

A Természet Világa 2021. szeptemberi számában megjelent „140 év távlatából – A légköri szén-dioxid-szint változásai” címen megjelent cikk 2021. április 15-én benyújtott kézírata (152. kötet 9, szám, 391-396. oldal)

Dinamikus mintázatot elfedő globális monotónia. A légköri CO₂-szint: 140 évvel ezelőtt és most

Szarka László Csaba

geofizikus-mérnök, az MTA rendes tagja
Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet
szarka.laszlo@epss.hu

1958 előtt és után

Az ún. Keeling-görbe (a Hawaii-szigeteki Mauna Loa-i mérőállomáson 1958 óta egyazon módszerrel és folyamatosan mért CO₂-szint adatsora) éves hullámzásokat és évről-évre történő koncentráció-növekedést mutat. A hivatalos paradigma a monoton növekedést kb. 1800-ig terjeszti ki. A legelső (kb. 140 évvel ezelőtti) magyar kutatási eredmények inkább a kételkedőket erősítik.

A problémakör

A légköri szén-dioxid-koncentráció folyamatos mérése az 1957-58-as Nemzetközi Geofizikai Év keretében, az USA terveinek részeként valósult meg [1]. A Hawaii-szigeti Mauna Loa-i obszervatóriumban a Keeling-féle infravörös gázanalizátorral mért, ma globális jellemzőként tekintett adatsor mérése 1958 márciusában kezdődött el. (Az állomáslánc legelső megfigyelő állomása az Antarktiszon egy fél évvel korábban létesült.) Akkor 315 ppm körüli értékeket mértek, ma ugyanott kb. 100 ppm-mel nagyobb légköri CO₂-koncentrációérték adódik. Az évente tapasztalható hullámzás amplitúdója ± 5 ppm. Az azóta mért időszakot, az ún. Keeling-görbét mindenki ismeri, és tényként kezeli [2]. Kérdés, hogy az 1958 előtti levegőelemzések és különféle közvetett becslések (ún. „klíma-proxy-k”, mindenekelőtt jégfuratokból származó adatok) egyberajzolhatók-e a Keeling-görbével. A jelfeldolgozás követelményei szerint nem, mások szerint igen. Az Európai Környezeti Ügynökség [3] pl. 1800-ra 282,5 ppm, 1900-ra 295,8 ppm, 2000-re 368,92 ppm CO₂-koncentrációt ad meg. Meg kell tehát vizsgálnunk a tényeket: valóban az akkori CO₂-koncentrációt tükrözik-e a klíma-proxy-k, és hogy milyen konkrét levegőelemzési eredményeket kaptak a legutóbbi két évszázad során. A levegőelemzés nagyjából 150 éve tekinthető megbízhatónak. E cikkben kizárólag a 19. század végi eredményekbe pillantunk bele. [3] szerint 1880-ban a légköri CO₂-koncentráció kanonikus értéke 290,7 ppm. Vajon mit mutatnak az akkori magyar kutatások Európa különböző részeire vonatkozó konkrét eredményei?

Szénsav

Mészáros Ernő akadémikus „Mit tudunk a légköri szén-dioxidról száz évvel ezelőtt?” című, 1994-es tanulmányában [4] két 19. század végi publikációra támaszkodik: Sztérynyi Hugó főgimnáziumi tanárára [5] és Kosutány Tamás magyaróvári professzorára [6] (utóbbi az MTA tagja). Mészáros Ernő értékelése a következő: „Sztérynyi Hugó a folyóirat 1886. évfolyamában két részben *A levegő szénsaváról* címmel foglalja össze mindazt, amit a tudósok (elsősorban vegyészek és

