

Gondolatok a globális hőmérsékletről

Reményi Károly

remenyi@energia.bme.hu

Jelen cikk nem foglalkozik magával a klímaváltozással, csupán a szén-dioxid szerepével és a globális hőmérséklet értelmezésével, továbbá a mérési lehetőségekkel, és az eredmények alkalmazhatóságát tekinti át. A nem egyensúlyi mezők hőmérsékletének egyszerű átlaga nem értelmezhető hőmérsékletként. A Föld nem egyensúlyi mezői nincsenek termodinamikai egyensúlyban, tehát hőmérsékleteiknek átlaga nem ad reprezentáns (globális) hőmérséklet értéket. Mivel egy egyensúlyi rendszer csak intenzív állapotjelzőkkel nem jellemezhető, szükséges legalább egy olyan állapotjelző, amely megadja a rendszer „kiterjedését”, ez az állapotjelző azonban csak extenzív lehet.

*

This article does not deal with the global climate change, only deals with the role of CO₂ and with the explanation of the global average temperature. Moreover the possibilities of the measurement techniques and the applicability of the measurement results are treated. The simplified average of the temperatures of the non-equilibrium fields cannot be regarded as the average temperature. Since the non-equilibrium fields of the Earth are not in steady state by means of thermodynamics the simple temperature average does not mean a representative (global) temperature value. Since a certain thermodynamic system cannot be characterized only by intensive properties at least one such properties is needed which describes the measure of the system. That property should be an extensive one only.

A nem egyensúlyi mezők hőmérsékletének egyszerű átlaga nem értelmezhető hőmérsékletként. A Föld nem egyensúlyi mezői nincsenek termodinamikai egyensúlyban, tehát hőmérsékleteiknek átlaga nem ad reprezentáns (globális) hőmérséklet értéket. Egy egyensúlyi rendszer esetében értelmezhető n számú intenzív állapotjelző nem mind független egymástól, tehát egy rendszer pusztán intenzív állapotjelzőkkel nem jellemezhető. Az intenzív állapotjelzők nem utalnak a rendszer kiterjedésére, tehát szükséges legalább egy olyan állapotjelző, amely megadja a rendszer nagyságát, ez az állapotjelző azonban csak extenzív lehet. A földi globális hőmérséklet értékkel kapcsolatos elméleti problémák mellett a definícióval és a mérésekkel is súlyos problémák adódnak. A megértésükhöz meg kell ismerni, hogy milyen feltételek, módszerek és mérőeszközök állnak rendelkezésre. A levegőhőmérsékletet nem a termodinamikai definíciója szerint mérjük, hanem a műszeralapú proxik szerint pl. elektromos jel, hosszúság stb, vagy természetes proxik szerint pl. fa-évgyűrűk, rétegzotópok stb.

Van-e fizikai jelentése a Föld globálisnak nevezett hőmérsékletének?

A jelenlegi társadalmi problémák között előkelő helyet foglal el a globális felmelegedés, illetve a globális hőmérséklet kérdése. Sajnos a témához különösen erős médiatévékenység kapcsolódik, és igen nagy gazdasági érdekeket mozgat meg, ami a világ technikai fejlődésre is nagy hatással van. Elsősorban a légköri szén-dioxid szerepét erősen eltúlozva, csökkentésével a Föld klímájának be-

folyásolhatóságát hangsúlyozzák. Nem foglalkozom magával a klímaváltozással, csupán a szén-dioxid szerepével és a globális hőmérséklet értelmezésével, továbbá a mérési lehetőségekkel, és az eredmények alkalmazhatóságát tekintem át.

Maga a Föld közel sem egy homogén objektum, hanem számtalan fizikai és biológiai alrendszer halmaza, amelyekben számtalan folyamat zajlik, amelyeket fizikai- kémiai és biológiai paraméterek befolyásolnak.

Egy rendszer olyan jelenségekből vagy objektumokból áll, amelyek kölcsönhatásban vannak egymással és kölcsönös összefüggések kapcsolnak össze Szakonyi, 2002 [1]. A rendszeren belül lejátszódó folyamatok térbeli és/vagy időbeli jelenségek. Talán érdemes a rendszerrel kapcsolatban néhány gondolatot a Érdi, 1982 [2] cikkből kivéve idézni.

„A legkülönbözőbb tudományterületeken működő, de történetesen közgazdaságtani Nobel-díjas Herbert Simon megfogalmazásával: „hierarchikus rendszeren vagy hierarchián olyan rendszert értünk, amelyik egymással kölcsönösen kapcsolatban álló részrendszerekből áll, és az utóbbiak ugyancsak hierarchikus struktúrájuk egészen addig, amíg el nem érünk az elemi részrendszerek legalacsonyabb szintjére...”.

„A termodinamika tárgyköre mindig is tág határok között mozgott: „...Ez (probléma),... hogy hogyan vegye az átlagát ezeknek a nagyon eltérő jelenségeknek. ...”.

„A termodinamika különösen a bonyolult struktúrájú összetett rendszerek leírására nem volt alkalmas. Az is igaz, hogy az ilyen rendszerek viselkedését mégiscsak korlátozzák a termodinamika törvényei. Újabban komoly kísérleteket tesznek arra, hogy a nem-egyensúlyi termodinamika fogalmaitalkalmazzák.”

„Sokszor csak a folyamat végállapota érdekel bennünket, és nem törődünk a rendszer mozgásával. Bizonyos rendszerek teljesen szabálytalanul, „kaotikusan” viselkednek; a kezdeti feltételek egészen kis megváltozása azt eredményezi, hogy a rendszer viselkedése teljesen megváltozik. Lorenz szerint kaotikus viselkedésre vezetnek az időjárást leíró aerodinamikai egyenletek, így az időjárás hosszú, sőt középtávú jóslása elvileg lehetetlen. Tudománytörténeti érdekesség, hogy Lorenz egy meglehetősen speciális szakfolyóiratban (Journal of Atmospheric Science) publikálta dolgozatát, amelyet csak egy évtizeddel megjelenése után fedezett fel a tudományos közvélemény.”

„A klasszikus termodinamika alapösszefüggéseit makroszkopikusan homogén testekre dolgozták ki. Egy összetett termodinamikai rendszer ilyen alrendszerekből tehető össze.

„Az intenzív mennyiségek a tér egy pontjához rendelnek számot. Ilyen mennyiség például a hőmérséklet, a nyomás, a kémiai potenciál.”

