





Sisällys

MAL - Tiedottajalta	2
Auringon aktiivisuus ja ilmastonmuutos - kommentteja Metlan raporttiin ja M. Tiurin valtuustoaloitteeseen	3
Ilmastonmuutoksen vaikutus lumioloihin	6
Tulevaisuuskuvia ja ydinvoimaa	9
MALin klubi-illat alkuvuonna 2013	18

Taitto:Sirkku Pohja

Kannen kuva: Pirjo Silius-Miettinen

Paino: Copy-Set Oy, Helsinki 2013



MAL - Tiedottajalta

Ilmasto on teemana vuoden 2013 ensimmäisessä MAL-lehdessä. Teema on valittu osin siksi, että Martti Tiuri laati syksyllä TEKin valtuustoaloitteen: Ilmastotiedon edistäminen virheinvestointien välttämiseksi. Tiuri kirjoittaa aloitteessaan, että puulustotutkimusten mukaan ilmastomuutokset johtuvat valtaosin auringon aktiivisuuden vaihteluista, mutta ilmastotutkijat eivät tunne metsäntutkijoiden tuloksia.

Oletteko samaa mieltä? Geofysiikan dosentti Heikki Nevalinna kertoo oman näkemyksensä lehdessämme.

Fysiikan tohtori Jouni Räisänen käsittelee ilmastomuutoksen vaikutusta lumioloihin. Lumesta on viime vuosina ollut paljon puhetta etenkin pääkaupunkiseudulla, missä on tätä kirjoitettaessa aluillaan ehkä jo neljäs runsasluminen talvi peräkkäin.

MAL-toiminnan aktiivisuudesta on malliesimerkki Marke Hongiston johdolla tehty vierailu Olkiluotoon. Retken tapahtumiin voitte tutustua lehdestämme.

Toivottavasti viihdytte lehtemme parissa. Ja tulette mukaan MAL – toimintaan. MAL-tapahtumia voi seurata verkkosivustollamme <http://mal-liitto.fi/fi/kalenteri>.

Kevättä odotellessa, talvesta nauttiessa

Toivottavasti nähdään MALin tapahtumissa!



Kuva: Pirjo Silius-Miettinen

*Pirjo Silius-Miettinen
MAL Tiedottaja*



Auringon aktiivisuus ja ilmastomuutos

Kommentteja Metlan työraporttisarjan (No. 240) julkaisuun (Mielikäinen, Timonen ja Helama) sekä Martti Tiurin TEKin valtuustoaloitteeseen (syyskuu 2012).

Molemmissa kirjoituksissa halutaan korostaa auringon säteilymuutosten keskeistä osuutta maapallon ilmakehän lämpötilamuutoksissa. Tulokset on saatu vertaamalla tilastollisesti Fennoskandian alueen puulustotietoja (lämpötilan proksi) auringon aktiivisuustietoihin viimeisten tuhansien vuosien ajalta. Kun molempia aikasarjoja on sopivasti tasoitettu ja tehty tiettyjä vaihe-siirtoja, saadaan korrelaatioita, jotka tekijöiden mielestä todistavat auringon keskeistä osuutta lämpötilan vaihteluissa, vaikka tarkastelussa ei ole muita tekijöitä otettu huomioon.

Metlan tutkimuksista osa on tehty yhteistyössä venäläistutkijoiden kanssa (mm. Raspopov, Shumilov ja Pudovkin), joiden ekspertiisi rajoittuu auringon säteilyvaihteluiden alueelle, ei itse ilmastomuutokseen. Auringon säteilyvaikutuksen osuuden lähitulevaisuudessa vuoteen 2100 saakka tekijät ovat ottaneet venäläisen aurinkotutkijan Habibullah Abdussamatovin kirjoituksista. Tämä on melko outo valinta, koska Abdussamatovin väittämiä auringon säteilyn hiipumisesta Maunderin säteilyminimin (1645-1715) tasolle tulevien vuosikymmenien aikana ei ole julkaistu missään alan kansainvälisessä tieteellisessä lehdessä, vaan venäläisessä tieteen populaarijulkaisussa. Abdussamatovin mukaan olisi vuosisadan loppuun mennessä odotettavissa 1-2 asteen viileneminen, mutta jo sitä ennen tapahtuisi ilmaston huomattava viileneminen niin sanotun Pikku Jääkauden tapaan. Hänen mukaansa ilmakehän keskipitkän aikavälin vaihtelut aiheutuvat vain auringon säteilymuutoksista eikä kasvihuonekaasujen pitoisuuden muutoksilla ole mitään vaikutusta lämpötilan vaihteluihin, millä näkemyksellä ei ole tieteellistä pohjaa lainkaan. Aihepiiristä laajemmin ja samasta erityiskysymyksestä on lukuisia muita julkaisuja arvostetuissa referoiduissa julkaisusarjoissa, joissa on päädytty ainakin kertaluokkaa pienempiin lämpötilamuutoksiin, jos auringon tulevien vuosikymmenien ajaksi ennustettu säteilyn heikkeneminen toteutuu Maunderin minimin kaltaisena. Niiden ilmastolliset vaikutukset jäisivät vähäisiksi ja mahdollinen lämpötilan pudotus jää antropogeenisen lämpötilanousun varjoon (Feulner, 2011).

Tähän Heikki Nevanlinnan artikkeliin liittyen Metlan julkaisu on luettavissa netissä osoitteessa <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.pdf>. Martti Tiurin valtuustoaloitteen lähtökohtana on se, että ilmastomuutos johtuu muusta kuin ihmisen toiminnasta.

Muita relevantteja kirjallisuusviitteitä tähän asiakokonaisuuteen on tämän kirjoittajan julkaisussa (Nevanlinna, 2012).

Tuntuu siten yllättävältä, että kirjoittajat ovat valinneet käytettävissä olevista auringon säteilymuutosten arvioinneista kaikkein epätodennäköisimmän ja tieteellisesti epäluotettavimman lähteen, jota kuitenkin esitellään ikään kuin tieteellisesti perusteltuna näkemyksenä ilmaston todennäköisestä kulusta auringon säteilytoiminnan vajauksen seurauksena (Kuva 2.1.17).

