

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TÁVÉRZÉKELÉSE MŰHOLDAKRÓL

Szerző:

Mika János (CSc, DSc)
Eszterházy Károly Katolikus Egyetem

Szerző e-mail címe:
mika.janos@uni-eszterhazy.hu

Lektorok:

Lakatos László (habil., Ph.D.)
Eszterházy Károly Katolikus Egyetem

Mező Ferenc (Ph.D.)
Eszterházy Károly Katolikus Egyetem

...és további két anonim lektor

Absztrakt

Az éghajlatváltozás napjaink egyik leggyakrabban tárgyalt tudományos kérdésköre. Ezeken az oldalakon az éghajlatváltozás szemszögéből kívánunk ízelítőt nyújtani a műholdas megfigyelések hasznosításáról. Távérzékelésen azt az eljárást értjük, melynek keretében egy tárgyról vagy jelen esetben a Föld felszínéről úgy gyűjtünk adatokat (ismereteket), hogy közvetlenül nem létesítünk vele fizikai kapcsolatot. A műholdas távérzékelés több száz vagy több ezer km magasságból rögzíti a felszínről visszavert vagy felszín által kibocsátott elektromágneses sugárzást. A jelen tanulmányban összefoglaljuk, hogy hogyan és milyen feladatok kapcsán segíti a műholdas távérzékelés az éghajlatváltozás folyamatának, okainak és várható alakulásának megismerését és előre jelzését. A bemutatott illusztrációk túlnyomó része az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) 2013. évi Jelentéséből származik (IPCC AR5, 2013).

Kulcsszavak: éghajlatváltozás, távérzékelés, elektromágneses sugárzás

Diszciplínák: földtudomány

Abstract

REMOTE SENSING OF THE CLIMATE CHANGE FROM SATELLITES

Climate change is one of the most frequently discussed scientific topics of our times. The aim of the present study is to introduce the Reader into utilisation of the satellite-based observations from climate change point of view. Remote sensing is a way of observation in which we collect data (knowledge) from an object, or the Earth surface, without direct physical contact with this object. Satellite-based remote sensing observes electromagnetic radiation reflected from or emitted by the surface from several hundreds or thousands of kilometres. This study comprehends how remote sensing can support recognition and forecast of processes, reasons and further development of the climate change. Overwhelming majority of the presented illustrations are quoted from the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC AR5, 2013).

Keywords: climate change, remote sensing, electromagnetic radiation

Discipline: earth science

Mika János (2021): Az éghajlatváltozás távérzékelése műholdakról. *Lélektan és hadviselés – interdiszciplináris folyóirat*, III. évf. 2021/2. szám. 9-20. doi: 10.35404/LH.2021.2.9

E tanulmány nem oktatási jellegű, de megállapíthatjuk, hogy míg a légkörrel kapcsolatos témakörök a földrajz oktatásában néhány évvel ezelőtt még kisebb jelentőséggel bírtak a lakosság számára (Homoki és Sütő, 2014), addig néhány évvel később már előnyösen változott a légkörrel kapcsolatos problémák megítélése, miközben továbbra is alacsony a közoktatásban a ráfordítható órakeret (Homoki, 2018). Szeretnénk a távérzékelés és a klímaváltozás összekapcsolásával hozzájárulni ahhoz, hogy ezt az időt érdekes és fontos tartalommal tudják a tanárok kitölteni. Tágabb, de csak a klímaváltozásra kiterjedő tartalommal ugyanezt a célt kívánta szolgálni egy korábbi tanulmányunk (Mika, 2019) is.

Írásunkban elsőként áttekintjük, hogy milyen változókat tudunk a műholdakról megfigyelni. Ezt követi a felhasználás három feladatcsoportja, nevezetesen az éghajlat változásának a megfigyelése, a változás lehetséges okainak a megfigyelése, valamint a kettő közötti oksági kapcsolatokat elemző, éghajlati modellek működésének az ellenőrzése, beleértve a közelmúlt éghajlatának szimulálását és a változások mértékét szabályozó, ún. éghajlati visszacsatolások előjelének és nagyságának megjelenítését. Végül összefoglaljuk, hogy milyen legvalószínűbb válaszokat adhatunk az éghajlatváltozás alapkérdéseire, jelentős rész-

ben a műholdas megfigyeléseknek köszönhetően.