higiénikusok) a légköri szén-dioxidról – régi szóhasználat szerint szénsavról – abban az időben tudtak. Meglepő, hogy milyen sokat! Bár a mérési eredmények vita tárgyát képezték, többé-kevésbé elfogadott tény volt, hogy a szén-dioxid koncentrációja valahol 3 L/10 000 L körül van, ami 0,0003-as keverési aránynak, azaz 0,03 térfogatszázaléknak felel meg. Ezt a helyes eredményt elsőnek Schultze rostocki tanár közölte 1868 és 1871 között végzett mintavételei alapján (Fodor József egyetemi tanár 1877-1879 közötti budapesti megfigyelései 3,89/10 000-es középértéket adtak). A vita érthető, hiszen a mérés eléggé bizonytalan módszerrel folyt. A kutatók (akkori kifejezéssel élve: "búvárok") a Pettenkofer-féle, 1858-ban javasolt, majd 1862-ben javított eljárást alkalmazták. Ennek lényege az volt, hogy meghatározott mennyiségű levegőt bárium- vagy kalcium-hidroxid ismert koncentrációjú oldatán szűrték át, a lúg és a szén-dioxid reakciójával keletkező csapadékot hagyták leülepedni, majd a visszamaradó hidroxidot normál oxálsavval titrálták. A szén-dioxidot tehát savként mutatták ki, ami indokolja a szénsav-elnevezést." Mészáros Ernő tehát a 19. századi CO₂-méréseket bizonytalanoknak tartja, és egyedül Schultze rostocki adatait (0,03 százalék, azaz 300 ppm) tekinti helyesnek (összhangban a közfelfogással), a Budapesten mért 386 ppm-et nem. Pedig a Mészáros Ernő által idézett Kosutány Tamás szerint „a levegő kémiai összetétele, miként ismeretes, 79 rész nitrogén, 21 rész oxigén és 0,03–0,04 rész szénsav s változó mennyiségű vízpára”. Ami nem kizárólag bizonytalanságot jelenthet. Arra is utalhat, hogy a 19. század végén jellemzően 300-400 ppm között ingadozó CO₂-koncentrációkat mértek. Ezt látszik alátámasztani a Fodor Józseftől kiragadott 386 ppm-es adat.

Mészáros Ernő írása felkeltette érdeklődésemet Fodor József eredményei iránt. Fodor József (1843-1901) orvosdoktor volt, a magyar közegészségügy kiemelkedő alakja. Komoly kutató: 1878-ban az MTA levelező tagjává, 1883-ban az MTA rendes tagjává választották. 1894-ben rektora lett a budapesti egyetemnek (a mai ELTE-nek, aminek - nem sokkal Fodor József előtt - Eötvös Loránd is volt rektora). 1901-ben Nobel-díjra terjesztették fel, mint ahogyan később Eötvös Lorándot is. Fodor József emlékét többek között budapesti és kaposvári szobor és közterület, szakközépiskola, megyei biológaverseny, kitüntetés, és a „Fodor József Országos Közegészségügyi Központ” őrzi.

A megértési nehézségek elkerülése, valamint az akkori és a mai eredmények összevethetősége érdekében két alapfogalommal feltétlenül tisztában kell lennünk. (1) A szén-dioxidot (CO₂) – amint Mészáros Ernő elmagyarázta – a 19. században szénsavnak nevezték. (2) A CO₂-koncentráció térfogatarányára használt mai ppm (parts per million, azaz egymilliomod rész) helyett tízezredrészt, ezredrészt vagy századrészt (százalékot) használtak, ahol 1/10000=0,1‰=0,01% =100 ppm.

Változások térben és időben

Fodor József 1880-ban, a Természettudományi Közlönyben megjelent írásának [7] jobb megértése érdekében a légköri „szénsav” minden egyes előfordulása mellé odaírtam emlékeztetőül, hogy „[CO₂]”, és a CO₂-koncentrációt az általa használt mértékegység mellett ppm-ben is feltüntettem. Táblázatát ennek megfelelően újraserkesztettem (1. táblázat).

„A szénsav [CO₂] a mi égádjunk alatt és abban a légrétegben, a melyben mozgunk, átlagban kevesebbet tesz ki mint 1/2 ezredrészét [500 ppm] a levegő térfogatának. Nevezetesen, a különböző észlelő helyeken átlagban a következő szénsav-mennyiségeket [CO₂] tapasztalták” – írja Fodor József. Az adatokat az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat

19. századi, levegőelemzéssel kapott CO₂-koncentrációmérési eredmények ezer térrészben és ppm-ben (ppmV). Forrás: [5]

Hol?	1000 térrészben	ppm
Párizsban (1877-1878- és 1879-ben)	0,349	349
Dieppeben	0,294	294

Glasgowban	0,366	366
Manchesterben	0,369	369
Londonban	0,349	349
Madridban	0,505	505
Rostokban	0,292	292
Limában	0,297	297
Dahneban	0,334	334
Taborban	0,343	343
Münchenben	0,376	376
Kolozsvárott	0,380	380
Budapesten (1877-, 1878- és 1879-ben)	0,389	389

„Ebből a néhány adatból is igen jól észrevehető a szén-savnak [CO₂] a rendes mennyisége, valamint az is, hogy a szén-sav [CO₂] egyáltalán több a szárazföld belsejében, mint a tenger közelében.