Abdussamatov on esitellyt teorioitaan myös Suomessa YLE:n toimittamassa MOT-tieto-ohjelmassa keväällä 2011, jossa varsin poleemisesti ja tieteellisesti kapealla pohjalla haluttiin vähätellä vallitsevan käsityksen mukaisia ilmastomuutoksen tutkimustuloksia. Sekä Abdussamatov että Metlan kanssa yhteistutkimuksia tehnyt prof. Oleg Raspopov ovat esiintyneet allekirjoittajina kansainvälisessä sosiaalisessa mediassa leviävissä kiertokirjeissä, joissa polemisoidaan ja vähätellään virheellisillä tiedoilla Hallitusten välisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) tuloksia, mikä ei ainakaan lisää heidän uskottavuuttaan ilmastoalan relevanttien tutkimustulosten tuottajina. Venäjän tiedeakatemian Oleg Raspopov, Sergei Shumilov ja Mikhail Pudovkin edustavat koulutukseltaan ja tieteellisiltä meriiteiltään avaruustutkimusta iono- ja magnetosfäärifysiikan aloilta. He ovat olleet Ilmatieteen laitoksen avaruustutkijoiden kanssa yhteistyössä 1970- ja 1980-luvuilla. Varsinaista ilmastotutkimuksen koulutusta heillä ei ole.

Metlan työraportissa tutkijat asettuvat kannattamaan maapallon lämpötilavaihtelujen syyksi avaruuden kosmisen säteilyn oletettua vaikutusta ilmakehän pilvisyyteen ja sitä kautta lämpötiloihin lähellä maanpintaa. Mukaan tulee myös auringon aktiivisuus, kun auringon avaruuteen emittoima magneettinen plasmasuihku (aurinkotuuli) moduloi kosmisen säteilyn pääsyä maapallolle. Kyseessä on paljon huomiota saanut tanskalaisen Svensmarkin 1990-luvulla esittämä hypoteesi, vaikka itse teoria on esitetty jo 1950-luvulla ja uudelleen 1970-luvulla. Aihepiiriä ovat tutkineet myös yllämainitut venäläistutkijat. Työraportissa annetaan ymmärtää, että kosminen ilmastovaihteluteoria olisi vahvistettu, vaikka alan tiedeyhteisön käsitys IPCC:n raporttien mukaan on päinvastainen: kosmisella säteilyllä voi olla pieni pilvisyyttä muuttava vaikutus, mutta se on ilmastollisesti merkityksetön. Viimeaikaiset tulokset vain vahvistavat tätä käsitystä. Vastaavia tutkimuksia ovat julkaisseet myös suomalaistutkijat prof. Markku Kulmala johtamassa työryhmässä (Kulmala et al., 2010).

Auringon kokonaissäteilyn muutokset tuottavat maapallolle vaihtelevan lisäenergian, joka auringonpilkujen 11-vuotisessa vaihtelussa on noin promillen luokkaa kuten satelliittimittaukset ovat osoittaneet. Siitä aiheutuva lämpötilan muutos on havaittavissa lämpötilan aikasarjoissa, mutta jää suuruudeltaan alle 0.1 °C, kuten myös ilmastomallitkin osoittavat. Mukana on myös aktiivisuuteen liittyvä UV-säteilyn muutos, jonka vaikutukset jäävät pääosin stratosfääriin ja sitä ylempiin ilmakehän kerroksiin. Vielä pidemmän ajanjakson puitteissa 1700-luvulta lähtien auringon osuus maapallon lämpö-

tilan nousussa jää tämänkin alle kuten esimerkiksi IPCC:n raporteissakin on tiedeyhteisön kantana tuotu esille.

Auringon kokonaissäteilyn vaihtelut ovat mukana pitkän aikavälin ilmastomalleissa. Tällaisia tarkasteluja on tehty mm. Max-Planck -instituutin Millennium-projektissa, jossa maapallon lämpötilan kehitystä on tutkittu viimeisen 1000 vuoden ajalta, kun vaikuttavina agentteina on ollut ilmakehän oman dynamiikan lisäksi myös auringon säteilyn muutokset. Näissäkin malleissa auringon vaihteleva osuus on nähtävissä, mutta ei keskeisenä tekijänä. Erityisesti viimeksi kuluneiden noin 50 vuodena aikana auringon keskimääräinen aktiivisuus on ollut sama tai hieman vähenevä. Samaan aikaan kuitenkin maapallon pintalämpötila on jatkanut nousuaan merkittävästi, joten auringon vaikutuksilla on siinä ollut merkityksellisen osuus.

Mitä tulee 2000-luvulla havaittuun lämpötilan kasvun hidastumiseen niin sekin selittyy varsin selkeästi El Nino ja La Nina -vaihtelujen kautta ja taustalla vaikuttaa edelleen kasvihuonekaasujen kasvusta aiheutuva lämpötilan jatkuva globaali nousu (esim. Foster and Rahmstorf, 2011). Mitään pitkäaikaista ilmaston viilenemistä ei siis ole odotettavissa.

Tässä arvioitavien kirjoitusten vakavin puute on siinä, että niissä varsin yksipuolisesti ja tilastollisesti puutteellisesti tarkastellaan vain auringon aktiivisuuden väitettyjä dominoivia vaikutuksia maapallon lämpenemiskehitykseen. Muut paljon keskeisimmin vaikuttavat ilmakehän fysikaaliset mekanismit jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Lisäksi kirjoituksissa viitatus aurinkoperäiset ja kosmiset tekijät ovat varsin spekulatiivisia ja niiltä puuttuu tieteellinen perusta. Tulokset ovat ristiriidassa alan keskeisten tutkimustulosten kanssa.

Auringon aktiivisuuden osuus maapallon lämpötilassa ja ilmastomuutoksessa on tilastoin ja ilmastomallien kautta verifioitavissa, mutta sen osuus ei ole ollut keskeinen viimeksi kuluneiden noin 1000 vuoden aikana eikä erityisesti nykyaikana ilmakehässä vaikuttavien antropogeenisten tekijöiden rinnalla.

*Heikki Nevanlinna
Geofysiikan dosentti
Eläkkeellä*

Kirjallisuusviitteitä:

- Feulner, G., 2011. Are the most recent estimates for Maunder minimum solar irradiance in agreement with temperature reconstruction? *Geophys. Res. Lett.* 38.
- Foster, G. and Rahmstorf, S., 2011. Global temperature evolution 1979–2010, *Environmental Research Letters*, pp. 044022-.
- Kulmala, M., et al., 2010. Atmospheric data over a solar cycle: No connection between galactic cosmic rays and new particle formation. *Atmos. Chem Phys.*, 10, 1885–1889.
- Nevanlinna, H., 2012. Auringon aktiivisuus ja ilmastomuutos. Ilmatieteen laitos - Raportteja 2012:3, 41 s.

