

Käytännön mittauksia CO₂ absorptioitumisesta erilaisilla pitoisuuksilla eri tilanteissa

MScEng. Antti M. Järvenpää
20 syyskuuta 2019



Tiivistelmä: Tavoitteena oli testata CO₂ absorptioitumista käytännön olosuhteissa auringonpaisteessa ja saada kuvaa siitä, mitkä seikat vaikuttavat ylipäättensä kasvihuoneilmioon. Erilaisia valmistelevia kokeiluja tehtiin kesää ennen elohopeamittareilla ja kesällä 2019 etäluettavilla antureilla. Kokeissa saatiin aikaiseksi eri tyyppisiin koeastioihin kaunis kasvihuoneilmiö. CO₂:n oletettiin kohottavan merkittävässä määrin sen koeastian lämpötilaa, jossa oli korkeampi CO₂ pitoisuus. Tällaista eri lähteissä mainittua useiden asteiden lämpötilan nousua ei koeasetelmat tuottaneet. Itse asiassa käytettyjen välineiden mittatarkkuudella ei havaittu minkäänlaista vaikutusta lämpötilaan

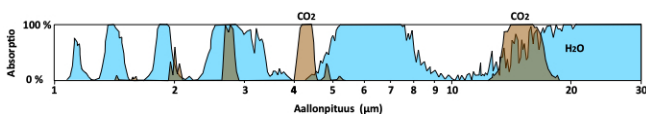
Avainsanat: kasvihuoneilmiö, säteilypakoite, CO₂

I. JOHDANTO

Kasvihuoneilmiötä tutki ensimmäisenä Josef Fourier vuonna 1824 ja 1896 Svante Arrhenius julkaisi artikkelin [1] joka perustui Langleyn observatorion kuun säteilyn mittaukseen. Näiden mittausten ja monien oletusten perusteella Arrhenius esitti teoriansa, kuinka CO₂ ja H₂O aiheuttavat kasvihuoneilmiön.

Arrhenius laski, että CO₂ pitoisuuden kaksinkertaistuminen nostaisi lämpötilaa noin 5°C, joka arvio on edelleen voimassa perustuen lähinnä Arrheniuksen tutkimuksiin.

Arrheniuksen aikaan ei ollut saatavilla mittauksia yli 8µm alueelta, joten hänen tietonsa eivät käsitelleet esim. 15µm kaistaa ja nykytiedon valossa hän sekoitti H₂O:n ja CO₂:n absorptiokaistoja toisiinsa korostaen CO₂ merkitystä. Arrheniuksen käyttämä yksikerroksinen kasvihuoneilmioimalli antaa melkein nollan lämpötilan nousun hiilidioksidin kaksinkertaistamiseksi, jos käytetään realistisia hiilidioksidin absorptioarvoja [2].



Kuva 1. H₂O ja CO₂ absorptio alueet IR säteilyn alueella

Arrheniuksen teorian suureksi kritisioijaksi aikalaisista nousi Knut Ångström [3], jonka assistentti herra Koch teki Teneriffalla 1896 kokeen, jossa kaksi 40 cm lasiputkea oli asennettu vierekkäin puiseen putkeen, jota voitiin säätää tarkalleen auringonsäteilyn suuntaan. Toiseen putkista laitettiin puhdasta ilmaa ja toiseen CO₂. Koetta toistettiin usean kerran kolmena päivänä ja mittausten perusteella CO₂ sisältävän putken ei havaittu absorptioivan IR säteilyä yhtään paremmin kuin verrokki lasiputken, jossa oli puhdasta ilmaa.

Edellisen jälkeen tehtiin laboratoriokokeita herra Koch:n toimesta maan lämpösäteilyn mittaamiseksi 100°C, 80°C ja 72°C lämpötiloissa. 100°C lämpötilassa ja 780 Hgmm

paineessa havaittiin 10% absorptio (mustan kappaleen säteilystä) CO₂:n 30cm kerrokselle. Kun paine alennettiin 2/3 osaan, oli osuus 0,4% kokonaissäteilystä. Edellisen perusteella Ångström päätteli, ettei enempää kuin noin 16% maan lämpösäteilystä voisi tulla absorptioituksi CO₂:n osalta ja toiseksi, että kokonaisabsorptio on hyvin vähän riippuvainen ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden muutoksista, kunhan se ei ole pienempi kuin 0,2 sen ajan arvosta.

Arrheniuksen aikalaisista professori R.W.Wood [4] teki myös omia kokeitaan lasi ja vuorisuola levyillä. Hän rakensi suljetut kasvihuonelavat, joiden päällä oli lasina em. levyt mutta hän ei havainnut mitään merkittävää lämpötila eroa lasi tai vuorisuolalevyillä peitettyjen lavojen välillä, joten hän päätteli, että Arrheniuksen päätelmät säteilypakoitteesta eivät voineet olla totta.

Varsinaisen kasvihuoneilmiön teoreettiseen taustaan ei ole palattu kokeellisesti sitten 1900-luvun alun. On hämmästyttävää, että edelleen viitataan Arrheniuksen ja perustutkimukselta on jäänyt tarkastamatta Arrheniuksen väitteet, jotka jo hänen aikakaudellaan kumottiin.

Sen sijaan profesori Woodin kokeesta on kaksi toistoa [5, 6]. Näistä professori Nasif S Nahlen 2011 tekemät professori Woodin kokeen toistot vahvistavat Professori Woodin päätelmät, että kasvihuoneilmiö perustuu konvektion puutteeseen, eikä lyhytaaltoisen säteilyn takaisinsäteilyn vangiksi jäämiseen. Woodin koetta on arvioinut myös Vaughan R. Pratt Stanford yliopistosta omilla kokeillaan vuonna 2010. Hän kritisoi vahvasti Woodin koetta ja omana tuloksena hän esittää keskiarvojen taulukon, jonka mukaan suolalasilalla päällystetty laatikko oli viileämpi.

Hr. Kochin kokeen on toistanut tri Thomas Allmendinger [7] 2016 saaden saman tuloksen, jonka herra Koch sai Teneriffalla 1896.

Yleisesti kasvihuoneilmiön sanotaan esiintyvän siten, että auringon lyhytaaltoinen IR-säteily läpäisee esim. lasin tai muovin, jonka jälkeen lämpösäteily, joka on absorptioitunut pintoihin säteilee pidempiaaltoisena pois päin näistä pinnoista, joka ei enää läpäise lasia, mutta läpäisee esim. PET(1) muovin.

Kuvassa 1 on H₂O ja CO₂ aallonpituudet, jotka absorptioivat IR säteilyä. Kun puhutaan CO₂:sta, oleellisia alueita ovat 2 µm, 4,2 µm ja 15 µm aallonpituuksia ympäröivät alueet. Näistä 4,2 µm alue on juuri auringon ja maan lämpösäteilyalueiden välisessä kuopassa. Kuvaa 1 tarkasteltaessa on myös syytä muistaa, että H₂O:n ja CO₂:n pitoisuudet ovat aivan eri suuruusluokkaa.

Kun nykyinen ilmakehän CO₂ pitoisuus on noin 400 ppm, niin silloin 1,5°C lämpötilan nousu seuraavan 100 vuoden aikana, kuten IPCC arvio tarkoittaisi että CO₂ pitoisuus saavuttaisi 500 ppm arvon noin 2070 ja 2120 CO₂ pitoisuus olisi 575 ppm paikkeilla, jos trendi jatkuisi nykyisellään.

1,5°C nousu 150 ppm nousua kohti tarkoittaisi 4-5°C nousua CO₂ pitoisuuden kahdenkertaistumista kohti, joka vastaa Arrheniuksen teorian arviota.

Nykyinen käsitys kasvihuoneilmioista selitetään varsin vallitsevasti siten, että sen aiheuttaa 15 µm alueella tapahtuva pintojen takaisin säteily, jolla aallonpituudella CO₂ absorptio maapallon lämpösäteilyä ja CO₂ pitoisuuden kasvu aiheuttaisi erityisesti tällä 15µm alueella lämpötilan nousun.

Nykykäsityksen mukaan absorptio tapahtuu fotonien absorptiosta, joka on riippuvainen siitä, onko energiapaketille sopivia hiukkasia olemassa, jolloin fotonin osuessa hiukkasen osuma-alueelle, tapahtuu absorptio. Itse fotonit liikkuvat valon nopeudella, mutta emissiossa on hitaus, ja näin ollen energialataus useimmiten laukeaa liike-energiaksi hiukkasten törmäyksessä ilman, että emissiota ehtii tapahtumaan.

On myös tärkeää ymmärtää, että absorptiot ja emissio samoin kuin törmäykset ovat tilastollisia ilmiötä. Koe asetelmia pohdittaessa on syytä muistaa, että lasillisessa tavallista vettä on enemmän hiukkasia kuin lasillisia vettä on kaikissa maailman merissä [8]. Samaten pätee myös, että lasillisessa ilma on enemmän hiukkasia kuin on lasija ilmaa koko ilmakehässä. Tämä antaa jonkinlaisen mielikuvan siitä, että jo hyvinkin pienessä koeastiassa on valtavan kokoinen otos.

