

Klíímaváltozás

A **klímaváltozás** a Föld klímájának, éghajlatának tartós és jelentős mértékű megváltozását jelenti, helyi, vagy globális szinten. A változás kiterjedhet az átlagos hőmérsékletre, az átlagos csapadéokra, vagy a széljárásra. Az éghajlatváltozás jelentheti az éghajlat változékonyságának módosulását is. Egy adott klímaváltozás végbemehet akár néhány évtized alatt, de kiterjedhet évmilliókra is. Klímaváltozás történhet a Földön végbemenő természetes folyamatok (pl. a földrészek tektonikus mozgása) következményeként, a bolygót érő külső hatások (pl. változások a Nap sugárzásának erősségében) eredményeképpen, vagy akár emberi tevékenység folytán (pl. az üvegházgázok termelése ilyen emberi tevékenység)

A hétköznapi szóhasználatban a klímaváltozás kifejezés gyakran az éghajlat napjainkban végbemenő változásra utal. Erről bővebben Globális felmelegedés alatt olvashatsz.

Globális felmelegedés

A felszínközeli levegő átlagos hőmérsékletének emelkedése 1860 és 2000 között. A fekete görbe az éves, a vörös görbe pedig az ötéves átlaghőmérséklet növekedését mutatja

Globális felmelegedésnek az utóbbi évtizedek éghajlati változásait nevezzük: emelkedik az óceánok és a felszínközeli levegő hőmérséklete. A folyamat várhatólag folytatódik; végállapotát még becsülni sem tudjuk. Az Éghajlat-változási Keretegyezmény a globális éghajlatváltozás kifejezést az ember által okozott klímaváltozásra használja.

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) adatai szerint a levegő földközeli átlaghőmérséklete 1905 és 2005 között $0,74 \pm 0,18$ C-kal nőtt meg, ennek fő okai a XIX. század közepe óta légkörbe juttatott üvegházhatást okozó gázok. Az üvegházgázok növelik a légkör alsó tartományát, a troposzféra hőmérsékletét (Lásd: Üvegházhatás) A kutatók hevesen vitáznak arról, hogy a felmelegedést mennyiben természeti hatások (a napsugárzás erősödése, a vulkáni tevékenység, a Föld pályaelemeinek változása) és mennyiben emberi tevékenységek idézik elő. A legelfogadottabb vélemények szerint **a globális felmelegedés emberi okokra vezethető vissza**. Ezt támasztja alá, hogy a naptevékenység és a vulkánosság alakulása a számítások szerint jelenleg a globális felmelegedés ellen hat.

Az IPCC által elfogadott éghajlatmodellek szerint a Föld felszíni hőmérséklete 1990 és 2100 között feltehetően 1,1–6,4 °C-kal nő majd. Bár a legtöbb tanulmány csak 2100-ig tekint előre, a felmelegedés utána is folytatódhat, a tengerek szintje pedig emelkedhet még akkor is, ha

már nem bocsátanak ki több üvegházhatású gázt, hiszen a szén-dioxid (CO₂) más üvegházgázokkal együtt hosszú ideig a légkörben marad.

A globális hőmérséklet-növekedés környezeti változásokhoz, a tengerszint emelkedéséhez, a csapadék mennyiségének és térbeli eloszlásának megváltozásához, szélsőséges időjárási viszonyokhoz vezet. Várhatóan változik a mezőgazdaság termelőképessége is. Mindez komolyan hathat a gazdaságra,

mérsékelheti a fejlett országok GDP-jének növekedését. Számíthatunk egyes természetes vizek kiszáradására, a gleccserek olvadására, az árvizek, hurrikánok és tájfajok gyakoribbakká, nagyobbakká, pusztítóbbakká válhatnak. Állat- és növényfajok kipusztulásának sebessége jelentősen nő, ugyanakkor bizonyos invazív fajok elszaporodása felgyorsulhat, nagyot borítva ezzel az ökológiai egyensúlyon. Bizonyos betegségek könnyebben elterjedhetnek, több, eddig már „megfékezettnek” hitt betegség újra megjelenhet mutáns változataival együtt. A változások a Föld egyes területein különbözőek lehetnek.

Okai

A Föld-légkör rendszer energiamérlegében a XVIII. század közepe óta előidézt változások (sugárzási kényszer) és az egyes tényezők bizonytalansága a tudomány mai eredményei szerint. Ezeket a változásokat a melegedés miatt erősebb kisugárzás ellensúlyozza. (Forrás: James Hansen, IPCC, 2001)

Az éghajlat stabilitásához egyebek közt az kell, hogy a Föld légköréből annyi energia jusson ki, mint amennyi oda bekerül. Természetes üvegházhatás nélkül a Föld felszínének átlaghőmérséklete a mai 14 C helyett csupán –19 C lenne. Az üvegházhatású gázok mennyiségének bármilyen változása befolyásolja a Föld-légkör rendszer energiamérlegét, megváltoztatja az éghajlatot.

Az éghajlatra természetes és emberi tényezők is hatnak. A legfontosabb természeti hatások: a napciklus, a napállandó, a Föld pályaelemeinek változása és a vulkáni tevékenység, de a tudományos szervezetek többsége szerint a fő ok az üvegházhatású gázok koncentrációit növelő emberi tevékenység.

Egy másik vélemény szerint, a globális felmelegedés okait nem válogathatjuk szét természetesekre és emberiekre. E gondolatmenet szerint a természetes üvegházhatást a természetben előforduló gázok (vízpára, CO₂ stb.) okozzák. Az emberi eredetű üvegházhatást főleg a CO₂, a metán és a dinitrogén-oxid idézi elő. A két hatás azonban nem különíthető el minden további (időjárási, éghajlati) tényező ismerete nélkül. Ráadásul az emberi tevékenységek befolyásolják a természeti folyamatokat, tehát a kétféle hatás egymásra rakódik.

Közvetlen okok

Természeti okok

A Kilimandzsáró jégsapkájának visszahúzódása 1993 és 2000 között

A felmelegedési spirált a pozitív visszacsatolások okozzák. A legfontosabb ilyen folyamatok:

