

Emberi eredetű légszennyezők I. A földi felmelegedés fő okáról

Human Originated Atmospheric Pollutants I. About the Principal Cause of Global Warming

Poluanți atmosferici de origine umană I. Despre cauza principală a încălzirii globale

MUZSNAY Csaba

Ny. egyetemi előadótanár, Babeş-Bolyai Tudományegyetem,
Kolozsvár, Arany J. u. 11/113, cmuzsnay@chem.ubbcluj.ro, telefon 0264-484970

Abstract

The study of special literature certify the very high light absorbance and greenhouse effect of aqueous vapour from atmosphere. Considering the industrial revolution followed by torrents of steam generators, one has to reckon with continually increasing of greenhouse effect.

Rezumat

Literatura de specialitate scoate în evidență absorbția de lumină și efectul de seră deosebit de mare a aburii de apă din atmosferă. Considerând revoluția industrială urmată de avalanșa generatorilor de apă, se poate aștepta la mărirea continuă a efectului de seră. Este de oprit această tendință.

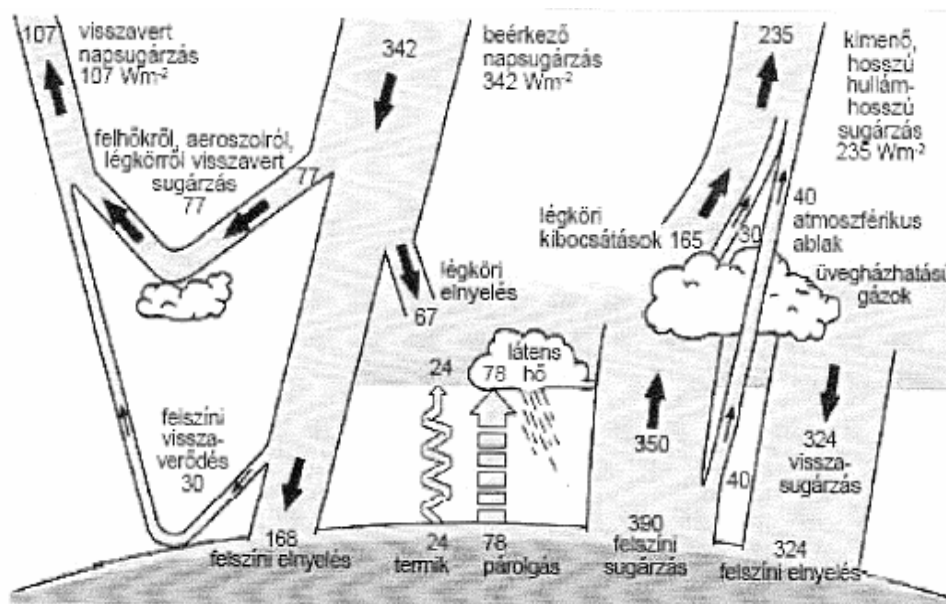
Összefoglaló

A légkör összetevői között a vízmolekula energiaelnyelése a legnagyobb. Az utóbbi 300 évben állandóan nő az emberiség létszáma és a tevékenységeiből eredő vízgőz mennyisége, mely az üvegházhatás fokozódásában nyilvánul meg. A légkörbe átmenetileg bekerülő többlet vízgőz és a keletkező különböző vízklaszterek nagy mennyisége további megnövekedett energiaelnyelést okozhat. A képződött klaszterek szinképének elméleti vizsgálata is a jövőben fontos feladattá válhat. A többlet víznek más része függőleges áramlás révén felhőképzésben vesz részt és továbbítja a vizet esetleg éppen az Északi-sark felé. A vékony rétegben kondenzálódott vízgőz a későbbiekben beeső, vagy kibocsátott sugarak révén elpárolog és újabb energia átadási folyamatban vehet részt.