II. KÄYTÄNNÖN KOEASETELMAT

A. CO₂ pitoisuuksien aikaansaaminen

Erilaisten CO₂ pitoisuuksien aikaansaaminen on aika yksinkertaista. Normaalin ulkoilman CO₂ pitoisuus on noin 400 ppm. Sisäilman normaali CO₂ pitoisuus vaihtelee 700 – 1.300 ppm välillä. Uloshengitys ilman normaali CO₂ pitoisuus on hiukan alle 40.000 ppm.

Edellisen perusteella on hyvin helppo saada koeastioihin noin 2 tai 10 kertainen CO₂ pitoisuus nykyiseen ulkoilman tasoon verrattuna, joiden tasojen pitäisi ilmastomuutosteorioiden mukaan johtaa merkittävään useiden asteiden lämpötilan nousuun. Pidempi aikaisessa testissä ongelmaksi muodostuu CO₂ pitoisuuden pysyvyyden varmistaminen, sillä lämpötilan ja paineen vaihdellessa koeastia helposti vuotaa kaasuja ulkopuolelleen.

B. Mittalaitteet

Ensimmäiset kokeilumittaukset tehtiin elohopea lämpömittareilla, jonka jälkeen mittarit vaihdettiin Netatmon sääaseman antureihin

Netatmon sääkomponenttina on Sensiron STH20 lämpötila/RH-anturi, joilla on seuraavat spesifikaatiot komponentin valmistajan sivuilla:

- Lämpötila-anturi -40 ... + 125 ° C / -40 ... + 257 ° F tarkkuudella ± 0.3 ° C / ± 0.54 ° F
- RH-anturi 0-100%, tarkkuudella ± 3%

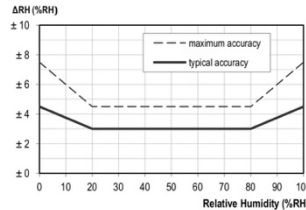
C. Testi astiat

Testeissä on käytetty sekä lasisia, PET (1) muovisia astioita ja tuore kelmaa. Auringon IR-säteily läpäisee lasia, mutta ei veden tai maanpinnan IR-säteilyä. PET (1) sen sijaan läpäisee pääsääntöisesti molempien tyyppistä lämpösäteilyä [9][10]. Testi sarja sisältää erilaisia kombinaatioita astioita, eristeistä astioista ja anturin suojauksista.

Sensor Performance

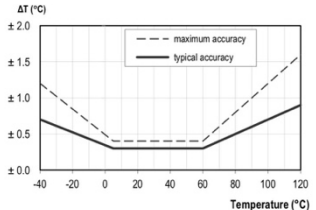
Relative Humidity

Parameter	Condition	Value	Units
Resolution ¹	12 bit	0.04	%RH
	8 bit	0.7	%RH
Accuracy	typ	±3.0	%RH
	max	see Figure 2	%RH
Repeatability		±0.1	%RH
Hysteresis		±1	%RH
Nonlinearity		<0.1	%RH
Response time ³	τ 63%	8	s
Operating Range	extended ⁴	0 to 100	%RH
Long Term Drift ⁵	Typ.	< 0.25	%RH/yr

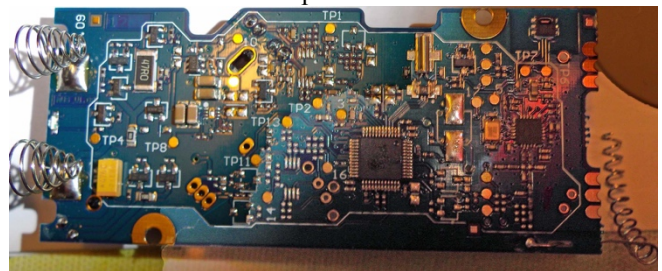


Temperature

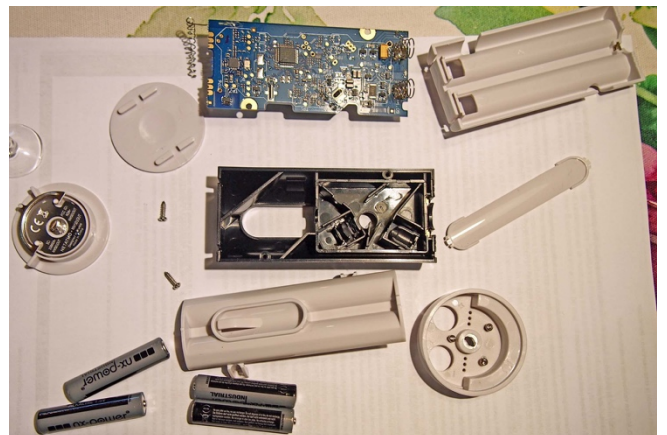
Parameter	Condition	Value	Units
Resolution ¹	14 bit	0.01	°C
	12 bit	0.04	°C
Accuracy	typ	±0.3	°C
	max	see Figure 3	°C
Repeatability		±0.1	°C
Operating Range	extended ⁴	-40 to 125	°C
Response Time ⁷	τ 63%	5 to 30	s
Long Term Drift ⁸	Typ.	< 0.02	°C/yr



Kuva 2a. STH20 anturien spesifikaatiot.



Kuva 2b Käytetyn anturin piirilevy ja hajotuskuva



D. Koeasetelmista yleisesti

Koeasetelmat on aikaansaatu alle 500€ budjetilla ja käytetyt välineet ja laitteet ovat sellaisia, joita on yleisesti saatavilla.

Testit on tehty pientalon puutarhassa, joka ei ole parhain paikka sääasemalle, sillä lähellä on rakennuksia ja puita, jotka ajoittain varjostavat antureita. Toisaalta kokeissa ei ole kyse sään tilastoinnista vaan auringon säteilyn vaikutuksen selvittämisestä, jossa ei ole merkitystä, vaikka anturit menevät ajoittain varjoon.

Koe astia menevät eri aikaisesti varjoon samoin kuin tulevat eriaikaisesti auringon paisteeseen. Aika ero on alle 5 minuuttia, joka vaikuttaa jonkin verran I-tila käyriin. Kokeiden aikana astioita ja antureita on vaihdettu ristiin mahdollisten systemaattisten erojen selvittämiseksi.

Ne, jotka haluavat tutustua enemmän Netatmon sääaseman anturien käyttäytymiseen löytyy siitä ainakin kaksi melko syvällistä opinnäytettä [11][12]. Edellisestä käy esille,

että Netatmon CO₂-anturi ei ole tai on huonosti lämpötila- ja painekompensoitu, joka tulee esille koetuloksista. Näin ollen CO₂ anturin lukemat ovat suuntaa antavia, antaen vain pitoisuuden suurusluokan. Jälkimmäisen mukaan anturin vasteaika lämpötilan suuriin muutoksiin on kymmeniä minutteja.

III. KÄYTÄNNÖN KOKEET

A. Testit joulukuussa 2018

Ensimmäiset kokeilut tehtiin kahdella Sodastream pullolla (PET (1)) ja kahdella elohopea lämpömittarilla. Vallitseva CO₂ pitoisuus ulkona oli 400 ppm ja 800 ppm sisällä Netatmon CO₂ mittarin mukaan. Elohopea lämpömittareiden lukemissa ei ollut kokeessa silmin havaittavaa eroa keskenään eikä eroa sisälämpötilaan, kun pullot olivat sisätilassa. Tulos oli odotettavissa termodynamiikan peruslakien mukaan CO₂ pitoisuudesta riippumatta.

B. Testit huhtikuussa 2019

Seuraavat kokeilut tehtiin kahdella Sodastream pullolla (PET (1)) ja kahdella elohopea lämpömittarilla ulkoilmassa. Vallitseva CO₂ pitoisuus ulkona oli noin 420 ppm ja sisällä noin 1100 ppm (Netatmon CO₂ mittarin mukaan).

Pullot olivat ulkona ja ulkolämpötila oli kokeen aikana 22-23°C. Lämpötila vaihteli jonkin verran kokeen aikana ja korkeimmillaan mittarit näyttivät hiukan yli 40 ° C.

PET (1) pullon pitäisi läpäistä auringon IR säteilyä ja merkittävässä määrin maanpinnan ja ympäristön IR säteilyä. Ilmastonmuutosteorian mukaan, korkeamman CO₂ pitoisuuden pitäisi absorptoida maanpinnan ja ympäristön IR-säteilyä, niin, että tapahtuisi merkittävä tai ainakin havaittava lämpötilan nousu.

Sodastream pulloihin syntyi selkeästi kasvihuoneilmiö, mutta pullojen välille ei syntynyt oleellista ja jatkuvaa lämpötilaeroa. Kokeilu herätti ajatuksen, että koe tulisi toteuttaa elektronisilla antureilla, jolloin anturien eroa voisi tutkia tarkemmin.