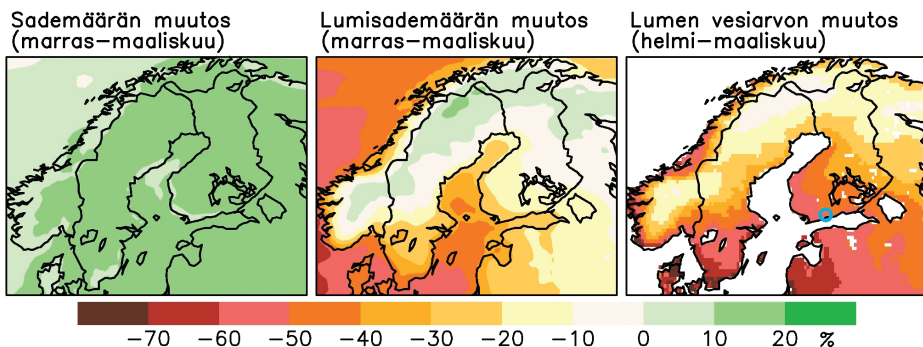


Ilmastomuutoksen vaikutus lumioloihin

Lumesta on viime vuosina ollut paljon puhetta etenkin pääkaupunkiseudulla, missä on tätä kirjoitettaessa aluillaan ehkä jo neljäs runsasluminen talvi peräkkäin. Ovatko lumiset talvet seurausta ilmastomuutoksesta vai ovatko ne tapahtuneet ilmastomuutoksesta huolimatta? Tässä artikkelissa ilmastomuutoksen vaikutusta lumioloihin tarkastellaan EU:n ENSEMBLES-hankkeessa tehtyjen alueellisten ilmastomallisimulaatioiden pohjalta.

Keskimäärin lumi vähenee ...

Mallien kanta ilmastomuutoksen vaikutuksiin on selvä: keskimäärin lumi vähenee. Yhdentoista mallin keskimääräisen ennusteen mukaan talvikauden keskilämpötila olisi Suomessa vuosina 2040-2069 noin 3°C korkeampi kuin v. 1981-2010. Talvikauden kokonaissademäärä kasvaa noin 10% (kuva 1, vasemmalla), mutta varsinkin Etelä- ja Keski-Suomessa sateista entistä isompi osa tulee vetenä. Niinpä lumisateet vähenevät Lappia lukuun ottamatta (kuva 1, keskellä). Maahan kertyvän lumen määrä – jota mal-
leissa edustaa lumipeitteen vesi-arvo – vähenee hiukan Lapissakin, mutta etelämpänä paljon enemmän. Helmi-maaliskuussa, jolloin lunta on nykyisin eniten, sitä olisi vuosisadan puolivälissä Pohjois-Lapissa noin 10% tähänastista vähemmän, mutta Lounais-Suomessa enää puolet nykyisestä määrästä (kuva 1).



Kuva 1. Talvikauden (marras-maaliskuu) kokonaissademäärän ja lumisademäärän muutokset sekä lumipeitteen vesi-arvon muutos helmi-maaliskuussa. Muutokset kuvaavat eroa jaksojen 1981-2000 ja 2040-2069 välillä 11 mallisimulaation tulosten keskiarvona. Kuvassa 2 tarkasteltava piste on merkitty viimeiseen karttaan sinisellä ympyrällä.

... mutta vuosienvälinen vaihtelu jatkuu

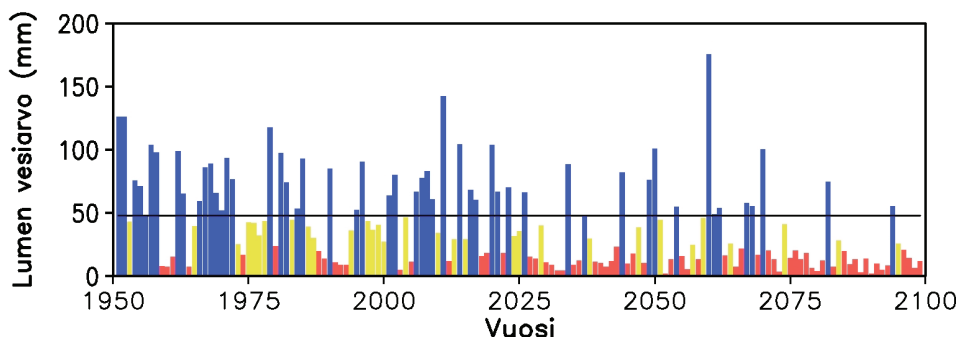
Ovatko viimeaikaiset lumiset talvet sitten ristiriidassa mallitulosten kanssa? Eivät suinkaan välttämättä. Edellä tarkasteltu lumimäärän 30 vuoden keskiarvo ei suoraan kerro, mitä jonain yksittäisenä talvena tapahtuu.

Erityisesti Uudellamaalla lumiolot vaihtelevat suuresti vuodesta toiseen. Jotkin länsituulten hallitsemat talvet, kuten viimeksi 2007-2008, ovat lähes lumettomia alituisten suoja-aiden takia.

Sellaisina talvina, joina ilmavirtaukset käyvät voittopuolisesti idän tai kaakon puolelta, lunta kertyy paljon enemmän. Mantereiset kaakkoistuulet pitävät yleensä lämpötilan pakkasen puolella, mutta etenkin alkutalvesta ne keräävät runsaasti kosteutta mukaansa vielä avoimelta Suomenlahdelta. Rannikkokonvergenssina tunnetun ilmiön takia suuri osa kaakkoistuulten tuomasta kosteudesta sataa lumena etelärannikon tuntumaan.

Viime talvien lumimäärät ovat olleet suuria mutteivät läheskään ennätyksellisiä. Helmikuussa 2010 lunta oli Helsingin Kaisaniemessä enimmillään 73 cm mutta maaliskuussa 1941 peräti 109 cm. 1970-luvun alun jälkeen runsaslumisia talvia on kuitenkin sattunut harvoin, mikä on saanut viime talvet tuntumaan poikkeuksellisilta.

Entä sitten tulevaisuudessa? Kuvassa 2 nähdään esimerkkinä lumimäärän vuosienvälinen vaihtelu Uudellamaalla yhdessä käytetyistä ilmastomalliajoista. Kaikkiaan vähälumiset talvet yleistyvät ja runsaslumiset harvinaistuvat malli-ilmaston vähitellen lämmitessä. Kuitenkin myös runsaslumisia talvia esiintyy vielä tämän vuosisadan loppupuolellakin.



