel zajlik a melegedés. Mintegy 1000-1200 évvel ezelőtt a levegőben kb. 30 százalékkal több volt a széndioxid, mint most, és az átlagos hőmérséklet legalább 1,5 fokkal magasabb volt. Grönlandon abban az időben nem volt jég, hanem dús zöld növényzet borította. Egyes szakemberek úgy vélik, hogy ha most is akkora lenne a CO_2 koncentráció, mint a Honfoglalás idején, kevesebb vegyszerrel lehetne magasabb mezőgazdasági terméshozamokat elérni. Hazai feljegyzések szerint az 1200-as években is többször előfordult, hogy egyetlen év alatt háromszor vetettek és arattak gabonát, mert nem volt tél. Volt azonban a középkorban egy kis jégkorszak is, amelynek alighanem most vagyunk a befejező stádiumában, és ez is oka lehet a jelenlegi melegedésnek.

Mint említettük, az üvegház úgy működik, hogy a levegőben található egyes gázok jó hatásfokkal képesek elnyelni a talajszintről kiáramló infravörös sugárzást, amelynek jelentős hányada visszasugárzódik a felszínre.

A Föld légkörében található legfontosabb üvegház gázok a következők:

- Vízgőz
- Szén-dioxid
- Ózon
- Metán
- Nitrogén oxidok, főleg dinitrogén-oxid
- Halogénezett szénhidrogének (freonok, halonok)

Vizsgáljuk meg, milyen arányban vannak ezek jelen az atmoszférában. A Föld légköre felfelé haladva fokozatosan ritkul. A legalsó kb. 10 km vastagságú réteg szokásos megnevezése: troposzféra, ebben zajlanak az általunk megszokott időjárási jelenségek.

Fölötte, mintegy 80-100 km magasságig terjed a sztratoszféra, felette pedig az ionoszféra, amely elnyeli a távoli csillagrendszerekből érkező veszélyes ionizáló kozmikus sugárzás jelentős részét.

Az ionoszféra, felfelé fokozatosan ritkulva megy át a csillagközi vákuumba, felső határa bizonytalan, akár 800-1000 km magasságban lehet.

Ha az atmoszféra teljes gáztartalmát lehoznánk a felszínre, és összepréselnénk a felszínen szokásos atmoszférikus nyomásra, ez a sűrű légréteg kb. 7740 méter azaz 7,74 km vastagon borítaná be a földet.

Ha a levegő egyes komponenseivel is ugyanezt tennénk, akkor a teljes 7,74 km effektív rétegvastagságban az egyes komponensek nagyjából a következő mértékben szerepelnének:

- nitrogén kb. 5970 méter
- oxigén kb. 1620 méter
- argon kb. 72 méter

A fontosabb üvegház gázok effektív rétegvastagsága pedig:

- vízgőz kb. 0,024 méter = 24 mm
- széndioxid kb. 2,3 méter = 2300 mm
- ózon kb. 0,003 méter = 3 mm
- metán kb. 0,008 méter = 8 mm
- nitrogén oxidok kb. 0,002 méter = 2 mm
- halogénezett szénhidrogének kb. 0,0004 méter = 0,4 mm

Az egyes üvegház gázok hatékonysága jelentősen eltér, ezért a hatásuk nem arányos a hozzájuk tartozó effektív rétegvastagsággal.

Fontos tulajdonsága az üvegház gázoknak, hogy a sűrűségük hogyan viszonyul a levegő sűrűségéhez, vagyis, hogy hányszor nehezebbek vagy könnyebbek mint a levegő, mert ezen múlik, hogy milyen gyorsan képesek kiülepedni.