C. Testi toukokuu 2019

Kolmannessa koeasetelmassa oli kaksi lasipurkkia, joiden sisällä oli 2 Suomen lämpömittari Oy:n elohopea lämpömittaria laitettuina alumiinifoliolla verhoillun putkieristeen sisään. Koehetkellä ulkolämpötila oli 25 - 26°C välillä. Purkissa yksi oli runsaan 1000 ppm CO₂ pitoisuus (Netatmon CO₂ mittarin mukaan) ja purkissa kaksi oli noin 400 ppm CO₂ pitoisuus.

Tässä asetelmassa valitsevan käsityksen mukaan auringon IR säteily pääsee lasipurkkiin, mutta maan ja ympäristön IR säteilyn ei pitäisi läpäistä lasia. Kokeessa kuitenkin tulee esille selkeä kasvihuoneilmiö ja lämpötila vaihtuu selkeästi sen mukaan onko suoraa auringon säteilyä vai ei. Korkeimmillaan mittarien lukemat kävivät noin 38°C paikkeilla. Koeasetelmasta voisi ajatella, että mittarit ja niiden ympärillä olevat eristeet aiheuttavat pitempi aaltoisen lämpösäteilyn. Jos näin oli, niin hiilidioksidin oletus ei kuitenkaan saanut vahvistusta tästä kokeesta

D. Testi 6-11.6.2019

Neljännessä koeasetelmassa elohopealämpömittarit oli korvattu kahdella etäluettavalla Netatmon elektronisella anturilla. Lisäksi purkin kokoa kasvatettiin 2 litraan ja purkki oli tiivisteellä varustettu purkki, jonka lasikansi suljetaan

rautalanka mekanismilla. Anturit oli asetettu putkieristeen sisään niin, että vain anturin ilmanottoaukot olivat näkyvissä.

Kuuden päivän kokeen aikana ulkolämpötila vaihteli 16,7 - 23,5 °C vuorokausi keskiarvojen välillä. Korkein mitattu arvo oli 29,7 °C ja alin 9,4 °C. Kahden koeastian, joista toisessa oli n.1200 ppm CO₂ pitoisuus ja toisessa noin 400 ppm CO₂ pitoisuus, välille syntyvä keskimääräinen lämpötilaero on ollut -0,237 ja 0,051°C välillä. Käytetty laitteisto mittaa arvoja noin 5 minuutin välein, jolloin vuorokauden keskiarvot ovat 288 näytteen keskiarvoja. Vuorokauden maksimi lämpötiloissa korkeamman CO₂ pitoisuuden astiassa korkeimmat lämpötilat ovat joitakin kymmeniä suuremmat, mutta minimeissä ei näytä olevan eroja.

CO₂ pitoisuudella ei näytä olevan mitään vaikutusta vuorokauden lämpötilan keskiarvoon. Sen sijaan hetkittäisissä arvoissa voi olla joidenkin asteiden eroa. Nämä erot näyttävät syntyvän auringon IR säteilyn vaihdellessa päivän aikana. Johtuvatko erot jostakin vaihesiirrosta vai vain siitä, että astiat ovat jonkin matkan päässä toisistaan ja menevät tämän vuoksi varjoon ja aurinkoon hieman eriaikaisesti, ei ole aivan selvää.

Netatmon CO₂ anturin sanotaan mittaavan hyvinkin tarkkaan CO₂ pitoisuutta, mutta grafiikasta näemme, että anturi on hyvin herkkä I-tilan muutoksille ja ilmeisesti myös paineen muutoksille, joka vaihtelee suljetussa astiassa I-tilan mukaan. Oleellista kuitenkin on se, että anturi näyttää CO₂ pitoisuuksien eron pysyvyyden, jonka tiedämme olevan ulkoilman ja huoneilman välillä. Tällä tavallaan kontrolloidaan lasipurkkien tiiveyttä.



Kuva 3. Testi astiat D 6-11.6.2019

	Päivien	Päivien	Päivien max	Päivien min	T _{outmin} -
päivät	keski I-tilan ero	keski I-tila	I-tilojen ero	I-tilojen ero	T _{1min}
6.6.2019	0,051	22,6	0,4	0,0	-8,3
7.6.2019	-0,063	23,1	0,5	0,0	-3,1
8.6.2019	0,005	23,5	0,3	0,0	1,4
9.6.2019	0,037	20,0	-0,1	0,0	1,4
10.6.2019	-0,047	16,7	0,4	0,0	1,7
11.6.2019	-0,237	17,4	-0,5	0,0	2,4

Kuva 4. Neljännän testin tulokset

E. Testi 12-17.6.2019

Viidennessä koeasetelmassa haluttiin kontrolloida koeasetelmaa 4, asettamalla molempiin lasiastioihin sama CO₂ pitoisuus.

	Päivien	Päivien	Päivien max	Päivien min	T _{outmin} -
päivät	keski I-tilan ero	keski I-tila	I-tilojen ero	I-tilojen ero	T1 _{min}
12.6.2019	-0,138	16,1	0,2	0,1	1,9
13.6.2019	-0,012	14,7	0,2	0,0	1,8
14.6.2019	0,058	15,7	0,3	0,1	1,6
15.6.2019	-0,182	17,0	-0,1	0,0	0,0
16.6.2019	-0,019	18,3	0,6	0,1	2,3
17.6.2019	-0,021	19,0	0,3	0,1	2,6

Kuva 5. Viidennen testin tulokset

Oleellista koasetelman 4 kontrollissa oli, että tuloksissa ei ollut muuta eroa kokeeseen 4 kuin se, että ulkolämpötila oli toinen. Kun auringon paiste oli palannut 15.6.2019 käyrät noudattavat samaa linjaa kuin kokeessa 4.

F. Testi 18-23.6.2019

Kuudes koasetelma oli periaatteessa samanlainen kuin koasetelma 4, mutta tässä lasipurkit korvattiin kahdella PET(1) pullolla. Pullot olivat lähdevesi pulloja, jotka halkaistiin ja teipattiin yhteen sen jälkeen, kun Netatmon anturit oli saatu pullojen sisälle. Astioiden koko näin rakennettuna oli noin 4,5 litraa. Anturit asetettiin saman putkieristeen sisään kuin koasetelmassa 4.



Kuva 6. Testi astiat F (PET(1) purkit)

	Päivien	Päivien	Päivien max	Päivien min	T _{outmin} -
päivät	keski I-tilan ero	keski I-tila	I-tilojen ero	I-tilojen ero	T1 _{min}
18.6.2019	-0,348	19,8	0,2	0,0	2,7
19.6.2019	-0,396	20,0	-1,8	0,1	2,7
20.6.2019	-0,208	21,3	-0,3	0,0	2,9
21.6.2019	-0,202	22,0	0,1	0,0	2,5
22.6.2019	-0,061	17,0	0,5	0,0	3,2
23.6.2019	-0,208	16,0	0,6	0,1	2,8

Kuva 7. Kuudennen testin F tulokset

Koasetelman tarkoitus oli saada näkyviin maasta tulevan lämpösäteilyn vaikutus, koska pidemmän aallonpituuden IR säteily ei läpäise lasia (esim. sitä, mitä maanpinta lähettää) ja näin ollen ei myöskään 15µm aluetta, jossa CO₂ absorptio sanotaan tapahtuvan.

Käyristä voidaan havaita, että anturien T1 ja T2 välille ei syntynyt mitään selkeää lämpötilaeroa ei päivällä eikä yöllä, eikä näin ollen erilaisilla CO₂ pitoisuuksilla näyttänyt olevan mitään vaikutusta.

Tulos ei näyttäisi poikkeavan mitenkään lasipurkkien vastaavasta tuloksesta. Kokeen perusteella näyttäisi, että tässäkin astioiden kaasut lämpenevät auringon suoran IR säteilyn

vaikutuksesta joko suoraan tai niin, että astian sisällä syntyy pidempi aaltoista säteilyä. Tulos on tavallaan sama kuin minkä professori R. W. Wood oli havainnut omissa kokeissaan 1909.

Kokeen ongelmana oli, että PET(1) pullot eivät olleet tiiviitä. Sen vuoksi puhalsin 19.6.2019 toiseen koestiaan uloshengitystä, joka sai CO₂ mittausanturin menemään maksimi lukemiinsa. Saman jouduin toistamaan 21.6.2019. Pullot joko vuotivat teippauksesta tai korkistaan lämpötilan aiheuttaman painevaihtelun takia.

Koska PET(1) astia läpäisee merkittävässä määrin maan lämpösäteilyn aallonpituudet, olisi maan säteilypakoitteen pitänyt tulla tässä esille. Kokeesta voidaan kuitenkin havaita, ettei edes yli 10-kertaisella CO₂ pitoisuudella näytä olevan mitään vaikutusta astioiden lämpötila eroihin. Korkealla CO₂ pitoisuudella ei ollut tässääkään kokeessa mitään vaikutusta.