Kuva 2. Lumipeitteen vesiarvon kuukausiarvojen vuosimaksimit eteläisellä Uudellamaalla eräässä ilmastomalliajossa. Vuosien 1981-2010 simuloitu keskiarvo on merkitty vaakaviivalla. Tätä runsaslumisemmat talvet on merkitty sinisillä pylväillä. Talvet, joina lumen määrä jää alle puoleen vuosien 1981-2010 keskiarvosta, on merkitty punaisella. Näiden kahden ääripään väliin osuvat talvet on merkitty keltaisella värillä.

Tässä simulaatiossa koko 150-vuotisjakson 1951-2100 lumisin talvi osuu sattuman oikusta vasta vuoteen 2060. VR:lle, tai minkä niminen firma tuolloin junaliikennettä hoitaakaan, voi silloin ennustaa suuria vaikeuksia, jos tämä malliennuste käy toteen.

*Jyrki Räisänen
Professori
Helsingin yliopisto
Fysiikan laitos*

Lisätietoa aiheesta

Eklund, J., 2010: Lumiolojen muutokset Pohjois-Euroopassa alueellisissa ENSEMBLES -ilmastomallisimulaatioissa. Pro gradu, Helsingin yliopiston fysiikan laitos, 65 + 3 s.

Räisänen, J. ja J. Eklund, 2011: Ilmastomuutoksen vaikutus lumioloihin. Ilmastokatsaus, 11/2011, s. 4-5.

Räisänen, J. ja J. Eklund, 2012: 21st century changes in snow climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models. Climate Dynamics, 38, 2575-2591. 10.1007/s00382-011-1076-3.



Kuva: FutureImagebank.fi



Tulevaisuuskuvia ja ydinvoimaa

TVO:n vieraana

MAL järjesti 1.12.2012 retken Olkiluotoon, paluumatkalla pysähdyimme lounaalla Vuojoen kartanossa. Toivon, ettei kellään osallistujalla ole suurempaa valittamista, minulla on: emme päässeet Posivan Onkaloon 450 metrin syvyyteen, näimme ainoastaan TVO:n voimalaitosjäteluolan noin 60 metriä maan alla. Mikä pettymys, isännät selittivät, että Onkalossa tehdään korjaustöitä. Alueella käy 20 000 vierailijaa vuodessa, joten ehkä tutkimusluolastoa ei voi pitää jatkuvasti turistikohteena; sitä tn. valmisteltiin loppusijoitusluvan hakemusta varten. Saimme mukaan kotimatkallemme erinomaisen kirjan /17/, mistä kiitokset isännille ja emännille.

Olkiluodon kaksi kiehutusvesireaktoria, OL 1 ja OL 2 käynnistyivät vuonna 1978 ja 1980. Sähkötehoa on korotettu (600 MW_e -> 885-860 MW_e). Rakenteilla oleva OL 3 on 1600 MW_e:n painevesireaktori. OL 4:n YVA-suunnitelmat löytyvät työ- ja elinkeinoministeriön nettisivuilta esim. /27/, siellä on runsaasti laitosten toimilupiin ja turvallisuuteen liittyvää materiaalia. Voimalaitosjäteluolaan haudataan aikanaan mm. primääripiiriin vedensuodattimien hartsit, voimalaitostoiminnassa syntyvä, sairaaloiden yms. radioaktiivinen jäte sekä sähköntuotannon loputtua voimaloiden kontaminoituneet osat. Hauta on varsin kostea: opastaulujen mukaan luolasta joudutaan pumppaamaan 40 litraa vettä minuutissa. Seinämät olivatkin paikoin kauniin vihreiden sammalten ja saniaisten peittämiä.

Meille annettiin valoisa kuva ydinvoimasta. Isännät painottivat laitosten olevan loistavassa kunnossa; käyttöilupaa on tarkoitus pidentää vuoteen 2040 /27/. 1970-luvulla opetettiin säteilyn haurastuttavan ydinvoimalaa s.e. käyttöiän enimmäismäärä on 40 v. Kyselyosuus oli lyhyt: mm. voisiko hukkalämpöä (nykyisin 2x1670 MW_{th}, joka nostaa meren lämpötilaa 13.3 °C, kartat /27/ s. 113) käyttää enemmän hyödyksi; yksi kasvihuone on aika vähän. Polttoaineen loppusijoituksesta ei yleisesittelyssä puhuttu mitään, ehkä niistä olisi syntynyt liikaa kysymyksiä. Senpä takia keskitytään ydinjätelhautaan ja sen tulevaisuuteen.

Ydinjätahuollosta

Vielä 1970-luvulla käytetyn polttoaineen radioaktiiviset aineet oli tarkoitus erottaa jälleenkäsittelylaitoksissa ja kierrättää hyötöreaktoreissa; nestemäiset jätteet piti kiinteyttää esim. lasittamalla ja haudata keskitetysti. Jälleenkäsittely osoittautui kuitenkin kalliiksi ja vaaralliseksi; lähellä asuvan väestön epäiltiin sairastuvan säteilyhaittoihin

ja erotettu materiaali sopi myös ydinaseisiin. Kun hyötöreaktoreiden kehitys pysähtyi prototyyppiasteelle ja jälleenkäsittelysopimukseen lisättiin 1970-luvulla vaatimus palauttaa jälleenkäsittelyjäte alkuperämaahan havaittiin, että jokaisen jätteentuottajan on hävitettävä ydinjätteensä lopulta omin neuvoin.

Posiva haki loppusijoituslaitosten rakennuslupaa valtioneuvostolta joulukuussa /18, liitteet/. Ruotsalainen ydinjäte haudataan tn. Forsmarkin peruskallioon Selkämeren vastakkaiselle rannalle, muualla maailmassa loppusijoitusohjelmat /13a, 13b/ ovat suunnitteluasteella tai vaikeuksissa, kansainvälisesti hyväksyttyä loppusijoitusratkaisua ei ole. EU:ssa moni toivoo keskitettyä ydinjäteluolastoa, saksalaiset toisivat mielellään jätteensä Suomeen /19/. Lähes kaikki ydinvoimaloiden käytetty polttoaine makaa voimalaitosalueilla vesialtaissa, jäähtymässä. Sotateollisuuden jätteet ovat vielä oma lukunsa. Väliarastoinnissa on vaaransa; Fukushima toi sen yleiseen tietoisuuteen.