A folyton folytatott észlelések azonban még sok mást is kiderítettek a szén-sav [CO₂] magatartására vonatkozólag. Így kimutatták, hogy pl. Budapesten a szén-sav [CO₂] a legbősegebb őszi (0,404) [404 ppm], míg legkevesebb télen meg nyáron (0,383) [383 ppm].

Igen fontos az a tapasztalat is, hogy a szén-sav [CO₂] mennyisége az egyik napról a másikra folytonosan ingadozik; ezen ingadozása közben lesüllyed néha egész 0,200-ra [200 ppm], míg máskor ismét felemelkedik 0,600-ra [600 ppm] is.

Ez a hullámzása a szén-savnak [CO₂] a különböző esztendőekben igen egyenletlen; így igen erős volt Budapesten 1877-ben, s igen enyhe 1879-ben (Párisban hasonló észlelések). De ugyanazon esztendő különböző szakaszaiban szintén felette különböző a szén-sav [CO₂] ingadozása; télen igen csekély, őszi ellenben felette heves.

Napközben nem nyugszik a szén-savtartalom [CO₂]; reggeltől estig meglehetősen állandó ugyan, de este egyszerre jelentékenyen megszorodik; éjjel pedig egyáltalán több mint nappal.

Egynémely meteorológiai jelenség észrevehetőleg módosítja a szén-savat [CO₂], így eső közben fogy a mennyisége, míg eső után növekedik; kivált nyáron. A fagy növeli a szén-savat [CO₂], az olvadás csökkenti. A légsúly növekedése télen növeli, nyáron csökkenti a szén-savat [CO₂], míg a barométer süllyedése éppen ellenkező hatást gyakorol. A szelek befolyása felette szövevényes, és mégis, látni fogjuk, törvényszerű. Télen a szelek általában növelik a szén-savat [CO₂], nyáron csökkenti; míg másrészt a délről jövő szelek növelik, míg az éjszakeről jövők süllyesztik.

Miképen magyarázhatjuk meg a szén-sav-ingadozásnak [CO₂] e komplikált viszonyait?

Már Saussure megkísérelte a szén-sav [CO₂] ingadozásának okait kutatni, s egynémely természeti erőt fel is ismert, a mely az ingadozásra befoly; így igen helyesen gondolta, hogy a fagy alkalmával a szén-savnak [CO₂] szaporodását az okozhatja, hogy a fagyás a vizékből kihajtja az elnyelt szén-savat [CO₂].

Másrészt meg Schultze is eltalálta a valót, a mikor azt állította, hogy a tenger felől jövő szél alkalmával azért kevesebb a légköri szén-sav [CO₂], mert a tenger vize ezt elnyeli. Mindezzel és sok mással azonban még koránt sincs megadva a magyarázat arra, hogy miért ingadozik folytonosan, miért a fennebb vázolt törvényszerűséggel a szén-sav [CO₂] mennyisége. A szükséges magyarázatot oly vizsgálatok adták kezünkre, a melyeknél éveken keresztül párhuzamosan észlelték a levegőnek szén-savát [CO₂] a magasabb légkörben, ugyanannak a szén-savát [CO₂] közel a föld felszínéhez, és végre azt a szén-savat [CO₂], a mely a talaj belsejében, a talajlégben foglaltatik.

Kiderült, hogy a talaj felszínén majdnem mindenkor több volt a levegő szén-sava [CO₂], mint néhány méterrel magasabban; kitént az is, hogy a mint itt, a talaj felszínén, növekedett, vagy süllyedett a szén-sav [CO₂], éppen úgy a magasabb légrétegben is párhuzamosan ingadozott. Kétségtelen tehát, hogy a szabad légkör szén-savát [CO₂] az a szén-sav [CO₂] kormányozza, a mely a talaj felszínén elterülő légrétegben foglaltatik. ...