G. Testi 24-25.6.2019

Seitsemännessä koasetelmassa katkaistut PET(1) purkit asetettiin kivituhka kasaan. Astiat upotettiin hiekkään noin 20 mm verran ja ympärille kasattiin hiekkää, joka kasteltiin, jotta hiekka tiivistyisi.



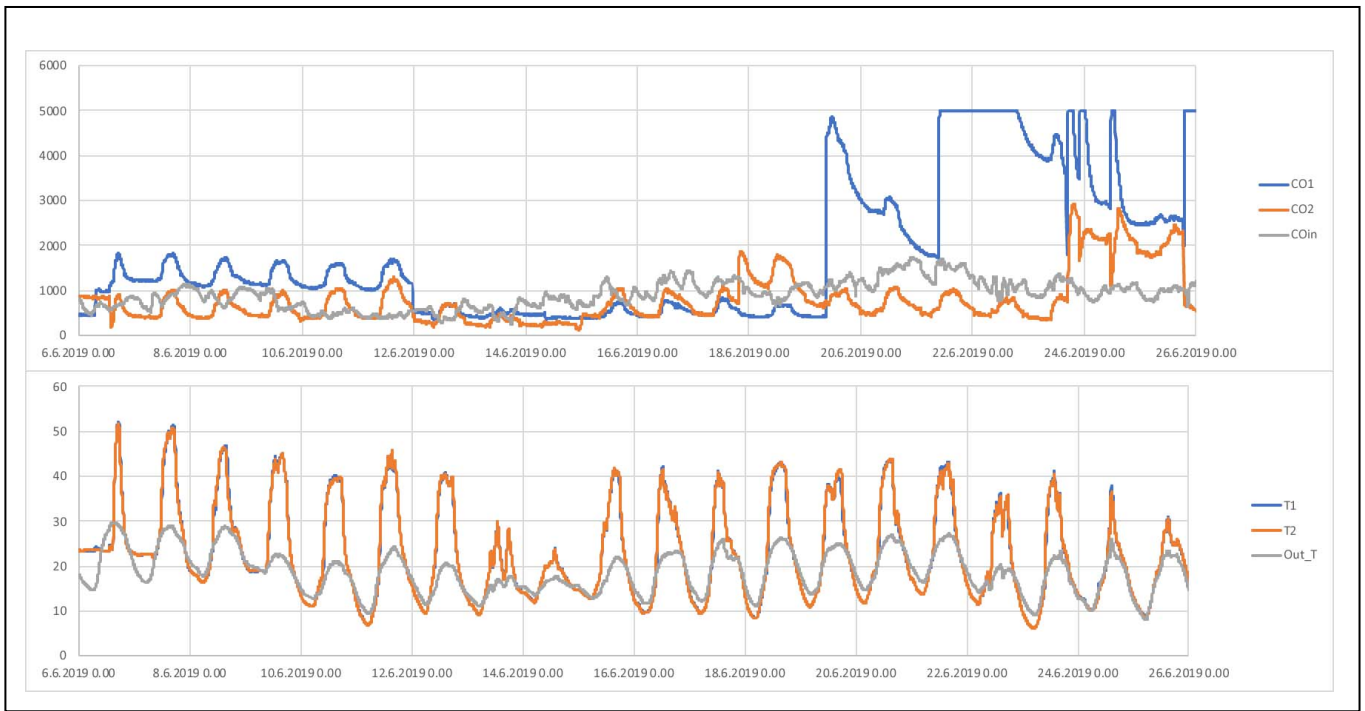
Kuva 8. Testi astiat G (PET(1) purkit)

	Päivien	Päivien	Päivien max	Päivien min	T _{outmin} -
päivät	keski I-tilan ero	keski I-tila	I-tilojen ero	I-tilojen ero	T1 _{min}
24.6.2019	0,116	16,6	1,4	0,1	-0,3
25.6.2019	-0,061	16,6	0,3	0,1	-0,5

Kuva 9. Seitsemännen testin G tulokset

Toiseen astiaan puhallettiin uloshengitys ilmaa, jolloin CO₂ mittari meni maksimi arvoihinsa. Toinen astia tuuletettiin ulkoilman pitoisuuteen. CO₂ käyrästä nähdään, että asetelu ei ollut sillä tavalla tiivis, että korkea CO₂ pitoisuus olisi säilynyt. palautui aina uudestaan samaan tilanteeseen. Tässä koasettelussa toin ulkoilman lämpötila anturin muutaman kymmenen senttimetrin päähän koeantureista.

Lopputulokset on mielenkiintoinen. Yöllä, kun ei ole sanottavammin auringon suoraa säteilyä, niin koe astioiden kuin ulkoilman lämpömittarin arvot menevät täysin samaa rataa, vaikka astioissa on selkeästi korkeampi CO₂ pitoisuus. Näin ollen maaperän IR-säteily ei näytä aiheuttavan minkäänlaista säteilypakoitetta, joka olisi riippuvainen CO₂ pitoisuudesta.



Kuva 10 Kesäkuun 2019 testien D-G tulokset

Toisaalta esille tuli mielenkiintoisesti, että maasta mitä ilmeisemmin nousi CO₂ tai metaania, jonkin mätänemisreaktion tuloksena. Koitin korjata tilannetta pari kertaa, mutta se

Hiikkakasa oli hiukan sivummalla ja varjoisassa paikassa, joten paikkaan tuli niukasti suoraa auringon säteilyä. Grafiikasta voidaan kuitenkin havaita, ettei myöskään suorassa auringon säteilyssä tullut esille koeastioissa toisistaan poikkeavia lämpötiloja.



Kuva 11 Testi astiat H (lasipurkit)

Ylemmät käyrät ovat CO₂ pitoisuus käyriä, joista näkyy, että NDIR-anturi ei ole lämpötila kompensoitu. Käyrän loppuosasta näkyy myös se, että PET astia ei ole täysin tiivis ja näin ollen CO₂ pitoisuus laskee, kun astian paine vaihtelee.

Lämpötilakäyrissä ei ole havaittavaa eroa koe astioiden välillä. Ulkolämpötilan anturi oli kokeen alussa 24.6 asti noin 6 metrin päässä autokatoksessa. Kun anturi siirrettiin koeastioiden viereen, antoi se myös yöllä täsmälleen samat lämpötila lukemat.

Koe astioihin on syntynyt selkeästi kasvihuoneilmiö, joka ei ole kuitenkaan riippuvainen CO₂-pitoisuudesta, vaan eri koeastioiden lämpötilat seuraavat toisiaan CO₂-pitoisuudesta riippumatta

H. Testi 26.6–31.7 2019

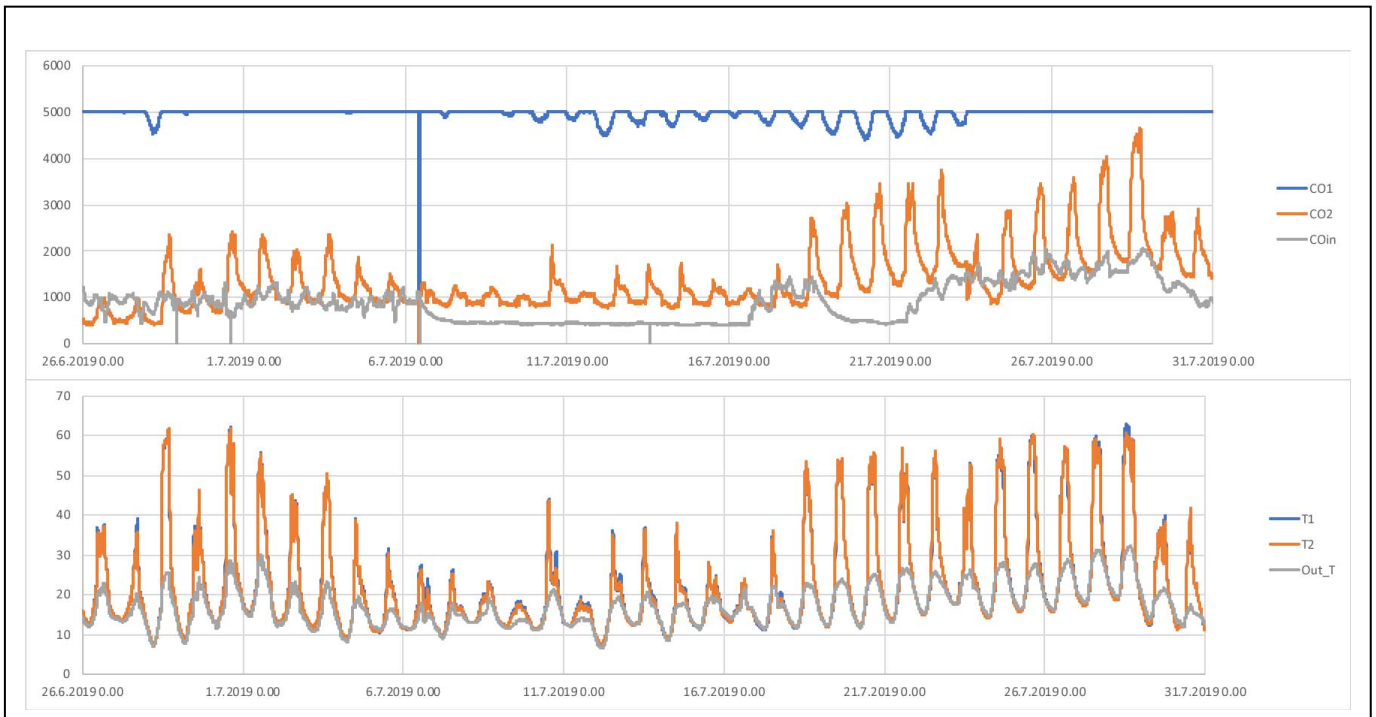
Kahdeksannessa koeasetelmassa lasipurkkeihin asetettiin musta Armaflex solumuovieriste. Ajatuksena oli, että tällä varmistetaan pitkäaaltoinen IR-säteily lasipurkin sisällä. Jotta molempien purkkien sisällä olisi sama määrä solumuovia, katkaistiin viemäriputken ympärille tarkoitettu eriste ensin ja sitten halkaistiin se kahtia.