Az alábbi táblázat mutatja a legfontosabb üvegház gázok relatív sűrűségét a levegőhöz képest, valamint azt, hogy ezek a gázok milyen arányban vesznek részt az üvegház hatás kialakításában.

megnevezés	**kémiai képlet**	**relatív sűrűség**	**hatás kb. %**
levegő		1	
vízgőz	H_2O	0,62	58 – 62
széndioxid	CO_2	1,52	20 – 22
ózon	O_3	1,66	8 – 9
metán	CH_4	0,55	2 – 4
dinitrogénoxid	N_2O	1,52	2 – 4
freon	CF_2Cl_2	4,17	0,4 – 0,8
egyéb gázok kb.			1 – 2

Ami a hatás százalékos megoszlását illeti, a tól-ig értékek egyik indoka az, hogy az utóbbi években (2006-2012) az atmoszférában lévő üvegház gázok mennyisége folyamatosan változott. A másik ok az, hogy a különféle jelentésekben, publikációkban jelentősen eltérő, sőt kifejezetten ellentmondó, nehezen ellenőrizhető adatok találhatók, ezért az itt feltüntetett hatás eloszlás csupán durva közelítő becslésnek tekinthető.

A táblázatban szereplő gázok közül nagyrészt természetes eredetű a széndioxid, a vízgőz, a metán és az ózon, míg a dinitrogénoxid és a freon főleg mesterséges eredetű, bár halogén elemek és vegyületek természetes módon is juthatnak a levegőbe, például vulkán kitörés vagy erdőtűz miatt.

A széndioxid hatásával kapcsolatban figyelembe kell venni, hogy abban fontos szerepet játszik a széndioxid természetes körforgása. A levegőbe kerülő széndioxid jelentős része a vízgőzzel vegyülve szénsavat alkot ($CO_2 + H_2O = H_2CO_3$), és ez savanyú eső formájában lehullik (nem tévesztendő össze az ipari eredetű kén tartalmú savas esővel), és a vulkanikus eredetű bazalt kőzetekre eróziós hatást fejt ki. A Földön a bazalt az egyik leggyakoribb kőzetféleség, nagy része kalcium-szilikát ($CaSiO_3$). Ezzel lép kölcsönhatásba a savanyú eső, és bomlástermékként víz, mészkő (kalcium-karbonát), és kvarchomok (szilícium-dioxid) keletkezik ($H_2CO_3 + CaSiO_3 = H_2O + CaCO_3 + SiO_2$). Így a savanyú eső széntartalma lekötődik.

A tűzhányók jelentős része az óceánok mélyén működik, ezért a vulkanikus bazaltképződés nagyobbik része itt zajlik le, és a tengeráramlatok által az óceánok fenekére lejutó szénsav itt is kifejti ezt a hatást.

A földkéreg mozgása, átalakulása során a kőzetek lesüllyednek, a fokozódó nyomás és hőmérséklet hatására a mészkő elbomlik ($CaCO_3 = CaO + CO_2$), és az így keletkező széndioxid a tűzhányókon és a termálvizeken keresztül kijut a légkörbe.

Ez a körfolyamat egyfajta önszabályozó visszacsatolásként is működik. Ha a levegőben a széndioxid koncentráció feldúsul, fokozódik a savanyú eső képződés, több szén távozik a légkörből, és a rendszer visszaszabályozza önmagát. Érdemes azt is hozzá tenni, hogy szénsav nem csak a savanyú esőcseppekben távozik a légkörből, de gőz formájában is. A légnemű szénsav gőz kb. 2,2-ször nehezebb mint a levegő, ezért igyekszik abból gyorsan kiülepedni, és ezzel nem csak a széndioxidot távolítja el a levegőből, de magával viszi a vízgőz egy részét is, ami ugyancsak üvegház gáz.

Figyelembe véve a természetes önszabályozó folyamatokat, ma már több élvonalbeli tudós hangoztatja, hogy túl becsüljük a mesterséges CO_2 kibocsátás hatását. Prof. Dr. Reményi Károly akadémikus például az ENPOL-2000 Társulatnál tartott egyik előadásában bemutatott egy diagramot, amely több százezer évre visszamenőleg szemléltette a légköri széndioxid koncentráció és az átlagos felszíni hőmérséklet alakulását. Ebből az derült ki, hogy mind a melegedés, mind a széndioxid koncentráció nagyjából százezer éves ciklusokban periodikusan változik, és a két a paraméter között valóban erős korreláció van. Csakhogy számos esetben a klíma melegedés megelőzte a széndioxid koncentráció növekedését, ezért nem egyértelmű, hogy közülük melyik az ok és melyik a következmény.