Posivan tarkoitus on haudata OL 1-3 ja Loviisa 1-2:n korkea-aktiiviset jätteet, 6500 tU sekä mahdollisen OL 4:n käytetty polttoaine, 2500 tU peruskallioon n. puolen km:n syvyyteen. Polttoainesauvat upotetaan valurautakehikkoon, jota ympäröi 5 cm vahva kuparikuori. Kapselien ympäristö täytetään bentoniittisavella, luolasto suljetaan bentoniittiharkoilla/kivimurskalla ja haudan pitäisi kestää seuraavat 100 000 vuotta. Konsepti on alun perin ruotsalainen, ns. KBS-malli, jonka ensimmäinen versio esiteltiin 1970-luvulla. Ydinjätehuoltosuunnitelmat vaadittiin jo voimalaitosten käyttö lupien ehdoissa. Turvallisuusanalyysija on runsaasti, vuoden 1983 puoliväliin mennessä ydinjätetoimikunta oli julkaissut n. 130 raporttia. Yhteenvedon Olkiluodon 1990-luvun alun tilanteesta kirjoitti Timo Vieno, 1994 /28/.

Onko loppusijoituspaikka turvallinen?

Loppusijoituspaikan turvallisuus on kyseenalaistettu: voiko ihminen päätellä mitä tapahtuu 100 000 vuoden kuluessa korkeintaan 40 vuoden kenttäkokeiden perusteella. Onko peruskallio kyllin tiivis s.e. suolaisen pohjaveden virtaukset eivät rapauta tunnelin täyttävää kivimassaa ja vie bentoniittisavea mennessään, muuttuuko bentoniitti osin illiitiksi joka ei laajene vettyessään, kestävätkö kuparikapselit korroosiota ja miten seuraava jääkausi vaikuttaa luolan oloihin?

Loppusijoitusratkaisua on ydinvoiman vastaisen kansalaisliikkeen ja Greenpeacen /9, keskustelua 29/ lisäksi julkisuudessa kritisoinut mm. GTK:n entinen tutkimusjohtaja, professori Matti Saarnisto /19/. Joissain asiakohdissa viesti on sama: kun Posivassa /17/ muotoillaan: ”Olkiluodon kallioperä on haasteellinen rakentamisympäristö”, Saarnisto selventää sanomaa ”kallioperä on ruhjeiden rikkomaa eikä tiivistä, ehjää, vettä läpäisemätöntä kiveä”. Löysin yhden, 1999 kairatusta kilometrin syvyydestä reiästä tehdyn porausanalyysin /16/. Maallikosta tuntuu että geologi on oikeassa.

Professori Saarnisto on useasti muistuttanut kapselien korroosiovaarasta. Juuri ennen lupahakemuksen jättämistä YLE uutisoi ruotsalaisten vanhan korroosiotutkimuk-

sen /24a, 24b/. Sen mukaan kapselit kestävät korkeintaan 1000, eivät 100 000 vuotta. Nykyisten polttoainesauvojen pintalämpötila on n. 100 astetta. OL 3:n palama on suurempi, niin myös jäänneradioaktiivisuuden aiheuttama jälkilämpö. Korkea lämpötila nopeuttaa korroosiota, ja sen vaikutus bentoniittiin tunnetaan huonosti /19/. STUK on luvannut tutkia asiaa /23/.

Viime jääkauden aikana jäätikön enimmäispaksuus oli Pohjanlahden kohdalla 3.3–3.7 km ja maankuori painui noin 900–1000 m, Olkiluodossa n. 800 m alaspäin /7,19/. Kun jäätikkö vetäytyi, maan pinta kohosi alussa nopeasti. Kohoamisesta tapahtui arviolta n. 500 m sulavan jäätikön alla, mutta esim. Rovaniemen–Pellon alueella maa nousi vielä vv. 10200 – 9300 ennen nykyhetkeä yli 10 metriä 100 vuodessa. Maanjäristykset synnyttivät maankuoreen mittavia siirroksia, joista pisin on Pohjois-Ruotsin Pärvie-siirros, 165 km /7/. Jääkauden aikaista geologiaa tutkinut Saarnisto arvioi, että ennusteet ydinjäteluolan turvallisuudesta pitkällä aikavälillä eivät voi perustua tieteellisiin faktoihin. Seuraavien 100 000 vuoden kuluessa ydinjätelhauta tulee olemaan mannerjäätikön peitossa n. 30 000 vuotta, ja meren peitossa useita tuhansia vuosia ilman, että sen tilaa voidaan millään tavalla valvoa. Posiva arvioi ikiroudan syvyyden, 182 m. Samalla mallilla laskettu ikiroudan syvyys Kanadassa ja Ruotsissa on 750 m /19/.

Posivan geologit ovat eri mieltä: ”ei ole havaittu jääkauden sulamisvesien tunkeutumista syvälle kallioperään aikaisemman jääkauden aikana. Samaten jääkausien, niiden jälkeisten merivaiheiden ja muiden vastaavien prosessien vaikutukset loppusijoitus-syvyydessä on voitu arvioida merkityksettömiksi” /17/. Meriveden tunkeutumisesta syvälle Etelänavan mannerjäätikön alle pitäisi olla kokeellista näyttöä /19/.

Ilmasto vaihtelee

Jos planeetalla on kaasukehä, pintalämpötila nousee sen koostumusta vastaavasti. Maapallon pinnan keskilämpötila olisi n. -6 °C ilman ilmakehän vesihöyryä, hiilidioksidia ja muita kasvihuonekaasuja; nykyään se on n. 21 °C korkeampi /8/. Eniten lämpötilaan vaikuttaa vesihöyry. Myös Marsilla on jääkautensa; NASAn mukaan Mars lämpenee, napa-alueiden hiilihappojääalueet ovat pienentyneet, mutta aikasarja ei ole pitkä. Lämpenemisen on arveltu riippuvan sekä rataparametrien että auringon säteilyn vaihtelusta.