Joko mustasta solumuovista tai anturista (ympäriellä ei ole nyt eristetty) johtuen anturikotelon sisällä olevan sääanturi näyttää korkeampia lämpötiloja auringon suorassa IR säteilyssä. Mitään varmaa tietoa ei ole siitä, kummasta seikasta korkeampi lämpötila oli seurausta ja mahdollista on toki, että se johtui molemmista.

Netatmon anturien ulkokuori on harjattua alumiinia ja päädyt valkoista muovia. Alumiinikotelon sisällä on muovinen kotelo, jonka sisällä on anturit. Näin ollen anturissa on useita lämpökatoja, jonka vuoksi luultavasti mustalla solumuovilla on tässä tapauksessa suurempi merkitys.

Kokeessa vertailtiin myös Bilteman yleismittarin lämpöanturilla millainen lämpötila tulee lasipulloon, jossa ei ollut muuta kuin tuo Bilteman piikkimäinen lämpöanturi (noin 50 mm pitkä). Ajatuksena oli, että kun pelkän lasipullon sisälle ei pitäisi mennä kuin auringon IR säteilyä, niin saataisiin käsitys siitä, kuinka suuri osuus lämmön noususta koeastioissa tulee solumuovin tai anturin kuorien pintojen lämpösäteilystä. Astiat ja mittalaitteet olivat viereisen kuvan mukaisesti.

Kuvassa 14 on 30.6.2019 käsin kerätyt arvot Bilteman mittarista, jotka on yhdistetty Netatmon keräämiin tietoihin. Oranssi viiva kertoo ulkolämpötilan, sininen lasipullon kaasun lämpötilan ja harmaa kasvihuonetta simuloivan purkin lämpötilan. Käyrästä näemme, että lasipullon lämpötila, jonka



Kuva 12 Heinäkuun testien H tulokset

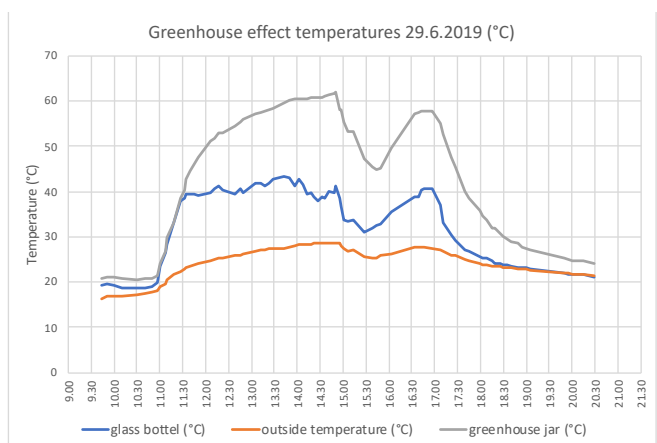
pitäisi johtua vain auringon IR säteilystä, oli noin puolet koko kasvihuoneilmästä silloin kun oli suoraa auringon säteilyä.

päivät	Päivien keski I-tilan ero	Päivien keski I-tila	Päivien max I-tilojen ero	Päivien min I-tilojen ero	T _{outmin} - T _{1min}
26.6.2019	0,024	16,2	0,3	-0,2	-0,7
27.6.2019	0,162	15,2	3,7	-0,2	-0,7
28.6.2019	-0,220	15,6	-1,6	-0,2	-0,4
29.6.2019	0,319	15,4	-0,5	-0,1	-0,9
30.6.2019	0,001	19,3	0,5	0,1	-0,5
1.7.2019	0,305	20,4	0,3	-0,2	-1,0
2.7.2019	0,093	16,1	-0,1	-0,2	-0,7
3.7.2019	-0,006	15,3	-0,6	-0,2	-0,7
4.7.2019	0,009	13,7	0,1	-0,1	-1,0
5.7.2019	0,199	13,3	1,0	-0,2	0,7
6.7.2019	0,448	13,4	1,1	-0,1	0,3
7.7.2019	0,163	13,2	1,1	-0,3	-0,4
8.7.2019	0,206	14,8	-0,1	-0,1	0,0
9.7.2019	0,346	12,7	0,8	-0,1	-0,5
10.7.2019	0,542	15,6	0,5	-0,1	-0,2
11.7.2019	0,288	12,9	0,8	-0,3	-0,4
12.7.2019	0,277	13,5	1,0	-0,2	-0,8
13.7.2019	0,309	15,9	0,4	0,0	0,2
14.7.2019	0,043	14,0	-0,4	-0,3	-0,2
15.7.2019	0,060	15,9	-0,1	-0,1	-0,1
16.7.2019	-0,109	16,3	-1,3	-0,1	0,9
17.7.2019	0,119	16,2	-0,1	-0,2	0,1
18.7.2019	-0,155	17,4	-0,2	-0,1	0,1
19.7.2019	-0,134	18,3	0,2	0,0	0,2
20.7.2019	-0,097	18,8	-0,2	0,1	-0,5
21.7.2019	-0,057	20,4	-0,3	0,2	-0,5
22.7.2019	-0,109	20,7	0,0	0,1	0,4
23.7.2019	0,107	21,2	0,2	0,1	-0,2
24.7.2019	-0,155	21,6	-0,2	0,2	0,5
25.7.2019	-0,040	21,8	-0,4	0,2	0,5
26.7.2019	-0,152	22,5	-0,5	0,3	0,2
27.7.2019	0,576	24,7	0,8	0,3	0,6
28.7.2019	0,826	25,2	2,5	-0,1	1,2
29.7.2019	0,121	18,4	1,4	-0,3	1,7
30.7.2019	-0,106	14,5	-1,7	0,0	0,7
31.7.2019	-0,307	15,9	-0,7	-0,2	0,4

