

A KLÍMAVÁLTOZÁS VILÁGLÉPTÉKŰ, EURÓPAI ÉS HAZAI ÚJDONSÁGAI

Mika János

*Eszterházy Károly Egyetem, Környezettudományi és Tájökológiai Tanszék
3300 Eger, Leányka út 6.
e-mail: mika.janos@uni-eszterhazy.hu*

Három fejezetben mutatjuk be a címben jelzett, új fejleményeket. Megfigyelt adatok alapján jellemezzük a földi átlagos szén-dioxid kibocsátást, a szén-dioxid és a metán globális indikátor jellegű Mauna Loa-i alakulását, valamint a felszín-közeli léghőmérséklet földi átlagát. Ezt egy-egy átfogó európai, amerikai illetve IPCC dokumentum rövid bemutatása követi. Végül, két friss dokumentumból a hazai üvegház-gáz kibocsátás tendenciái lesznek kiolvashatók.

Kulcsszavak: üvegházhatás, metán, Globális Melegedési Hiány, IPCC SR15, Magyarország

MEGFIGYELT VÁLTOZÁSOK

Aktuális CO₂-kibocsátási tendenciák

A Föld Statisztikai Adatai (ESD) honlapon 2006 óta napvilágot látnak a világ szén(dioxid) körforgalmának adatai is. A 2017. évig terjedő elemzések 2017. november 1-én kerültek ki a <https://www.earth-syst-sci-data-discuss.net/essd-2017-123/> honlapra (Le Quéré et al. 2017).

Ebben a fosszilis energiahordozók és az ipar kibocsátása miatti éves mérleg-növekedés (E_{FF}) a világ energia-statisztikáin és cementgyártási adatokon alapszik. A földhasználattal, döntő részben az erdőirtással- és telepítéssel kapcsolatos növekmény (E_{LUC}) földhasználati megfigyelések és gazdálkodási modellek segítségével készült.

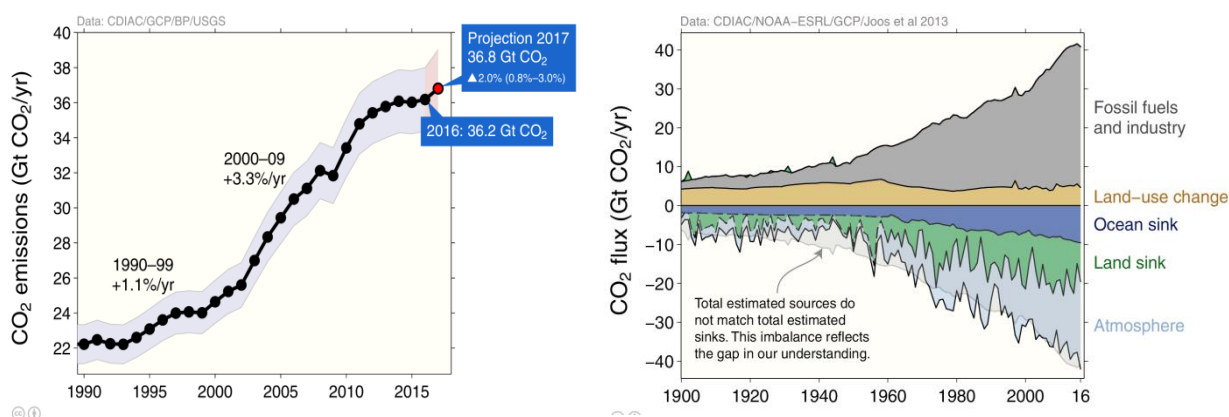
A légköri szén-dioxid koncentrációkat folyamatosan mérjük, így a légkörben maradó szén-dioxid évi növekménye (G_{ATM}) jól becsülhető. Végül, az óceáni CO₂-elnyelés (S_{OCEAN}) és a szárazföldi biomaszra megkötés (S_{LAND}) évenkénti értékei megfigyelésekkel támogatott, körforgalmi modellekből származnak. E becslések pontos értékei zérus mérleget (B_{IM}) kellene, hogy adjanak, ám ez nem teljesül pontosan.

A legutolsó teljes évtizedre (2007-2016) rendelkezésre álló mérleg-komponensek és becsült hibáik a következőképpen alakultak: $E_{FF}=9,4 \pm 0,5 \text{ GtC yr}^{-1}$, $E_{LUC}=1,3 \pm 0,7 \text{ GtC yr}^{-1}$, $G_{ATM}=4,7 \pm 0,1 \text{ GtC yr}^{-1}$, $S_{OCEAN}=2,4 \pm 0,5 \text{ GtC yr}^{-1}$, $S_{LAND}=3,0 \pm 0,8 \text{ GtC yr}^{-1}$. A mérleg tíz év átlagában $+0.6 \text{ GtC yr}^{-1}$, ami arra utal, hogy vagy ennyivel túlbecsült a kibocsátás évi átlagos növekménye, vagy ugyanennyivel alulbecsültek a nyelők.

Az alábbiakban két diagramot mutatunk be ebből a tanulmányból. Elsőként lássuk, hogyan alakult a széndioxid kibocsátása 2016-ig, illetve becsült értéként 2017-ben. Látható, hogy a nem mezőgazdasági kibocsátás néhány évi stagnálás után ismét nőtt 2017-ben, méghozzá évi mintegy 2%-kal (*1. ábra bal oldala*).