...A terjedelmes földségek belsejében a szén-savnak [CO₂] mennyisége azért több, mint a tengerek közelében, mert ott a sok százezer négyzet-kilométernyi területen a föld szén-savat [CO₂] produkál, míg a tenger csak elnyeli, de helyette újat nem készít. Őszi azért legtöbb a szén-sav [CO₂] a légkörben, mert ekkor legmelegebb, legrohadóbb a talaj.

Hogy folytonosan változik a légkör szén-sava [CO₂], annak az oka, hogy a talajból a gázoknak felemelkedése is folytonosan ingadozik; legnagyobb mérvű ez az ingadozás őszi: ilyenkor van a levegő

szén-savában $[CO_2]$ is a legnagyobb hullámzás. Eső közben az átmedvesedett föld nyeli el a légkör szén-savát $[CO_2]$, míg később a nedves földben új erővel indul meg a korhadás: most a légköri szén-sav $[CO_2]$ is szaporodik. Este és éjjel a szén-savnak $[CO_2]$ növekedését az okozza, hogy ilyenkor a napközben átmelegedő talaj belsejéből a meleg szén-savban $[CO_2]$ dús talajlég felemelkedik a szabadba, s itt eltölti az amúgy mozgástalan, súlyos esteli légréteget. A lég súlyának csökkenésénél, nyáron meg ősze, azért növekszik a szén-sav $[CO_2]$, mert a sülyedő barométer mellett kitágul a föld belsejében levő talajlég s felemelkedik a felszínre. Végre értelmezhető a szeleknek szövevényes befolyása is a levegő szén-savára $[CO_2]$. Télen a szelek rendszeren fagygyal járnak, s a fagyás kihajtja a vízekből, főleg pedig a talajból, a szabad szén-savat $[CO_2]$: innét ennek szaporodása a légkörben; nyáron a szelek szétszórják a földből kiemelkedő talajleget s szén-savát $[CO_2]$, azért mutat ez csökkenést szeles napokon, a csendes napokkal szemközt. Végre a déli irányú szelek, az ú. n. antipaszszát-szelek, forró, nedves tájakról érkeznek, a hol sokkal dúsabb a talaj növényi s állati hulladékokban, s a hol ezek bomlása is sokkal hevesebb: azért is gazdagabbak ezek szén-savban $[CO_2]$, mint az éjszakai tájakról fúvók.

A szén-sav $[CO_2]$ tehát nyáron, ősze némileg jellemzi a szelek uralkodó irányát; az antipaszszát uralkodásával magas szén-sav $[CO_2]$ mutatkozik, míg a paszszát áramlást az alacsony szén-sav $[CO_2]$ árulhatja el.

Ezek azon természeti törvények, a melyek a levegő szén-savának $[CO_2]$ módosítását kormányozzák; láthatjuk, hogy a levegő alkotása a föld felületén véghezmenő bomlási folyamatoktól függ. A levegő tehát, a mely városok s faluk, erdők s mezők felett elsöpör, nem jár ott közömbösen, tétlenül; annak élete van ott, s a levegő eme életének a szén-sav $[CO_2]$ a mutatója.”

Az a tudás, amit Fodor József a levegő szén-dioxidjáról 1880-ban közzétett [7], kincset ér. Igen meglepő, hogy nincs benne a köztudatban. Pedig megállapításainak zöme a rengeteg 21. századi adat ismeretében is helytálló. A CO_2 -cirkuláció dinamikusról az érdeklődők 1880-ban a mai általános ismeretterjesztést messze meghaladó szinten tájékozódhattak.

A változások okai

Fodor József a levegő szén-dioxidjával kapcsolatos addigi kutatási eredményeit 1881-ben, a Matematikai és Természettudományi Közleményekben (teljes nevén a Matematikai és Természettudományi Közlemények Vonatkozólag a Hazai Viszonyokra” címmel, Eötvös Loránd MTA-elnök által szerkesztett akadémiai folyóiratban) 60 oldalnyi terjedelemben foglalta össze [8]. Az összesen 500 oldalt meghaladó kétrészes (a levegőről, a vízről és a talajról szóló) tanulmány ismeretében bizton kijelenthető, hogy Fodor József a 19. századi természettudomány nemzetközileg elismert művelője volt.