Kuva 13. Kahdeksannen testin H tulokset

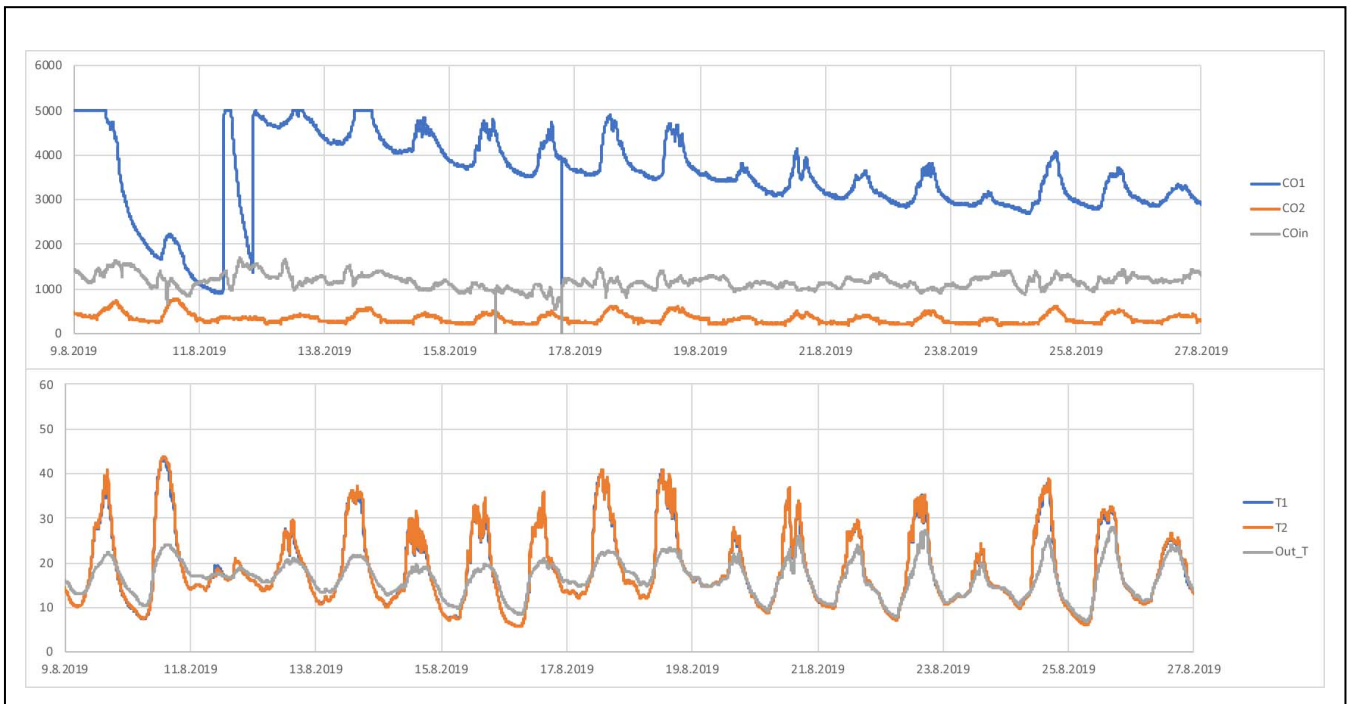
Kasvihuoneilmiö näyttäisi siis johtuvan osittain suorasta auringon IR säteilystä ja osittain lämpenevien pintojen takaisinsäteilystä pidempiaaltoisena säteilynä. Jotta asiasta saisi täsmällisemmän kuvan, pitäisi tätä mitata pidempi aikasarja dataloggerilla, jota ei nyt ollut käytössä. Joka tapauksessa tämä pieni koe osoittaa, että kasvihuoneilmiössä auringon suoralla IR säteilyllä on merkittävämpi osuus kuin on ajateltu.

Hiilidioksidin osalta koeasetelma 8 ei tuo mitään uutta, CO₂ pitoisuuden erolla ei näytä olevan mitään vaikutusta koeastioiden lämpötiloihin, vaikka toisessa koeastiassa on CO₂ pitoisuusmittarin maksimin mukainen määrä tai enemmän CO₂:ta (5000 ppm). Tämä pitoisuus saatiin koeastiaan puhaltamalla siihen uloshengitys ilmaa, jossa CO₂ pitoisuus on noin 40000 ppm. Tulokset näkyvät taulukossa ja oheisessa grafiikassa.



Kuva 14. Kasvihuone ilmiö

Testin kahdeksan tuloksia tulkitessa tilanne vastaa lähteen [12] testaus tuloksia siinä mielessä, että anturia ei ole mitenkään eristetty suoralta auringon säteilyltä. Kun purkit avattiin testin lopussa, oli anturin ulkopinta selkeästi lämmin.



Kuva 15. Elokuun koasetelma I tulokset

I. Testi 9.8–26.8. 2019

Yhdeksännessä koasetelmassa PET(1)purkkeihin asetettiin mustaa Armaflex solumuovieristettä. Ajatuksena oli, että tällä varmistetaan pitkäaaltainen IR-säteily koeastian sisällä. Sensori suojattiin valkoisella paperilla, jonka päällä oli ensin alumiinifolio, joka jouduttiin poistamaan, koska se esti langattoman yhteyden. PET(1) purkki oli tällä kertaa 0,8litran samankaltaista ohutta PET-muovia oleva purkki kuin virvoitusuomapullot.

Koasetelman tulokset ovat hyvin samankaltaiset kuin aiemmissakin. CO₂-pitoisuudella ei näytä olevan mitään vaikutus koeastioiden lämpötilaan. Myös tämän PET(1) purkin osalta oli vuoto ongelmia, jota korjailtiin 12.8.2019 paikkeilla asettamalla kanteen tiiviste, joka sekään ei aivan pitänyt, mutta pitoisuus ero purkkien välillä säilyi mittavana.

päivät	Päivien	Päivien	Päivien max	Päivien min	T _{outmin} - T _{1min}
	keski I-tilan ero	keski I-tila	I-tilojen ero	I-tilojen ero	
9.8.2019	0,025	14,8	-1,5	0,0	1,3
10.8.2019	0,071	16,7	0,2	-0,1	2,9
11.8.2019	0,218	15,1	0,0	-0,3	-0,4
12.8.2019	0,076	15,7	1,0	-0,2	-0,8
13.8.2019	0,066	16,6	-0,3	0,0	1,7
14.8.2019	-0,043	15,0	-0,4	-0,3	-0,2
15.8.2019	-0,089	15,3	-1,4	0,1	2,5
16.8.2019	-0,071	15,8	-0,3	0,0	2,9
17.8.2019	0,038	17,4	0,0	-0,2	0,1
18.8.2019	-0,127	18,2	-0,2	-0,1	0,1
19.8.2019	-0,138	17,4	0,2	0,0	0,2
20.8.2019	-0,149	17,5	-0,2	0,0	0,6
21.8.2019	-0,048	18,0	-0,3	0,0	0,6
22.8.2019	-0,187	18,1	0,0	0,0	0,6
23.8.2019	0,027	18,2	0,2	0,0	0,4
24.8.2019	-0,155	21,6	-0,2	0,2	0,5
25.8.2019	-0,040	21,8	-0,4	0,2	0,5
26.8.2019	-0,064	19,3	-0,5	-0,2	-0,7

Kuva 16 Yhdeksännen testin I tulokset



Kuva 17 Testi astiat I (PET purkit)

J. Testi 3.9–12.9. 2019

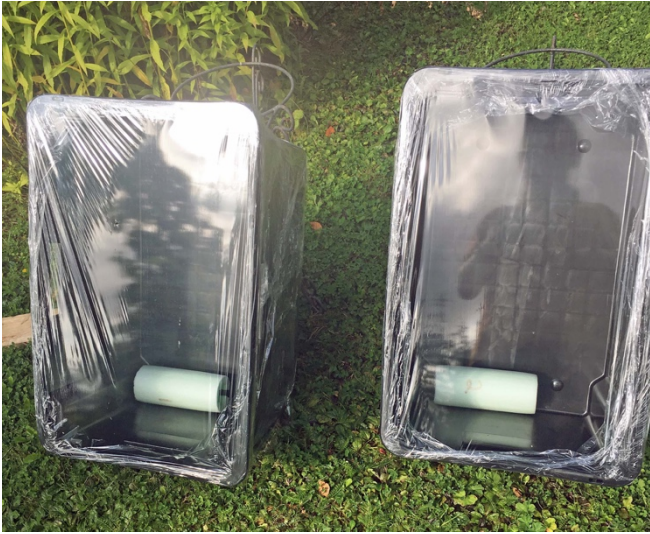
Kymmenennessä koasetelmassa mustiin 52 litran muuttolaatikoihin laitettiin kanneksi polyeteeni eli tuorekelmu kalvo. Mittausanturit laitettiin putkieristeen sisään ja vertailuastiaan laitettiin hiilidioksidia CO₂ pullosta, jolloin lähtötilanteen pitoisuus on ollut luultavasti 10.000 ppm paikkeilla.

Polyteenikalvo, joka tarttuu yleensä hyvin pintaan jos toiseenkin, ei tahtonut tarttua muuttolaatikon pintaa. Ehkä tästä tai jostakin muusta syystä kalvo tai rakennelma ei kyennyt pitämään CO₂ sisällään, vaan sitä vuoti hiljalleen pois astiasta. Käyrän muodosta voi päätellä, että alun perin CO₂ on ollut noin 10.000 ppm verran.

Muuttolaatikkoon ei lisätty mitään ylimääräistä koska ajatuksena oli että musta pinta absorptoi auringonsäteilyä ja säteilee sitä takaisin pidemmällä aallonpituudella.

Muuttolaatikoihin tulikin kaunis kasvihuoneilmiö ja tulokset olivat samanlaiset kuin kaikissa muissakin kokeissa.

CO₂ pitoisuudella ei näytä olevan mitään vaikutus koeastioiden lämpötilaan.