A légkör széndioxid tartalmának emelkedése ugyanakkor folyamatos (*1. ábra jobb oldala*) mivel a stagnáló évek kibocsátása is jelentősen, 60-80%-kal meghaladja azt a szintet, amit az óceánok és a szárazföldek még semlegesíteni tudnak.

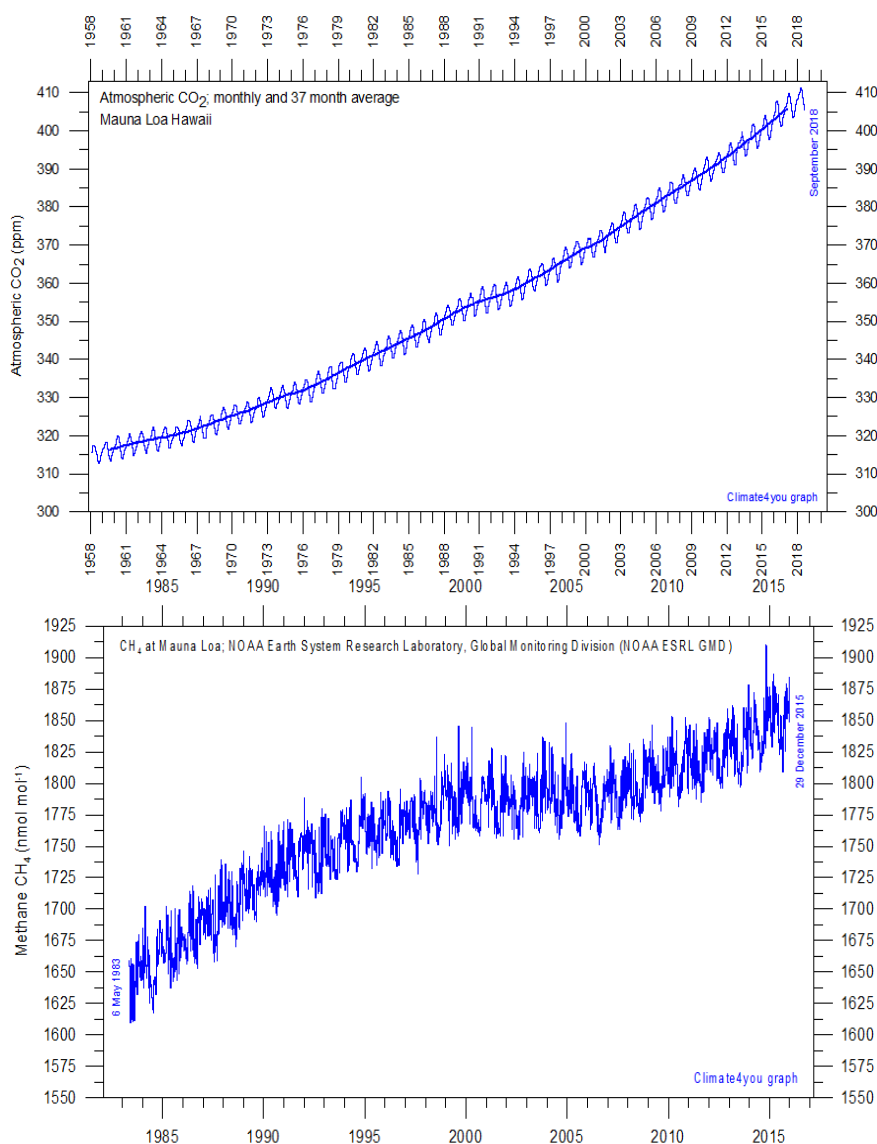
Meg kell ugyanakkor jegyeznünk, hogy e szférák semlegesítő képessége a mai kibocsátások mellett ekkora, kisebb kibocsátás esetén szerényebb lehet. Minél jobban megközelítjük hosszabb távon a nulla kibocsátást, annál biztosabb, hogy a koncentrációk nem nőnek tovább, ezáltal már csak az óceáni hőelnyelés miatti „büntető melegedés” emeli a hőmérsékletet.



1. ábra. A fosszilis energiahasználat és a cementgyártás miatti CO₂ kibocsátás (balra) és az összes kibocsátás, illetve annak megoszlása a földi szférák között (jobbra). Forrás: Le Quéré et al. 2017