„Az egyensúlyi állapot – a tökéletes rendezetlenség világa – az entrópia maximumával jellemezhető. Az izolált termodinamikai rendszerek összekapcsolásával, azok hálózatban való elrendezésével az egyes termodinamikai rendszerekben rendezett folyamatok állíthatók elő. Az egész rendszer szempontjából: a hálózat egyes elemei termodinamikailag nyílt rendszerek, azaz olyanok, amelyek képesek környezetükkel anyagot/energiát cserélni. Ha a

„külvilág” tartalékai elegendően nagyok, a rendszer nem-egyensúlyi stacionárius állapotba kerül. Ez sokszor stabil, néha nem. Utóbbi esetben időbeli és térbeli struktúrák léphetnek fel a rendszerben.”

A bevezető irodalmi gondolatok után elemezzük a légkör és a kapcsolódó rendszerek együttesének legjellemzőbb paraméterévé előlépett hőmérséklet mérésével és használatával jelentkező problémákat. Az állapotjellemzők termodinamikailag extenzív és intenzív jellemzők. Az extenzív állapotjellemzők általában valamilyen méretet, mennyiséget stb. jellemeznek. Az extenzív jellemzőkre - többnyire - megmaradási törvények érvényesek és összeadhatók. Az intenzív jellemzők valamilyen hatás mértékét fejezik ki. E hatások az intenzív jellemző különbségekkel arányosak. Az intenzitás-jellemző a tér egy meghatározott pontjára értelmezhető. Ha egy térben az intenzív jellemző eloszlása inhomogén, az intenzitás különbségek hatására extenzív áramok indulnak meg olyan irányban, hogy a különbségek megszűnjenek. A rendszer egyensúly felé törekszik. A hőmérsékletkülönbség hőáramot indít. Összetartozó extenzív-intenzív jellemző párok is vannak, amelyeknek a szorzata energia jellegű mennyiség: A hőmennyiség, a hőmérsékletkülönbség, mint intenzitás-jellemző hatására áramló extenzív jelenség. A hő nem energia, hanem az energia megváltoztatását jellemzi, hő-áram formájában jelenik meg, a munkához hasonló. Hőáramlási jelenségek leírására extenzív jellemző az S entrópia. Az entrópia értéke a folyamatban megváltozik. Az intenzív fizikai jellemzők nem összegezhethők az elemi rendszerek szerinti módon. A hőmérséklet és a nyomás intenzív fizikai jellemzők.

Ha egy intenzív fizikai mennyiségnek a rendszeren belüli eloszlása nem homogén, mint említettük, akkor a rendszeren belül spontán olyan folyamat indul meg, amely az adott fizikai mennyiség kiegyenlítődéhez vezet. A folyamatok dinamikáját a különböző paraméterek és más-más törvények határozzák meg. A paraméterek között a hőmérséklet és a környezet (pl. a levegő összetétele) kiemelt szerepet játszanak. Ez azt jelenti, hogy egyensúlyi esetre a globális átlagolást, a folyamatoknak és a tömegarányoknak megfelelő súlyozással kellene elvégezni.

A hőmérsékletátlagolás lehetőségei

A szárazföldön, a mérési hely régiójának megfelelően az átlagolást a hő-konvekciós szerepnél egyszerűen lineárisan átlagolva, a sugárzáshoz a negyedik hatvány szerint, a kémiai folyamatok összehasonlításához exponenciálisan, növények fotoszintéziséhez a széndioxid és a hőmérséklet szoros kapcsolatában stb. kellene átlagolni.

A vízfelületknél a hővezetéshez és a konvekciós hőcseréhez lineárisan, a sugárzáshoz negyedik hatvány szerint, a párolgáshoz a felületi feszültség szerint, a fagyáshoz a halmazállapot-váltási függvény szerint, esetleg az algásodási törvény szerint stb. Az átlagolási igényekre példák Christopher Essex et al 2006 [3]:

$$A_{R-1}(T_1, T_2) =$$

$$A_{R1}(T_1, T_2) = \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right)$$

$$A_{R2}(T_1, T_2) = \left(\frac{T_1^2 + T_2^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$A_{R4}(T_1, T_2) = \left(\frac{T_1^4 + T_2^4}{2} \right)^{\frac{1}{4}}$$

A képletek két különböző hőmérsékletű, független rendszer átlagolásának négyfajta lehetőségét mutatja a lezajló folyamatok igényének megfelelően.

R-1 Harmonikus átlag pl., párhuzamosan kapcsolt ellenállások esetére.

R1 egyszerű átlag pl., a Newtoni hőcserére

R2 a négyzetes átlag pl., a kinetikai energetikával kapcsolatosan jöhet szóba

R4 pl., a fekete testek, sugárzásos feladatoknál

A nem egyensúlyi mezők hőmérsékletének egyszerű átlaga nem értelmezhető hőmérsékletként. A Föld nem egyensúlyi mezői nincsenek termodinamikai egyensúlyban, tehát hőmérsékleteiknek átlaga nem ad reprezentáns (globális) hőmérséklet értéket. Az ISO próbálkozott valamilyen megfelelő módszert találni, sikertelenül. A probléma az, hogy a lehetséges matematikai módszerek között nem található olyan, amely fizikailag egyenértékű, méréssel alátámasztható, megfelelő tulajdonságot jellemezne.

- egy térben mért egyedi hőmérsékletek összegének átlaga nem hőmérséklet,
- a hőmérsékletmező globális térbeli átlaga nem jellemzője a helyi viszonyoknak,
- a hőmérsékletmezőre különböző térbeli átlagolási szabályt alkalmazva időben akár ellentétes trend is létrejöhet,
- nem található olyan statisztikai módszer, amely a globális klímára jellemző értéket tudna számítani.