Kulcsszavak: földi légkör, üvegházhatás, napsugár elnyelődés és visszaverődés, a vízgőz nagy fényelnyelő képessége, üvegházhatás, emberi tevékenység generálta vízgőz fajtái, vízgőz kivonás

Néhány általános megállapítás a légkör hőháztartásáról

Ma már általánosan elfogadott, hogy az ipari forradalom óta tapasztalt, egész Földre vonatkoztatott felmelegedést főleg a légkörben előforduló hőt elnyelő gázok okozzák, melyek mennyisége nem túl nagy, de állandó növekedést mutat. Az egyes gázok valós légköri előfordulása egyedi forgatókönyvet követ. Az emberi tevékenység által állandóan növelt üvegházhatás komoly ellenőrzési láncba került, de nagyon sok helyi adat riasztó jelzésnek tekinthető a jövőbeni felmelegedési kilátásokat illetően.



1. ábra

A Föld hőháztartásának [2] az IPCC szerinti felbontása összetevőire

Elmondható, hogy a földi élet állapota, fennmaradása és fejlődése szempontjából a Föld légkörének összetétele és ennek esetleges változása rendkívüli jelentőséggel bír. A környezetvédelem elkötelezettjei a rendkívül bonyolult jelenségek tényalapú értelmezése mellett tévhiteken alapuló következtetéseket is megfogalmazznak, és néhányat ezek közül tabuként kezelnek. Elsősorban a légkörben előforduló széndioxid és vízgőz szerepéről alkotott képet tekintik végérvényesnek. Az ipari forradalom óta észlelt fokozatos felmelegedést szinte kizárólag a CO₂ növekvő töménységével magyarázzák, semmibe véve az emberi tevékenységek által légkörbe juttatott vízgőz mind nagyobb mennyiségét és annak felmelegedést okozó hatását, azt a benyomást keltve, hogy modellezések eredményeként maradéktalanul megértették ezen összetevők üvegházhatását. Jelen dolgozat az emberi tevékenység eredményeként előállított vízgőz légköri felmelegedést okozó hatását hivatott tisztázni.

Arrheniusnak a 19. század végén megjelent közleményével [1] kezdetét vette az a ma is tartó modellező tevékenység, amelynek segítségével már több mint százöt év követi a Föld légkörében végbemenő sugárzási, kémiai, biológiai, embertani, fizikai és áramlási folyamatokat. A Föld hőháztartásának, mint energiamérlegnek vizsgálata többváltozós függésrendszer makroszkópikus felvázolását jelenti* (1. ábra), a helyes értelmezés viszont mikroszkópikus megközelítéseket is igényel. A Föld felszínének hőmérsékletét 99.9%-ban a napfény légkörbe való behatolása és ezzel, valamint a litoszférával, hidroszférával, krioszférával és a bioszférával való kölcsönhatása okozza†.

A légkör többréteges szerkezetű. A szférákat pauzák különítik el egymástól‡. Az elektromágneses sugárzást szokás jól elkülöníthető tartományokra felosztani a sugárzási energiák (hullámszám - ν , hullámhossz - λ , rezgésszám - ν) és ahhoz kapcsolódó atomi, molekuláris folyamatok alapján. A skála a rendkívül kis energi-

* Ismeretes az IPCC (International Panel on Climate Change) által készített részletes hőháztartás felbontás összetevőikre: [2] és (1. ábra)

† A felszíni környezet energiaforrásai a napsugárzás, a Föld belső hője, az árapály-energia ($5,5 \times 10^{19}$ J/év), valamint az emberiség által széntartalmú üzemanyagok elégetése által előállított, antropogén energia ($\sim 2,8 \times 10^{20}$ J/év). A Földet érő napsugárzás mennyisége $5,5 \times 10^{24}$ J/év. A Földnek mint nem tükröző felületnek a visszaverő képessége (albedója) átlagosan 30%, ezért a felszínre érő sugárzás évente $3,8 \times 10^{24}$ J/év, illetve a felszín sugárterhelése 235 W/m^2 . A Föld belsejéből, tüzhányók és más hőszugárzás révén, érkező hő kb. 10^{21} J/év, azaz $6,3 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$, mely legalább három nagyságrenddel kisebb a Földön kívüli forrásból eredőnél. Az emberiség fosszilis tüzelőanyagokból nyert energiája négy nagyságrenddel kisebb a napsugárzás által biztosítottnál, s mint ilyen teljesen elhanyagolhatónak tűnhetne. Alapos vizsgálatok alapján viszont ezen energiatermelés során képződött gázhalmazállapotú termékek a légkörben, mint üvegházhatású gázok, kölcsönhatásba lépnek a sugárzó energiákkal és Földünk felmelegedését okozzák.