A CO₂-koncentráció alakulása

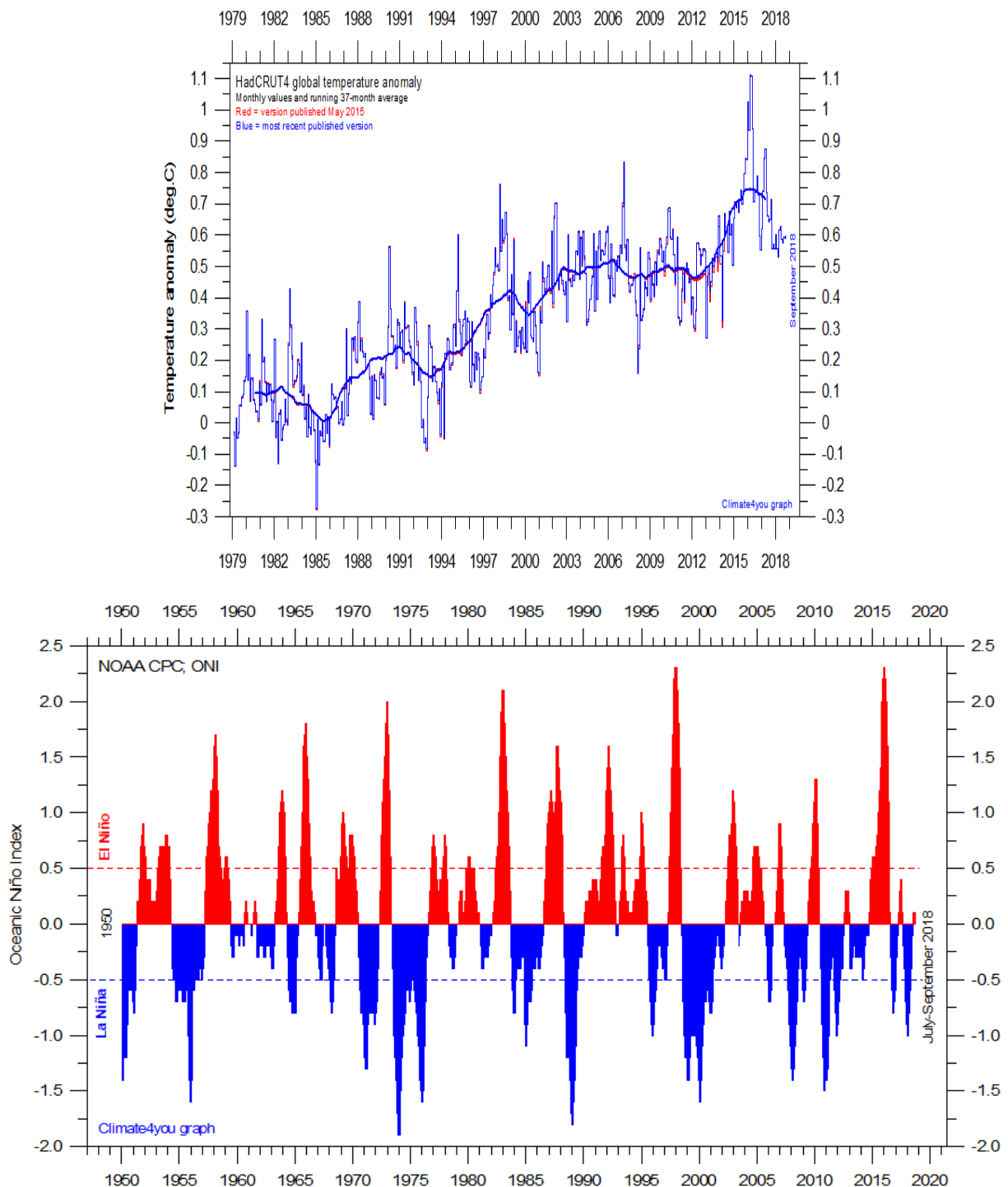
Elsőként lássuk, miként alakult a szén-dioxid koncentrációja az első és leghíresebb állomáson, Mauna Loa (2. ábra). A 2018 szeptemberéig futó idősor továbbra is emelkedik. Ez arra utal, hogy a kibocsátás stagnálása messze nem vezet a koncentrációk állandósulásához, hiszen az óceánok és a bioszféra csak sokkal kevesebb CO₂ elnyelésére képes. A második legerősebb üvegház-gáz a metán, amelynek alakulását szintén Hawaii szigetén a 2. ábra illusztrálja. E gáz alakulásában 1998 és 2007 között törés volt megfigyelhető: a koncentráció ebben az időszakban alig emelkedett. A legutóbbi évtized újabb emelkedéséért már alighanem a permafroszt területek olvadásával összefüggő metánhidrát kiszabadulás okolható. Ha e folyamat felgyorsul, az tovább erősíti a melegedést. A stagnálás utáni periódusban a koncentráció-növekedés egyelőre lassúbb, mint annak előtte.



2. ábra. A szén-dioxid (CO₂, felül) és a metán (CH₄, alul) koncentrációjának alakulása a Hawaii szigeti Mauna Loa állomáson. (Forrás: <http://www.climate4you.com/>)

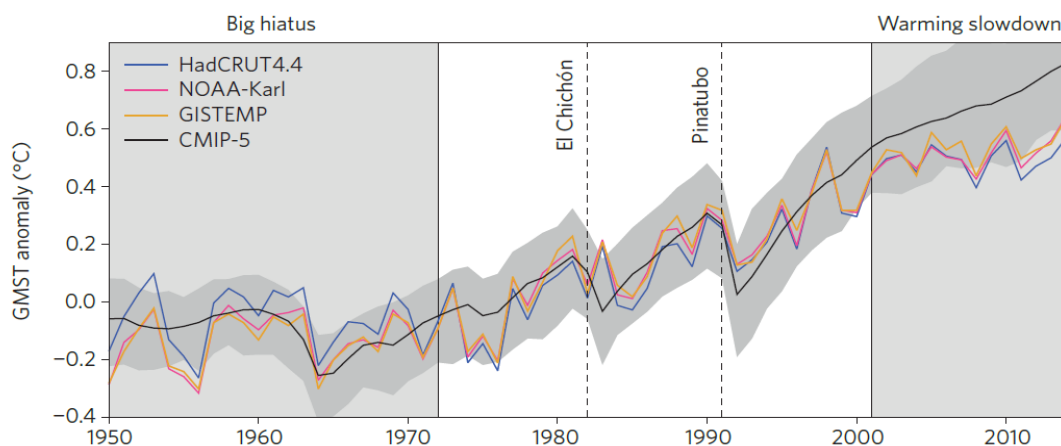
A földi átlaghőmérséklet alakulása

A globális átlaghőmérséklet a globális melegedési hiány (kb. 2002 – 2013) elmúltával ismét emelkedésnek indult (3. ábra, fenn). A 2016. év kiugró értékeihez minden bizonnyal a 2015 közepétől kialakult kb. egy évig tartó, erős El-Nino epizód is hozzájárult (3. ábra, lenn). Ez az epizód csaknem ugyanolyan erős volt, mint az (előző) évszázad „El-Ninoja” 1997-1998-ban.