- A légkör megnövekedett szén-dioxid-koncentrációja az üvegházhatás miatt közvetlenül felfűti a levegőt, ami magasabb hőmérsékleten több vízpárát vesz fel. Ezzel növekszik a hőelnyelés mértéke is, ami a vízpára további felvételét idézi elő.
- A tengervíz és a fölötte elhelyezkedő légrétegek felmelegedésével fokozódhat a párolgás, vagyis nőhet a légkör vízgőztartalma. A vízgőz a leghatékonyabb természetes üvegházgáz. Ha az üvegházgáz légköri koncentrációja nő, felmelegedés következik be, aminek közvetett következményeként nő a légköri páratartalom és ezzel együtt tovább erősödik az üvegházhatás. A felhők elnyelik az infravörös sugárzást és az elnyelt mennyiség arányában fejtenek ki melegítő hatást. Ugyanakkor visszatükrözik a napfény egy részét, így nagy mennyiségük gátolja a felmelegedést. A vízgőz okozta visszacsatolás mértékét nehéz megállapítani, mivel a vízgőz – ellentétben a szén-dioxiddal – nem egyenletesen oszlik el a levegőben. A vízgőz (felhők formájában) a visszacsatolási folyamaton kívül fontos szerepet játszik a sugárzásegyenleg kialakításában. A nappali Föld felszínének közel felét árnyékoló felhők a napsugárzás több, mint ötödét verik vissza, mérsékelve a felmelegedést.
- A légkörben megnövekedett szén-dioxid-mennyiség felmelegíti a Föld felszínét, megolvasztja a jégtömböket. A jég fehér felületként veri vissza a Nap sugarait, és ahogy olvad, helyét a hőt lényegesen jobban elnyelő tenger vagy szárazföld foglalja el. Ettől gyorsabban olvadnak a jégfelületek, és öngerjesztő folyamat alakul ki.^[9]
- A szén-dioxid koncentrációjának növekedése a talaj hőelnyelő képességére is hat. A talajban a szén igen finom egyensúlyban raktározódik, és már a hőmérséklet egy kis változása is elég ahhoz, hogy a talaj elkezdje kibocsátani a korábban elnyelt szén-
- dioxidot. Alacsonyabb hőmérsékleten lassabb a bakteriális bomlás, és az elhalt növényi részek széntartalma felhalmozódik a talajban. Ahogy a talaj felmelegszik, gyorsul a lebontás, és szén-dioxid jut vissza a légkörbe.
- A szén-dioxid koncentrációjának növekedése fokozza az esőerdőkben a növények kilégzését (a transpirációt). Amikor a növények kinyitják a leveleiken elhelyezkedő légzőnyílásokat (sztómákat), elpárologtatják víztartalmuk egy részét. A sztómák kinyitásával jutnak hozzá a légköri szén-dioxidhoz, és ezt a „kaput” pont addig hagyják nyitva, ameddig szükséges. Ha nő a légkörben a szén-dioxid mennyisége, az esőerdők növényei az átlagosnál tovább tartják zárva sztómáikat és ezért kevesebb vízpárát lélegeznek ki, ami egyesek szerint csökkenti a csapadék mennyiségét.
- Egy másik pozitív visszacsatolási folyamat során a globális felmelegedés hatására a metán-hidrátból metán szabadulhat fel. A metán-hidrát szilárd anyag, de instabil elegy, amely alacsony hőmérsékleten képződik a tengerek mélyén, a tengervíz keltette nagy nyomás alatt. A metán-hidrát létrejöttének alapvető feltétele a kellően vastag üledékréteg, amelyben a metán keletkezik. Ha ez az anyag kiszabadul a tengervíz nyomása alól, közvetlenül szublimál és szétoszlik a levegőben, üvegházhatást okozva gyorsítja a globális felmelegedés folyamatát.^[10]

További fontos visszacsatolási folyamatok:

- Az El Niño jelenség és a légköri szén-dioxid koncentráció: pozitív visszacsatolás.

- Az észak-atlanti vízszüllyedés és a légköri szén-dioxid koncentráció: pozitív visszacsatolás.
- Vegetáció az arktikus övezetben és a légköri szén-dioxid koncentráció: negatív visszacsatolás.
- Az arktikus övezet fagyott talaja és a szén-dioxid koncentráció. E visszacsatolási folyamat jellegét ma még nem tudjuk egyértelműen meghatározni.

Természetes aeroszol-források

A természetes aeroszolok nagy része elsődleges forrásokból, tehát közvetlenül jut a légkörbe. A sókristályok főleg az óceánokból származnak. A kontinenseken a sivatagokban a legtöbb az aeroszol – sivatagok a szárazfölkök közel egyharmadát borítják. A bioaeroszolok közül a legjelentősebbek a pollenek, a spórák és a baktériumok. Az elsődleges aeroszolzrészecskék közös jellemzője, hogy viszonylag nagyok (> 1 mikrométer).

A természetes aeroszolok kisebb része másodlagos forrásokból, azaz közvetetten kerül a légkörbe. Ezek magában a légkörben keletkeznek gázokból vagy illékony vegyületekből kémiai reakciók és a gázrészecskék átalakulása (kondenzáció) eredményeként. A legjelentősebb közülük a szulfátion, amely óceáni környezetben képződik az egyes algafajok által kibocsátott dimetil-szulfid fotokémiai oxidálódásával. A szerves aeroszolok közé tartozik még a természetes eredetű nitrogén-monoxidból ugyancsak kondenzálódással keletkező nitrátion.

Emberi beavatkozás

Az üvegházhatást okozó gázok mennyiségének aránya. A függőleges tengely a sugárzási kényszerben mért változásokat mutatja.

A Napról hozzávetőleg 126 ezer TW energia érkezik a Földre, és a Föld is ennyit sugároz vissza a világűrbe. Az emberiség (világgazdaság) teljes primer energiafelhasználása 2000-ben 10,2 milliárd tonna olajegyenérték volt, ami 13,6 TW-nak felel meg, vagyis az emberi energiafelszabadítás a Föld teljes energiaforgalmának alig egytizede része. Ebből világos, hogy a globális felmelegedés oka nem lehet csupán az erőművekben felszabadított energia. A sugárzási viszonyok változása mellett a légkörben megnőtt az üvegházgázok mennyisége. Ezt tartják a globális felmelegedés emberi okai közül a legfontosabbnak.

Az üvegházhatás lényege, hogy az üvegházgázok a légkörbe belépő, és zömmel a látható fény tartományába eső napsugarakat nem nyelik el, a földfelszínről visszavert, nagyobb hullámhosszú infravörös sugárzás egy részét viszont igen. Ez a hőenergia az alsó légrétegekben marad. Ahogy nő az üvegházgázok koncentrációja, úgy egyre kevesebb hő távozik a világűrbe, az alsó légkör és a

földfelszín pedig egyre inkább felmelegszik. A legfontosabb üvegházgázok: a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄), a dinitrogén-oxid (N₂O), a kén-hexafluorid (SF₆), a halogénezett szénhidrogének (CFC-k), és az alsólégköri (troposzférikus) ózon^[11]
^[12].

A kék görbe mutatja, hogy 417 000 év alatt soha nem lépte túl a légkör szén-dioxid-koncentrációja a 300 ppm értéket, azonban mint a piros görbén látszik, 1800-tól napjaink meredeken növekedett 380 ppm-ig.^{[13] [14] [15]}

légköri szén-dioxid-koncentrációt ábrázoló Keeling-görbe. A kisebbik grafikonon a szén-dioxid-koncentráció éves változása van feltüntetve. A mérések a Mauna Loa hegyen (Hawaii) készültek.

Szén-dioxid. Meteorológiai vizsgálatokból tudjuk, hogy a légkör szén-dioxid koncentrációja a 21. század elején 383 ppmv (térfogat-milliomod). A geológusok kimutatták, hogy ez több, mint bármikor az előző 417 ezer évben. Bár a természet körfolyamataiban hozzávetőleg harmincszor annyi szén-dioxid keletkezik, mint az ember tevékenységéből, az ember által okozott szén-dioxid emisszió eléri a 20 milliárd köbmétert.

Ennek nagy része elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok (kőolaj, földgáz, fekete- és barna kőszén, lignit) elégetése révén keletkezik. A kibocsátás további 15-20%-a a földterületek hasznosításában bekövetkező változásoknak, köztük az erdőirtásnak és fakitermelésnek tulajdonítható. Kisebb mennyiségű szén-dioxid szabadul fel a cement gyártása során. Ugyancsak növeli a szén-dioxid szintjét a légiforgalom, ez például Németországban 1980 és 1993 között megháromszorozódott. 1993-ban egyedül a német légiforgalom 19 millió tonna szén-dioxidot juttatott a légkörbe, ami a teljes német közlekedés szén-dioxid kibocsátásának 10%-át tette ki.

Az emberi tevékenység során légkörbe kerülő szén-dioxid-mennyiségnek csak a fele marad ott, a többi részben oldódik az óceánokban, részben a szárazföldi bioszférába kerül. A vegetáció, főként az északi félgömb mérsékelt égövi kontinentális területein, napjainkban nincs egyensúlyban a légkörrel, mert nettó szén-dioxid nyelőként viselkedik.