Hihetetlen precizitással elemezte a levegőben mért CO_2 -koncentráció havi és évszaki, naponkénti, éjjeli-nappali, különböző viszonyok közötti: hegyeken, völgyekben, tenger s szárazföld felett, városokban s falun tapasztalt ingadozásait, és kimutatta az esőzés, a havazás, a köd, a fagyos idő és az olvadás, a légsúly (légnomás), a szelek, és a talaj szerepét.

Ezeket itt nincs mód részletezni. Empirikus adatai, objektív módszerei, racionális következtetései, nemzetközi összehasonlításokon alapuló eredményei kizárják, hogy az általa és külföldi kollégái által használt rendszeres levegőelemzési módszert sommásan „bizonytalanak” lehetne nevezni, és hogy az akkor született elemzési eredményeket negligálni lehetne. Ellenkezőleg: a 19. század végén feltárt törvényszerűségek igazolásait és cáfolatait jó lenne viszontlátani a klímaváltozás jobb megértését célzó mai tanulmányokban.

Dalton	0·680
Thenard (Párisban)	0·391
Th. Saussure (Genfben, stb.)	0·415
Boussingault (Párisban)	0 400
Léwy (Dél-Amerikában)	0·300—0·400
Gilm (Innsbruck)... ..	0·380—0·460
Smith (Manchesterben)... ..	0.369
« (Londonban)... ..	0.349
De Luna (Madrid)	0·505
Schultze (Rostock)	0·292
Truchot (Clermont-Férrand)... ..	0·378
Fodor (Kolozsvár)	0 380
Fittbogen és Hasselbarth (Dahne) ...	0·334
Claesson (Lund)	0 297
Farsky (Tabor)	0 343
Levy (Páris-Montsouris) 1877—9. ...	0·349
Reiset (Dieppe)... ..	0·294
Wolffhügel (München)... ..	0·376
? (Glasgow)	0·366
Fodor (Budapest)... ..	0·389

1. ábra:

Fodor József CO₂-koncentráció táblázata [6] tanulmányának 185. oldaláról, a szerzők és a mérési helyek feltüntetésével. Az általa kimutatott kolozsvári és budapesti CO₂-koncentráció 1200 körüli adatból származik. „Ha Dalton adatától el is tekintünk, mégis észrevehetjük, hogy a különböző helyeken végzett elemzések igen különböző eredményt adtak. Megjegyzem mindjárt, hogy az elemzések ez eltérő számai részben a módszerek különbözősége által is feltételezhetnek; mint ez fennebbi soraim alapján, a melyekben a különböző elemzési módszereket egybeazonosítottam, határozottsággal állítható. Nem vonható mindazáltal kétségbe, hogy az eredményekben mutatkozó eltérés mégis legnagyobb részét a szén-sav [CO₂] mennyiségének a különböző helyeken egyenlőtlen volta által okoztatik. S így észrevehetjük a fennebb közölt adatok összehasonlítása után, hogy a szén-sav [CO₂] kevesebb az észak felé eső, tengerhez közel fekvő tájakon, (Rostok, Lund, Dahne, Dieppe) míg több a délűbb, s a szárazföld belsejében fekvő helyeken (Madrid, Genf, In[n]sbruck, Budapest, Kolozsvár.) Persze az eddigi adatok még távol sem elégségesek arra, hogy azok alapján a légköri szén-sav [CO₂] elterjedésének törvényét, a különböző világtájakon pontosabban megalapíthatnák.” [6]

Antropogén és/vagy természeti eredet

Különösen figyelemre méltó Fodor József vélekedése az antropogén CO₂-kibocsátásról: „Az t hinnők első tekintetre, hogy a városok nagy számú gyárai, a sok lélegző ember és állat, jelentékenyen növelhetik a szén-savat [CO₂] a városok légkörében. A tapasztalás azonban azt mutatja, hogy a különbség nagy városok s a szabad környezet levegője között ez irányban nem nagy. Saussure összehasonlította például Genfnek és Chambeisy-nek légköri szén-savát [CO₂]; ott 0,468-at [468 ppm], itt 0,437-et [437 ppm] talált. Még tanulságosabb Boussingault adata [Ann. d. Chim. et de Phys., 1844. 456. 1.]. Lény társaságában azonos időben s azonos módszer segítségével vizsgálta a szén-savat [CO₂] Páris belsejében, s Andilly-ben; három elemzésből ott átlag 0,319-et [319 ppm] kapott, itt 0,299-et [299 ppm]. Ugyanily eredményre jöttek Smith, Boscoe Manchesterben, Londonban s egyebütt” [8].