‡ A Földtől felfelé haladva, a következő rétegeket különböztetjük meg: **Troposzféra** (0-12 km-es magasságban helyezkedik el) Tropopauza (megközelítőleg 12 km-es magasságban) **Sztratoszféra** vagy **ozonoszféra** (12-50 km-es magasságban) Sztratopauza (megközelítőleg 50 km-es magasságban) **Mezoszféra** (50-85 km-es magasságban) Mezopauza (megközelítőleg 85 km-es magasságban) **Termoszféra** (85-1000 km-es magasságban) Termopauza (megközelítőleg 1000 km-es magasságban) **Exoszféra** (1000 km feletti rétegek)

ájú rádiófrekvenciás (RF) tartománytól a mikrohullámú (MW), infravörös (IR), látható és ultraibolya (UV) tartományon át a rendkívül nagy energiájú röntgen-, illetve gamma-sugártartományig terjed[§].

A légkör összetétele. Az üvegházhatás molekuláris megközelítése

A sugárzási egyensúly megértéséhez mindkét sugárzási tartományban (a nagyobb és kisebb energiájúban) pontos és kiterjedt információval kell rendelkezni minden lehetséges sugárzó és nem sugárzó folyamattal kapcsolatosan [2a és 2b].

A légkörben nagyon sokféle gáz található, legtöbb közülük csak nagyon kis töménységben. A légkör eredendően 9 gázt és egy gőzt tartalmaz, ezek előfordulásuk csökkenő sorrendjében a következők: N₂, O₂, Ar, H₂O, CO₂, Ne, H₂, He, Kr, Xe. Kis töménységben állandó és változó összetételű gázok, cseppfolyós és szilárd anyagok fordulhatnak elő, ez utóbbiak az aeroszók, melyek gyengítik a Föld felszínére érkező sugárzást. A troposzférában a légkör összetétele egy adott magasságon állandó. A víz ebből a szempontból kivételt képez^{**}.

A gázokat csoportosíthatjuk: a légkörben való tartózkodási idejük, mennyiségük és térfogaton belüli arányuk szerint is. Az állandó gázoknak a mennyisége hosszú távon változatlan marad. A változó gázok kis mennyiségük ellenére igen fontos szerepet játszanak bizonyos légköri folyamatok kialakításában (pl. ózon).

A Föld, de általában a bolygók légkörében többnyire a kis méretű, és egyszerű szerkezetűnek tekintett molekulák a meghatározó szerep. Mivel a nagyobb méretű és bonyolultabb szerkezetű molekulák legfeljebb nyomokban találhatók, a légkör energetikai viszonyainak alakításában nem jutnak szerephez. Kvantumkémiái számítások szerint, valamint molekulaszpektroszkópiai mérésekre támaszkodva, az egyatomos nemes gázok és a földi légkört szinte teljes egészében kitevő szimmetrikus kétatomos molekulák – N₂ és O₂ – csak elektron-gerjesztés kapcsán képesek az elektromágneses sugárzással számottevő kölcsönhatásra^{††}, így a Föld felszínéről kilépő kis energiájú sugárzás elnyelése szempontjából teljes mértékben elhanyagolhatóak. A légkörbe belépő sugárzás elnyelésében a nitrogén gyakorlatilag semmilyen szerepet nem játszik, de a bonyolultabb elektron-szerkezettel rendelkező oxigén mintegy 2%-ban felelős. A Föld légkörébe érkező ibolyántúli sugárzás ($\lambda > 250$ nm) az oxigén molekulák egy részét ózonná (O₃) alakítja, létrehozva a Földünket körülvevő, védelmet nyújtó ózonpajzsot.