Az extenzív mennyiségek összege és átlaga fizikailag értelmes adatot szolgáltat, míg az intenzív adatok összege értelmetlen. Ha értelmetlen adattal valamilyen műveletet végzünk, pl. osztást, az eredmény is általában fizikailag értelmezhetetlen lesz. Ha különböző súlyú és számú csomag súlyát összegezzük, a rendszer összsúlyát kapjuk meg, ha elosztjuk a csomagok számával, meghatározhatjuk az átlagos csomag súlyát. Ez a szám statisztikailag értelmes, és egy tartományon belül változott körülmények között hasznos érték lehet az összes teher kiszámításához. Ellenben, ha több különböző hőmérsékletű csomag hőmérséklet értékeit összegezzük, fizikailag értelmetlen értéket kapunk. Ha az összeget elosztjuk a csomagok számával, a kapott érték fizikailag semmire nem használható. Kapcsolatban lévő csomagok esetén hőmérséklet kiegyenlítő hő-áram indul meg, és létrejön egy egyensúlyi hőmérséklet. Ez nem lesz azonos az átlagolással kapott hőmérséklettel. Az átlagolással ugyanazt az értéket több hőmérséklet változattal is elő lehet állítani, de az egyensúlyi értéktől különbözőek lesznek.

Több, kapcsolatba került rendszerrel, különböző intenzív jellemzők esetén, kiegyenlítődési folyamat indul meg. Például két különböző hőmérsékletű rendszer egyesülésekor a folyamat végén egyensúly áll be. Az egyensúlyi hőmérséklet számításához a tömegarányokat, illetve mól-arányokat kell ismerni. Egy rendszerre intenzív paraméter átlagát számolni még homogén rendszerben is értelmetlen, és egyensúlyi esetben pedig a rendszer minden pontjában az értéke azonos. Az egyszerűség kedvéért két egyenlő tömegű, homogén rendszerből létrejövő új rendszer egyensúlyi állapotát vizsgáljuk. A hőmérsékletek: T_1 és T_2 , tömegük megegyezik 1, tehát a tömegarány, $w = \frac{1}{2}$.

Az egyensúlyi hőmérséklet: $T = wT_1 + (1-w)T_2$

Ha: $T_1 = 15^\circ\text{C}$, $T_2 = 15^\circ\text{C}$, akkor: $T = 1/2 \cdot 15 + (1 - 1/2) \cdot 15 = 15^\circ\text{C}$

$T_1 = 10^\circ\text{C}$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$, akkor: $T = 1/2 \cdot 10 + (1 - 1/2) \cdot 20 = 15^\circ\text{C}$

$T_1 = -2^\circ\text{C}$, $T_2 = 32^\circ\text{C}$, akkor: $T = 1/2 \cdot (-2) + (1 - 1/2) \cdot 32 = 15^\circ\text{C}$

A példából látható, hogy több, különböző jellemzős rendszerből ugyanazon állapotú új rendszer jöhet létre. Következésképpen az egyensúlyi rendszer intenzív jellemzőiből az egyensúlyhoz vezet, megelőző folyamatokra semmi információval nem rendelkezünk. A további változásokhoz szintén nem kapunk információt.

Egyszerű példaként nézzük meg a sugárzási viszonyok elemzése szempontjából mit jelent a különböző hőmérsékletű elemeknek különböző átlagolási módszer szerinti átlag hőmérséklet kiszámítása. Vegyünk két azonos területű, egyébként a hőmérsékleten kívül mindenben azonos tulajdonsággal rendelkező elemet. Legyen az egyik elem hőmérséklete $T_1 = 280$ K, a másiké $T_2 = 300$ K. A lesugárzott hőmennyiség a hőmérséklet negyedik hatványával arányos: $Q \sim T^4$.

Lineáris súlyozás esetén az átlaghőmérséklet:

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{280 + 300}{2} = 290 \text{ K}$$

A negyedik hatvány szerinti súlyozáskor a két rendszer együttes lesugárzásának megfelelő „átlaghőmérséklet”:

$$T = \sqrt[4]{\frac{T_1^4 + T_2^4}{2}} = \sqrt[4]{\frac{280^4 + 300^4}{2}} = \sqrt[4]{\frac{1425 \cdot 10^6}{2}} = 290,5 \text{ K}$$

A hőmérsékletkülönbség a két átlagolás között 0,5K, ami közel megegyezik például egy évszázad alatt számított szén-dioxidkoncentráció növekedés miatti hőmérsékletemelkedéssel.

Az átlagolások eltérése miatt a lesugárzás számítások közötti különbség:

$$\Delta Q \sim (142,5 - 141,5) \cdot 10^8 = 1 \cdot 10^8.$$

Egy adott rendszer hőmérsékletét a rendszer entrópia szerinti parciális differenciálhányadosával értelmezzük: $T = \partial U / \partial S$.

Az intenzív változókat az adott tér megfelelő állapotfüggvényei határozzák meg. Fontosak a tér állapot helyi tulajdonságai és a rendszer skálájának a függetlensége. Különböző rendszerek kombinációjából létrehozott új rendszere a részrendszerek hőmérsékleteinek összegezéséből képezett átlaggal nem lehet fizikailag értelmezhető hőmérsékletértéket képezni. Két rendszert egyesítve, az intenzív értékek nem adhatók össze, hanem az új rendszerre számítható átlagot, az értékeknek, az adott sajátság figyelembevételével elvégzett megfelelő súlyozásával kapjuk meg.

A hőmérséklet (T) intenzív jellemző, állapothatározó.

- A termikus kölcsönhatásnál T intenzív, S extenzív jellemző.

A hőmérséklet a közeg molekuláinak energiáját fejezi ki:

$$\frac{m_0 \bar{v}^2}{3} = \frac{R_0}{A} T = kT$$

- m_0 egy molekula tömege,
- \bar{v}^2 a molekulák sebességnégyzetének átlaga,
- $R_0 = 8,31$ J/molK,
- $A = 6,022 \cdot 10^{23}$ (Avogadro-szám),
- $k = R_0 / A = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K (Boltzmann-állandó).

A termodinamikai átlaghőmérséklet (termikus-mechanikai energia átalakítások vizsgálatánál) energiaátalakításoknál általában $T = \text{változó}$, de $p = \text{const}$ (izobar hő-közlés/hőelvonás

$$\Delta Q = \bar{T} \Delta S$$

$$\bar{T} = \frac{\Delta Q}{\Delta S} = \frac{\int_a^b T dS}{\int_a^b dS}$$

A hőhordozó közeg, a hő-átadó felület hőmérséklete a hő-közlés/hőelvonás és a hő-transzport során változik, ezért a logaritmikus vagy transzport átlag-hőmérsékletkülönbség (hő-átvitelnél):

$$\Delta \dot{Q} = \Delta \dot{Q}_a = \Delta \dot{Q}_b = kF \Delta T_{\text{ln}}$$

$$\Delta T_{\text{ln}} = \frac{\Delta T_n - \Delta T_k}{\ln \frac{\Delta T_n}{\Delta T_k}}$$

A Föld történelmében melegedési, vagy lehülési szakaszokról lehet beszélni, de egy globális hőmérséklet érték általában az egyes időszakokhoz nem rendelhető.