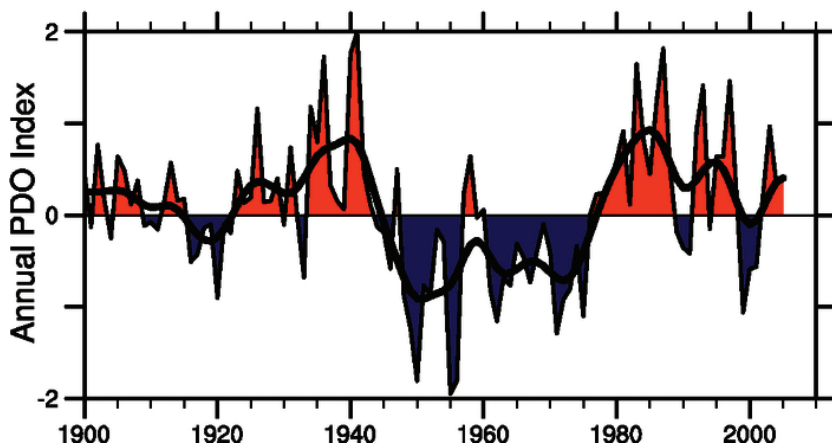
Milankovich julkaisi v. 1924 taivaanmekaniikkaan perustuvan laskelman auringonsäteilyn vaihtelusta maapallolla leveysasteittain. Maan radan eksentrisyys (0.002–0.05, säteilyvaikutus 0.2 %) vaihtelee n. 100 000 vuoden, pyörimisakselin kaltevuus (22.05°–24.50°, vaikutus 6 W m⁻²) 41 000 v:n ja prekessio (maapallon akselin hyrrämainen huojunta, enimmäisvaikutus päiväntasaajaseudulla n. 60 W m⁻²) 19–23 000 v:n välein. Jääkaudet saavat alkunsa, kun pohjoisen kesän alussa samanaikaisesti maapallo on kauimpana auringosta, radan eksentrisyys on suurimmillaan ja pyörimisakselin kaltevuus pienimmillään. Tällöin pohjoisen talvet ovat kylmiä ja suuret zonaaliset lämpötilaerot synnyttävät tuulia, jotka siirtävät kosteutta pohjoiseen. Talvella kertynyt jää ei ehdi kylmien kesien aikana sulaa. Myös merivirtojen kierto muuttuu /8,10,4,6/.

Jää- ja lämpökaudet ovat vuorotelleet koko geologisen historian ajan. Vaihtelua ovat synnyttäneet mm. mannerlaattojen liikkeet, tulivuoritoiminta, meteoriittien törmäykset, auringon aktiivisuus, maan kiertoradan muutokset sekä kasvihuonekaasupitoisuuksien taso. Maapallon hidas viileneminen viimeisten 65 M vuoden ajan on selitetty lisääntyneellä rapautumisella, joka on vähentänyt CO_2 :n määrää. Noin 2.6 M vuotta sitten maapallo jäähdyi dramaattisesti; sen jälkeen on ollut n. 50 jääkautta. Muutoksen syitä ei tiedetä; yksi selitys on Panaman kannaksen synty n. 4 M vuotta sitten. Se esti Atlantin ja Tyynen valtameren väliset virtaukset ja synnytti Golf-virran. N. 800 000 vuotta sitten jääkausien ilmestymisväli muuttui 41 000/23 000 vuoden syklistydestä selvemmin 100 000 v:n vaihteluksi, jään enimmäismäärä alkoi kasvaa jokaisen uuden kylmän vaiheen aikana /10/. Antarktiksien ja Grönlannin jääkairauslustojen vertailu osoittaa, että lämpimät ja kylmät vaiheet ovat hiukan eriaikaisia eri pallonpuoliskoilla; kun Grönlannin jäätikkö kasvaa, Etelänapamantereen jäätikkö vähenee ja päinvastoin, mahdollisesti koska merivirrat jakavat eri aikoina lämpöä päiväntasaajalta eri määrät kullekin pallonpuoliskolle (/10,3/.

Viimeisin jääkausi alkoi n. 116 000 v sitten, kun auringon säteilytaso kesäkuun puolivälissä 65 °N oli n. 40 W m⁻² nykyistä pienempi /6/. Pimenoff e.a. /15/ mukaan 60 °N leveysasteella säteily oli jopa 100 W m⁻² Eem-kauden maksimia pienempi, ja se on vaihdellut n. 380-550 W m⁻² rajoissa viimeisten 650 000 vuoden aikana. Lukuja voi verrata kasvihuonekaasujen säteilypakotteeseen, joka on nykyisin alle 3 W m⁻² (mukaan CO_2 , CH_4 , N_2O ja halogeeniset hiilivedyt /21/). Valtamerten pinta laski kylmimmässä vaiheessa n. 120 m nykytasosta. Pohjois-Amerikassa (NA) jäämassa kasvoi huomattavasti massiivisemmaksi kuin Euroopassa ja ulottui etelämmäksi. Jääkauden aikana ilmasto koki ajoittain nopeita muutoksia; Pohjoisen pallonpuoliskon lämpötila saattoi nousta jopa 6-8 °C muutamassa kymmenessä vuodessa esimerkkinä Dansgaard-Oescher jaksot, jolloin Grönlanti lämpeni 8:sta 16 asteeseen muutaman vuosikymmenen kuluessa ja Heinrich-jaksot jäävuorineen /10,6/. Pohjois-Amerikassa jäätikön reuna eteni nopeimmillaan 25-100 m/v haudaten alleen eläviä kuusia, joissa oli kaarnaa. NA jäätikköjen sulamisvaiheessa jääjärvien purkautumistulvat aiheuttivat paikoin katastrofaalisia seurauksia. Euroopassa etenemisnopeudesta ei ole vastaavia todisteita, puusto oli jo kuollut kun jäätikkö kasvoi suurimmilleen. Jääkautta edeltäneen n. 15 000 vuotta kestäneen lämpimän vaiheen, Eem-kauden aikana jäätiköt olivat nykyisiä pienempiä, merenpinta oli vähintään 4-6 m korkeammalla, Fennoskandia oli saari ja Olkiluoto oli edellisen jääkauden sulamisvesien alla. Etelä-Suomi oli parhaimmillaan 4-5 °C nykyistä lämpimämpi /4,6,10,15/.

Maapallo on lämmennyt IPCC:n /6/ mukaan 0.74 °C vuosina 1906-2005, mutta ei tasaisesti. Maapallon keskilämpötila T_{ave} näyttää nousevan portaittain, T_{ave} laski vuosisadan alussa ja jaksolla 1940-1976. Vv. 1976-1977 ilmakehän ja merten kiertoliikkeessä tapahtui jotain, joka vaikutti Tyynen valtameren alueen ENSO-vaihteluun. El Nino-jaksot yleistivät, mikä muutti monsuunikiertoa ja Itä-Afrikan sadekausia; samalla Pohjois-Amerikan itäosat jäähtyivät ja pilvisuus ja sademäärä kasvoi ja NA länsiosat

muuttuivat kuumemmiksi ja kuivemmiksi /6/. Tyynen valtameren alueen kiertoliike on vaihdellut jaksoittain ollen heikko vv. 1900-1924 ja 1947-1976, voimakas vv. 1924-1946 sekä 1976-2005. T_{ave} on seurannut ko. vaihtelua, CO_2 -pitoisuus on samaan aikaan kasvanut tasaista vauhtia.