Ma már a természeti és az antropogén eredetű emisszió és a természeti abszorpció globális mértékére is léteznek becslések. [9] alapján GtC mértékegységet használunk. 1 GtC egy gigatonna (azaz 10⁹ tonna) szenet tartalmazó szén-dioxid-tömeget jelent. A CO₂ molekulában lévő 1 szén atomból és 2 oxigén atomból következően „1 GtC” (12+16+16)/12 Gt =3,67 gigatonna CO₂-tömegnek felel meg.

A NASA/GLOBE Program friss adatai [9] szerint a természeti emisszió/abszorpció értékére – a vulkánokat nem számítva – szárazföldekre vonatkozóan évente 117 GtC/120 GtC, az óceánokra vonatkozóan pedig évente 90 GtC/92 GtC adódik. Összesen ez évente 207 GtC/212 GtC-t jelent. (Az emisszióhoz a vulkánok [7] szerint mindössze 0,1 GtC/év CO₂-emisszióval járulnak hozzá, ami meglepően kevésnek tűnik.) Ehhez jön az antropogén CO₂-emisszió, aminek nagysága az energiafelhasználásból meglehetősen jól kiszámítható: [7] szerint összesen 8,8 GtC/év emisszióról van szó. Az antropogén eredetű szén-dioxid jelenkori részesedése az emisszióban $8,8/(207+0,1+8,8)=0,04$ -re, azaz 4 százalékra becsülhető. A nettó emisszió [7] szerint $(207+0,1+8,8-212)$ GtC/év=3,81 GtC/év. A [9]-ből vett adatokat a 2. ábra szemlélteti. A természeti emisszióra és abszorpcióra vonatkozó hibahatárok nincsenek feltüntetve, de biztosra vehetjük, hogy nagyok; a vulkánok esetében hatalmasak. Egyedül az antropogén kibocsátás és a nettó emisszió vehető jól ismertnek. Az előbbi azért, mert jól mérhető (az energiafogyasztásból), az utóbbi pedig azért, mert a kb. 400 ppm-nyi CO₂-koncentráció jelenleg tapasztalt 2 ppm/év növekedéséhez a 750 GtC-nek megfelelő szén-dioxid-tömegű légkörben az összes emisszió és az összes abszorpció különbségének körülbelül ennyinek kell lennie. 1958 óta az átlagos növekedés 1,67 ppm. Az azonban, hogy a növekedés már két évszázad óta egyfolytában monoton, azaz hogy a természeti emisszióknak és abszorpcióknak nincsenek hullámmásai, nem állítható.

Emisszió-adatok



vulkáni tevékenységből, antropogén kibocsátásból, szárazföldekről és óceánokból

Abszorpció-adatok



szárazföldekre és ócánokba

hiány

Forrás: NASA/GLOBE Program (2019)

2. ábra

CO₂-kibocsátási (emisszió) és -elnyelési (abszorpció) adatok szemléltetése. Forrás: NASA/GLOBE Program (2019). Az abszorpció (212 GtC) és a természeti emisszió (207,1 GtC) nagyon bizonytalanul ismert

Hideg- és melegtengeri szél

Amint Fodor József rámutatott, az évről-évre emelkedő légköri CO₂-koncentrációnak egyéb okai is lehetnek. Ezt írja [8]: „Marie Davy a montsouris-i észleletén végezett szénsavelemzések alapján kimutatja a Comptes Eendus 1880. január 5-diki számában, hogy Párisban 1876–79-ben átlagban az északi, s északkeleti szeleknél alacsonyabb, míg a déli s délnyugoti szeleknél magasabb volt a szénsav-tartalom. 1876. óta évről-évre növekedik ez a szénsav-tartalom, a mi annak felel meg, hogy az ez idő alatt uralkodó - esőt s rossz terméseket okozó - északi s északkeleti légáramlás újabban kezd átcsapni déli s délnyugoti áramlásba, a mi szárazabb éveket s jobb termést enged remélni. Nem is kell mondanom, hogy ezek a párisi észlelések alapjokban

megegyeznek saját vizsgálataimmal, valamint hogy ezek a vizsgálatok a párisi észlelések megfejtésére is kezünkbe adják a kulcsot.”