A háromatomos molekulák különleges szerepe a légkör hőháztartásában

Elsősorban az O₃, CO₂ és H₂O (3 háromatomos molekula) fényelnyelését kell megvizsgálni.

Az **ózon** a felső levegőrétegek alkotórésze. A sztratoszféra középső részén (20-35 km magasságban) éri el legnagyobb töménységét. Háromszög alakú molekulaként könnyen lép kölcsönhatásba a napfény különböző energiájú fotonjaival. Elnyeli az ibolyántúli sugárzást, s ezzel megvédi a bioszférát a napfény káros összetevőitől. Üvegházhatása is van, visszatartva a Föld felületéről kibocsátott hősugarak egy részét. Tekintettel oxidáló jellegére, a redukáló sajátságú gázok (NO) elbontják, az atomos Cl és a halogénezett szénhidrogének lebomlását katalizálják. Mindezek az O₃-réteg létét veszélyeztethetik, vagy vastagságát csökkenthetik.

Jöllehet a lineáris **széndioxid** molekula alapállapotban nem poláris, egyes rezgései során azonban polárisrá és így alkalmassá válik a sugárzásokkal való kölcsönhatásokra. Elsősorban a Földről visszasugárzott energiákat nyeli el. A rezervoárhatalom meghatározza a viszonylag állandó CO₂ jelenlétet az óceánok, a földfelszín illetve a széndioxidot kilélegző emberek és állatok révén. Elég nagy és állandóan növekvő töménysége biztosítja, hogy az üvegházhatásban jelentősebb szerepet játsszon.

A **vízgőz** különleges szerepe az üvegházhatásban elsősorban annak tulajdonítható, hogy a lapított (torzított) tetraéderhez, vagy háromszöghez hasonlítható [3], hajlított szerkezetű, aszimmetrikus pörgettyű típusú vízmolekulák állandó dipólus nyomatékkal rendelkeznek, így kölcsönhatásba léphetnek az elektromágneses sugárzásnak mind a látható, mind a mikrohullámú, illetve infravörös összetevőivel. A víz az egyetlen olyan molekula, amely viszonylag jelentős töménységben: ~ 0.3%-ban van jelen a légkörben, mely 1.4·10¹⁰ tonnát

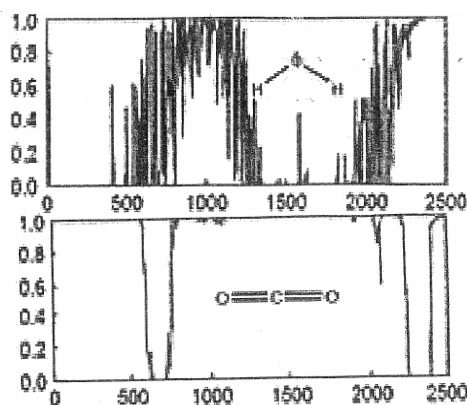
[§]A ~ 5800 K hőmérsékletű Nap, feketetest sugárzóként, a Föld légkörében, elektromágneses sugárzásának maximumát a látható tartományban, 500 nm környékén, éri el. Ezzel szemben, a földfelszín mintegy 290 K-es hőmérséklete miatt, a visszasugárzás maximuma a vörösön inneni tartományba, 10 µm közelébe esik.

^{**}Töménysége a trópusi dzsungelben 4% is lehet, míg hideg, száraz területeken nagyon kicsiny.