Geofizikus szakemberek véleménye szerint ez a kérdés összefüggheti a felszíni vizek gáz elnyelő képességével. Az óceánok vizében hatalmas mennyiségű elnyelt gáz van, többek között oxigén és széndioxid is.

Ha az óceán hőmérséklete növekszik, csökken a víz gázelnyelő képessége, széndioxidot bocsát ki a levegőbe, növeli az üvegházhatást, és ez pozitív visszacsatolásként működve tovább fokozza a melegedést. Amikor azonban a légkörben túl sok a vízgőz, a fokozott felhőképződés a napsugarakat visszaverve megindítja a lehűlési folyamatot.

Hasonlóan szkeptikus Dr. Miskolczi Ferenc, a NASA volt kutató fizikusa. Szerinte egy olyan bolygón, amelyen hatalmas mennyiségű felszíni víz található, a kipárolgó vízgőz miatt magától kialakul az elvileg lehetséges maximális üvegházhatás, és ezt már az egyéb gázok nem tudják tovább növelni, mert ha egy másik üvegházgáz koncentrációja növekszik, az ennek megfelelő vízgőz kiszorul a levegőből és a rendszer visszaszabályozza önmagát. Miskolczi professzor az elméletét hatalmas mennyiségű általa feldolgozott mérési adattal támasztja alá. Ezek többek között az atmoszféra rétegeződésére, és a hőmérsékleti gradiens változására vonatkoztak.

Ahogyan magasabbra megyünk a légkörben, csökken a nyomás, és a hőmérséklet is. Az atmoszféra rétegeződésének legegyszerűbb modellje szerint bármilyen magasságban akkora a nyomás, hogy az elbírja a felette elhelyezkedő rétegek súlyterhelését. A meleg talajszintről pedig a levegő felfelé áramlik és kitágul, de közben elvileg – oldal irányban – nem ad le hőenergiát és nem is kap, ezért az állapot változása adiabatikusnak tekinthető. Ennek megfelelően számítható ki az adiabatikus hőmérsékleti gradiens az ismert termodinamikai egyenletek alapján.

A valóságban a levegő nedvessége is befolyásolja a hőmérsékleti gradienst, mivel ha a vízgőz kicsapódik páracseppek formájában, hőt ad le, amikor pedig a vízcseppek elpárolognak, hőt vesznek fel, és ezt a hőmérsékleti gradiens kiszámításánál korrekcióba kell venni.

A talajszint és a világűr közötti hőmérséklet különbség a hőmérsékleti gradiens integráljaként számítható ki az atmoszféra rétegvastagságára. Mivel a világűr hőmérséklete állandó, az átlagos felszíni hőmérséklet emelkedése esetén a felszín közelében a hőmérsékleti gradiensnek növekednie kell. Ha pedig a melegedést tényleg a széndioxid okozza, erős korrelációnak kell lenni a széndioxid koncentráció és a hőmérsékleti gradiens között, ezt az összefüggést azonban Miskolczi professzor 60 éves időtartamra kiterjedő mérési adatsorozata nem igazolja, ami arra utal, hogy az üvegház-gázok szerepét hibásan értelmezzük.

A talaj által alulról fűtött légkör állapota ugyanis instabil, és a turbulens áramlásokat tartalmazó felfelé törekvő felmelegedett levegő igyekszik helyreállítani az adiabatikus gradienshez közeli állapotot, ezért a klíma globális működési mechanizmusának jellemzéséhez csupán a légkört alkotó gázok abszorpciós tulajdonságainak figyelembe vétele nem elegendő.