A szén-dioxid a természetes módon a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok 9-26 %-át jelenti, az emberi tevékenység miatti összes üvegházgáz-kibocsátásnak viszont mintegy 80 %-át adja. Az IPCC 2001. évi helyzetjelentése szerint a világ szén-dioxid emissziójának – a főbb fogyasztói szektorok szerinti – megoszlása a következő: ipar: 43%, lakóépületek: 21%, egyéb épületek: 10%, közlekedés: 22%, mezőgazdaság: 4%.

Emberi eredetű aeroszolforrások. Az éghajlatot befolyásoló emberi hatások körébe tartoznak az emberi eredetű aeroszolok (por, korom, szulfátok) is, amelyek a napsugárzás egy részét visszaverik, illetve a magasabb légrétegekben elnyelik, ezáltal csökkentik a földfelszínre érkező sugárzásmennyiséget, s ily módon az üvegházhatással ellentétes hatást váltanak ki. Az emberi eredetű,

elsősorban szulfát-aeroszok ugyanakkor megváltoztathatják a felhőzet szerkezeti és sugárzás-átviteli jellemzőit is, ami közvetett módon ugyancsak klímaváltozáshoz vezet. A légköri aeroszoltartalmat a térfogati koncentráció, a kémiai összetétel, a részecskék alakja és méret szerinti eloszlása együttesen határozza meg. A légkör aeroszoltartalma elsősorban az iparosodott területeken és azok tágabb környezetében magas, így ezeken a területeken gyengítik a legerősebben az üvegházgázok okozta felmelegedést. Az aeroszoknak azonban melegítő hatása is lehet, mivel egy részük elnyeli az infravörös

sugarakat. Az aeroszok légkörbe kerülésével közvetlenül összefüggő, direkt hatás (sugárzásszórás és -elnyelés) összességében hűtő hatású.

A földfelszíni (felső ábra) és a sztratoszférabeli (alsó ábra) metánkoncentráció két számítógépes modellben

Metán. A metán döntő része a légkörben zajló kémiai folyamatok során először szén-monoxiddá, majd szén-dioxiddá alakul. Az így keletkező szén-dioxid mennyisége azonban elhanyagolható az egyéb emissziókhöz képest. A metán kis részét a talajban lévő mikroorganizmusok megkötik. E két folyamat azonban nem képes ellensúlyozni a természetes és mesterséges forrásokból eredő mennyiséget, ezért a metán légköri koncentrációja napjainkban folyamatosan emelkedik. 2007-ben a légköri metán mennyiségének 60%-át az ember állítja elő

Leginkább hulladéklerakókból kerül a metán a levegőbe, de a szennyvízkezelés, a fosszilis tüzelőanyagok égetése, a rizstermesztés, az állattenyésztés (a hígtrágya valamint a kérődzők bendőjében lévő erjesztőbaktériumok jelentős metántermelők, a szennyvízkezelés és bizonyos ipari tevékenységek (szénbányászat, szivárgó földgázvezetékek) is hozzájárulnak a kibocsátáshoz. **Az emberi eredetű metánforrások egymás közötti arányai a következők:** energiaipar: 18%, rizstermesztés: 28%, állattenyésztés: 22%, biomassza tüzelése: 20%, hulladékdepóniák: 12%. Az élő növényzet is termel bizonyos mennyiségű metánt. Egyes becslések szerint a szárazföldi növények esetében ez elérheti az évi 60-240 millió tonnát is, ami az éves légköri metántermelés 10-30%-át teszi ki. Ennek mintegy kétharmadát a trópusi területek adják, mivel ott képződik a legnagyobb mennyiségű biomassza. Az élő növényzet metántermelésénél lényegesen nagyobb az olvadó tundraövezet mocsári és tőzegláp-területeinek - eddig a permafroszt miatt minimális - jelentősen megnövekedett kibocsátása. Az olvadó területeken a metán mellett jelentős mennyiségű szén-dioxid is megjelenik, ezért olyan pozitív visszacsatolási folyamat alakulhat ki, amelynek egyik eleme a felmelegedést segítő gázok megnövekedése, aminek hatására újabb területek olvadhatnak meg, jelentősen növelve ezzel az üvegházhatású gázok légköri koncentrációját. Ilyen folyamat játszódhat le például a szibériai örök fagyfőzveg-mocsarak megolvadásakor, aminek során akár 70 000 millió tonna metán is a légkörbe kerülhet. A metánkibocsátás csökkentésére tett első lépések egyike, hogy a mezőgazdaságban megkezdődött a depónia és a biogáz nagyarányú hasznosítása.

Dinitrogén-oxid. A dinitrogén-oxid (N_2O) légköri koncentrációja még a metánénál is alacsonyabb, de mivel hatékonyan nyeli el a földfelszín infravörös sugárzását, szintén fontos üvegházgáz.

A CFC-12 és a CFC-11 gázok légköri koncentrációja. A függőleges tengelyen a CFC-gáz légköri koncentrációja van feltüntetve ppbv-egységben.

Halogénezett szénhidrogének (CFC-k). Ezek közé a vegyületek közé tartoznak például a CHF_3 és a CF_3CH_2F . Ezeket a gázokat az 1930-as években kezdték gyártani, többek között hűtő és légkondicionáló berendezésekhez. Később oldószerként az elektronikai iparban, habosítóanyagként és aeroszolos spray-k hajtógázaként hasznosították őket. Felmelegedést okozó hatásuk több ezerszerese a szén-dioxidénak. **Kén-hexafluorid.** A kén-hexafluorid (SF_6) a polifluoroalkil (PFC) és a részlegesen fluorozott szénhidrogének (HFC) – melyek a klór-fluor-karbon vegyületeket (CFC) hivatottak helyettesíteni – gyártása során keletkezik.

Ózon. Az ózon nem csak az ultraibolya tartományban képes elnyelni a fotonokat, hanem az infravörösben is. Következésképpen fontos üvegházhatású gázként viselkedhet. Közvetlen forrásai nincsenek, a sztratoszférában kémiai folyamatok során keletkezik oxigénből ultraibolya sugárzás hatására. Míg az alacsonyabb légrétegekben (troposzféra) a nitrogén-monoxid, nitrogén-dioxid, szén-monoxid és a reaktív szénhidrogének napfény hatására bekövetkező kémiai folyamatokban képződik. Ezeket a gázokat indirekt üvegházhatású gázoknak is nevezik.

Közvetett okok

Esőerdők irtása

Tarvágásos erdőirtás Tanzániában

Az esőerdőket jelenleg óriási mértékben irtják, ami az üvegházhatás egyik fő okozója. Az őserdők égetéses irtása során az égéssel szén-dioxidtömeg jut a levegőbe. Amikor az erdőket

kivágják és fölégetik, az elraktározott szén CO_2 formájában kerül vissza a levegőbe. Az utóbbi 10-15 év során átlagosan évente 1 milliárd tonnával kerül több szén-dioxid a légkörbe. Az erdőirtás miatt keletkezett szén-dioxid mennyiségét a légkör teljes szén-dioxid mennyiségének egyharmadára becsülik. Az esőerdő fái a csapadékképzésben is fontos szerepet játszanak, ugyanis a gyökereiken keresztül magukba szívott talajvizet folyamatosan párologtatják, és az ebből keletkező esőfelhők az egész Földön szétterülnek, például még Észak-

Európa fölé is eljutnak. Az esőerdők irtásával a nekik köszönhető csapadék- és felhőképződés is elvész a Föld számára, ami tovább növeli az üvegházhatást.^[25]