Hőmérséklet mérési módszerek és az adatok értékelése

A földi globális hőmérséklet értékkel kapcsolatos elméleti problémák mellett a definícióval és a mérésekkel is súlyos problémák adódnak. A megértésükhöz meg kell ismerni, hogy milyen feltételek, módszerek és mérőeszközök állnak rendelkezésre és mire lenne szükség. A légkörről információt szerezhetünk szabad-szemmel végzett észleléssel, helyben végzett közvetlen mérésekkel, vagy távérzékeléssel alapuló közvetett módszerekkel.

A hőmérsékletmérések feldolgozásánál azt is tekintetbe kell venni, hogy a nyers adatok származtatott mennyiségek, tehát koordináta transzformációkra is szükség van. A levegőhőmérsékletet nem a termodinamikai definíciója szerint mérjük, hanem a műszer-alapú proxy szerint pl. elektromos jel, hosszúság stb., vagy természetes proxyk szerint pl. fa-évgűrűk, rétegitatópok stb.

A légköri állapothatározók (léghőmérséklet, szélesség, stb.) értéke legpontosabban az adott pontban közvetlen módszerrel mérhető. Ez történhet a felszín közelében és a magasabb légkörben is. Ekkor a mérés során a műszer érzékelője közvetlenül érintkezik a mérendő közeggel.

Kevésbé pontos a közvetett, vagy távérzékelési módszer. Előnye, hogy a légkör tetszőleges pontjáról, akár folyamatosan szolgáltat adatokat. A távérzékelés lehet aktív, vagy passzív. Aktív esetben az érzékelő kapcsolatban van a mérendő közeggel, a vizsgált közegre jellemző információt szolgáltat, a passzív távérzékeléskor a műszer csak fogadja a vizsgált tartományból érkező jeleket.

A Föld történetében magában a föld-testben, és az azt körülvevő környezetben is jelentős változások voltak és vannak. Különböző kutatási módszerekkel szerzett információkkal a Föld élehetőségére is próbálunk jellemzőket - pl. a hőmérséklet- keresni. Ez inkább csak a körülmények változására, mint tényleges értéként használható.

Leginkább Major Gy. megállapításai reálisak: „Mennél messzebb megyünk vissza az időben, ismereteink annál bizonytalanabbak.

E szerint a 3 millió és 700 000 évvel ezelőtti időszakban a hőmérséklet lassan csökkent, miközben a csökkenésre ráakadt egy eléggé stabil, 41 000 éves periódusú hullámmás. Az utóbbi néhány százézer évben kb. 100 000 éves periodicitás is tapasztalható. A lehülés 90 000 év alatt, sok lépcsőben ment végbe, a felmelegedés pedig mindössze 10 000 év alatt, párhuzamosan a szén-dioxid és a metán koncentrációjának változásával. Megismételjük: ez nem azt

bizonyítja, hogy az üvegházhatású gázok koncentrációjának változása okozta a hőmérséklet változását, ez fordítva is lehetett, ugyanis a szerves anyagok bomlásának üteme hőmérsékletfüggő, tehát a hőmérséklet változása is lehet oka a metán és szén-dioxid légköri koncentrációja változásának. Az azonban mérési eredmény, hogy a hőmérséklet és a légkör üvegházhatása együtt változott” Major 2010 [4].

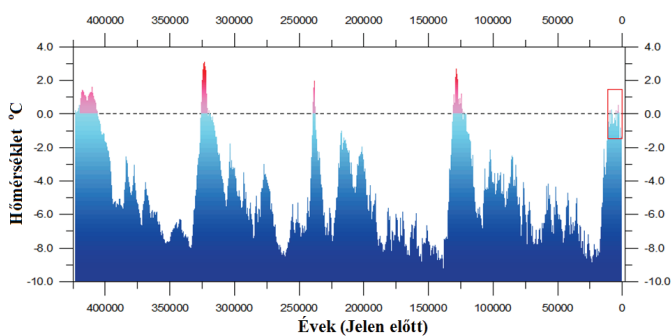
A Föld éghajlatváltozásai időtartamuk szerint négy csoportba sorolhatók és ennek megfelelően változnak a hőmérséklet értékek megállapítására vonatkozó lehetőségeink is. A ma felismerhető leghosszabb időtartamú változások, a meleg és hideg klímazakaszok

106–108 éves váltakozások következményei viszonylag jól ismertek, kiváltó okai azonban ismeretlenek.

A közepes időtartamú (10^4 – 10^5 év) változások egyértelműen periodikusnak bizonyultak, és jól egyeztetethetők a Föld pályaelemeinek (precesszió, tengelyferdeség, excentricitás) a változásaival. A rövid időtartamú (1 – 10^3 év), periodikus változások hatásai üledék-képződésekkel jól kimutathatók, de az okok csak valószínűsítők.

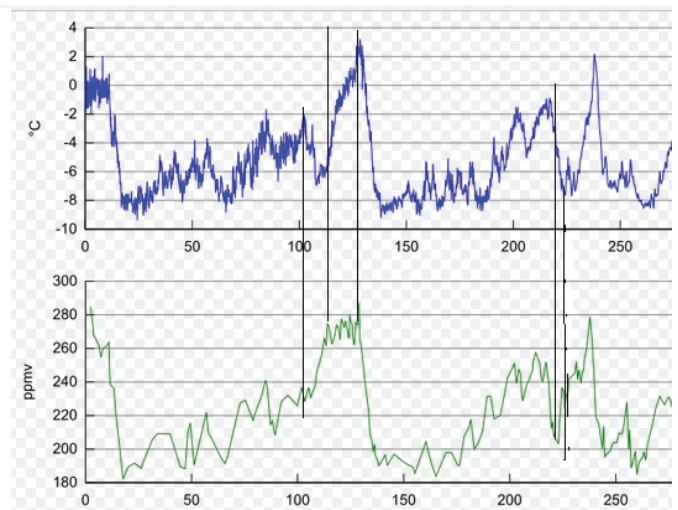
Jelenleg egy hűlési klímazakaszon belül egy interglaciális késői szakaszban vagyunk. A legutóbbi glaciális minimum átlaghőmérséklet $4,5$ °C-kal volt kisebb, míg a legnagyobb holocén átlaghőmérséklet 2 °C-kal volt nagyobb a jelenleginél. A természetes tendenciának a lehűlés látszik. Az Antarktison kutató Vostok jégfuratai alapján az elmúlt 420 000 évre a négy glaciálisra és az öt interglaciálisra, továbbá a jelen időszakra megállapított hőmérsékletváltozás közel 100 000–110 000 éves ciklusokat mutat. Hosszú glaciálisok, rövid interglaciálisok. A négy interglaciálisban a jelenleginél 1 – 3 °C-kal melegebb volt. A jelenlegi interglaciális kb. 11 600 éve tart. A szén-dioxidkoncentráció 290 ppm-nél nem volt magasabb, míg jelenleg 400ppm. A jelen interglaciális 2 °C-kal hidegebb a megelőző interglaciálisnál (1. ábra).