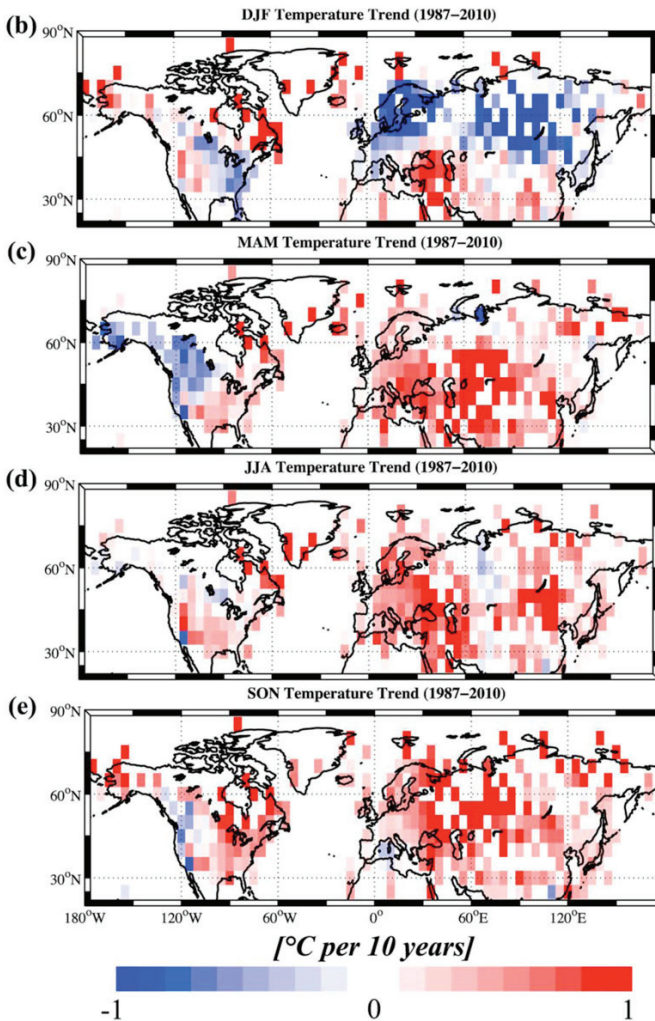


Kuva 1. ENSO-vaihtelu 1900-2006, /6a/

Globaali T_{ave} on kasvanut aikavälillä 1979-2010 /5/ mutta pysytellyt samalla, korkealla tasolla 2000-luvun. Jos samat kuukausikeskiarvot noukitaan tietokannasta hila-pisteittäin ja lasketaan alueelliset keskiarvot, viimeisten 25 vuoden aikana trendillä on ollut selvä vuodenaikaisriippuvuus. Yllättäen pohjoisella pallonpuoliskolla kesät ovat lämmenneet, talvet viilenneet lähes kaikkialla maa-alueiden yllä /2/, kuva 2. Kesien helleaaltoja Keski-Euroopassa on selitetty myös havaitulla pilvisyyden vähenemisellä vv. 1984-2007, Itä- ja Pohjois-Euroopassa on taas ollut pilvisempää. Kuivuus on vähentänyt haihduntaa ja samalla maan pinnan jäähtymistä /25/. Latentin lämmön nettovuo jäädyttää maapalloa vuoden aikana keskimäärin 78 W m^{-2} . Kuivat kaupungit ja asfalttierämaat kuumenevat auringonpaisteessa. IPCC:n mukaan kaupungistuminen ja maan käytön muutokset ovat kuitenkin nostaneet globaalia lämpötilaa vain $0.006 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 10 vuodessa. Vesihöyryn, tärkeimmän kasvihuonekaasun lämmitysvaikutuksesta en ole nähnyt arvioita. 1988-2004 vesihöyryn kokonaismäärä nousi $1.2 \pm 0.3 \text{ } \%/10\text{v}$, yhteensä $4 \text{ } \%$ vuoden 1970 jälkeen. Maa-alueilla yö-päivä lämpötilaero kaventui pilvisyyden lisääntyessä 1950-luvulta lähtien. Merten yllä pilvisyys ei ole kasvanut /6/.

Uhkaako uusi jääkausi ja milloin?

Jääkairauslusto tutkimusten sekä merten pohjasedimenttien happi-isotooppitulosten mukaan ilmakehän T_{ave} :n, hiilidioksidipitoisuuden, metaanin ja jäätikköjään määrän muutokset seuraavat hyvin tarkasti toisiaan. Vaikka aikasarjoista on vaikea tehdä kausaalisia johtopäätöksiä, Lunkka /10/ päättelee: ”lämpötilan muutosta seuraa hiilidioksidipitoi-



Kuva 2. Pintalämpötilan alueellinen trendi $^{\circ}\text{C}/10$ v vuodenajoinen Pohjoisella pallonpuoliskolla 1988-2010, /2/.

muistettava kuitenkin, että CO_2 :n kaikki merinielut, vaihto ilma-vesi rajakerroksen yli, kemiallinen hajoaminen merivedessä sekä biologinen pumppu, ovat kyllästyviä prosesseja.

Ilmasto vaikuttaa olevan herkkä ilmakehän koostumuksen muutoksille. Ydinvoimaloiden turvallisuussuunnitelmissa on jouduttu pohtimaan, viivästyttääkö hiilidioksidin syöttäminen ilmakehään seuraavaa jääkautta, ja kuinka paljon. Vuonna 1991 arveltiin

suuden muutos ja pienellä viiveellä jäätikköjään muutos”; ja ”ilmakehän CO_2 :n vaihtelu ei ole ilmastoa ensisijaisesti muuttava voima, mutta kylläkin vahvasti ilmastomuutosta kiihdyttävä tekijä”.

Hiilidioksidin vaihto meren ja ilmakehän välillä riippuu lämpötilasta, pH:sta ja suolaisuudesta. Yhden asteen meriveden pintalämpötilan lasku vähentää 9 ppm CO_2 :n pitoisuutta ilmakehässä /10/. Jääkausiensa aikaista pientä CO_2 -pitoisuutta ei ole pystytty selittämään, merivesi oli tällöin suolaisempaa, mikä vähensi liukenemista mutta meriveden pH:n tasoa, vesikemian tilaa ja biologisen pumpun voimakkuutta ko. aikana vasta tutkitaan. On

/1/ seuraavan jääkauden viivästyvän kasvihuonekaasujen takia enintään muutamalla sadalla vuodella; se alkaa noin 5000 vuoden kuluttua Pohjois-Norjassa ja Ruotsissa. Lämpimän välijakson jälkeen jäätikkö laajenee kattaen Suomen n. 20 000 vuoden kuluessa. Ensimmäinen sulamisvaihe, jolloin Olkiluoto jää meren pinnan alle, alkaa 30 000 vuoden kuluttua.