Ózonkoncentráció csökkenése

Az ózonréteg pusztulása

Az ózonkoncentráció csökkenése közvetett hatással van a globális felmelegedésre. Az ózommennyiség csökkenése ugyanis pozitív visszacsatolásokat eredményez a következő folyamatok segítségével:

1. A légkör alsóbb rétegeinek melegedésével párhuzamosan a sztratoszférában lehűlés megy végbe. Amikor a napfény nélküli sarki teleken a hőmérséklet a legmélyebbre süllyed, a száraz sztratoszférában a vízpárából felhők képződnek. Ezekben a felhőkben felhalmozódnak a CFC-gázokból származó klórvegyületek. Az ilyen vegyületekből tavasszal, a napsugárzás hatására felszabaduló instabil klóratomok a sarki nyár ideje alatt folyamatosan bontják az ózonmolekulákat. Ugyanígy a halonokból és a metil-bromidból származó bróm is romboló hatást fejthet ki.
2. Az ózonkoncentráció csökkenése miatt az UV-sugarak nagyobb intenzitással jutnak a troposzférába, ennek hatására olyan, a tengerfelszín közelében élő mikroszkopikus egysejtű növények pusztulása következhet be, amelyek az óceáni tápláléklánc alapját képezik. A tengerek planktonja így kevesebb szén-dioxidot tud kivonni a légkörből, (emellett megbomlik a tengeri tápláléklánc).

Az ózonkoncentráció csökkenéséért a légkörbe kerülő atomos klór, fluor és bróm a felelősek. Ezek az elemek főként a klórt és fluort tartalmazó gyorsan elpárolgó szénvegyületekkel, fluorkarbonokkal (CFC és HFC) kerülnek a levegőbe. A vegyületek a sztratoszférába feljutva az ultraibolya sugarak hatására elbomlanak, így felszabadulnak belőlük az ózonrétegre veszélyes elemek, amelyek gyorsítják az ózon bomlását.

Kölcsönhatások

A légkörben zajló kémiai folyamatokban kitüntetett szerepe van a hidroxilgyöknek, ami szinte valamennyi anyag oxidációs folyamatában részt vesz: oxidálja a metánt, a szén-monoxidot szén-dioxiddá alakítja. Emiatt a szén-monoxid-kibocsátás növekedésével lassul a metán oxidációja, légköri felhalmozódása pedig felgyorsul.

A napciklus

A napfoltok száma, a földfelszín hőmérséklete és a légkör szén-dioxid-koncentrációja. A vörös görbe a hőmérséklet változása Celsius fokban, a sárga a napfoltok száma, a kék pedig a légkör szén-dioxid koncentrációja ppmv-ben. Utóbbi a hatvanas évekig tengerszinten, majd később a Mauna Loa hegyen (Hawaii) mérték.

A Föld éghajlatát befolyásolja a napsugárzás, a napállandó, valamint az, hogyan hasznosul a beérkező energia a földi szférákban. Ha ezek bármelyike megváltozik, akkor változik a Föld energiamérlege és ezzel éghajlata is.

A megfigyelhető napfoltok száma és intenzitása változó, elhelyezkedésük egyenetlen; a változás ciklusa 11,2 éves Archív adatokból arra következtettek, hogy ez a ciklus 1784 és 1867 között volt a leghosszabb (82,5 éves), az azóta kimutatott hét periódus egyre rövidebb.

A napállandó változása

A mérésekből kiderült, hogy a napállandó értéke időben változik, fluktuációja néhány tized Wm^{-2} értékű növekedést mutat. Erre több tudományos magyarázat is született. 1. A Nap energiasugárzása évmilliókban mérhető időskálán növekszik. 2. A Nap - életének egy korábbi szakaszában - kozmikus porfelhőn haladt keresztül, amely akár évmillióig is eltarthatott, és időszakosan a napállandó értéke kisebb is volt a mainál. A napállandó értékében történő 1%-os csökkenés hatása a földfelszín átlaghőmérsékletének akár 0,7-0,8 °C-os csökkenését is maga után vonhatja.

Vulkáni tevékenység: Vulkanizmus

Vulkánkitörés, Kanaga (Alaszka), 1994

A globális felmelegedést visszajára fordító természeti okok közül a legjelentősebb a vulkáni tevékenység. A tűzhányók kitörésekor nagy mennyiségű vulkáni hamu, por és kén-dioxid jut a troposzférába. A por és a hamu idővel leülepszik, vagy az esők kimossák a légkörből, a kén-dioxid viszont a levegőben marad, és szétterülve megszüri a napsugarakat, csökkentve ezzel a földfelszín hőmérsékletét.

Óceáni vízkörzés

Tengeráramlat

Wallace S. Broecker 1987-ben felvetette, hogy az elmúlt százezer évben lezajlott éghajlati változásokért az óceáni vízkörzés valamely ágának átváltódásai felelősek. Elmélete szerint a hőmérséklet nagy ingadozásait az okozhatta, hogy akkoriban az óceáni szállítószalag két állapot között ingadozott. Az egyik ilyen állapotban rendben folyt a hó szállítása az észak-atlanti térségbe, a másikban viszont legyengült, leállt a cirkuláció, aminek következtében erősen csökkent ezen térség teljes hőbevétele. Ez a hipotézis összhangban van a grönlandi

jégmintákból nyert azon adatokkal, melyek a hőmérséklet ingadozására vonatkoznak.

Klíma modellek

A ClimatePrediction.net [2] projekt egyik klíma modellje

Az éghajlat modellezésénél a legnagyobb problémát az emberi befolyás és a természetes folyamatok által előidézett változások hatásának elkülönítése okozza. Az emberi tényező által előidézett változások szükségképpen növelik a természetes ingadozások mértékét, amelyek bizonyos fokig „elfedik” az emberi beavatkozást.^[38]

A globális éghajlati rendszer (légkör, óceán, szárazföld, krioszféra, bióta) dinamikus modellezésére alapvetően háromféle modellt használunk.

1. Hidrodinamikai modellek: A légkörben és az óceánokban bekövetkező változásokat együttesen figyelembe vevő modellek. A külső és a belső erők hatására létrejövő áramlásokat elemzik, amelyek kulcsszerepet játszanak az éghajlat kialakításában.

2. Numerikus modellek: Ezekben a modellekben a számításokat numerikus és közelítő módszerekkel végzik. A numerikus modellezés az alapvető fizikai törvényszerűségeken alapszik, melyek közül a legfontosabbak a tömeg-energia és az impulzusmomentum

megmaradásának elve. Ezek a modellek szimulálják a légkör és az óceánok mozgását, becsléseket tesznek a légnyomás, hőmérséklet és a sűrűség várható értékeire.^[39]

3. Globális modellek: Ezek a modellek a Föld egész légkörére és az óceánok összességére vonatkoznak. A térben folytonos (légkör)fizikai állapotjelzők időbeli változását úgy kezelik a modellekben, hogy a mezőkre egy rácshálózatot illesztnek. A különféle matematikai számításokat ezután már csak a hálózat csomópontjaira, az úgynevezett rácspontokra végzik el. A globális modellek hátránya, hogy kicsi a térbeli felbontásuk, ezért a már két nagyságrenddel kisebb skálájú folyamatokat nem képesek vizsgálni. Használatuk ezért nem megfelelő az összetett domborzati viszonyokkal jellemzett területeken, vagy változó felszíntakarójú helyeken. Ezen régiók klimatológiájának megállapítása nagyobb felbontású módszereket igényel.

Egyéb modellek:

4. Regionális modellek: Ezek a modellek lényegében a globális modellek finomításai. Ezek kidolgozása jóval nehezebb a globális modellekénél.