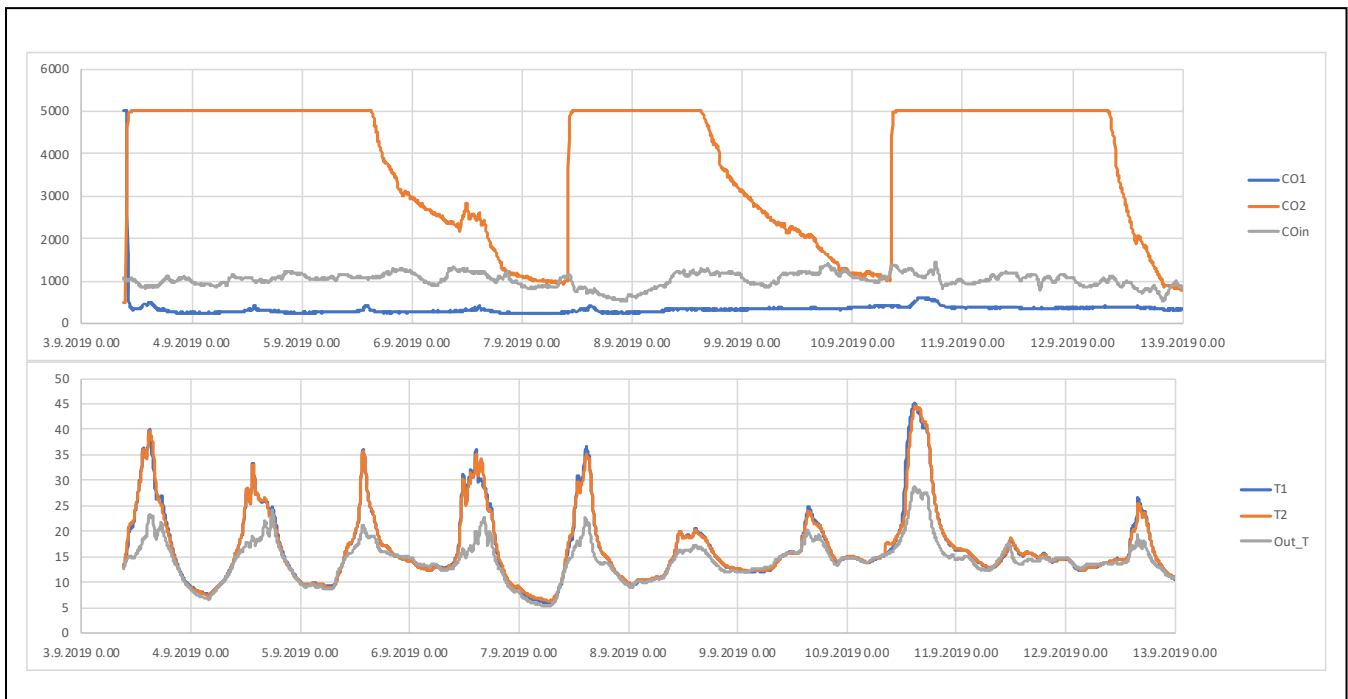


Kuva 18 Testi astiat J (52 litran muuttolaatikat)

päivät	Päivien		Päivien max I-tilojen ero	Päivien min I-tilojen ero	T _{outmin} - T _{1min}
	keski I-tilan ero	keski I-tila			
3.9.2019	-0,059	16,1	0,3	0,1	-0,5
4.9.2019	0,173	13,6	0,3	0,1	-0,8
5.9.2019	0,042	13,9	0,2	0,1	-0,5
6.9.2019	-0,059	14,2	1,0	-0,6	-0,4
7.9.2019	-0,223	11,4	1,4	-0,5	-0,6
8.9.2019	-0,072	13,1	0,3	-0,3	-0,3
9.9.2019	-0,016	15,0	0,8	-0,2	0,0
10.9.2019	0,201	18,3	0,5	-0,1	-0,1
11.9.2019	-0,113	14,3	-0,4	-0,2	-0,5
12.9.2019	0,097	14,0	1,2	-0,2	0,1

Kuva 19 Kymmenennen testin J tulokset

Kuva 20 Syyskuun koeasetelma J tulokset



IV. YHTEENVETO

On mielenkiintoista havaita, että kasvihuoneilmiötä ilmiönä ei ole juurikaan tutkittu Josef Fourier 1824, Svante Arrhenius 1896 jälkeen. Ainoat toistot näyttäisivät liittyvän prof. Woodin ja herra Kochin kokeisiin. Myöhemmät ilmiöön liittyvät tutkimukset ovat yrityksiä selvittää maapallon säteilytasapainoa ilmastonmuutosteorioiden todistamiseksi, mutta itse perusilmiön tutkimiseen ei olla nähtävästi palattu runsaaseen sataan vuoteen, vaikka edellytykset ilmiön tutkimiseen olisivat jo vuosia olleet aivan jotain muuta kuin runsaat sata vuotta sitten.

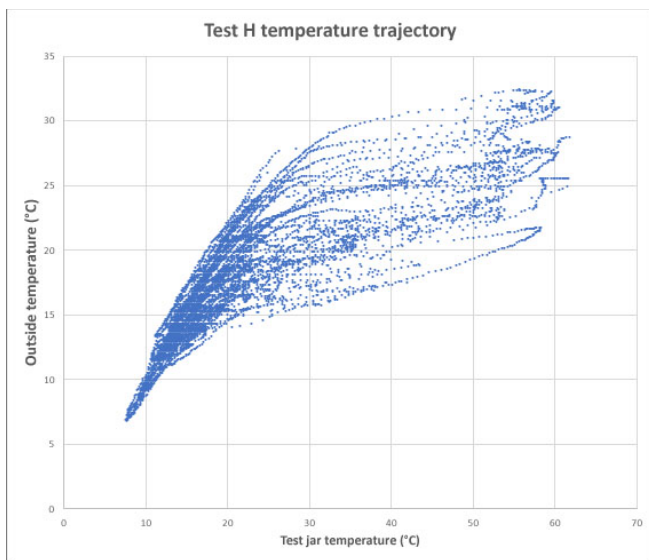
Ne jotka ovat lukeneet Arrheniuksen Philosophical Magazine and Journal of Science Series 5, Volume 41, April 1896, sivuilla 237 - 276 julkaistun kasvihuoneilmiötä koskevan artikkelin, tietävät, millaisilla mittauksilla, logiikalla ja oletuksilla hän päätyi johtopäätöksiinsä CO₂ ja H₂O:n osalta. On hyvin hämmästyttävää, että tähän artikkeliin vedotaan yhä, vaikka nyky tiedeyhteisöllä olisi kyky tutkia kasvihuoneilmiötä juurta jaksaan.

Tekemässäni koesarjassa tuli vastaan asioita, joita yritettiin huomioida ja asioita, jotka tulivat yllätyksenä..

- Lasi ja PET(1) muoviastioilla yritettiin saada esille 15µm IR säteilyn vaikutus, joka aallonpituus läpäisee muovia mutta ei lasia.
- CO₂ pitoisuuden erolla haluttiin selvittää, vaikuttaisiko pitoisuusero kenttäkokeissa astioiden sisälle muodostuvan kasvihuoneilmiön lämpötilaan.
- Yllätyksenä tuli, että CO₂:lla ei näytä yhdessäkään koeasetelmassa olevan mitään vaikutusta kasvihuoneilmiön lämpötilaan
- Yllättävää on ollut, että pelkät anturit lasiastian sisällä ovat riittäneet kasvihuoneilmiön syntymiseen lasiastiassa ja toisaalta myös pelkkä auringon säteily näyttäisi aiheuttavan osan kasvihuoneilmiöstä.

Kun koesarjoja on toistettu useita kertoja hieman varioiden, niin herää epäily, että lasin ja PET(1) materiaalien eron hyödyntäminen edellyttäisi ilmeisesti hyvin minimaalista anturia, joka ei absorptioi ollenkaan tai absorptioisi hyvin vähän auringon IR säteilyä. Tässä kokeessa anturi on ollut mittavat kokoinen, joka absorptioi itseensä sellaisen määrän auringon IR säteilyä, että myös kokeissa käytettyjen lasipurkkien sisälle tuli 15µm IR säteilyä.

Edellisen vuoksi kahdeksannessa koesarjassa kerättiin käsin Biltman yleismittariin kuuluvalla lämpöanturilla tietoa, lämpiäkö sellainen lasipullo, jossa on vain tuo Biltman lyhyt sauvamainen anturi. Lasipullo näyttäisi lämpenevän, mutta ei yhtä paljon kuin sellainen, jossa on iso anturi. Asiaa pitäisi tutkia tarkemmilla antureilla ja paremmalla koeasetelmalla, mutta jo tällä perusteella voidaan arvioida, että kasvihuoneilmioistä selittyy auringossa noin 50% auringon lyhytaaltoisen IR säteilyllä ja toinen noin 50% selittyy pinnoista tapahtuvan pitkäaaltoisen takaisinsäteilyn kautta.



Kuva 21 Testin H trajektori

Huolellisilla mittauksilla ja pienillä antureilla olisi nykypäivänä mahdollista tutkia hyvinkin tarkkaan sitä, missä määrin auringon suora IR säteily ja toisaalta pintojen pidempi aaltainen lämpösäteily vaikuttavat kasvihuoneilmioon. Joka tapauksessa jo tällä perusteella voidaan arvioida, että vallitseva käsitys, jossa kasvihuoneilmiö perustuisi pääosin pintojen pitkäaaltoiseen takaisin säteilyyn on väärä, vaikka se toistuu esimerkiksi internetissä lähes kaikkialla.