^{††}Ezen atomok gömbszimmetrikus elektroneloszlással bírnak, míg a kétatomos molekulák nem polárisak, tehát nem rendelkeznek dipólusnyomatékkal, sőt atomjaik kollektív rezgő-, illetve forgómozgásának hatására sem válnak polárisá. Ennek következtében, a napsugárzással csak rendkívül korlátozottan képesek kölcsönhatásba lépni.

képvisel [4, 5]**, tartállyal rendelkezik (pl. az óceánok vize), és a légkörben is képes halmazállapot-váltásokra. Mivel molekulája a legkönnyebb atomból, a hidrogénből kettőt is tartalmaz, kicsi a tehetetlenségi nyomatéka, és mind forgási mind rezgési színképe nagy színképtartományban felettébb bonyolult szerkezetű. Gyenge gerjesztésnél ez a spektrum lehetővé teszi a kimenő sugárzás elnyelését, míg a több fotonos rezgési-forgási gerjesztés a bejövő sugárzás elnyelését okozza.

A légköri sugárzások elnyelésének 65-70%-áért a vízgőz felelős, különösen az IR tartományban, ahol az elnyelés nagymértékű. A széndioxid viszont csak 20-24 %-os elnyelést biztosít [4]. E megállapítás helyességét tükrözi és az üvegházhatás elméleti megalapozását képezi a 2. és 3. ábra, mely a CO₂ elnyelési színképével összehasonlítva mutatja be a vizét. Az 1. és 2. táblázat a víz és a CO₂ elnyelési hullámhosszairól tájékoztat. Igaz, hogy a vízgőz légköri tartózkodási ideje 10-15 nap, esetleg fél év s jóval kisebb, mint a CO₂-é (15 év), de sugárzás elnyelésének mértéke 10-100-szor és moláris töménysége is legalább 20-szor nagyobb a CO₂-nál. Az ózon (O₃) 6-8%-os elnyelésért, s az emberi tevékenységek miatt növekvő töménységű metán és nitrogén-oxidok további 6-8%-ért felelősek (3. táblázat).



2. ábra

Víz és CO₂ elnyelési színképe infravörösben - $Transmittancia=F(\text{hullámszám})$

1. Táblázat. H₂O nagyon erős elnyelési hullámhosszai (sávközpontjai)[6] - $\lambda/\mu\text{m}$

Sávjel	A	B	$\rho\sigma\text{b}$	Φ	Ψ	Ω	ω_1	Ω_2	X	-	Y
Sávközpont	0.72	0.82	0.93	1.13	1.38	1.86	2.01	2.05	2.86	3.2-4	4-4.9

2. Táblázat. CO₂ elnyelési hullámhosszak (sávközpontok)[7] - $\lambda/\mu\text{m}$

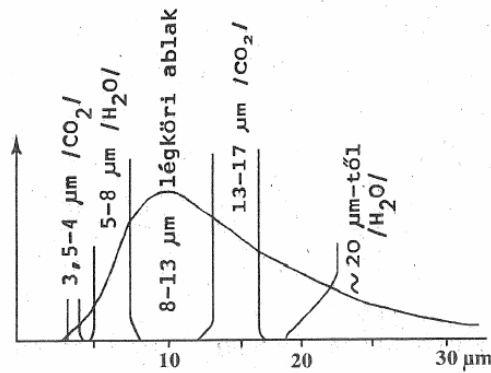
$\lambda/\mu\text{m}$	1	2	2.05	2.7	4.7	14.7
Elnyelés erőssége	Erős	Erős	Erős	Erős	szinte nincs a sugárzásban	Nagyon erős

3. Táblázat. Néhány többatomos molekula %-os elnyelése a légkörben

Víz	Széndioxid	Ózon	Nitrogén-oxidok, metán
65 – 70	20 – 24	6 – 8	6 – 8

A 3. ábrán látható, a vízgőznek és a széndioxidnak 2-2 elnyelési sávja a hosszúhullámú tartományban.

** [4] alapján. Más, régebbi forrás szerint 0.14% [5]. Az újabb irodalmi források alapján növekedőben van.

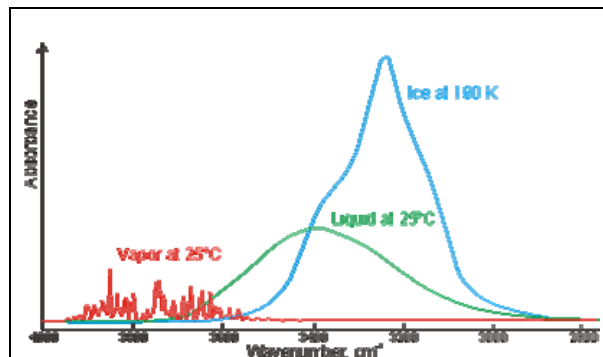


3. ábra

hosszú hullámú terrisztikus sugárzás elméleti színeke [6 / 35 old.].