5. Általános cirkulációs modellek (GCM - General Circulation Model). A háromdimenziós térben zajló légköri mozgásokat írják le. Tanulmányozzák a

napsugárzás energiájának szféránkénti megoszlását, az energia hatását az éghajlati rendszer elemeire. Számításokat végeznek a hőmérséklet, csapadék, légnyomás és egyéb éghajlati változók értékeire vonatkozóan. Horizontális felbontásuk átlagosan 100-300 km. A legkomplexebb modellek, de ugyanakkor a legnehezebben alkalmazhatóak. Az ismertebb általános éghajlati modellek a következők: az 1990-es években Michel Déqué vezetésével kifejlesztett ARPEGE-Climate időjárás-előrejelző modell és az ebből kifejlesztett ALADIN-Climate modell ^[40]. A Német Meteorológiai Szolgálat időjárás-előrejelző modelljéből, az „Europa Modell”-ből, regionális klímamodellezés céljára kifejlesztett REMO (Regional Modell). További fontos regionális modellek még a PRECIS, az ECMWF valamint a Special Report on Emissions Scenarios (SRES). ^{[41] [42]}

Az SRES A2 kibocsátási forgatókönyv szerint különböző intézmények által kalkulált hőmérsékletemelkedés 2100-ig. Eszerint a forgatókönyv szerint nem történnek lépések a kibocsátás csökkentése érdekében.

6. Előrejelző modellek: Az előrejelző modelleknek több kritériumnak is meg kell felelniük. Figyelembe kell venniük, hogy az üvegházgázok ember általi kibocsátása változhat a jövőben, például a korlátozó rendszabályok miatt. Ezért az éghajlati modellekben is figyelembe kell venni a különféle emissziós forgatókönyveket, majd ennek megfelelően módosítani az

előrejelzéseket. A modelleket nem csak az általános felmelegedésre kell alapozni, hanem figyelembe kell venni a különböző földrajzi régiókban az évszakonkénti változás jellegét is.

A hazai kutatások célja a távoli jövőre vonatkozó éghajlati előrejelzések készítése Európára, előrejelzések készítése gazdasági folyamatokra, népességszám-változásokra valamint éghajlati forgatókönyvek készítése. ^[43] A „Magyarország éghajlatának dinamikai vizsgálata” nevezetű projektben (2005-2007) az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Meteorológiai Tanszéke, a Pécsi Tudományegyetem, az Env-In-Cent Környezetvédelmi Tanácsadó Iroda Kft. és az OMSZ vesz részt. A projekt feladata regionális klímamodellek alkalmazásából áll.

Európában a Prágai Károly Egyetem, a Cseh Hidrometeorológiai Intézet és a Tudományos Akadémia dolgozik együtt klímamodellezéssel kapcsolatos kutatásokban, melyet Tomas Halenka vezet.

A globális felmelegedés hatásai

Az évi globális középhőmérséklet az elmúlt 125 évben. Az 1951–1980 közötti időszakban stagnálás, majd jelentős emelkedés figyelhető meg

Legmelegebb 1880 és 2006 között	10	év	adatai
	Év		Eltérés

		1951–1980 átlagától
1.	<u>2005</u>	0,63 °C
2.	<u>1998</u>	0,57 °C
3.	<u>2002</u>	0,56 °C
4.	<u>2003</u>	0,55 °C
5.	<u>2006</u>	0,54 °C
6.	<u>2004</u>	0,49 °C
7.	<u>2001</u>	0,48 °C
8.	<u>1997</u>	0,40 °C
9.	<u>1995</u>	0,38 °C
10.	<u>1990</u>	0,38 °C

Forrás: [NASA GISS](#)

Az IPCC kutatóinak általános előrejelzései szerint a szárazföldek hőmérsékletének növekedése nagyobb mértékű lesz, mint a tengereké, ami a napfény-visszaverő képességükkel magyarázható. Az Északi-sarkvidéken elsősorban a téli átlaghőmérséklet fog növekedni. Az éjszakai átlaghőmérsékletek növekedése megfogja haladni a nappali középhőmérsékletekét. A közepes földrajzi szélességeken, vagyis Észak-Amerika és Európa nagy részén, továbbá Dél-Amerika egy részén nyáron több forró napra kell majd számítani. A legaggasztóbb előrejelzések azt mutatják, hogy több lesz a rendkívüli időjárási esemény, például tartós aszály és árvíz, s ezek hosszabb ideig fognak tartani. A hőmérséklet emelkedése fokozza a tengereken és a szárazföldeken a víz párolgását, ennek következtében több csapadékra számíthatunk. Nem csak a felmelegedés fog előidézni változásokat; a fokozott energiaáramlás következtében felerősödhetnek a hóviharak is. Nagy helyi hőmérséklet-ingadozásokra számíthatunk; néhol a heves áradások erodálhatják a talaj felső rétegeit, míg máshol a talaj elsivatagosodására számíthatunk a szárazság miatt. Gyakoribb és erőteljesebb szélviharokra kell majd számítanunk, a tengerparti területeket elmoshatja az eső, ezzel egyidejűleg hatalmas kontinentális területek még jobban kiszáradnak.

Az alábbiakban felsorolunk néhány, a XX. században bekövetkezett ökológiai változást, amelynek a globális felmelegedés lehet a fő oka.

- 0,6-0,2 °C-kal növekedett a globális földfelszíni hőmérséklet, a szárazföldi területek jobban melegedtek, mint az óceánok.
- Nagyobb volt a hőmérséklet-növekedés, mint az elmúlt ezer év bármely évszázadában; az évezred legmelegebb évtizede az 1990-es volt.
- 1950 és 2000 között a földfelszín napi hőmérsékleti ingása csökkent a szárazföldön, az éjszakai minimumok kétszer olyan gyorsan emelkedtek, mint a nappali maximumok.
- Majdnem az összes szárazföldi területen csökkent a fagyos napok száma.
- Erőteljesebb lett a vízkörforgás, 5-10%-kal nőtt a csapadékmennyiség az északi félteke szárazföldjein, néhány kivétellel (észak- és nyugat-afrikai országok).

- Megnövekedett a nyári aszályok gyakorisága és súlyossága néhány területen (Ázsia és Afrika néhány országa).

Golf-áramlat

Az Atlanti-óceán hőmérsékleti eloszlását mutató képen narancssárga és sárga szín jelöli a Golf-áramlatot. Baloldalon alul a Floridai-félsziget látható. Forrás: NASA

A globális felmelegedés okozta jégolvadás miatt hatalmas tömegű édesvíz kerülhet az Atlanti-óceánba, aminek következtében irányt változtathat, lelassulhat, vagy akár meg is szűnhet a Golf-áramlás. Emiatt több mint 10 °C-ot is csökkenhet Észak-Európa téli középhőmérséklete. A Golf-áramlást a Grönlandi-tenger jég borította vizeiben végbemenő folyamat tartja mozgásban. Amikor a tengervíz kezd megfagyni, a folyékony halmazállapotban maradó víz sótartalma és sűrűsége megnő. A sűrűbb víztömegek lassan lesüllyednek a tengerfenékre, és útjukat a Déli-sark irányába veszik, lehetővé téve ezzel meleg víztömegek vonulását a trópusokról a sarkvidékek felé. A Golf-áramlás egyik eleme a gigantikus „szállítószalagnak”, amely átszeli az óceánokat az egyik sarkvidéktől a másikig. A Golf-áramlat, illetve meghosszabbításai jelentősen befolyásolják azon szárazföldi területek éghajlatát, amelyek közelében elhaladnak. Az észak-atlanti áramlat jóval melegebbé teszi Nyugat-Európa éghajlatát, és különösen az észak-európai teleket, mint amilyenek nélküle lennének. Például januárban Norvégia tengerparti területei átlagban mintegy 30 °C-kal melegebbek, mint az azonos szélességi fokon fekvő észak-kanadai kontinentális területek. Ha nagyobb ütemű jégolvadás miatt az Északi-sarkvidéken nagyobb tömegű édesvíz jut a tengerbe és felhigítja azt, akkor fokozatosan leállhat a sűrűbb víztömegek tengerfenékre való süllyedése, vagyis

gyengülhet a Golf-áramlat. Egyes vélemények szerint a Golf-áramlás délebbre tolódása a következő néhány évtizedben már éreztetni fogja a hatását Észak-Európában, a nagy lehűlés pedig 200 év alatt következhet be. ^{[45][46]}