3. ábra. A globális átlaghőmérséklet (felül) és az ún. El-Nino index (alul) alakulása. A két ábra időtengelyén más-más időszak látható, amit a felső ábra zsugorításával próbáltunk kiküszöbölni.
(Forrás: <http://www.climate4you.com/>)

A globális melegedési hiány eltüntetésén többen fáradoztak. Karl et al. (2015) például azért módosította a meglévő sorokat, mert az óceánok fölött méréstechnikai okokból nem az ottani levegő, hanem a víz hőmérsékletének eltéréseit veszik alapul egy rögzített referencia időszakhoz viszonyítva. Ezzel az adott évek trendje egy kicsit emelhető volt. Ennek ellenére, a 4. ábrán látható, hogy a hőmérséklet bő tíz éven át egyértelműen a várt érték alatt alakult.



4. ábra. A globális átlaghőmérséklet alakulása néhány idősor (kék, piros, sárga) illetve a CMIP-5 globális modell-futtatások (fekete) alapján. Az utolsó bő évtized tényleges melegedése tartósan a várt érték alatt maradt. (Forrás: Fyfe et al. 2016: Fig. 1.)

Az 1. táblázat bemutatja, hogy nagyszámú globális adatsor mindegyikében elhanyagolható, s a t-próba szerint nem is szignifikáns lineáris trendek mutathatók csupán ki. Az is lényeges, hogy a legkevésbé meredek trendek 2001 után alakultak ki, vagyis nincs közülük az 1998. évi erős El-Nino jelenséghez, amit követően a léghőmérséklet még visszahült a várt értékre.

1. táblázat.: Leglaposabb emelkedésű időszakok a különböző adatközpontok adatai szerint. Az utolsó négy sor re-analízis alapú rekonstrukció. (Forrás: Xin-Gang Dai, Ping Wang 2018: Table 1.)

Hőmérsékleti idősor	Trend °C/évtized	Véletlen esélye	Stagnáló időszak
HadCRUT4	0.0076	0.8393	2001–2013
Cowan & Way	0.0482	0.6602	2002–2012
NOAA-old	0.0010	0.9758	2001–2013
NOAA-new	0.0255	0.5626	2002–2012
GISTEMP	0.0200	0.7137	2002–2012
ERA-Interim	-0.0011	0.9885	2002–2012
NCEP-R2	0.0179	0.9271	2002–2014
ERA-Interim	-0.0001	0.9885	2002–2012
NCEP-R2	0.0082	0.9057	2002–2012

Újabb összefoglalók a globális klímaváltozásról

Az Európai Környezeti Ügynökség összefoglalója (EEA, 2017)

Ez a Jelentés (EEA, 2017) is megerősítette, hogy bolygónkon és Európában is folytatódik a felmelegedés. A szárazfölkék és az óceánok hőmérséklete emelkedik, módosul a csapadék eloszlása, egyes térségeket különösen belvizessé, más térségeket aszályossá téve. Az előbbi főként a tél és a tavasz, az utóbbi a nyár jellemző szélsősége. Visszahúzódott a tengeri jégtakaró, a gleccserek kiterjedése és a hótakaró, míg a tengerszint emelkedett az IPCC (2013) óta is. Az időjárás szélsőségei sem kímélték a kontinenst.

Megállapítja továbbá az EEA (2017) Jelentése, hogy az éghajlatváltozás és más tényezők, pl. a földhasználat változásai miatt az ökoszisztémák és a védett térségek fokozódó nyomás alatt állnak. Mindez fenyegetést jelent a biodiverzításra nézve, de közvetlenül hat az erdőkre, a tengeri halászatra, a mezőgazdaságra és az emberi egészségre is. A közegek legegyszerűbb változása az észak felé és a nagyobb magasságokba tolódás lenne, de ennek is vannak akadályai, még az állatvilágban is. A növényeket ebben a szükségesnél sokkal lassúbb (csak generációról generációra történő) helyváltoztatás és tájidegen fajok megjelenése korlátozza.

Megállapítja továbbá a jelentés, hogy az éghajlatváltozás legtöbb következménye káros Európa területén. A tengerszint emelkedése, a vihardagályok emiatti fokozódása és a tengerpart eróziója mindenképpen ilyen. A hóhullámok fokozódása közvetlen egészségi kockázatokat hordoz, de áttételesen az elektromos hálózatokban is gyakran kimaradást okoz a hűtőberendezések fokozott fogyasztása. A változások a közlekedést és a turizmust is érintik.