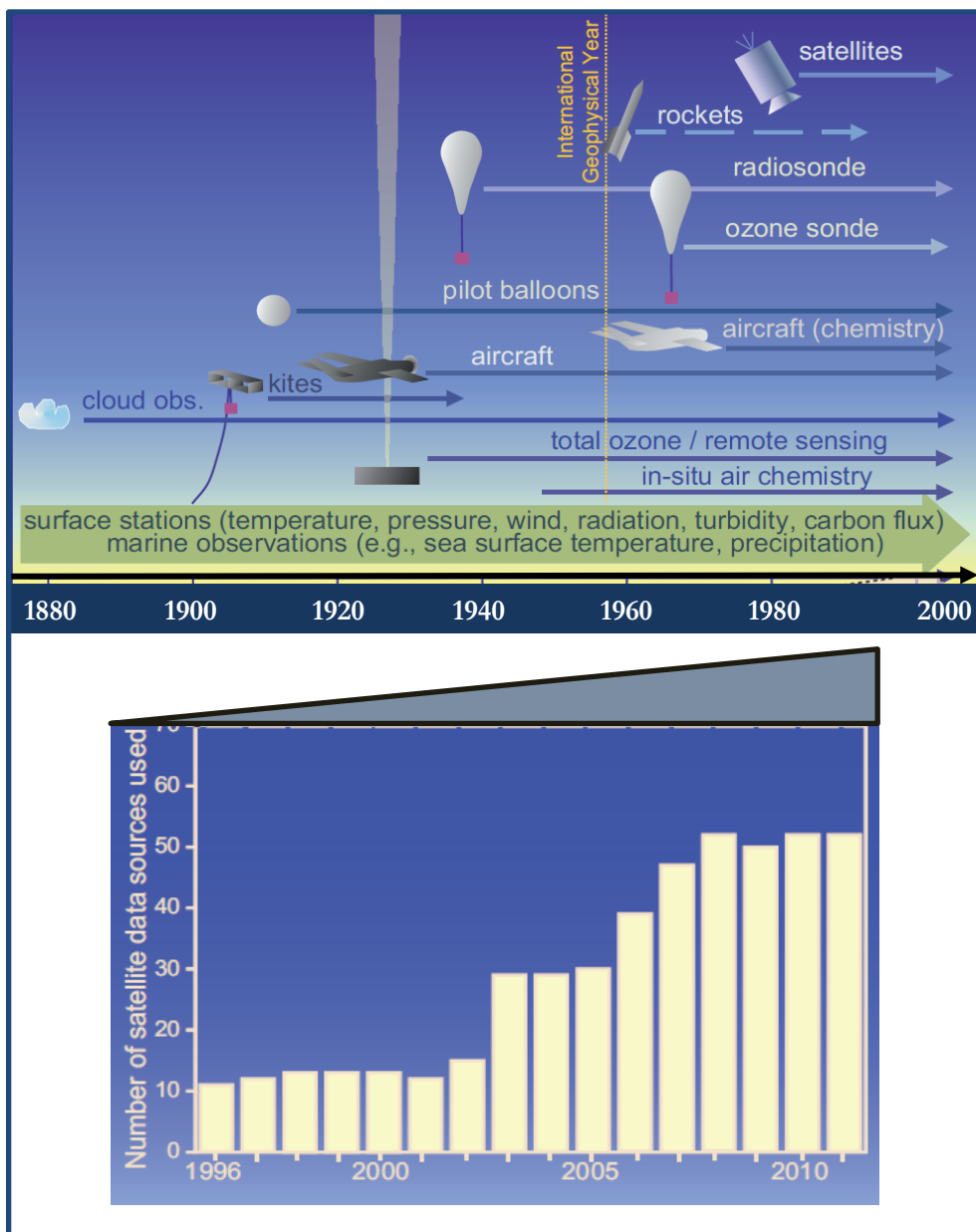
Mit figyelünk meg?

Az éghajlati rendszer (légkör, óceánok, szárazföldek, jégtakaró, bioszféra) nagyszámú változóját elsősorban műholdakról lehet megfelelő térbeli és időbeli bontásban az egész Földre megfigyelni. A kettő közül az éghajlati alkalmazások főleg a térbeli teljességet hasznosítják, mert a kezdeti állapot részletes felvétele, ami meghatározó az időjárás sikeres előrejelzésében, annak szerepe az éghajlatváltozás több évtizedes időskáláján jelentéktelenné válik.

Az 1. ábra segít időben elhelyezni a műholdas megfigyelések korát a megfigyelő rendszerben. A kezdetek mindig ahhoz az időszakhoz köthetők, amikortól a megfigyelések fedettsége elérte a globális mértéket. Gyakorlatilag minden fontos éghajlati paramétert meg tudunk figyelni műholdakról is. Az 1. táblázat csoportosítva listázza a megfigyelt változókat.