Tengerszint-emelkedés tengerszint-emelkedés

Hőmérséklet-változások az Antarktiszon

A jégtakaró olvadásának következtében emelkedik a tengerek vízszintje. Ennek egyrészt az az oka, hogy a melegebb tengervíznek nagyobb a térfogata, másrészt a nem úszó típusú jég (szárazföldi jégtakaró) elolvad. A vízszintemelkedés elsősorban a kicsi szigetországokat és az alacsonyan fekvő tengerparti területeket (például Hollandia, Florida) érinti. Az éghajlat-modellezés egyik vezető intézménye, a Hadley Központ (Brit Meteorológiai Intézet) előrejelzései szerint 2080-ig 40 cm-rel fog emelkedni a tengerszint, abban az esetben, ha nem sikerül korlátozni az üvegházgázok emisszióját. Ez azt jelentené, hogy a jelenlegi 13 millióval szemben 94 millió embert fenyegetnének évenkénti

áradások. Ez a legsúlyosabban Dél- és Délkelet-Ázsia tengerparti területeit érintené, ahol jelentősek a szökőárak hatásai. A Worldwatch Institute jelentése szerint a Jeges-tenger jégtakarójának összterfoglata a 1970 és 2000 között 40%-kal csökkent, és néhány évtizeden belül a maradék jég is elolvadhat. Ez nem okozna azonnali tengerszint-emelkedést, mivel úszó típusú jégről van szó.

Egyes becslések szerint, ha Grönland összes jege elolvadna, hat méterrel nőne meg az átlagos tengerszint, ami azt jelentené, hogy Floridát és Hollandiát elöntené a tenger, Pekingből 20 millió, Sanghajból 40 millió, Kalkutta és Banglades területéről 60 millió embert kellene kiköltöztetni. Az Antarktisz jegének teljes elolvadásával 61 méterrel nőne meg a tenger szintje. Feltételezések szerint Kelet-Antarktisz jege külön fog válni Nyugat-Antarktisztól. Ha a körülbelül Grönland méretű Kelet-Antarktisz összes jege elolvadna, az újabb méterekkel növelné meg a tengerszintet. Veszélyeztetett helyzetbe kerülhetnek a Carteret-szigetek és az Északi-Fríz-szigetek. Az ENSZ környezetvédelmi programja szerint a csendes-óceáni Kiribatihoz tartozó Tarawa-atollt már most evakuálni kell. Kiribati térségében már több kis szigetet is elnyelt a víz. A legnagyobb szigeten a part menti utak számára beljebb kellett új nyomvonalat kijelölni a tenger terjeszkedése miatt.

Gleccserek olvadása

A gleccserek átlagos jégvastagságának évi változása.

A globális felmelegedés következtében nem csak a sarki jég olvad, hanem a gleccserek is visszahúzódnak, sőt eltűnnek szerte a világon, mivel nyáron több jég olvad el, mint amennyi télen újra megfagy. Rohamosan olvadásnak indult a Boulder-gleccser, a Columbia-gleccser (Alaszka), az Upsala-gleccser (Patagónia), a Muir-gleccser (Alaszka), a McCall-gleccser (Alaszka), Place-gleccser (Kanada), Centralnij Tujujszujszki-gleccser (Kazakhsztán), Midre Lovenbreen-gleccser (Norvégia), Austre Broeggerbreen-gleccser (Norvégia), South Cascade-gleccser (USA).

Szibéria jegének olvadása

Ha 5 °C-ot sikerül emelni a bolygó hőmérsékletén, akkor felolvad az összefüggő jégtakaró a föld alatt Szibériában. Az ott található jég 10%-ban metánt tartalmaz; a vízmolekulák csapdába zárják a metánmolekulákat (klatrát-szerkezet). Ha

mindez felszabadul (a jelenség Nyugat-Szibériában már zajlik), akkor összesen 450 milliárd tonna metán jut a légkörbe, ami rövid távon annak felel meg, mintha 23-szor annyi CO₂ jutna ki, azaz amikor ez megtörténik a légköri viszonyok annak felelnek majd meg, mintha a CO₂ sűrűsége 3900 ppm lenne.

El Niño

A Catarina-hurrikán az Atlanti-óceán felett 2004-ben

El Niño-jelenségnek nevezik mindazokat az időjárási rendellenességeket, amelyek rendszerint Észak- és Dél-Amerika csendes-óceáni partjain viharokat és áradást, ezzel egyidőben pedig Délkelet-Ázsiában és a Csendes-óceán nyugati medencéjében aszályokat idéznek elő. A jelenség akkor keletkezik, amikor valamilyen okból kifolyólag megjelenik a Csendes-

óceánban egy nyugat-kelet-i irányú meleg tengeráramlás, amely elnyomja az Antarktisz felől érkező hideg Humboldt- ill. a Perui-áramlást. Ez a meleg áramlás olyan erős is lehet, hogy a mélyből a felszín felé tartó áramlatokat is megszüntetheti. A rendellenes tengeráramlás hatására fellépő rendellenes légköri jelenségek okozzák a szélsőségesen meleg időjárást szerte a világon. Ez az esemény rendszerint három-hét évenként ismétlődik. A kutatók szerint az El Niño hatásait a klímaváltozás felerősítheti, bár ez a feltételezés még nem bizonyított. Az adatokból arra következtettek a klímakutatók, hogy a Csendes-óceán viselkedése az elmúlt 100 évben atipikus, de nem mutatható ki egyértelműen, hogy mely tényezők befolyásolják. Egyes feltételezések szerint a globális hőmérséklet-növekedés hatására az El Niño sokkal rövidebb ciklusokban fog visszatérni. A jelenség okozta pusztítást az ökológiai károsodás és a szegénység is súlyosbíthatja. Példa erre a Mitch-hurrikán, amely Hondurasban és Nicaraguában 1998 októberében körülbelül 11 ezer ember halálát okozta.

Tavak kiszáradása

A Föld negyedik (Aral-tó) és hatodik (Csád-tó) legnagyobb édesvízű tava a kiszáradás közelébe került. Ugyanerre a sorsra jutott a Gairdner-tó, és a Mackay-tó. Az időszakos tavak egyre nagyobb hányada szárad ki (például Poopó-tó). A tavak kiszáradásának okai egyrészt az antropogén hatások, mint a helytelen vízgazdálkodás (a mezőgazdaság nagyarányú öntözési igényei) és az üvegházhatású gázok emissziója miatti globális hőmérséklet-emelkedés. Másrészt az emberi tevékenységtől független, természetes folyamatok, elsősorban a földtörténet éghajlatváltozásai.