A hatások területi eloszlása sem egyforma Európában. Dél- és Délkelet-Európa lehet a leginkább kitett terület, ahol a legkedvezőtlenebbek a hatások. A tengerparti illetve a gyakori áradásnak kitett területek, főként Nyugat-Európában szintén veszélyeztetettek, bár ugyanez elmondható az Alpok térségére és az Ibériai félszigetre is. A gyors melegedés és az olvadás a sarkvidéki hideg térségekben előnyöket és kihívásokat egyaránt hordoz.

A jelentés továbbá statisztikákat is tartalmaz a különböző rendkívüli időjárási körülmények eloszlásáról, és az emberi életet veszélyeztető, illetve anyagi kárt okozó hatásaikról (2. táblázat).

2. táblázat. Rendkívüli időjárási események által okozott, 1 millió főre jutó halálozások száma az egyes európai alrégiókban, az 1991–2015 időszakban. A régiók felosztását a táblázat aláírása tartalmazza. A népességi ráták a 2013. évi demográfiai adatok alapján lettek meghatározva. Források: EM-DAT, Eurostat, WHO. A http: címek a hivatkozásokban találhatóak. (EEA, 2017: 5.2. táblázat)

	Áradás és nedves tömegmozgás ^(a)	Hideg időjárási esemény	Hóhullám	Vihar	Erdőtűz
Kelet-Európa	8,57	28,27	11,39	1,73	0,54
Észak-Európa	0,99	1,67	11,17	2,48	0,01
Dél-Európa	6,75	0,92	177,98	1,19	0,97
Nyugat-Európa	2,09	0,89	191,58	2,79	0,04
Összesen	4,64	5,31	128,98	1,99	0,46

Táblázathoz megjegyzés:

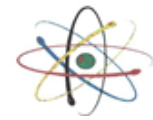
Tartalmazza a földesuszamlásokat

Kelet-Európa: Bulgária, Csehország, Magyarország, Lengyelország, Románia, Szlovákia;

Észak-Európa: Dánia, Észtország, Finnország, Izland, Írország, Lettország, Litvánia, Norvégia, Svédország, Egyesült Királyság;

Dél-Európa: Albánia, Bosznia-Hercegovina, Horvátország, Ciprus, Görögország, Olaszország, Macedónia Volt Jugoszláv Köztársaság, Montenegró, Portugália, Szerbia, Szlovénia, Spanyolország, Törökország;

Nyugat-Európa: Ausztria, Belgium, Franciaország, Németország, Luxemburg, Hollandia, Svájc.



Az USA Nemzeti Jelentése (USGCRP, 2017)

Az USA Nemzeti Jelentéséből (USGCRP2017) leszűrhető legfőbb tanulságok a következők:

- a jelentés az embert teszi felelőssé a változásokért és a korábbi jelentésekhez hasonlóan további melegedésre számít,
- nem tartja fontosnak, az éghajlatról szóló tudásunk megfelelőségét kétségbe vonónak a földi átlaghőmérséklet Globális Melegedési Hiány (Global Warming Hiatus) néven elhíresült stagnálását kb. 2000 és 2013 között,
- de nem tartja reálisnak azt sem, hogy sikerüljön 1,5 fokos (a maihoz képest fél fokos) globális melegedésnél megállítani a melegedést.

Kissé részletesebben, a következő megállapítások érdekesek a kiemelésre:

- A globális évi középhőmérséklet kb. 1,0 K fokkal emelkedett az utóbbi 115 évben (1901-2016 között). Ez az időszak a legmelegebb a modern civilizáció korában. Az utóbbi három év =2017-et is beleértve a megfigyelések kezdete óta a három legmagasabb értéket hordozza.
- Bizonyítékok széles körére alapozva, szélsőségesen valószínű (>95%), hogy a 20. század közepe óta az üvegházgázok mennyiségi növekedése a melegedés legfontosabb tényezője. Nincs a tudománynak ismerete olyan okról, ami az elmúlt évszázad során a megfigyelt változásokkal összhangban levő alternatívája lehetne az üvegházhatás erősödésének.
- A tengervíz szintje 18-20 cm-rel emelkedett 1900 óta, aminek csaknem a fele (7-8 cm) 1993 óta valósult meg. A teljes időszak változása nagyobb, mint amit az utóbbi legalább 2800 évben rekonstruálni lehetett. Az emiatt még kritikusabb ár-ápany jelenség már több mint 25 nagyvárost érint az észak-amerikai kontinensen.

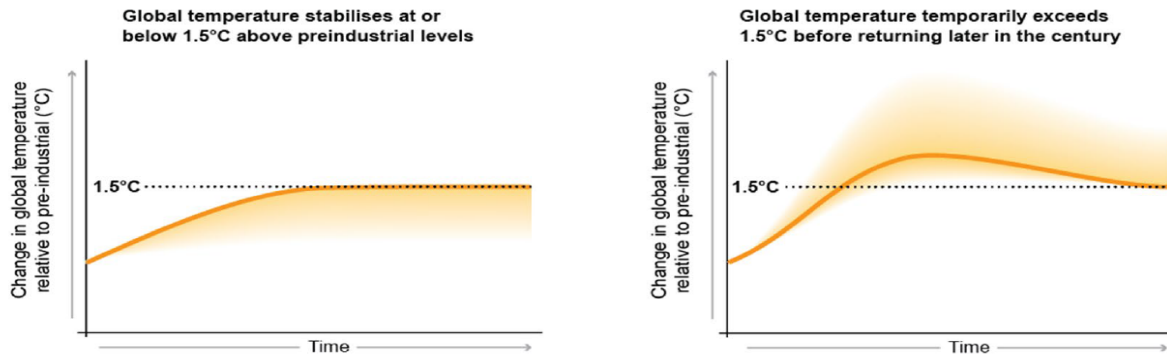
Hatalmas erdőtüzek pusztítottak az USA nyugati államaiban és Alaszkában 1980-tól kezdődően, súlyos károkat okozva az ökoszisztémában. A korábbra tolódó olvadás már ma hatással van a vízellátásra az Államok nyugati részén, s ezek a tendenciák a jövőben erősödni, fokozódni fognak. Az erősebb változásokat előre vetítő forgatókönyvekben jelentős vízhiányokra és hidrológiai aszályra kell számítani az USA-ban, már a 21. század vége előtt. Látható tehát, hogy az amerikai tudósok nem hátrálnak meg véleményeikkel a klímaváltozást is kétségbe vonó elnöki nyilatkozatok ellenére.