A következő, 2. ábra azt illusztrálja, hogy a felszíni és a műholdas információknak köszönhetően, éghajlati átlagban ma már ismerjük a felhőzet és a csapadék vertikális szerkezetének mennyiségi jellemzőit. Az ezekben megmutatkozó változások kimutatásához u-

1. ábra: Felül: A légköri eszközök időbeli fejlődése. Alul: A műholdas adatforrások számának alakulása az ECMWF produktumaiban. A növekedés 5x-ös az 1996-2010 években! (IPCC, 2013; Fig. 1.12)



1. táblázat: A légkör, az óceán és a szárazföld éghajlati szempontból lényeges komponensei. Forrás: Liebig, 2010

Légkör	Felszín	Lég hőmérséklet, csapadék, légnyomás, vízgőztartalom, felszíni sugárzási mérleg, szélesség és szélirány
	Magas légkör	Felhőzet jellemzői, szélesség és szélirány, Föld-légkör rendszer sugárzási mérlege, magaslégköri hőmérséklet- és vízgőztartalom.
	Összetétel	Széndioxid, metán, és más üvegházgázok, ózon, aeroszol jellemzők
Óceánok	Felszín	Tengerfelszín hőmérséklete, tengerszint, tengeri jég kiterjedése, az óceán színe, az óceán hullámozása, a felszíni rétegek sótartalma, a széndioxid parciális nyomása.
	Felszín alatti	Hőmérséklet, sótartalom, áramlások, tápanyag-tartalom, széntartalom, óceáni nyomanyagok, fitoplanktonok.
Szárazföldek	Gleccserek és jéghátságok, felszínborítás jellege, tüzesetek. A fotoszintetikusan aktív besugárzás aránya, levélfelületi index (LAI), albedó, biomassza, tavak vízmagassága, hótakaró, talajnedvesség, vízfelhasználás, talajvíz szintje, folyók lefolyása, permafroszt és évszakosan fagyott talaj.	

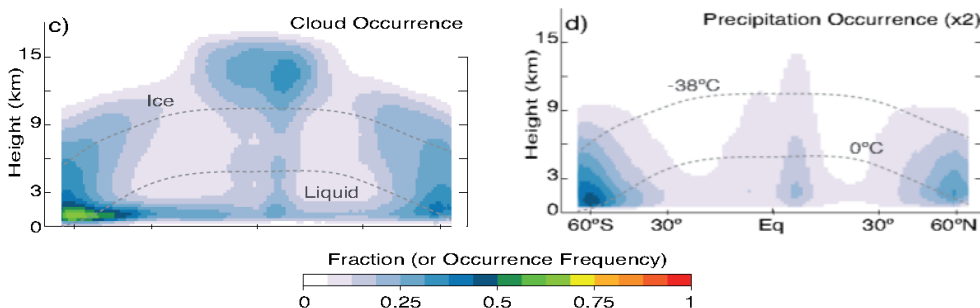
gyanakkor még több évtizednek kell eltelnie, miközben gondosan korrigáljuk az időről-időre mutató mérőeszköz-váltások hatásait is.

Az éghajlat változásának megfigyelése

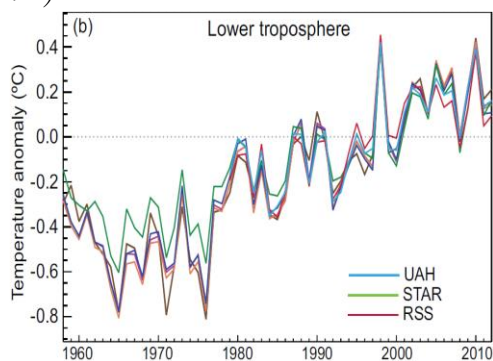
Egy sor éghajlati mutatóról már több évtized óta rendelkezünk viszonylag állandó esz-

kőzárral megfigyelt, műholdas adatokkal. Ebből a körből a 3. ábrán az alsó troposzféra hőmérsékletét ábrázoljuk, mikrohullámú műholdas mérések alapján, míg a 4. ábra az északi félgömb hótakarójának kiterjedését illusztrálja, felszíni és műholdas adatok alapján. Mindkét ábra igazolja, hogy éghajlatunk több évtized óta folyamatosan melegszik.

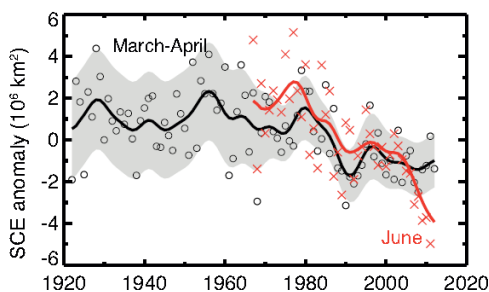
2. ábra: Évi átlagos földrajzi szélesség - magasság metszet a felhőfedettségéről (balra) és a csapadékról (jobbra), műholdas radar visszaverés alapján, az utóbbit kétszeres értékkel ábrázolva (IPCC, 2013: Fig. 7.5).



3. ábra: Az évi középhőmérséklet alakulása az alsó troposzférában, az 1981-2010-es évek átlagához képest, műholdas adatok alapján. (IPCC, 2013: Fig. 2.24)



4. ábra: A hótakaró területének alakulása az északi féltekén felszíni mérések (kör: március-április); illetve műholdas adatok (kereszt: június) alapján, az 1971-2000 évek átlagához képest. Forrás: IPCC, 2013: Fig. 4.19



A változás lehetséges okainak vizsgálata

Az éghajlati rendszer melegedését nagy valószínűséggel okozó üvegházhatású gázok térbeli és időbeli elrendeződése igen egyenletes. Emiatt az ilyen gázok megfigyelése nem elsőrendű célja a műholdas megfigyeléseknek. Az aeroszol részecskék okozta fény-gyengítés

globális megfigyelése pedig alig két évtizedes múltra tekinthet vissza.