A glaciációs ciklusok egyik alternatív magyarázataként az éghajlati rendszer többes egyensúlyt mutató jellege is szóba került. Ennek értelmében az eljegesedési szakaszok, illetve az interglaciálisok a rendszer egy-egy meta-stabil állapotát jelentik [5].



1. ábra. Az Antarktison működő Vostok kutatóállomás jégfuratai alapján az elmúlt 420 000 évre megállapított globális hőmérsékletváltozás alakulása [5]

A földtörténeti negyedidőszak kezdete a pleisztocén, amit eljegesedések jellemeztek. A Föld korábbi jellemző hőmérsékleteinek megállapítására, a rendelkezésre álló kutatási technikák közül leginkább jégfuratokból kapott értékek használatosak. A hőmérsékletváltozás hajtóerejeként leggyakrabban a szén-dioxidkoncentráció változását jelölik meg. A Vostok mérésekben olyan több-ezer éves szakaszok is találhatóak, amikor a két paraméter változásának jellege azonban ellentétes (2. ábra).



2. ábra. Az elmúlt százezer évek alatt néhány több-ezer éves időszakban a széndioxid-koncentrációváltozás és a globális hőmérsékletváltozás trendje ellentétes

A holocén kornak a két legnevezetesebb éghajlati eseménye az egész észak-atlanti térséget érintő, 10–13. századi meleg periódus, valamint az 1450-es és 1850-es évek közötti, kis jégkorszakként emlegetett hidegebb periódus volt.

A hőmérsékletmérési módszerek pontosságának elemzése szempontjából elsősorban az elmúlt évtizedeknek, különösen az 1979-től a jelenig tartó időszaknak van jelentősége. A légkör állapotának, jelenségeinek vizsgálata az egész Földre kiterjedő mérő hálózatot, jól szervezett nemzetközi együttműködést igényel. Ennek összehangolását a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization – WMO – www.wmo.int) végzi. A megfigyelések nemzeti, regionális és globális szinten történnek. A földbázisú alrendszer fő elemeit az alábbi mérőhálózatok alkotják: felszíni szinoptikus állomások (szárazföldi és tengeri), magas-légköri méréseket végző állomások, repülőgépes mérések. Alapvetően 3 műholdtípus tartozik ide: operatív, alacsony pályán keringő (kvázipoláris) műholdak, operatív, geo-stacionáriusműholdak, kutatás-fejlesztési műholdak. Operatív, az alacsony pályán keringő műholdak, poláris vagy kvázipoláris műholdak általában a felszín felett 800–870 km-en keringenek, pályájuk merőleges az egyenlítőre, képesek a sarkkörökön túli területek megfigyelésére is. Jelenleg 17 operatív kvázipoláris műhold vesz részt az (pl. DMSP, NOAA, FY, Metop műhold sorozatok tagjai) együttműködésben.

A meteorológiai műholdak másik típusa az egyenlítő síkjában, a Földdel együtt kering és mindig ugyanazt a területet látja. Ezek a geo-stacionárius, vagy Földszinkron műholdak. A tengerszint felett nagyjából 35800km-en keringenek.

A Földbázisú Alrendszer felszíni szinoptikus állomásokon egy időben történik a mérés. Világszerte mintegy 4000 szárazföldi szinoptikus állomás van. Az állomások térbeli eloszlása nem homogén, lakatlan vidékeken (pl. nagysivatagok, hegyvidék) csak ritkán található egy-egy meteorológiai állomás.

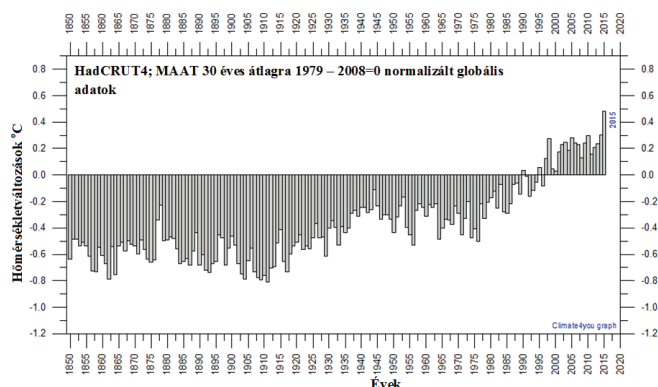
A tengereken, óceánokon, rögzített és mozgó állomásokon történnek az észlelések. A mérések történhetnek világítótornyokon, rögzített platformokon, különböző mérési programmal rendelkező hajókon, továbbá sodródó és lehorgonyzott bójákon. A szinoptikus magas-légköri állomásokról, a mintegy 700 meteorológiai állomásról, köztük hajókról bocsátanak fel meteorológiai ballont a légkör

feltérképezéséhez. Ezekon kívül, a polgári légi-forgalomban közlekedő repülőgépekről is rendszeresen szolgáltatnak meteorológiai információkat. Naponta több mint százezer jelentés készül a légkör időjárás helyzetéről a repülések útvonalán.

Egyéb speciális állomások, világszerte mintegy 30 globális és nagyjából 300 regionális háttérszennyezettség mérő állomáson mérik a légköri komponensek koncentrációját pl. üvegházhatású gázok, szén-dioxid, kloro-fluoro-karbonok, metán, di-nitrogénoxid, troposzféra ózon koncentrációját.