Az 1,5 K melegedés jelentése (IPCC SR15, 2018)

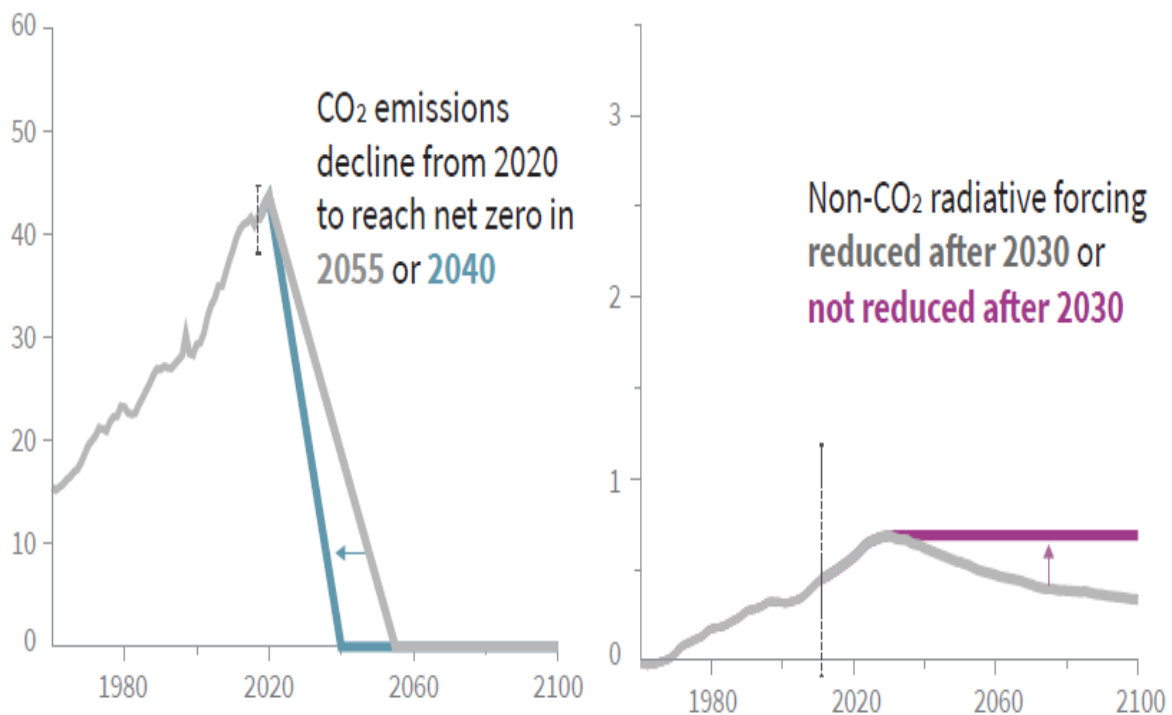
2018. október elején látott napvilágot az IPCC újabb Tematikus Jelentése, amely ezúttal azt vizsgálta, hogy milyen lenne az éghajlat, ha sikerülne 1,5 Celsius foknál megállítani, vagy oda visszakormányozni a felmelegedést (5. ábra), illetve mit kellene a világnak ehhez tennie a kibocsátások csökkentése terén. Megjegyezzük, hogy a feladat nehézségét önmagában az a tény is illusztrálja, hogy az ipari forradalom kezdete óta már nagyjából 1 Celsius fokkal emelkedett a Föld átlaghőmérséklete.

Mivel az óceánok és a bioszféra csak mintegy 30%-át tudják elnyelni a mai szén-dioxid kibocsátásnak, s ez az érték is csökken, ha kisebbé válik a kibocsátás, a koncentrációk stabilizálódását biztonsággal csak a nettó kibocsátás csökkentése esetén remélhetjük. Ennek szigorúbb és enyhébb változatát tárja elénk a 6. ábra bal oldala. Alig több mint 20 év enyhébb változatban 35 év múlva el kellene érnie ezt zéró kibocsátást.

A szén-dioxidtól különböző üvegházgázok esetében is ilyen drasztikus visszanyesésre számítanak a forgatókönyvek: 2030 után már nem nőhet e gázok együttes sugárzasmódosító hatása, sőt az optimistább változat 2030 után az e gázok hatásának csökkenésével számol.