A 20 μm -nél hosszabb hullámoknál a vízgőz rotációs sávjának, míg az 5-8 μm -es sáv a vízgőz forgá-si-rezgési sávjának felel meg. A 8-13 μm -es sáv egy légköri „ablak”, ahol sugárzás szökik ki a világűrbe, mivel itt sem a CO_2 , sem a H_2O nem nyel el. A vízgőz és a széndioxid fényelnyelése közötti különbség onnan is adódik, hogy a CO_2 mennyisége a légkörben állandó, ugyanakkor víztartalma helytől és időtől függően változó, ezért ez utóbbinak a globális sugárzási mérleg meghatározásakor figyelembe kell venni területi és időbeli eloszlását. A víz üvegházhatása rendkívül jelentős, a múltban mégsem mutatkozott gyors túlmelegedés mivel egy jelentős hűtő hatás, negatív visszacsatolás^{§§} révén állandó-sult az egyensúlyi hőmérséklet. A légkörben keletkező folyékony és szilárd halmazállapotú víz elnyelése a 4. ábrán követhető, mely főleg felhőkben fordul elő s az ezeken bekövetkező fényszóródás miatt csökken a felszín felmelegedése.

Meglátásunk szerint még két szempontra kellene jobban odafigyelni: 1) A napsugárzás folytonosnak tekintett elnyelési színeke sötét – ún. Fraunhofer – vonalai nagyon nagy számúak (csupán a látható részben több mint húszezer), 40%-uk nagyon gyenge, nem azonosított vonal^{***}.



4. ábra

A víz elnyelési színekei gőz, folyadék és jég halmazállapotában [4]

2) A víz olyan két összetevőt (H és O) tartalmaz, amely H-kötés kialakítására képes, s ezért szinte minden légköri alkotóval vegyi kölcsönhatásba lép és, víztartalmú képződményeket, klasztereket képez^{†††}, ame-

^{§§} A légkörben keletkező folyékony és szilárd halmazállapotú víz főleg felhőkben fordul elő, s az ezeken bekövetkező fényszóródás miatt csökken a felszín felmelegedése. A légkörben lejátszódó folyamatok és ezen belül a felhők elnyelésének és szórásának helyes modellezése nem könnyű feladat [8]. A legkorszerűbb modellszámítások is 15-30 Wm^{-2} -el alábecsülik a légkörben elnyelt napenergiát. Sokoldalú elemzések alapján kiderült, hogy az abszorpciós anomáliát, sem az aeroszolok sem a felhők kisebb modellezési hibái nem magyarázzák. Eddigi szakmai vélemények a molekuláris sugárzások teljesebb megértésének szükségességét hangsúlyozzák [2].

^{***} Közöttük olyanok is vannak, amelyek a földi légkör molekuláinak elnyeléséből származnak. Ezen utóbbiak energiái esetleg nem voltak figyelembe véve. A földi eredetű Fraunhofer-vonalak nem mutatják a Doppler-Fizeau eltolódást [9].

^{†††} Legnagyobb arányban viszonylag alacsony molekulaszámú ($n > 1$) víz-víz klaszterek keletkeznek, de a levegő aktívabb és kevésbé aktív alkotóival is képezhet adduktumokat, pl. CO_2 -dal. Nagy mértékben tanulmányoták a kénsav-víz klasztereket. Legutóbb két savat (HNO_3 és HCl) tartalmazó stabil hidrátot is vizsgáltak [10], de a nemesgázokkal kialakuló leggyengébb kapcsolódású képződmény is az érdeklődés homlokterében van [11].

lyek főleg a visszasugárzott fényenergiát nyelhetik el. A szakemberek jelenlegi elképzelései szerint nem állapítható meg szoros és közvetlen kapcsolat a Föld felszíni hőmérséklete és a légköri CO₂-töménység között, jóllehet a széndioxid dúsulása a légkörben elvileg növelheti a felszíni hőmérsékletet, de rengeteg más hatás is érvényesül, amely bizonytalanná teszi a döntést.