Az elmúlt 150 év globális klíma-állapotának változását kezdetben a kis jégkorszakból történt fokozatos kilábalás jellemezte; a melegedésnek ez a szakasza a legintenzívebb (évtizedenként 0,14 fok) 1910 és 1945 között volt. Harminc éves megszakítást követően, 1976-ban kezdődött el markáns felmelegedési trend, amelyben a szakemberek egy-részének véleménye szerint meghatározó szerepe van antropogén hatásoknak, bár a trend 1997-ben megtört és stagnálás állt be.

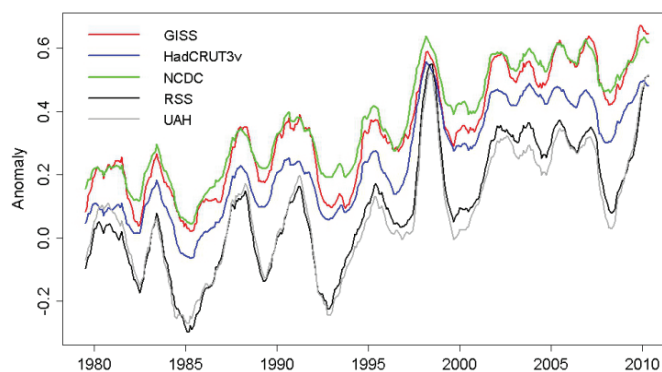
A meteorológiai mérési adatok felhasználása során fontos a mérési körülmények ismerete. Ilyenek például a műszerek típusa, állapota, elhelyezésük körülményei, kalibrációjuk időpontjai, fontosabb változások az állomás életében stb. különösen olyan légköri állapotváltozó esetén fontosak, mint pl. a hőmérséklet. A Föld felszínére, illetve egészére vonatkozó hőmérséklet megállapítása, mérése nagyon bonyolult, lehetetlen feladatot jelent. Számos területen kevés a mérőállomás, a hiányzó adatokat nehéz interpolálással pótolni. A hegyes területeken a hegyen illetve a völgyben történő mérési adatait problémás felhasználni. Ezért változásokat, anomáliákat mérnek, amelyek a két helyen már közel hasonlóak lehetnek. Az értékeléshez azonos időszakokra referencia értékeket állapítanak meg. Nagy területekre a változásokat összegzik, és nem az abszolút értékeket. Ez segíti a pontosabb adatkezelést, de nem változtat a fizikai alaproblémán.



3. ábra. Éves földfelület közeli hőmérsékletváltozások a HadCRUT4 mérések alapján

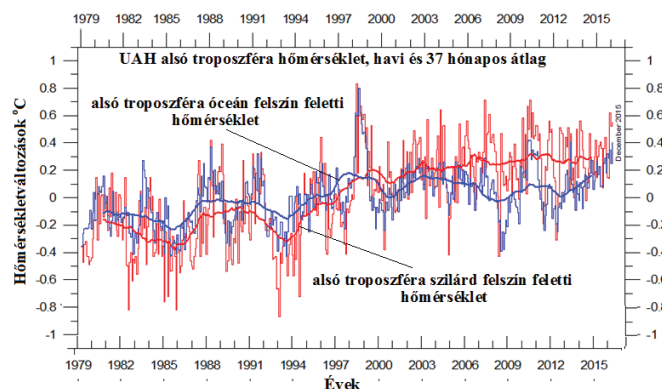
Mint említettük mérési szempontból az abszolút hőmérsékletértékek helyett az anomáliákat regisztrálják. Az értékelésnél a referencia értékre leggyakrabban az 1961 – 1990 időszak átlagát választják, de választanak más időtartományokat is. Ez problémássá teszi a különböző állomások adatainak összehasonlítását. A 3. ábrán Hadley Centre for Climate Prediction Research és az University of East Anglia's Climatic Research Unit (CRU) együtt működésében, 1850-től összegyűjtött adatok láthatók. 1979 – 2008 közötti időszak átlagát vették nulla vonatkozási értéknek. A 3. ábra 2016 január 25-én naprakész.

A különböző állomások adatainak összehasonlításakor jelentős problémát okoz a közös értékelési alapok hiánya is. Az egyik leggyakoribb az anomáliák esetén a bázis időszakok különbözősége. A nyers adatok értékelése során mind a klímaváltozás mellett, mind az ellene érvelőknek lehetőség nyílik a saját igazuk alátámasztására. Például öt adathalmaz elemzését mutatja 4. ábra. Az ábrán látható diagramok a havi fluktuációknak 12 hónapos szűrővel történő éves változását szemléltetik. A jelentős különbségekre magyarázat lehet a különböző bázis. A GISS (Goddard Institute for Space Studies) és NCDC (National Climate Data Center) közel azonos (1951 – 1980), a HadCRUT3-é (Hadley Centre/Climate Research Unit in the U.K.) (1961 – 1990). Az RSS(Remote Sensing Systems) és UAH(Univ. of Alabama at Huntsville) szatellitiek bázis periódusa magasabb, így az adataik kisebbek. A nyers értékeknek azonos bázisidőszakra való korrigálásával a diagramok egymáshoz közel hozhatók, más szempontok szerinti értékelés azonban akár ellentétessé válhatnak, pl. egyes időszakok egymáshoz képesti változása [7].

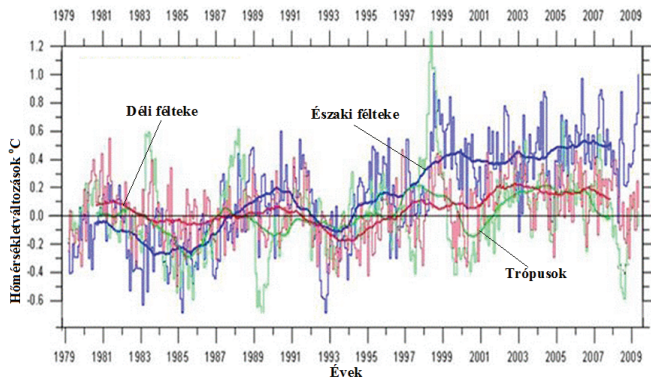


4. ábra. Öt mérőállomás 12 hónapra átlagolt mérési adatainak diagramjai

Az élővilág szempontjából talán legfontosabb az alsó troposzféra hőmérséklet viszonyainak alakulása. A Föld felületét kb. 1/3-ad szilárd 2/3-át vízfelület borítja. A felület minőségének jelentős szerepe van a légkör és a felület között létrejövő folyamatokra, így a hőcserére is. A kétfajta felület között lényeges különbség van, amit a globális hőmérséklet számításakor figyelembe kell venni. (1979-től mért University of Alabama at Huntsville, USA, National Oceanographic and Atmospheric Administration NOAA, TIROS-N satelit, 37 hónapos átlagolás, referencia 1981 – 2010) [8].