Biológiai hatásai

A jégmezők eltűnése számos faj kipusztulásával jár

A globális felmelegedés biológiai hatásai a jegesmedvék élőhelyén, a sarkvidéken jelentkeznek a legsúlyosabban. A jégmezők fokozatos olvadásával beszűkül a ragadozók vadászterülete, amelyek így nem juthatnak táplálékhoz. Mivel egyre nehezebben és egyre kevesebb zsákmányt tudnak ejteni, ezért nem tudnak megfelelő zsírréteget felhalmozni az ínségesebb időkre, ami a pusztulásukhoz vezet.

Az északi tundrákon költő vándormadarak, például a nagy lilikek, fészkeiket a fagyott földekre rakják. A gyorsabb és nagyobb hőmérséklet-emelkedés következtében felolvad a fagyott talaj, ami számos fészkelő pusztulásához vezethet. Eközben a madarak nem tudnak új fészkelő helyet keresni és új vonulási stratégiát kifejleszteni. Emiatt a veszélyeztetett fajok a kihalás szélére kerülhetnek.

Egy tanulmány kimutatta, hogy 18% és 35% közötti az esélye, hogy 1103 állat- és növényfaj 2050-re várhatóan kihal az éghajlatváltozás következtében, mert nem bírnak elég gyorsan alkalmazkodni az új körülményekhez. Tanulmányok dokumentálják a jelenlegi klímaváltozás

során kipusztult állatfajokat. McLaughlin két megzavarodott lepke populációt jegyzett le. ^[64] Parmesan biológiai tanulmányát, kutatási eredményeit lásd a külső hivatkozásoknál. ^[65]

Az óceánok savasodása és felmelegedése

A Föld [korallállománya](#)

Az antropogén eredetű szén-dioxid-emisszió harmadát – naponta 25 millió tonnát – a tengerek nyelik el. Mivel a magasabb hőmérsékletű vízben a szén-dioxid rosszabbul oldódik, mint a hideg vízben, ezért az utóbbiak kémhatása jobban változik. A savas vízben a csigák, rákok, korallok, kagylók és tengeri sünök nem tudják kiválasztani a vízből a vázuk felépítéséhez szükséges karbonátokat. Becslések szerint az antarktiszi korallok vázkiválasztó képességének csökkenése 50-100 éven belül akár az 50%-ot is elérheti. A számos hal- és bálnafaj táplálékául szolgáló parányi szárnyas csigák, a pteropodák, könnyen az óceán savasodásának áldozatává válhatnak. Az óceánok savasodása mellett felmelegedésük is jelentős változásokat okoz. A korallok a vízhőmérséklet emelkedésének hatására kilökik szervezetükből az őket színező algákat, amelyeket addig befogadtak. Ez a jelenség fehéredés néven ismert. Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának jelentése szerint a világ korallállományának egyharmada már elpusztult. „A korallok fakulása a globális felmelegedés bizonyítéka” – állítja Edwin A. Hernández-Delgado tengerbiológus. A Puerto Ricóhoz tartozó Culebra-sziget vizsgált koralltelepeinek 97%-a fakult ki. 1998-ban – ami az eddigi második legmelegebb év volt – a világ korallzátonyainak 16%-a halt el.

A hőmérséklet növekedésével az elolvadt jégtáblák száma is nő. Emiatt főkapopulációk pusztulhatnak ki. Egyes becslések szerint 2000-ben 20 000 állat veszett oda a Kaszipi-tengerben. 2007 májusában 800 állat esett áldozatul a korai nyárnak.

Hatások az emberi egészségre

A globális felmelegedés miatt jelentek meg a maláriát hordozó szúnyogok Kelet-Afrika olyan magasabban fekvő területein, ahol eddig alig fordultak elő. A sárgaláz, agyvelőgyulladás nagyobb mértékben terjed el. A vírusos agyhártyagyulladás ellen van védőoltás, ezt el kell terjeszteni, egyre több embernek kell megvásárolnia, kérni a házi orvosát, hogy juttassa ehhez a védőoltáshoz. Magyarországon ez a védőoltás nem tb-támogatott, ezért az egészségügyi ellátó szervezetre újabb feladatok hárulnak. Át kell gondolni a gyermekorvosoknak és a házi orvosoknak a gyógyszeres kezelést, hiszen a nagy melegben máshogy viselkednek a gyógyszerek, ha kiszárad a szervezetünk, az adott mennyiségű gyógyszernek a mellékhatásai felerősödnek.

Az esőzések sűrűbbé válásával, a kórokozót hordozó szúnyogok el fognak szaporodni, a maláriás időszak meghosszabbodik, és nagyobb fertőzésekkel kell számolni.

Mezőgazdaság

A klímaváltozás és a mezőgazdaság szoros kölcsönhatásban áll egymással. A globális felmelegedés jelentős és egyre növekvő mértékben kihat a mezőgazdaságra. Az üvegházhatású gázok – mint például a szén-dioxid, a metán – a koncentrációja az atmoszférában nő. Egy amerikai felmérés 23%-ra, míg egy másik, szintén amerikai felmérés 12,5%-re teszi, hogy a mezőgazdaság milyen arányban járul hozzá a felmelegedéshez.

A Föld lakossága átlépte a 6 milliárdot, 2050-re egyes becslések szerint 9 milliárdan fognak élni a bolygón. A víz és az ökoszisztéma készletek rohamosan fogynak a túlhasználat miatt, a mezőgazdasági termény és termelékenység szintén csökken, hiszen a klímaváltozás sok helyen kiegészíti a termést, illetve nem jut a termőtalaj a hosszú nyáron nyúló nyarak miatt megfelelő mennyiségű csapadékhoz.

A Kárpát-medence helyzete

A Kárpát-medencében az éghajlatváltozás hatásának megítélésakor lényeges, hogy a terület a nedves óceáni, valamint nyáron a száraz, télen a nedves

mediterrán éghajlati területek határán helyezkedik el. Ebben a térségben az éghajlati övek kisebb eltolódása is komoly következményekkel jár a fizikai-földrajzi tényezők, a nagytérségű légkörzés illetve a teljes légkörzés hatásának változására nézve. Egyelőre még nem tudunk a globális változás vizsgálatára alkalmas eszközökkel megbízhatóan előre becsülni. Ennek az az oka, hogy az óceán-légkör modellek tényleges felbontása nem elegendő ahhoz, hogy a legkisebb csapadékhozókat és az időjárási frontokat regionálisan modellezni lehessen.

Magyarország

A Duna tetőzése Budapesten 2006 áprilisában

2012-ben jár le a Kiotói egyezmény, amely Magyarországnak 6%-os kibocsátás-csökkentést tesz kötelezővé, hat üvegházhatást okozó gázra vonatkozóan, a 2008-2012-es évek átlagában. Ezt az egyezményt az ország 2002-ben ratifikálta. Az 1985-1987-es bázisidőszakhoz kell a csökkentéseket mérni. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség és az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai szerint Magyarország a bázisidőszakban szén-dioxid-egyenértékben kifejezve átlagosan 115,571 millió tonnát bocsátott ki évente. 2005-ben csak 80,219 millió tonna került a levegőbe Magyarországról, ez 30,6%-os csökkenés, azonban figyelembe kell venni, hogy a bázisidőszak óta a magyar nehézipar jelentősen visszaszorult.

Ökológiailag Magyarország a legmagasabb sérülékenységi területbe tartozik. A magyarországi átlaghőmérséklet növekedése majdnem másfélszer gyorsabb a globális klímaváltozás mértékénél. A hirtelen lezúduló eső nagyobb károkat fog okozni a jövőben. Az árvizek erősödésének orvoslására a magyar tudósok az Új Vásárhelyi-terv megvalósítását szorgalmazzák. Magyarország világszinten az üvegházhatású gázok kevesebb, mint 0,5%-ának kibocsátásáért felelős, ugyanakkor Magyarországot erősen sújtja a felmelegedés, egyre szárazabbá válik az éghajlat. Európában Magyarország a legveszélyeztetettebb a csapadékmennyiség csökkenésének szempontjából.