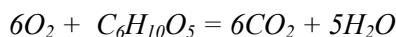
Megállapítható, hogy az üvegházhatás semmiképp sem tekinthető kiküszöbölendő csapásként, hiszen nélküle a Földi élettér átlagosan mintegy 33-40 fokkal hidegebb lenne, és valószínű, képtelen volna az élet fenntartására. A vízgőznek a földi éghajlat viszonylagos állandóságára van hatása, ez viszont nem azt jelenti, hogy üvegházhatása elhanyagolható. Nagyfokú hőmérsékletállandóság csak akkor maradhatna fenn, ha a földfelszín szárazföldi részén nem növekedne jelentősen a vízgőz mennyisége, nem jelentkeznének nagy számban vízgőz generátorok, vízgőzforrások. Márpedig az ipari forradalommal kezdődően, 300 éve mind több és több vízgőz kerül a légkörbe emberi tevékenység következtében.

Az ember földi léte által meghatározott vízgőztermelő folyamatok

Tekintsük át a legfontosabb vízgőztermelő folyamatokat.

I. Az emberiség által energiatermelésre felhasznált vegyi átalakulások mind vízgőztermeléssel járnak. Leggyakrabban szerves vegyületek oxigén jelenlétében való elégetéséről van szó.

a) Az ipari forradalom kezdetén főleg a fa égetése szolgáltatta az energiát, az égethető cellulóz – (C₆H₁₀O₅)_n – 1000-3000 glukóz egységet tartalmaz, és égése során széndioxid és víz keletkezik a következő globális folyamat alapján:

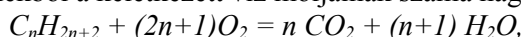


A keletkezett víz mennyiségét még növeli a fa tetemes nedvességtartalma^{***}.

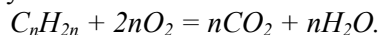
b) A szén előfordulása alapján rendkívüli változatosságot mutat és égése elsősorban CO₂ képződéshez vezet, de nedvességtartalma és kondenzált aromás szénhidrogén tartalma nem elhanyagolható vízgőzképződést is eredményez.

c) A kőolaj több száz és ezer egyedi szénvegyületet tartalmaz, közöttük elsősorban szénhidrogéneket.

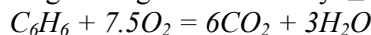
c1) A telített szénhidrogénekből a keletkezett víz móljainak száma nagyobb, mint a CO₂-é.:



c2) Az olefinek égésekor az arány 1:



c3) A benzol és az aromás szénhidrogének égésekor az arány ≤ 0.5:



d) Az elégetett C-H-O-t tartalmazó szerves vegyületből annál nagyobb arányban képződik víz, minél nagyobb a molekulában előforduló H atomok számaránya a szénatomok kétszereséhez képest. Pl. az *etilalkohol* esetén a H/2C arány: 6/4=3/2, míg a *metanol*nál: 4/2=2.

e) Az egyik legismertebb zsír összegképlete: C₃H₅-(CO₂-C₁₅H₃₁)₃, a H/2C arány: 98/102, közel 1.

f) A táplálkozásunkban oly fontos szerepet játszó keményítő esetén a C₆H₁₂O₆-os átlagképletet tekintve a keresett arány ugyancsak 1.