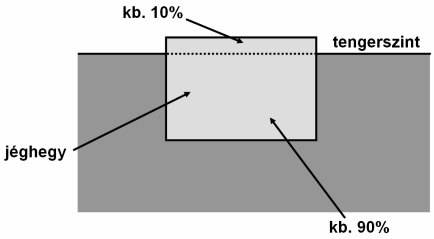
Az önszabályozó folyamatban ugyanis, ha az üvegházhatás megnő, erősödik a felszíni vizek párolgása, ez több hőt von el a felszíntől, és ez a többlet hőelvonás akár meg is haladhatja a megnövekedett üvegház hatásból eredő hőtöbbletet oly módon, hogy a vízpára által szállított többlet hőenergia konvekciós áramlással olyan magasra jut fel, ahonnan az már nagyrészt a világűr felé szét tud sugárzódni.

Miskolczi professzor nem állítja, hogy az üvegház erőssége nem változik, csupán azt, hogy az nem képes minden határon túl növekedni, hanem egy átlag érték körül ingadozik. Ezek az ellenvélemények azonban nem jutnak el a közvéleményig, sőt az ezzel foglalkozó kutatókat sok személyes támadás is éri.

A széndioxid hatását a TV-ben gyakran füstölgő kéményekkel szemléltetik. Ámde a széndioxid színtelen, szagtalan átlátszó gáz, akárcsak a levegő, ezért nem látható. Nem véletlen, hogy a must forrása idején a borpincébe csak égő gyertyával ajánlatos lemenni, amely az elalvásával jelzi, ha széndioxiddal telített veszélyes mélységbe érünk.

Egy másik gyakori propaganda szerint a sarkvidéki jégmezők elolvadása miatt a tengerek szintje nagy mértékben meg fog emelkedni. A NASA által közzétett adatok szerint azonban 1990 és 2010 között az Északi Sarkon a jég valóban olvadt, ámde az Antarktiszon a jég tömege növekedett. Ez utóbbi adatot azonban nem tették közzé.

Nézzük meg, mi történhet az Északi Sarkon a jég olvadása miatt, ahol a jég a víz felszínén úszik, akárcsak egy hatalmas jéghegy. A jelenséget az ábra mutatja.



Archimédesz tétele szerint minden vízbe mártott jéghegy a súlyából annyit veszít, amennyi az általa kiszorított víz súlya, és ezért, amikor a vízen úszó jég elolvad, pontosan víz lesz belőle, amennyit korábban kiszorított, és ezért az Északi Sark jégtakarójának olvadása miatt a tengerek szintje nem emelkedhet.

Sőt, mivel a víz +4 C fokon a legsűrűbb, azért ha az olvadt jégből származó víz még tovább melegedne, kitágulás helyett egy darabig még zsugorodna, ami a tengerszint csekély mértékű csökkenését okozhatná.

Más a helyzet a Déli Sark körüli jégtakaróval, amelynek az elolvadása valóban megemelhetné az óceánok szintjét. De vajon tényleg megemelné-e, és milyen mértékben? Ennek a jégtömegnek a teljes elolvadása akkor következhetne be, ha a Föld átlagos éves hőmérséklete olyan magas lenne, hogy a sarkvidékek környékén is megközelítené a nulla fokot. Ekkor azonban az Egyenlítő környékén olyan magas hőmérsékletek alakulnának ki, hogy lehetetlen volna ott az emberi élet.

Az extrém magas hőmérsékleteken a felszíni vizek párolgása fokozódna, ez a vízszint csökkenését eredményezné, és jelentősen kompenzálná az olvadásból adódó vízszint emelkedést. Hasonló jelenség egyes édesvizű tavaknál is megfigyelhető, vízszintjük csökken, területük összehúzódik, némelyek kiszáradnak.