Az, hogy hideg tengeri szelek kevesebb CO₂-t tartalmaznak, mint a meleg tengeri szelek, Henry törvényéből [10] közvetlenül is következik, hiszen a hideg vízben a szén-dioxid jobban elnyelődik. (A Budó-féle Kísérleti fizikában ez olvashatjuk: „a folyadékban oldott gáz telítési koncentrációja – a gáz oldhatósága – arányos a p nyomással (Henry törvénye, 1803), és növekvő hőmérséklettel csökken.” Mindjárt mellette találunk egy példát is, miszerint 1 atmoszféra nyomáson a CO₂-oldhatósága 0 °C hőmérsékletű vízben 1713 cm³/liter, 20 °C hőmérsékletű vízben pedig 878 cm³/liter.) A legújabb megfigyeléseket ([11], ahol 1 μmol/mol = 1 ppm) érdemes kielemezni a Fodor József és Budó Ágoston által leírtak ismeretében.

A mai adatokban rejelő több ellentmondás is magyarázatot kíván. Jól tudjuk, hogy a koronavírusjárvány miatt az antropogén kibocsátás 2019 óta csökken. 2020-ban éves szinten mintegy 8%-os, 2019 áprilisától 2020 áprilisáig pedig legalább 20%-os volt a csökkenés. A Mauna Loa-i CO₂-koncentráció 2019. április elején kb. 413 ppm volt, 2020-ban 415 ppm, 2021. április 1-jén pedig 417,02 ppm (3. ábra). A CO₂-koncentráció annak ellenére nő évente 2 ppm-et, hogy az antropogén kibocsátás 2020-ban (és 2021-ben első felében is) visszaesett a 2019. évi értékekhez képest.

Nyitott kérdések

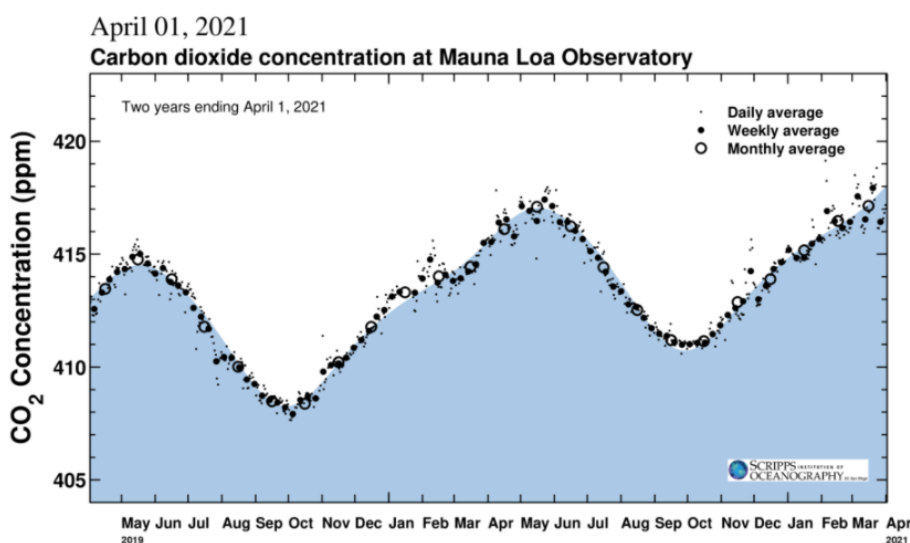
Egyetértek Mészáros Ernővel, hogy a légköri szén-dioxidról – régi szóhasználat szerint szénsavról – a 19. század végén meglepően sokat tudtak. A legmélyebb ismeretei Magyarországon minden bizonnyal Fodor Józsefnek voltak. Ő változatos lokális és regionális ingadozásokat és dinamikát látott, nekünk pedig ma globális monotonitást mutatnak. Nyilvánvaló ellentmondások sokasága kíván tisztázást. A lezártak hitt ügy: újranyitandó.