5. ábra. A 1.5 fokos globális melegedés elérése túllövés nélkül (balra) és túllövés után visszatérve (jobbra).
(Forrás: IPCC SR15: FAQ2.1 Fig. 1)



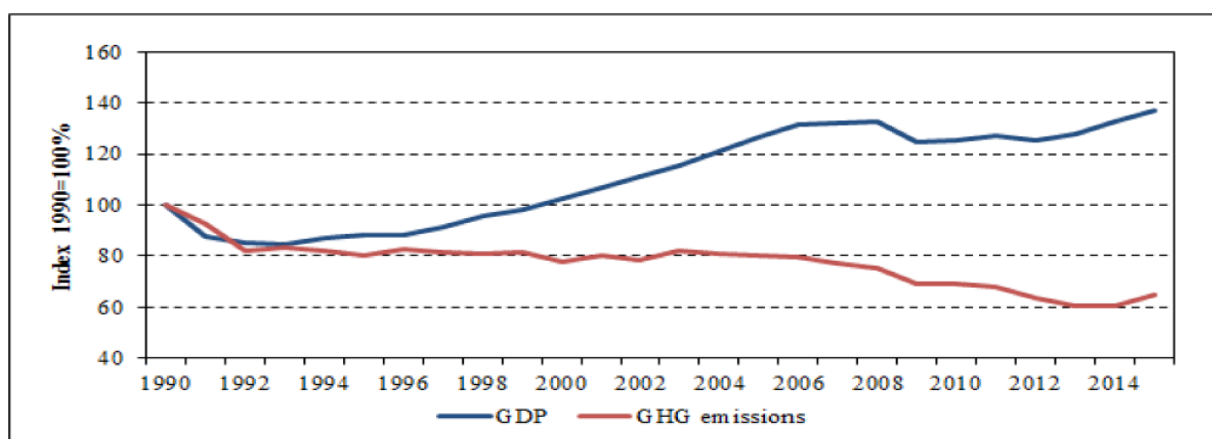
6. ábra. Az évi globális CO₂ kibocsátás eddigi alakulása (GtCO₂/év) és a nulla kibocsátás 2055-re illetve 2040-re történő eléréséhez szükséges radikális csökkentés (balra), továbbá a CO₂-tól különböző üvegházgázok okozta együttes sugárzási kényszer (Wm⁻²), 2030 utáni redukcióval és redukció nélkül. Minden változat alkalmas a 1,5 Celsius fokon stabilizálásra. (Forrás: IPCC SR15: SPM Fig. 1.b, 1.d)

Magyarországi tendenciák

A hazai üvegházgáz kibocsátás alakulása

Elsőként az ENSZ-nek benyújtott, 7. Nemzeti Jelentés (7th National Communication 2017) anyagából emelem ki a kibocsátás alakulását (7. ábra). Látható, hogy némi hullámszerűség mellett egyértelműen csökkent a kibocsátás az 1990-es évek óta. Az ábrán azt is látjuk, hogy a kibocsátás csökkenése úgy ment végbe, hogy eközben a gazdaság bővült, fejlődött.

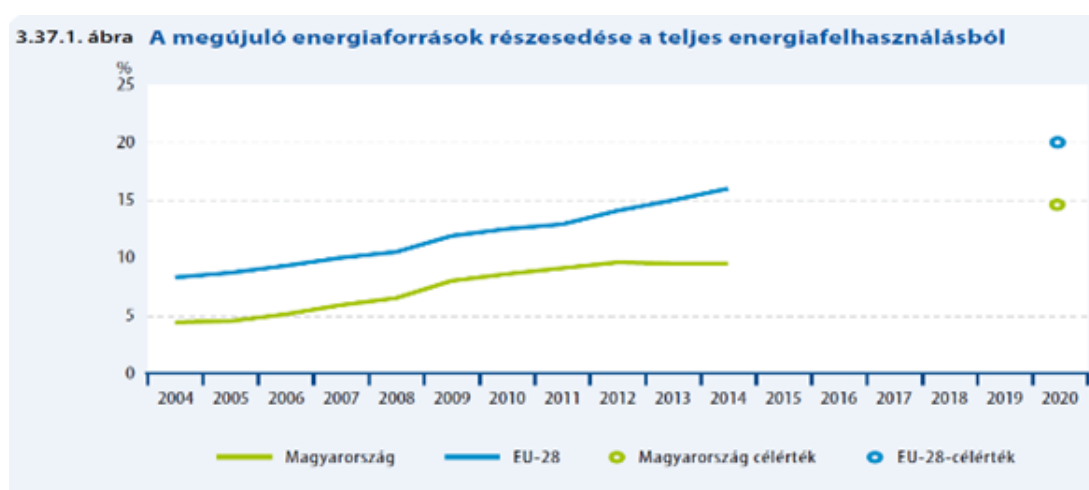
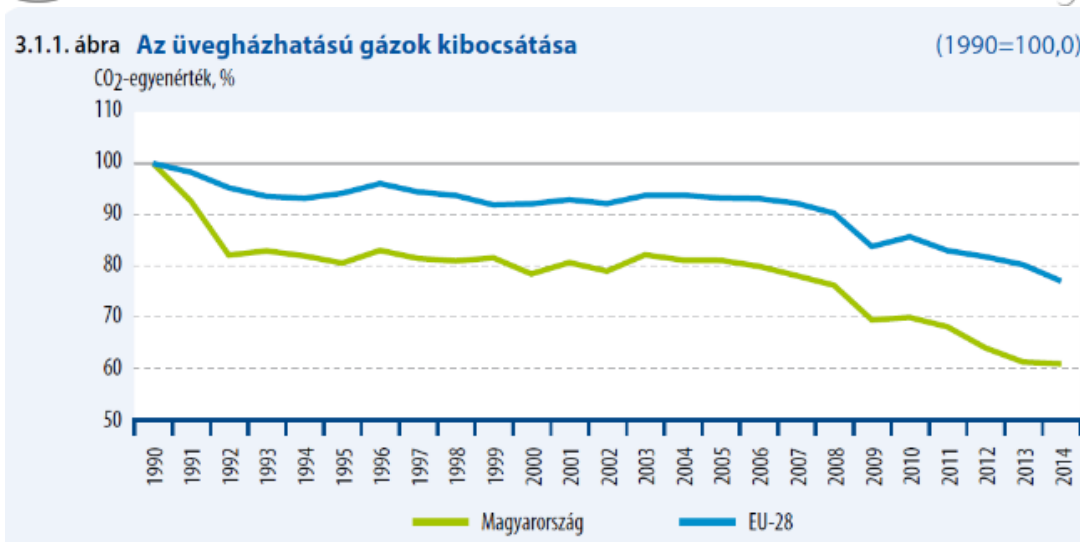
Annak az elvárásnak a sérülését, hogy ti. a gazdasági fejlődéssel romlania kell a környezetnek, amit tehát az üvegház-gázok is demonstrálnak, szétkapcsolásnak (de-coupling) nevezzük.