Kuvassa 21 on yhden kuukauden trajektori siitä, miten testiastian lämpötila vaihtelee ulkoilmanlämpötilan funktiona. Kuvio muistuttaa golf mailaa ja se kertoo, ettei ulkoilman lämpötilalla ole väliä, vaan kasvihuoneilmiö tulee missä hyvänsä lämpötilassa auringon paisteesta riippuen.

Jokaisessa koesarjan osiossa saavutettiin kaunis kasvihuoneilmiö, mutta missään niissä CO₂-pitoisuudella ei näyttäisi olevan mitään havaittavaa vaikutusta lämpötila eroihin eikä näin ollen ole havaittavissa minkäänlaista säteilypakotetta. Koesarjoissa esiintyy jonkin verran hetkittäisiä eroja, joista ainakin osa on seurausta esim. siitä, että aurinko osuu ensin toiseen anturiin jne. Tulos on yllättävä, koska olisi voinut olettaa, että jonkinlainen systemaattinen ero olisi havaittavissa ainakin 10 kertaisilla pitoisuus eroilla.

Tulos voidaan tulkita muutamalla eri tavalla:

- jo nykyiset noin 400 ppm pitoisuudet ovat niin suuria, että kaikki CO₂ kasvihuoneilmion potentiaali tulee käytetyksi. Konsentraation lisäys ei siis lisää mitenkään säteilypakotetta koeolosuhteissa.
- kasvihuoneilmiö on lähempänä professori Woodin ajatusta, jossa kyse ei ole lyhytaaltoisen säteilyn vangitsemisesta vaan konvektion estymisestä.
- koko kasvihuoneilmiö fysikaalisena ilmiönä on ymmärretty täysin väärin ja sen ymmärtäminen oikein vaatisi ilmiön uudelleen tutkimista.

Kun hiilidioksidin nykyisten pitoisuuksien ja sitä jopa 10 kertaista suurempien pitoisuuksien erot eivät näytä aiheuttavan havaittavia lämpötilaeroja, herää kysymys, miten on asia muiden kasvihuonekaasujen, kuten metaanin, osalta.

Tämä koesarja on erittäin matalan budjetin koesarja, jonka kustannukset ovat olleet:

- alle 500€ hankintoina
- muutamien viikkojen ajankäyttö

Käytetyt menetelmät eivät vastaa tieteellistä koetta, mutta ovat huolellisesti tehtyjä. Kaikki data on tarvittaessa saatavissa sellaisina datasarjoina, kuin ne on mitattu.

Koesarjan tulokset ovat sellaisia, että niitä ei olisi varaa ohittaa ilman, että kokeet varmistetaan jossakin tai useammassa laboratorioissa. Sanomattakin on selvää, että juuri nyt yhteiskunta on tekemässä valtavia päätöksiä, jotka perustuvat aivan toisenlaiseen uskomukseen hiilidioksidin osuudesta, mitä tässä koesarjassa on tullut esille.

Toivomukseni onkin, että nämä tai vastaavat kokeet toistettaisiin mahdollisimman monessa toistokokeessa ja sellaisissa laboratorioissa, joissa kaikki tekijät ovat hyvin kontrolloitavissa.

V. POHDINTAA

Nämä testit eivät ole tieteellisiä kokeita, vaan pikemmin esitutkimus siitä, mitä tulisi ottaa huomioon ilmiötä tutkittaessa. Lisäksi kokeet ovat tuoneet esiin mittauslaitteisiin liittyviä kysymyksiä, jotka auttavat ymmärtämään tuloksia.

Netatmon CO₂-anturin sanotaan mittaavan CO₂ erittäin tarkasti, mutta grafiikasta näemme, että anturi on erittäin herkkä lämpötilan muutoksille ja ilmeisesti myös paineen muutoksille, jotka vaihtelevat suljetussa astiassa lämpötilan tilan mukaan. Tärkeää on kuitenkin, että anturi osoittaa eron CO₂-pitoisuuksissa, jonka tiedämme olevan ulko- ja sisäilman välillä.

Yksityiskohtaisempia tutkimuksia tästä anturista löytyy tutkimuksesta [11], jonka mukaan tällaisten NDIR-antureiden lukemat tulisi kompensoida sekä lämpötilan että paineen suhteen. Netatmon osalta kyseistä kompensointia ei ole tai se on huonosti toteutettu. Kun tarkastellaan eri tutkimusasetemien CO₂ mittausarvoja, jää miettimään, kuinka hyvin niiden CO₂-anturit on kompensoitu, koska monissa tapauksissa ne näyttävät seuraavan päivän lämpötilan muutoksia.

Netatmon anturien suojakuoret ovat kooltaan suuria. Ne, jotka haluavat tietää enemmän laitteista, voivat lukea lähteestä [12] laitteen lämpötiloudesta, albeidosta jne. Ne, jotka

haluavat tietää enemmän anturien rakenteesta, voivat katsoa miten anturit on rakennettu:

- <https://www.fictiv.com/blog/posts/netatmo-weather-station-teardown-part-1-outdoor-module>
- <https://www.fictiv.com/blog/posts/netatmo-weather-station-teardown-part-2-indoor-module>

Anturien koko vaikuttaa ilmeisimmin lopputulokseen, koska ne itse absorboivat jossain määrin auringon IR-säteilyä. Testausasetelman parantamiseksi testi astioissa tulisi olla vain anturi ja kaiken muun elektroniikan tulisi olla koe astian ulkopuolella.

Tämän tyyppiset testaus asetelmat sisältävät monia hajonnan lähteitä. Siksi mittauslaitteiden mittatarkkuus ei ole ratkaiseva, mutta mittarit tulisi kalibroida siten, että ne näyttävät samaa. Varjot, astioiden suunta jne. vaikuttavat yksittäisiin lämpötila arvoihin. Eräässä mielessä koe astiat ovat säteilymittareita, jotka voitaisiin kalibroida asettamalla vastukset purkin sisään ja mittaamalla, millaisilla vastuksien arvoilla saavutettaisiin samat lämpötilat.

Tarkkailemalla lämpötilamuutoksia purkeissa, havaitaan, että säteilyn voimakkuus vaihtelee pelkästään auringossa, puhumattakaan siitä, että auringon edessä on pilviä.

Lähteet:

- [1] Svante Arrhenius, On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground, Philosophical Magazine and Journal of Science Series 5, Volume 41, April 1896, pages 237 - 276
- [2] Jean-Louis Dufresne, L'effet de serre : sa découverte, son analyse par la méthode des puissances nettes échangées et les effets de ses variations récentes et futures sur le climat terrestre, Laboratoire de Méteorologie Dynamique Institut Pierre Simon Laplace, CNRS, Université Pierre et Marie Curie, Ecole Polytechnique, Ecole Normale

Supérieure, soutenu le 26 janvier 2009, à l'Université Pierre et Marie Curie

- [3] Ångström, K. (1900). "Ueber die Bedeutung des Wasserdampfes und der Kohlensäure bei der Absorption der Erdatmosphäre." *Annalen der Physik* 308(12): 720-732.
- [4] R.W. Wood (1909) XXIV. Note on the theory of the greenhouse, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 17:98, 319-320, DOI: 10.1080/14786440208636602
- [5] Nasif S. Nahle; University Professor, Scientist, Scientific Research Director at Biology Cabinet@ San Nicolas de los Garza, N. L., Mexico.; Repeatability of Professor Robert W. Wood's 1909 experiment on the Theory of the Greenhouse
- [6] Vaughan R. Pratt, Stanford University ; Wood's 1909 greenhouse experiment, performed more carefully,; 13.09.2019 at site <http://clim.stanford.edu/WoodExpt/>
- [7] Thomas Allmendinger; The thermal behaviour of gases under the influence of infrared-radiation; *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 11(15), 16 August 2016, pp. 183-206; doi: 10.5897/IJPS2016.4500
- [8] Jim Ali-Khalili, Black Holes, Wormholes & Time Machine, Institute of Physics, London 2003
- [9] Melissa R. Jung et al., Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms, *Marine Pollution Bulletin* 127 (2018) 704–716, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>.
- [10] R-Pet pullomateriaalina, case Hartwall, Johanna Ryyppö, 2012 Lahden ammattikorkeakoulu.
- [11] J. Petersen, J. Kristensen, H. Elarga, R. Andersen and A. Midtstraum Accuracy and Air Temperature Dependency of Commercial Low-cost NDIR CO₂ Sensors: An Experimental Investigation; 2018; International Centre for Indoor Environment and Energy ICIEE, Department of Civil Engineering Technical University of Denmark, Lyngby, Kongens Lyngby 2800, Denmark.
- [12] Yann Georg Büchau, Modelling Shielded Temperature Sensors An Assessment of the Netatmo Citizen Weather Station, Meteorological Institute University of Hamburg 13th March, 2018.