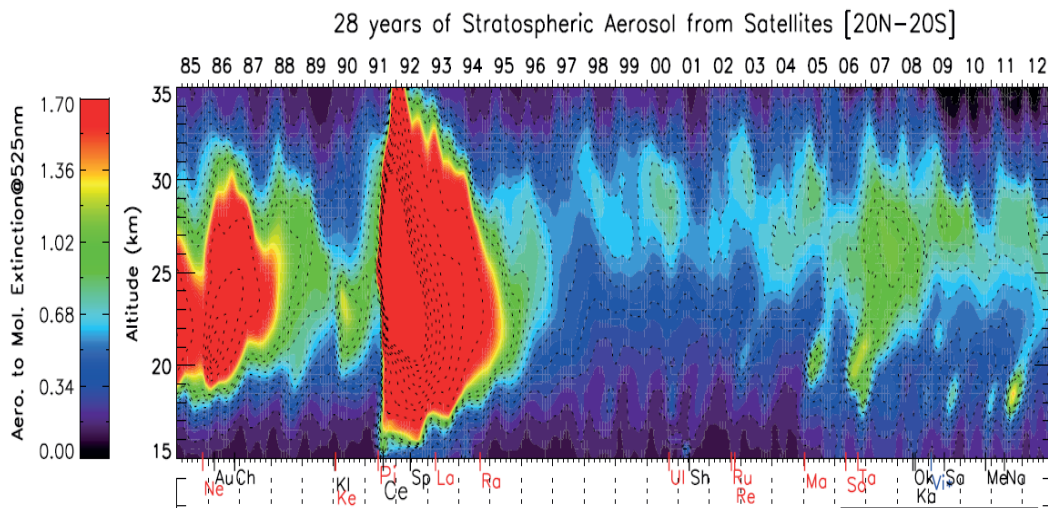
Emiatt, az 5. ábrán csak a legutóbbi, éghajlati szempontból jelentős vulkánkitörés, a Fülöp-szigeteki Mt. Pinatubo 1991. júniusi kitörésének hatását ábrázoljuk. A sok kén-dioxidot nagy magasságba a sztratoszférába feljutatni képes vulkánok kitörése nyomán nagyságrendekkel megnő a légkör gyengítése, első sorban a világűr felé történő visszaszórása. Az ábra nemcsak azt mutatja be, hogy milyen kiugró az 1991. évi kitörés hatása, de azt is, hogy milyen jelentéktelen volt a 2010. áprilisi izlandi vulkán napsugárzást gyengítő hatása.

A klímamodellek ellenőrzése

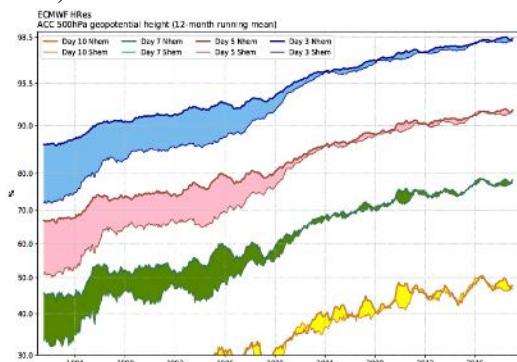
Tudományos igényű éghajlati előrejelzések csak az ún. éghajlati modellek felhasználásával készülhetnek. Emiatt nagy jelentőségűek azok a vizsgálatok, amelyek a klímamodelleket tesztelik. Ilyen tesztelés eredményeit mutatja be a 6. és a 7. ábra.

Az előbbi nem is igazán éghajlati kísérlet, hiszen arról szól, hogy az időjárás 3-10 napos előrejelzése mennyire sikeres ugyanolyan légköri modell felhasználásával, mint amilyen a klímamodellekben is működik. A magas és egyre tovább javuló korrelációs együtthatók a modell alkalmasságát a nagytérségű légköri folyamatok leírására. Műholdas szempontból legalább ilyen fontos, hogy a színes sávok alsó illetve felső határai közötti távolság egyre szűkebb, sőt a 2000-es évek elejére el is tűnik. Márpedig, ez azt jelenti, hogy a déli félteke előrejelzéseinek beválása ugyanolyan jó, mint az északi félgömbéi, ami csak úgy lehetséges, hogy a műholdokról származó információ ki