II. A jövő elképzelt energiatermelő reakciója: 2H₂ + O₂ = 2H₂O.

III. Robbanóanyagok víztermelése: a robbantások illetve tüzesetek során felszabaduló vízgőz

IVa) Fénoxidoknak hidrogénnel való kohászati redukálása: MO + H₂ = M + H₂O

b) Oxigén tartalmú és hidrogén tartalmú szerves vegyületek reakciója pl.:



c) Dehidratáció pl. H₂SO₄ = H₂O + SO₃

V) Polimerizációs folyamatok és kondenzálási reakciók vízgőz termelése.

VI) Szárítási folyamatok óriási vízgőz kibocsátása:

a) főzés, párologtatás, sütés (kenyér, gyümölcs, tészta, peccsenye), víztartalom csökkentés (lekvár főzés)

b) Különböző ércekből, kőzetekből kohászati izzítások során távozó nedvesség tartalom.

c) Mezőgazdasági termékek üzemi szárítása

d) Gőzfejlesztés, pl. távfűtés céljaira. Az itt fellépő veszteségek tetemesek és ezek a légkörbe kerülnek.

^{***}A fa száraz lepárlása két fajta bonyolultabb összetételű folyékony párlatot eredményez. Ez esetben a keletkező víz zömét folyadék alakban nyerik, az égethető fagáz H tartalma még szolgált kis mennyiségű vízgőzt, de a faszén viszont csak CO₂-t. A folyékony párlatok szerves anyag tartalma sem elhanyagolható, mely végső soron újabb CO₂ + H₂O forrásaként tekinthető.

VII. Az emberiség 7 milliárd emberének vízkilégzése, párologtatása (izzadása), és párologtató tisztálkodása.

VIII.

a) Az öntözéses mezőgazdaság által felhasznált víz zöme elpárolog a tavasztól ősziig terjedő termelési időben. Tekintettel a Földet benépesítő emberek növekvő számára, az ellátásukat szolgáló öntözéses élelmiszer termelés óriási mennyiségű víz felhasználását igényli, mely kiapasztja a folyókat és lecsökkenti a mezőgazdasági területek víztartalékait.

b) Az előbbihez kapcsolható a nagyüzemi állattenyésztés rendkívüli vízpárologtatása.

Irodalom

- [1] S. Arrhenius (1896): Phil. Mag. 1896 V. 41, p. 273–276.
- [2] a) Császár Attila (2009): A földi üvegházhatás, Természet Világa, V.140(2), 60-64;
b) Császár A., Furtenbach T., Czákó G. (2006): A földi üvegházhatás és a víz teljes spekroszkópiája, Magy. Kém. F. 112 (4) 123-8.
- [3] Cs. Muzsnay a) (1984): The Complex Equilibrium Structure of Heavy Water I. The Simplified Treatment by Means of Two Elementary Equilibrium Constants; Stud. Univ. Babeş-Bolyai, Ser. Chem. 29, 49-56 b) (1984): b) (1987) A könnyű- és nehézvíz komplex egyensúlyi szerkezete, Magy. Kém. Foly. 93 (2) 54-58.
- [4] M. Chaplin, Water Structure and Behavior; <http://www.lsbu.ac.uk/water/molecule.html>;
(<http://www.lsbu.ac.uk/water/chaplin.html>) - rendszeresen és gyakran felújított fejezetekkel.
- [5] SH Atlasz, Kémia (1995), Springer Hungarica, 66-67 old.
- [6] D. Borşan (1981): Fizica atmosferei Univ. Bucureşti, Bucureşti, p. 125
- [7] Rákóczi Ferenc (1998): Életterünk a légkör, Mundus Magyar Egyetemi Kiadó, Budapest.
- [8] A Arking. (1999): Bringing climate models into agreement with observations of atmospheric absorption J. Climate (Boston) V. 12, Iss. 6; p.1589-1600.
- [9] Fizikai kislexikon, Kriterion kézikönyvek, 339 oldal
- [10] Theoretical study of atmospheric clusters: HNO₃-HCl-H₂O *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2009, 11(15), 9710 – 9719.
- [11] E. Tsivion, R. B. Gerber, (2009): Lifetimes of compounds made of noble-gas atoms with water, *Chem. Phys. Lett.*, V.482, p. 30-33.