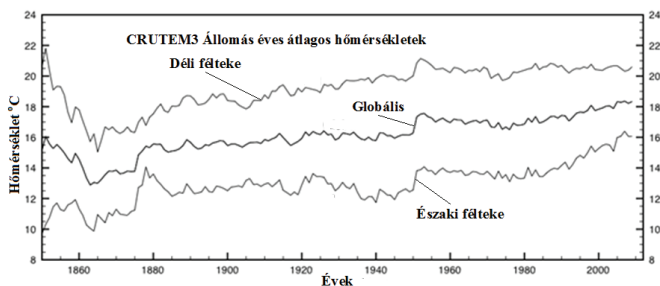


5. ábra. Az alsó troposzféra és az óceán feletti hőmérsékletváltozások összehasonlítása



6. ábra. A Föld felület három nagy régióján (Északi félteke, Déli félteke, Trópusok) mért hőmérsékletváltozások összehasonlítása [9]

A nyers hőmérséklet anomália mérések közötti különbségek okát és a korrekciók szükségességét a CRU web-oldal a következőkkel indokolja: „A Földön az állomások különböző magasságokban helyezkednek el, és az egyes országok a havi átlagos hőmérsékletet különböző módszerekkel és képletekkel becsülik. A torzítások elkerülése érdekében a legjobban fedett 1961 – 1990 időszak átlagához képesti eltéréseket határozzák meg.” A hőmérsékleti anomáliákat 5×5 fokos (szélességi, hosszúsági) hálózatban mért értékek helyszerinti súlyozással átlagolva számolják ki. Hasonlóan végzik a számítást magukban az 5×5 területeken belül is. A hálózat befedi az egész Földet, így átlagolva a Föld felületre globális átlagos hőmérsékleti anomália értékét nyerik. A 7. ábra CRUTEM 3 rendelkezésre álló adataiból már a globális értékre számított értékeket mutatja [10].



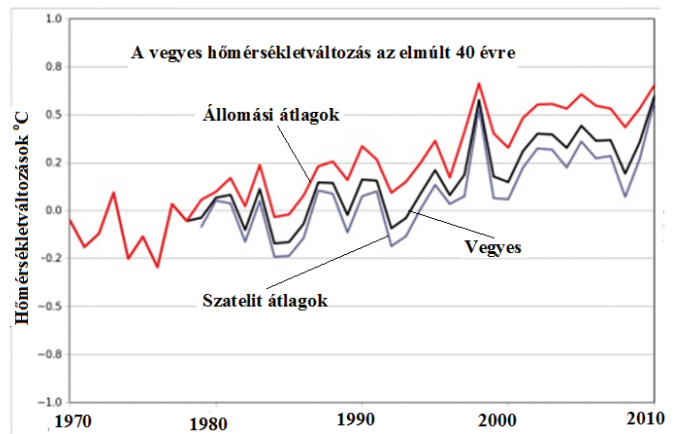
7. ábra. A CRUTEM3 állomás adatai alapján a felületre számított átlagos hőmérsékletváltozási diagram

Az átlagolt adatok és az állomás mért adatai közötti eltéréseknek az oka lehet például az, hogy a 160 év alatt az állomásokon számos változás történt. Különösen a trópusi vidékeken történő változások szerepének a befolyása jelentős. A geográfiai lefedettség különösen 1950 előtt volt nagyon aránytalan.

Az állomások adatait és a szatellit adatait külön vizsgálva különbségek mutatkoznak. A globális hőmérséklet tanulmányozására [11] négy fontos adatbázist használt.

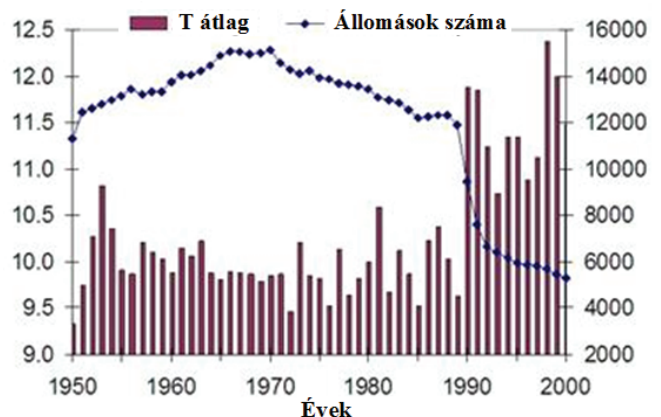
Az USA-ban, a GISTEMP adatait NASA Goddard Institute for Space Sciences (GISS) től gyűjti, míg a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) készíti a MLOST adathalmazt. A Japan Meteorological Agency (JMA) a negyedik adatbázis. A rendelkezésre álló adatokkal akár több évre is visszamenőleg lehet a négy állomás méréseit elemezni. Az egyesített értékekből kapott

eredő diagramot mutatja az elmúlt 40 évre a 8. ábra. A súlyozásnál probléma, hogy egyetlen cella változása kihat az egészre [11].



8. ábra. Az állomások és a szatellitok mérései alapján számított globális hőmérsékletváltozások diagramjai

A tudományos világban jelentős vita folyik az állomások helyzetéről, a változásokról, és azokról a tényezőkről, amelyek a mérések pontosságát befolyásolhatják. A 9. ábrán látható 1950 – 2000 éves időszakában az állomások számának és a mért globális hőmérséklet értékeknek a változása. Különösen jelentős hatása lehet pl. a környék urbanizációjának, iparosításnak stb. [12].