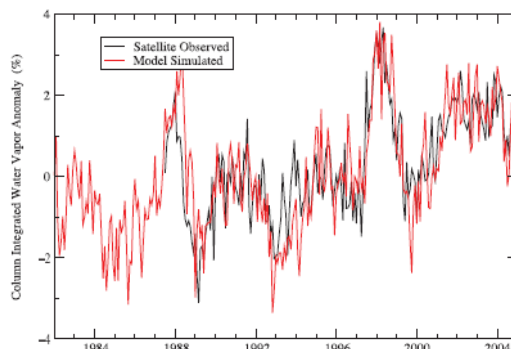
5. ábra: A havi átlagos gyengítési együttható (525 nm) alakulása a trópusokon [20°N - 20°S] 1985 és 2012 között, ahogy a Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE) II elnyelésből meghatározták, készítve a 18 km alatti felhőket. (IPCC, 2013: Fig. 8.13)



6. ábra: A légkör tömegét felező magasságra (500 hPa) készülő, 3-10 napos előrejelzések javuló korrelációja a tényleges állapottal. A déli félteke prognózisának a beválása, a műholdaknak köszönhetően, szinte azonos az északi félgömbével. (ECMWF 2020)



7. ábra Az óceánok feletti levegő földi átlagos víz-gőztartalma az 1987-2000 évek átlagában egy általános légkörzési modell (GFDL, Princeton, USA) (piros) és az SSM/i műhold adatai (fekete) alapján. (IPCC 2007: 9.17 ábra.)



tudja egyenlíteni a felszíni megfigyelések térbeli sűrűségében fennálló, nyilvánvaló különbségeket.

A 7. ábra szerint a légkör vízgőztartalmának változásait jól visszaadja a kérdéses modell, amit a valósághoz csak a tengerfelszín hőmérsékletén, mint alsó határfeltételen keresztül igazítottak. Ennek a példának további jelentősége, hogy szemléletesen cáfolja azon feltevézéseket, amelyek szerint az üvegházhatású gázok légköri mennyiségének a növekedése azért nem vezet jelentős felmelegedéshez, mert a melegedéssel párhuzamosan csökken a légkör vízgőztartalma. Ugyanis, ha ezt az ábrát összevetjük a 3. ábrával, akkor megállapíthatjuk, hogy az 1980-as évektől kezdve, a globális melegedéshez a vízgőztartalom emelkedése tartozott!

Az éghajlati visszacsatolások becslése

A klímamodellezés végső célja, hogy olyan eszközhöz jussunk, amellyel megbecsülhetjük, miként alakul a jövő éghajlata, ha a légkör összetétele módosul. Az ilyen előrejelzések egyik bizonytalansági tényezője a külső tényezők várható változása, a másik viszont az, hogy milyen pontosan tudjuk szimulálni az éghajlati rendszer érzékenységét. Amíg az első bizonytalanságot megbecsülni sem tudjuk, addig az éghajlat érzékenységének helyességét az egyes részfolyamatok tesztelésén keresztül meg tudjuk ítélni.

Az éghajlatnak a külső tényezőkkel szembeni érzékenységét meghatározzák az ún. éghajlati visszacsatolások. Ezt az érzékenységet legegyszerűbben a $\Delta Q = \lambda \Delta T$ egyenletben szereplő λ együtthatóval jellemezhetjük, amely meghatározza, hogy a légkör külső határán

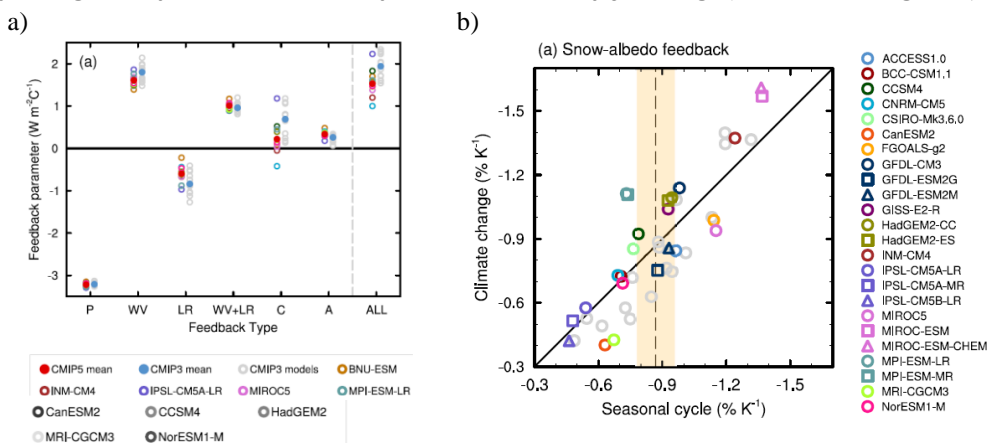
bekövetkező ΔQ változás – bevárva, amíg az éghajlati rendszer felveszi az új egyensúlyi állapotát – mekkora ΔT földi átlagos hőmérsékletváltozást okoz.

A 8.a ábra bemutatja a legfontosabb visszacsatolások hatását. A vízszintes tengelyen az egyes visszacsatolások láthatók, míg a függőleges tengelyen a kérdéses visszacsatolás hatását a λ paraméterre. Minden visszacsatolásnál két-két pontsor látható, melyek közül az elsők mindig a legújabb IPCC (2013), míg a másodikkak a korábbi (IPCC, 2007) jelentésben szereplő modelleket reprezentálják.