7. ábra. A nemzeti össztermék (GDP) és az üvegházgáz (GHG) kibocsátás szétválása Magyarországon 1990 és 2015 között, a nyitó évet 100%-nak véve. (Forrás: 7th National Communication, Hungary 2017: Fig. 3.1 és 3.2)

A hazai környezeti fenntarthatósági indikátorok (KSH 2017)

E pontban a hazai fenntartható fejlődési indikátorok (KSH, 2017) közül exponáljuk a hazai energiahasználat két aspektusát. Ezen indikátorok nem az ENSZ célok (SDG 2015) megfelelői, hanem a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégiában (NFFKs 2013) ajánlott mutatók. A 8. ábra bal felén a megújuló energiaforrások részarányát látjuk, amely az utóbbi néhány évben stagnál. A jobb oldali ábra viszont kedvező: A hazai üvegház-gáz kibocsátás tíz éve folyamatosan csökken, nem a termelés zsugorodása, hanem tudatos intézkedések okán.



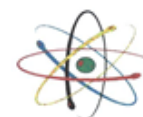
8. ábra. A hazai energiafelhasználás összetevőinek alakulás Magyarországon a 21. században (fent) és a megújuló energiaforrások részaránya (2004-2014) hazánkban és az EU28 átlagában (lent). (Forrás: KSH, 2017)

Konklúzió

Bár, a kibocsátás világméretű stagnálása, a Párizsi Megállapodás létrejötte, illetve korábban a globális átlaghőmérséklet átmeneti stagnálása reményeket ébresztett a tekintetben, hogy talán megkezdődött a melegedés lefékeződése, az utóbbi évek megfigyelt tendenciái és az átfogó, friss értékelések ismét arra utalnak, hogy az éghajlati rendszerben folytatódik a melegedés.

Felhasznált irodalom

1. 7th National Communication (2017): Hungary's Seventh National Communication and Third Biennial Report Ministry of National Development. 237 p.
2. EEA (2017): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. European Environment Agency, 419 pp.
3. Fyfe, J.C.; Meehl, G.A.; England, M.H.; Mann, M.E.; Santer, B.D.; Flato, G.M.; Hawkins, E.; Gillett, N.P.; Xie, Sh.-P.; Kosaka, Y.; Swart, N.C. (2016): Making sense of the early-2000s warming slowdown. Nature Climate Change. 6: 224–228. doi:10.1038/nclimate29
4. IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., et al. (eds.)]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK – New York, NY, USA, 1535 pp.



5. IPCC SR15 (2018) Global Warming of 1.5 °C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC Special Report October 6 2018, Geneva 1159 p.
6. Karl, Th.R.; Arguez, A.; Huang, B.; Lawrimore, J.H.; McMahon, J.R.; Menne, M.J.; Peterson, Th.C.; Vose, R.S.; Zhang, H-M. (2015): Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. *Science*. 348 (6242): 1469–1472. doi:10.1126/science.aaa5632
7. KSH (2017): A fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon, 2016. KSH, 235 o. (www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/fenntartfejl/fenntartfejl16.pdf)
8. Le Quéré, C. et al., plus 76 co-authors, (2017): Global Carbon Budget 2017, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, (<https://doi.org/10.5194/essd-2017-123>, in review, 2017)
9. NFFKs (2013): Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégia 2013. Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács, az *Országgyűlés 18/2013 (III. 28.) OGY* (<http://www.nfft.hu/szakmai-anyagok>)
10. SDG, 2015: United Nations Resolution A/RES/70/1 of 25 September 2015. (http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)
11. USGCRP (2017): Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., plus 5 co-eds.]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 2017, 470 pp. <https://science2017.globalchange.gov/>
12. Xin-Gang Dai, Ping Wang (2018): Identifying the early 2000s hiatus associated with internal climate variability. *Nature Scientific Reports* volume 8, Article number: 13602 (2018)
13. <http://www.climate4you.com/>
14. <https://www.earth-syst-sci-data-discuss.net/essd-2017-123/>