Klímapolitika: A globális felmelegedés mérséklése és alkalmazkodás a globális felmelegedéshez

A Kiotói jegyzőkönyvet aláíró országok: a sötétzölddel jelölt országok már ratifikálták, a sárga országok jelenleg készülnek rá, a piros színűek még nem tűzték napirendre a ratifikálást

Az éghajlattudósok egyetértenek abban, hogy a növekvő globális klímaváltozás nemzeteket, államokat, vállalatokat és egyéneket készítet arra, hogy radikális intézkedésekkel csökkentsék a hatásokat (üvegházhatású gázok emissziójának

csökkentése) és felkészüljenek az alkalmazkodásra is. Sok környezeti csoport bátorít egyéni lépéseket is a globális felmelegedés ellen. Az 1992-es ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezmény (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*) globális intézményi kereteket biztosít az éghajlatváltozás kezelésére, a célok megfogalmazására. A keretegyezményt kiegészítő Kiotói jegyzőkönyvben az aláíró fejlett országok vállalták, hogy üvegházgáz-kibocsátásaikat átlagosan 5,8%-kal csökkentik 2012-ig. „Az éghajlatváltozás a legsúlyosabb probléma, amivel napjainkban szembe kell.

Az IPCC és jelentései

Légszennyező hőerőmű Mexikóban

A WMO és az UNEP 1988-ban létrehozta az éghajlatváltozás kérdéseivel foglalkozó kormányközi testületet, az IPCC-t.

A testület 3 fő témakörben készít átfogó elemzéseket:

1. Értékeli és rendszerezi a globális felmelegedés kiváltó okairól rendelkezésünkre álló tudományos ismereteket.
2. Elemzi az éghajlatváltozás következményeit a környezetre és a gazdaságra nézve.
3. Áttekinti és értékeli a szükséges és lehetséges válaszstratégiákat.

Hogyan mérsékeljük az éghajlat további változását?

Üvegházgázok forrásonként

Szélerőművek Finnországban – egy lehetséges út a fenntartható fejlődés felé

Geotermikus hőerőmű Kaliforniában

Az éghajlatváltozás megállításának egyetlen módja az üvegházgáz-kibocsátások radikális csökkentése. A vélemények megoszlanak arról, hogy milyen mértékű csökkentésre van szükség és milyen gyorsan. Az EU állam- és kormányfőinek találkozója, az Európai Tanács 2007. márciusi 8-9-ei ülésén úgy határozott, hogy 2020-ig 20%-kal kell csökkenteni az üvegházgázok kibocsátását az 1990-es szinthez képest. ^[83] Ezt a célkitűzést kiegészítette azzal, hogy a csökkentés mértékét hajlandó 30%-ra növelni, ha a többi fejlett ország (elsősorban az USA) és a gazdagabb fejlődő országok is arányos csökkentéseket vállalnak.

Az üvegházgázok elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok, azaz a szén, a kőolaj és a földgáz elégetése során keletkeznek, ezért a mérséklés fő eszköze az ilyen tüzelőanyagok fogyasztásának csökkentése, vagy azok kiváltása megújuló energiaforrásokkal.

További fontos üvegházgáz-forrás a mezőgazdaság, amely jelentős mennyiségű metánt bocsát ki, illetve az erdőirtás, amelynek során a földi növényzet által megkötött szén-dioxid a légkörbe kerül.

A globális felmelegedés kutatása

Svante Arrhenius, a globális felmelegedés elméletének megalkotója

Az üvegházhatás és a klímaváltozás közötti összefüggést először Svante Arrhenius svéd kémikus írta le 1896-ban. Az első komolyabb klímakutatások az 1950-es években kezdődtek. 2007 márciusától 2009-ig a „Nemzetközi Sarki Év” keretében 66 nemzet közel 55 000 tudósa végez komplex kutatásokat a sarkvidékeken. A Kanada és Szibéria közötti jégpáncélt Zeppelin léghajóval fogják vizsgálni. Christian Haas klímakutató célja egy átfogó térkép készítése a kanadai partoknál lévő jégolvadásokról.

Magyarországi kutatások. Magyarországon az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Meteorológiai Tanszéke, a Pécsi Tudományegyetem, az Env-In-Cent Környezetvédelmi Tanácsadó Iroda Kft. és az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) foglalkozik a felmelegedés problémájával.

Kapcsolódó tudományterületek:

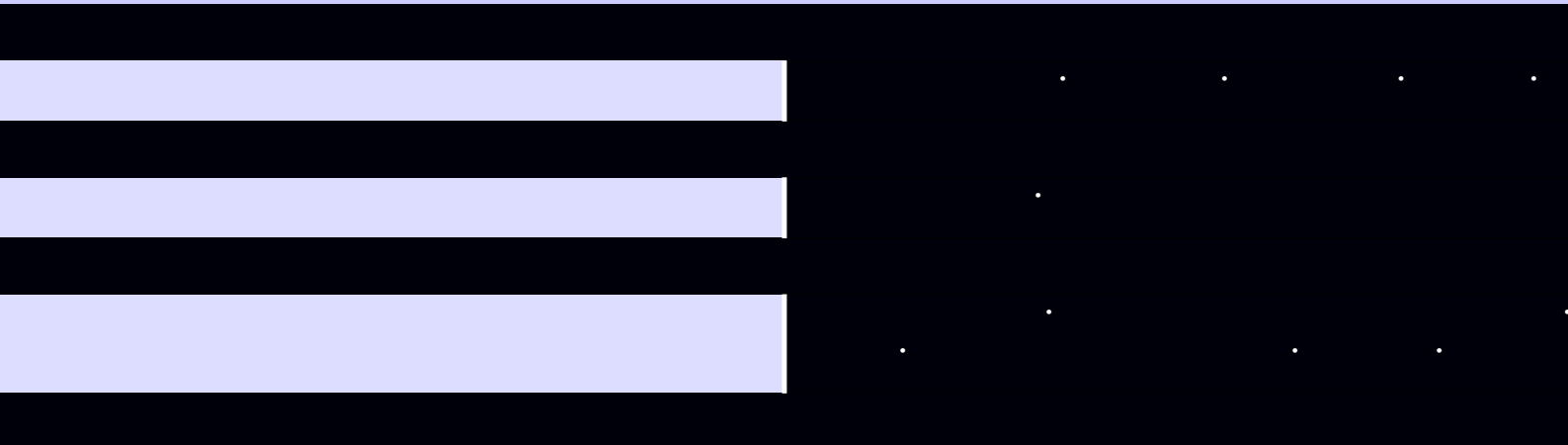
A klimatológia elméleti ágai, illetve a klimatológiával rokon kutatási területek:

- Klimatográfia. Célja a matematikai statisztika módszereire támaszkodva magyarázatot adni az éghajlat viselkedésére.
- Klímadinamika. Célja a matematikai fizika módszereit felhasználva magyarázatot adni az éghajlat viselkedésének okaira.
- Paleoklimatológia (őséghajlat). Célja az egyes földtörténeti korok és területek állat- és növényvilágából, talajfajtaiból és más tanújelekből következtetni az akkori éghajlatra.
- Paleontológia (öslénytan). Célja a történelemelőtti életformák tanulmányozásának tudománya fossziliák felhasználásával.

A Kiotói jegyzőkönyv

1997-ben egyedül az Egyesült Államok nem írta alá a Kiotói jegyzőkönyvet.

Összesítés:



• [Energiatekéség](#)