A legfontosabb negatív (a változásokat mérséklő hatású) visszacsatolás maga a hosszúhullámú kisugárzás (P), amit mindkét jelentés modelljei csaknem azonosnak mutatnak. Ennek lényege, hogy minél magasabb a hőmérséklet annál erősebb a rendszer kisugárzása, s ez csökkenti a melegedést. Ha egyedül csak ez a visszacsatolás működne, akkor a széndioxid duplázódásra kialakuló kb. 4 Wm^{-2} energia-többlet hatására a felszín közelében a levegő hőmérséklete $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal emelkedne. Látni fogjuk, hogy a többi visszacsatolás együttes hatására (ALL) ez a változás a modellek közötti nagy szórás mellett $3 \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

A következő visszacsatolás a vízgőz légköri mennyiségének szabályozásával kapcsolatos (WV). Amikor melegszik a rendszer, akkor több víz tud a felszínről elpárologni, továbbá nagyobb páranomás kell ahhoz is, hogy megtörténjen a kicsapódás. Végül, a melegedés a felszínről indul ki, vagyis a melegedés mértéke a troposzférában alulról felfelé csökken. Ez gyorsítja a vízgőz feljutását a nagyobb magasságokba. Mármost, ha több a vízgőz, akkor ez nagyobb mértékben tartja vissza a felszínről kisugárzott energiát, mint amennyire ugyan-

8. ábra: (a) Az egyes visszacsatolások erőssége (λ együtthatója: lásd a szövegben) a CMIP5 (IPCC, 2013) illetve a CMIP3 (IPCC, 2007) modellekben, rendre a hosszűbhullámú kisugárzással (P), a vízgőzzel (WV), a vertikális kicserélődéssel (LR), a felhőzettel (C) és az albedóval (A) kapcsolatos visszacsatolások esetén. Szerepel még az ábrán két visszacsatolás eredője (WV+LR), illetve a (P) nélküli, összes többi visszacsatolás eredője (ALL) is. (IPCC, 2013: Fig. 9.43) (b) A hó-kiterjedés alakulása a hőmérséklet függvényében tavasszal a klímamodellek szimulációja során (y-tengely) illetve az éves menet alapján (x-tengely). A számítások 17 CMIP3 (kék színnel) és 24 CMIP5 modell számításain alapulnak. A vertikális sáv a műholdokról megfigyelt évszakos ingásból számított hó-albedó visszacsatolás és ennek bizonytalansága (IPCC, 2013: Fig. 9.45).



akkor csökkenti a felszín elérő napsugarakat. Az így létrejövő energia-többlet is fokozza kezdeti melegedést, vagyis a légnedvesség pozitív visszacsatolásban vesz részt.

A harmadik, negatív visszacsatolás (LR) a függőleges hőmérsékleti gradienssel kapcsolatos. Amikor melegszik a rendszer, akkor ez alulról történik, vagyis gyorsabban esik a hőmérséklet a magassággal, mint korábban. Ez pedig erősíti a konvektív feláramlással történő hőcserét a magasabb rétegekkel, vagyis kevésbé fog az energiátöbblet a felszín közelében koncentrálni, mintha ez a folyamat nem működne. Amint ez a 8. ábrán is látszik, a vízgőz erősebb visszacsatolás, mint a hőmérsékleti gradienssel kapcsolatos. Így a két vissza-

csatolás eredője (WV+LR) egyértelműen erősíti a melegedést.

A felhözethez kapcsolódó sokféle visszacsatolás (C) eredő előjele a legkevésbé biztos. Hiszen, itt a felhőzet változásának előjele sem azonos Földünk különböző térségeiben, miként az is változatos képet mutat, hogy milyen típusú felhők aránya hogyan módosul. Amint ez az ábráról leolvasható, a modellek többségében pozitív, a változásokat erősítő visszacsatolásként befolyásolja a felhőzet a változásokat.

Végül, a legismertebb mechanizmus a hó-albedó visszacsatolás: amikor melegszik a rendszer, akkor a hó és jég olvadásával összefüggésben bizonyos területek fényvisszaverő

képessége a fehér felszín 70-90%-os értéke helyett 10-20% körüli értékekre csökken, ami több energia elnyelését okozza a poláris térségekben. Látható, hogy a modellekben ez a folyamat is a változásokat erősítő, pozitív visszacsatolás.

Az IPCC két utóbbi jelentése közötti modell-fejlődés eredményeként egyetlen kivétellel mindegyik visszacsatolás ereje (az együtt-ható abszolút értéke) csökkent. Emiatt kis mértékben az összes visszacsatolás eredője (ALL), mint pozitív együtt-ható is kissé csökkent, azaz a legújabb modellek valamivel kisebb érzékenységet (nagyobb negatív λ együtt-ható) mutatnak.