A kérdés vizsgálatát bonyolítja, hogy a sarki jégtömegek gyakorlatilag sómentesek, felolvadásuk a tengereket felhígítja, emiatt a tengervíz sótartalma és ezzel a sűrűsége (fajsúlya) megváltozik, ami a tengeri élővilág szempontjából káros.

A tengerszint emelkedés kérdése nem egyszerű, a számítógépes szimulációs modellek bonyolultak, bennük túl sok paraméter szerepel, csak közelítő számítások elvégzése lehetséges. Ráadásul a kiindulási adatok sem eléggé pontosak, márpedig az „input” adatokban mutatkozó csekély eltérés jelentősen megváltoztatja a számítások végeredményét.

A problémát nehezíti, hogy a modellezett folyamatokat olyan ellentétes tényezők határozzák meg, amelyek általában csaknem egyensúlyban vannak, és attól függően, hogy az egyensúly – csekély mértékben – melyik irányba billen fel, a következmény katasztrofálisan eltérő lehet. Azon sem lehet csodálkozni, hogy a különféle matematikai modellekre épülő számítógépes programok ugyanarra a problémára ellentmondó eredményeket adnak.

Zártkörű szakmai rendezvényeken, kis példányszámú szakfolyóiratokban egyre gyakrabban találkozhatunk élvonalbeli tudósok – közöttük akadémikusok, sőt Nobel díjasok – véleményével, hogy a globális éghajlat változásban a mesterséges széndioxid kibocsátás hatása vitatható, ezek azonban nem jutnak el a szélesebb közvéleményig.

Ugyanakkor negatív következménye az éghajlatváltozás elleni szélmalom harcnak, hogy jelentős részben erre a célra pazaroljuk el azokat a természeti erőforrásokat, amelyekre szükség lenne ahhoz, hogy meg lehessen oldani a valódi problémákat, amelyek tényleg veszélyeztetik a természet állapotát, és az egészséges emberi környezetet.

IRODALOM

McCARTNEY, E. J.: Optics of the Atmosphere, Wiley, New-York, 1976
GOLDBERG, L.: The Absorption Spectrum of the Atmosphere, University of Chicago Press, 1954
HÁGEN András: Milanković–Bacsák-ciklus és a földtan, Magyar Tudomány, 2013/2. szám
HÉJJAS István:
– Esélyeink a túlélésre, Anno Kiadó, 2008.
– A bioszféra és a zöld energia, IPM, 2007. szeptember
– Az élő bolygó, eVilág, 2004. április
– Van elég energiánk, kinek hasznos az energiaválság, United-pc Kiadó, Ausztria, 2012
– Ezotéria és/vagy tudomány, Tarandus Kiadó, 2012
– Az élet megóvása és a környezetvédelem; Tények és hiedelmek, Czupi Kiadó, Nagykanizsa, 2013.
JÁROSI Márton: Életem a magyar energetikáért, Püski Kiadó, Budapest, 2010
KÖZÖS JÖVŐNK (tanulmányok), Mezőgazdasági Kiadó, 1988
MARX György: Napfény, üvegház, éghajlat, Fizikai szemle, 1993/4.
MÉSZÁROS Milán: Az antarktiszi jég növekszik, http://realzoldek.hu/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=1211
MIKA János (szerk.): Klímaváltozás, hazai hatások, Természet Világa, 2004/II. különszám
MISKOLCZI Ferenc: Greenhouse effect in semi-transparent planetary atmospheres, IDŐJÁRÁS, Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 2007/1. szám
REMÉNYI Károly: A Föld hőmérsékletei – Miről is beszélünk? Magyar Tudomány, 2010. szeptember, http://www.matud.iif.hu/2010/09/03.htm
http://astro.elte.hu/~kris/csillrajz/
http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/3_Ido_korrekciok/ido_korrekciok.htm
http://www.sciencecaffe.com/hu/szo-2013-02-09-1618/milankovi%C4%87%E2%80%93bacs%C3%A1k-ciklus-%C3%A9s-f%C3%B6ldtan