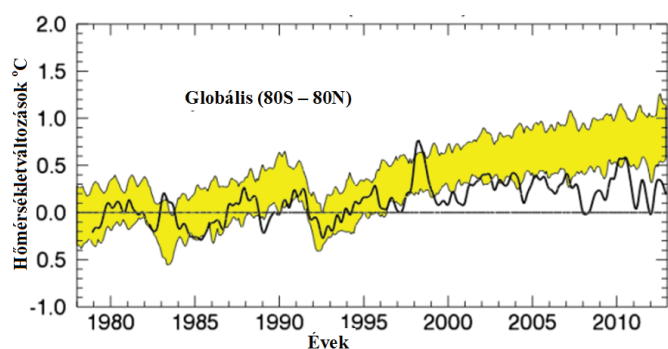


9. ábra. Az 1950 – 2000 időszakban jelentő állomások száma és adataiból közvetlenül számított hőmérséklet átlagok

Az átlagos hőmérsékleti adatok meghatározása különleges feladatot jelent. Az állomások elhelyezkedése nagyon különböző domborzati viszonyok között található, az egyes országok hőmérsékleti viszonyai nagyon eltérőek, az átlagolásban is különböző módszerek lehetnek. A torzulások csökkentésére néhány dolgot egyszerűsítenek, pl. a referenciaérték leggyakrabban az 1961 – 1990- időszakának átlaga. A tengereknél fix pontok kialakítása általánosan nem lehetséges, ezért az interpoláció nagyobb szerepet kap. Az IPCC a HadCRU adatait használja, adatai csak a korrigálás után publikusak.

A mérőállomásokon rögzített nyers adatokat a felhasználásuk előtt általában igazítják (data adjusment). Az egyes meteorológiai szervezetek feldolgozási módszerei különbözőek. Az adatokat például megvizsgálják homogenitási szempontból (közele állomásoknál például elemzik indokolt-e a különböző trend). A GHCN-en alapuló

USA adatoknál mind a nyers, mind a kiigazított adatok nyilvánosak. Az IPCC a HadCRU adatait használja, de sem a nyers, sem a kiigazított adatok nem nyilvánosak. Itt csak az állomások listáját és az 5x5 fokos hálózattal számított anomáliák eredményeit közlik. Így azután a jövő trendek kialakításához felhasznált adatok és módszerek sem állnak nyilvánosan rendelkezésre, azaz nem értékelhetők. A gyakorlatban általában a modellek által prognosztizált trendek és a mérések tényleges értékei között jelentős különbségek vannak. Döntő többségben a prognózisok jóval magasabb értékeket mutatnak. A közölt modellek és a valóság múltbeli egybeesése már az utólagos illesztések eredménye. A Remote Sensing System (RSS) mért globális átlag hőmérsékletváltozást a legfontosabb klímamodellekkel hasonlítja össze a 10. ábra (1979–2008) [13].



10. ábra. A Föld klímaváltozásának tanulmányozása során az RSS mért adatainak a prognózisokkal való összehasonlítása

A 10. ábrán látható, hogy a CMIP-5 klímamodell sávjának 5–95%-a az RSS V3.3MSU/AMSU mérési adatain kívül esik. A referencia értéként, nullaként az 1979 – 1984 évszakasz átlagát vették. A modell 1998 után a tényleges értéknél lényegesen melegebbet jósol. Az IPCC AR5 is használja a CMIP-5 adatait.

Konklúzió

Összefoglalásként megállapítható, hogy elméletileg is probléma van a Földre egy globális átlaghőmérséklet meghatározásával. A Föld nem homogén rendszer, a hőmérséklet, mint intenzív állapot-határozó eloszlás rajta nagyon inhomogén. Ugyanezen okból, mint egyensúlyi rendszerről sem beszélhetünk. Extenzív állapot-határozó tekintetében sem lehet a tömegét homogénnek tekinteni. Nem világos, hogy a forgalomban lévő adatok milyen fizikai háttérrel rendelkeznek és mire használhatók. Még nehezíti a helyzetet, hogy az igen elismerésre méltó mérési tevékenység buktatóit kiküszöbölve, milyen korrekciókkal lehet megfelelő (századfokos) pontosságot elérni. A természeti és technikai változások mellett finoman szólva is kételyt ébresztenek a közzétett értékekben, hangsúlyozva, hogy a lehetetlen feladathoz képest milyen érdekes, kvalitatív változásokról kapunk tájékoztatást. Ettől függetlenül nem megalapozott az a következtetés, hogy a szén-dioxid csökkentésével a klímaváltozásban (a globális hőmérséklet csökkenésben) jelentős eredményt lehet elérni. Ezt alátámasztják az eddigi prognózisok sikertelenségei is.

Irodalom

- [1] Szakonyi Lajos: JELEK ÉS RENDSZEREK I. 2. Műszaki jelenségek és folyamatok jellemzése, PTE POLLACK MIHÁLY MŰSZAKI FŐISKOLAI KAR, 2002, 2_jelek_I.dot www.ngkszki.hu/~fidoo/download/pmmf/jelek_I/2_jelek_I.dot
- [2] Érdi Péter: Teremtett valóság - MEK Hierarchikus rendszerek

termodinamikája A hierarchiaelmélet szemlélete 3. Hierarchikus rendszerek termodinamikája - MEK, Magyar Tudomány, 1982/8–9. 625–635. mek.niif.hu/05000/05015/html/teremtett0005.html

- [3] Christopher Essex, Bjarne Andresen, Ross McKittrick: Does a Global Temperature Exist? *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, Volume 32 No. 1
- [4] Major György: A Föld éghajlatának vázlatos története, debszem.unideb.hu/pdf/dsz2010-4/dsz2010-4Major.pdf
- [5] Petit et al: A 420,000 year deuterium excess record from East Antarctica, *Journal of geophysical research*, vol. 106, no. d23, pages 31, 863–31, 873, december 16, 2001, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001JD900076/pdf>
- [6] www.climate4you.com/GlobalTemperatures.htm
- [7] <https://tamino.wordpress.com/2010/.../16/comparing-temperature-data-sets/> "Comparing Temperature Data Sets". Rui Sousa
- [8] www.climate4you.com/GlobalTemperatures.htm, Recent global satellite temperature
- [9] http://www.appinsys.com/GlobalWarming/GW_NotGlobal.htm
- [10] <http://wattsupwiththat.com/2012/02/07/how-reliable-are-global-temperature-anomalies/>
- [11] theinconvenientskeptic.com/.../what-global-temperature-...
- [12] <http://www.surfacestations.org/>, <http://www.uoguelph.ca/~rmckitri/research/nvst.html>
- [13] www.remss.com/research/climate