A két jelentés között erősödést mutató hóalbedő visszacsatolásról szól a 8.b ábra, amiben már közvetlen műholdas információ is szerepel. A függőleges sárga sáv ugyanis azt mutatja, hogy a hótakaró tavaszi kiterjedése az egyes években milyen kapcsolatot mutatott az évszakos ingás során változó északi félgömbi hőmérsékletet. Pontosabban, hány százalékkal csökken ennek során a hótakaró 1 °C félgömbi hőmérsékletkülönbség hatására. Ha ezt a sávot összevetjük a különböző újabb generációs modelleket reprezentáló pontokkal, amelyek vízszintes koordinátáját ugyanez az évszakos változás határozza meg, míg a függőleges koordináta az a változás a hótakaróban, ami tavasszal a klímaváltozási kísérletben 1 °C változás esetén keletkezik. Noha az évszakos ciklus szórása meglehetősen nagy a modellekben, mégis megnyugtató, hogy az évszakos ciklus nagyjából a megfigyelt sáv körül szóródik. Mivel a modellekben a kétféle módon számított területváltozások egyértelmű lineáris kapcsolatot mutat egymással, bizhatunk ben-

ne, hogy a klímaváltozás során fellépő területváltozások modellbeli átlaga sem torzított.

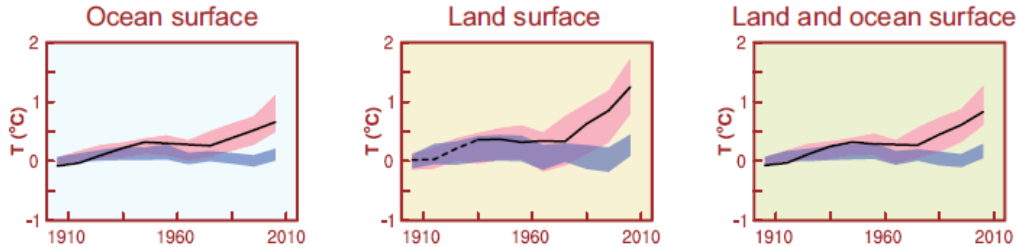
Mit tudunk és mit nem a klímaváltozásról?

A felszín-bázisú és a műholdas mérések alapján az ma már érdemben nem vitatható, hogy bolygónk éghajlata változik. Ezt a változást a légkör, az óceánok és a jégtakaró egyértelműen tanúsítja, de számos jele mutatkozik a szárazföldek és a bioszféra adataiban, noha a szférákban rövidebbek a megfigyelések és a folyamatokat más emberi beavatkozások is terhelik. Maga a felmelegedés az ipari forradalom kezdete óta a felszín közelében földi átlagban immár meghaladja az 1 Celsius fokot. Csak a szárazföldek fölött a változás ennek csaknem kétszerese. Ezek a változások ma még kisebbek ugyan a földtörténeti korok éghajlatai közötti legnagyobb különbségnél, de ha a változás sebességét vesszük alapul, akkor az egy-két nagyságrenddel (tízszorosán – százszorosán) felülmúlja a geológiai korok változásait.

A tudományos viták ma inkább csak azon folyhatnak, hogy biztosan az ember-e a változások okozója. Az üvegházhatású gázok szerepének legfőbb bizonyítéka az, hogy az éghajlati modellekben a megfigyelt felmelegedés csak úgy szimulálható, ha az emberi tevékenység folytán felerősödő antropogén hatásokat is figyelembe vesszük (9. ábra).

Az elmúlt száz év változásainak sikeres szimulációja egyben azt is valószínűsíti, hogy a modellek érzékenysége a külső tényezők változásaival szemben ugyancsak megfelel a va-

9. ábra. A megfigyelt (fekete) simított globális átlagos léghőmérséklet alakulása, szembeesítve a csak természetes hatásokkal (kék), illetve az antropogén hatásokat is figyelembe (piros) modell-szimulációkkal. (IPCC 2013: Fig. 10.21)



valós érzékenységek, vagyis a jövőre vonatkozó prognózisok bizonytalansága elsősorban abból fakadhat, hogy milyen mértékben sikerül majd korlátoznunk az üvegházgázok kibocsátását.

Konklúzió

A fentebb bemutatott példák alapján a klímaváltozás és a műholdas távérzékelés témakörében az alábbi megállapításokat tehetjük:

- Ma már szinte minden fontos éghajlati változó megfigyelhető műholdakról is. E lehetőségek egyes változók szempontjából nélkülözhetetlen, más esetekben hasznos és kiegészítő jellegű és csak ritkán másodlagos a felszín-bázisú megfigyelések mellett.
- A műholdas megfigyelés hat évtizede, benne a digitális (fizikai értékek rekonstruálására is alkalmas) felvételeinek mintegy négy évtizede lehetőséget nyújt néhány változás megállapítására is, mind az éghaj-

latban, mind az azt szabályozó folyamatokban.