The Keeling Curve

HISTORY MEASUREMENT NOTES VIDEOS OTHER CLIMATE INDICATORS DOWNLOADS Q

Latest CO₂ reading: **417.02 ppm**

FULL RECORD ONE WEEK ONE MONTH SIX MONTHS ONE YEAR TWO YEARS 1700-PRESENT 10K YEARS 800K YEARS



3. ábra

A Keeling-görbe 2019. április 1. és 2021. április 1. között. Forrás: Scripps Institution of Oceanography, <https://keelingcurve.ucsd.edu/>

Irodalom

- [1] Fritz S (1958): U. S. Special Meteorological Studies for the IGY. In: Geophysics and the IGY. Proceedings of the Symposium at the Opening of the International Geophysical Year. (Eds Odishaw H and Ruttenberg S). Conducted by the United States National Committee for the International Geophysical Year. National Academy of Sciences. Washington, D. C. June 28-29, 1957. In: Geophysical Monograph Series (Managing Editor: Smith W E), American Geophysical Union of the National Academy of Sciences, National research Council, publication 590., pp 161-168.
- [2] Scripps Institution of Oceanography (2021): The Keeling Curve. <https://keelingcurve.ucsd.edu/>
- [3] Trends in atmospheric concentrations of CO₂ (ppm), CH₄ (ppb) and N₂O (ppb), between 1800 and 2017. [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/atmospheric-concentration-of-carbon-dioxide-5#tab-chart_5_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_polutant%22%3A%5B%22CH4%20\(ppb\)%22%5D%7D%7D](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/atmospheric-concentration-of-carbon-dioxide-5#tab-chart_5_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_polutant%22%3A%5B%22CH4%20(ppb)%22%5D%7D%7D)
- [4] Mészáros Ernő (1994): Mit tudunk a légköri széndioxidról száz évvel ezelőtt? (Természet világa, 125/5, 6-7. <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/korny/meszaros.html>
- [5] Sztérényi Hugó (1886): VIII. A levegő szén-saváról. Természettudományi Közlöny. XVIII/199, 105-115. http://epa.niif.hu/02100/02181/00199/pdf/EPA02181_Termeszettudomanyi_kozlony_1886_105-144.pdf
- [6] Kosutány Tamás (1888): A szén körútja a természetben. Természettudományi Közlöny. XX/222, 41-55. http://epa.niif.hu/02100/02181/00222/pdf/EPA02181_Termeszettudomanyi_kozlony_1888_041-055.pdf
- [7] Fodor József (1880): A levegőről. Természettudományi közlöny 12/135, 409-421. https://epa.oszk.hu/02100/02181/00135/pdf/EPA02181_Termeszettudomanyi_kozlony_1880_409-421.pdf
- [8] Fodor József (1881): Egészségtani kutatások a levegőt, talajt és vizet illetőleg. I. rész: A levegőről. 1. fejezet: A légkör szén-sava. Magyar Tudományos Akadémia Matematikai és Természettudományi Közlemények. Vonatkozólag a Hazai Viszonyokra. (Szerkesztő: Eötvös Loránd) XVI. kötet, 167-228. http://real-j.mtak.hu/4493/1/MatematikaiTermTudKozlomenyek_16.pdf Teljes mű: Fodor József: Egészségtani kutatások a levegőt, talajt és vizet illetőleg. I–II. Matematikai és természettudományi közlemények vonatkozólag a hazai viszonyokra. 16 (1881), 1, 151–304, 3 tábla; 17 (1881), 1, 113–479, 10 tábla
- [9] NASA/GLOBE Program (2019): Global Carbon Cycle. Published: July 8, 2019. <https://airs.jpl.nasa.gov/resources/155/global-carbon-cycle/>
- [10] Budó Á (1981): Kísérleti Fizika I. 147.§. Tankönyvkiadó, Budapest
- [11] ICOS (2020): ICOS Near Real-Time (Level 1) Atmospheric Greenhouse Gas Mole Fractions of CO₂, CO and CH₄, growing time series starting from latest Level 2 release. https://www.icos-cp.eu/data-products/ATM_NRT_CO2_CH4