- A műholdas megfigyelések alapján ellenőrizhető, hogy jól reprodukálják-e a globális éghajlati modellek a legfontosabb éghajlati jellemzők aktuális területi eloszlását és az éghajlat érzékenységét szabályozó éghajlati visszacsatolásokat.
- Noha a klímamodellek működése ezen összehasonlítások fényében nem mindenben tökéletes, arra mégis alkalmas, hogy nagy területi átlagokban reprodukálják az elmúlt bő száz év felszín-közeli léghőmérsékletének tényleges alakulását.

Kitekintés

E tanulmány a VI. nemzetközi Interdiszciplináris Konferencia (2021) kapcsán készült. Az alábbiakban röviden reagálunk a konferencia változatos tematikáját összefogó négy kérdésre. Dőlt betűvel láthatók a kérdések és közöttük normál szedésben a válaszok.

a) *Mi a kapcsolat a prezentációja és a mesterséges intelligencia (pl. robotok, tanulni képes algoritmusok stb.) között?*

Az éghajlatváltozás vizsgálatára (is) használt meteorológiai műholdak automatikusan, közvetlen emberi irányítás nélkül működnek. Mindenképpen legalább robotok. Azzal kapcsolatban, hogy alkalmaznak-e tanuló algoritmust, egy példát biztosan ismerek: adott felhőrendszerek alakját társítják két, egymástól 15 percre készült digitális képen, és a legvalószínűbben azonosnak ítélt két rendszer (pl. egy hurrikán felhő-falának adott eleme) elmozdulásából számolják ki és rajzolják a képre a rendszer haladási sebességének vektorát.

b) *Mi a kapcsolat a prezentációja és a tanulás O×IPO-modellje (lásd: Mező és Mező, 2019) között? Megjegyzés: e modell szerint a Tanulás = Szervezés × (Input + Process + Output)*

Bár az előadás nem neveléstudományi jellegű, a bemutatandó ismeretek Input-ként szolgálhatnak akár a műholdas távérzékelésre, akár a klímaváltozásra fókuszáló oktatásban. Amint erre írásunk elején is utaltunk, a természettudományok, ezen belül különösen a környezeti problémák oktatása kiemelkedően fontos feladat.

c) *Mi a kapcsolat a prezentációja és a hadviselés vagy a lélektani hadviselés között?*

Bár a meteorológiai műholdak felbontását 1 km-ben korlátozza egy megállapodás, így azok közvetlenül nem szolgálják a hadviselést, az általuk megállapított környezeti állapotok (aszály, belvív-borítottság, növénybetegségek) esetleg igen. E mutatók és a lassabban kibon-

takozó klímaváltozás mindenképpen befolyásolják a migrációt és az ehhez kapcsolódó feszültségeket.

d) *Mi a kapcsolat a prezentációja és Földön kívüli életfeltételek megteremtése (pl. űrhajózás, terraformálás stb.) között?*

Ha nem vigyázunk, a klímaváltozás az egyik oka lehet annak, hogy a nyilván tovább növekvő népesség egy részének más bolygó után kell néznie. Az ezt elősegítő űreszközök néhány vonatkozásban bizonyára hasonlítanak a mai műholdakra.

Irodalom

- ECMWF (2020): *Anomaly correlation of 500hPa height forecasts*. Letöltés: 2021.03.01. Web: https://www.ecmwf.int/en/forecasts/chartarts/catalogue/plwww_m_hr_ccaf_adrian_ts?facets=Type,Verification&time=2020021100
- Homoki, E. (2018): Az Origo és a HVG cikkeinek szövegelemzése a földrajzoktatás szemszögéből. *Geometodika: Földrajz Szakmódszertani Folyóirat* 2. évf. 3. sz. 23-38
- Homoki, E. és Sütő L. (2014): Studying the public opinion of geography as a subject and its knowledge elements: a case of Hungary. *Journal of Baltic Science Education* 13: 508-522
- IPCC (2007): *Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007* (Solomon, S., et al. eds.) Cambridge University Press, Cambridge UK & New York NY, USA. 996 pp.

- IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Stocker, T.F., et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Liebig V. (2010): *Satellite Missions for Climate Observations*. "New Space Missions for Understanding Climate Change" Summer School Alpbach 2010, 27 July-August 5, Alpbach, Austria. (Korábban látható volt a Nyári Iskola www.summerschoolalpbach.at honlapján)
- Mika J. (2019): Az éghajlatváltozásról 12 tételben. *Geometodika* 3. évf. 1. sz. 5-25.
- Mező Ferenc és Mező Katalin (2019): Az OxIPO-modell – az interdiszciplináris kutatások egy lehetséges értelmezési kerete. *OxIPO – interdiszciplináris tudományos folyóirat*, 2019/1, 9–21. doi: [10.35405/OXIPO.2019.1.9](https://doi.org/10.35405/OXIPO.2019.1.9)