Pimenoff /15/ ennakoi Olkiluodon tulevaisuutta seuraavien 120 000 vuoden kuluessa. Mallitulosten mukaan CO₂-pitoisuus ja rataparametrit määräävät ilmaston lämpötilan kehityksen, vesihöyryä ei edes mainita. Ensi jääkausi voisi alkaa seuraavan 10 000 v:n kuluessa, jos CO₂-pitoisuus on alle 240 ppm (LLN-2D malli), alle 280 ppm (MPM) tai 280 ppm (CLIMBER-SICOPOLIS). Tsedakis /26/arvioi, että jos CO₂-taso jää alle 240 ppmv:n, interglasiaalivaihe päättyy 1500 vuoden kuluttua. Pimenoff ym. johtopäätösten mukaan lämmin kausi jatkuu 30 000 vuotta; seuraava jääkausi voisi alkaa 50-60 000 tai 90-100 000 vuoden kuluttua. Simuloinneissa on kuitenkin jouduttu käyttämään varsin harvaresoluutiosta perusmallia laskentateknisten rajoitusten takia; esim. koko Skandinavia on kuvattu yhdellä pisteellä. IPCC päättelee samoin, maan radan pienen eksentrisyyden takia prekession vaikutukset minimoituvat ja säteilytaso ei laske edellisen jääkauden alun tasalle ainakaan 30 000 vuoteen /6/.

Kumpi on pahempi uhka

Meinhausen kollegoineen /12/laski v. 2009, että jos teollisuus syöttää ilmakehään korkeintaan 1000 Gt vuosina 2000-2050, 75 %:n todennäköisyydellä lämpötilan nousu ei ylitä kansainvälisesti sovittua 2°C rajaa. Jos päästöt pysyvät 2011 tasolla (34 Gt/v), vuosien 2010-2050 kumulatiiviset päästöt ovat 1360 Gt. Dohan ilmastokokouksessa puhuttiinkin jo 4 asteen lämpötilan noususta. Sosiaalisessa mediassa kiersi syksyllä Olli Pekka Haaviston lähettämänä viesti /11/. Lähdeluettelo puuttuu, mutta ilmeisesti Meihouseniin viitaten siinä on laskettu, että vuosina 2012-2050 ilmaan saa päästää korkeintaan 565 Gt C-ekvivalenttia ettei 2°C raja ylitä. Tunnetut ylikansallisten ja kansallisten energiayhtiöiden omistamat fossiilisten polttoaineiden varat ovat viisinkertaiset, 2795 Gt. Paitsi että yhtiöt aikovat taatusti käyttää kaikki omistamansa varat, ne etsivät kiihkeästi uusia polttoaineita; IEA:n mukaan USA:sta tulee maailman suurin öljyntuottaja tällä vuosikymmenellä öljyliuskeensa ansiosta. Tekniikka kehittyä; saa nähdä mitä merenpohjasta vielä löytyy; Solvara 1 projektissa hyödynnetään yli 2 km:n syvyistä merenpohjaa /22/.

Kumpi on pahempi uhka, ilmaston lämpeneminen vai jääkausi seurauksineen, lisääntynyt köyhyys ja epäoikeudenmukaisuus kaikilla mittareilla mukaan lukien. Jos jääkausi tulee, meillä on muutakin pohdittavaa kuin ydinvoimaloiden polttoainesavat. Ihmiselle käy molemmissa tapauksissa huonosti. Jos lämpenee, se on oma vika, emme ole saaneet suurteollisuutta ja väestönkasvua kuriin. Mutta, kuljemme myös vääjäämättä edellisen Eem-kauden ilmasto-oloja kohden. Entä luonto: jääkausi on sille tuhoissa. Sen sijaan esimerkiksi liitukaudella luonto voi kertyneiden sedimenttien perusteella erittäin

hyvin vaikka CO₂-pitoisuuden on arvioitu olleen yli 2000 ppm /4/. Koralleja esiintyi jopa 1500 km kauempana päiväntasaajasta kuin nykyisin. Puut kasvoivat vuoden ympäri, edes puulustoja ei löydy. Maapallon keskilämpötila oli n. 6-14 °C nykyistä korkeampi. Meret peittivät alavat mannerlaatat ja niiden syvänteissä veden lämpötila oli n. 15 °C korkeampi kuin nykyisin. Meret kuhisivat elämää ja biologinen tuotanto oli valtaisaa. Nautimme vieläkin tuloksista, yli puolet tunnetuista öljyvaroista on löydetty liitukauden kerrostumista /4/. Kävi niin tai näin, stabiiliksi emme maapallon ilmastoa saa. Ja on suuri itsepetos kuvitella että tietoisuutemme ilmastomuutoksesta olisi lopullista; jälkipolvet tulevat kumoamaan kaiken, mitä luulimme tietävämmme.

Marke Hongisto

TkT, FK 73

Viitteet

1. Ahlbom K, Äikäs T & Ericsson L.O., 1991. SKB/TVO ice age scenario. Helsinki, Report YJT-91-19.
2. Cohen J.L., Furtado J.F., Barlow M., Alexeev V.A. and Cherry J.E. 2012. Asymmetric seasonal temperature trends. *Geophysical Research Letters* Vol. 39, L04705, doi:10.1029/2011GL050582
3. EPICA, 2006. 86 authors. One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* Vol 444|9 November 2006| doi:10.1038/nature05301
4. Eronen M., 1991. Jääkausien jäljillä. *Ursan julkaisuja* 43. 271 s.
5. Foster, G. and Rahmstorf, S, 2011. Global temperature evolution 1979–2010, *Environmental Research Letters*, pp. 044022-.
6. IPCC 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007
Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press,
7. Kakkuri J & Hjelt S-W., 2000. Ympäristö ja geofysiikka. *Ursan julkaisuja* 76, 188 s.
8. Kakkuri J., 2003. Tulevaisuuden uhkakuvat. *WS Bookwell Oy*, 153 s.
9. Lempinen A & Silvan-Lempinen Marianne, 2011. Reverse Logic – Safety of spent nuclear fuel disposal. *Ludus Mundi OY*, commissioned by Greenpeace International , 49 p.
10. Lunkka J-P. 2008. Maapallon ilmastohistoria kasvihuoneista jääkausiin. *Gaudeamus, Hki Uni.* press, 286 p.
11. McKibben B. (käännös) 2012. Ilmaston lämpenemisen pelottava matematiikka.
12. Meinshausen M., Meinshausen N., Hare W., Raper S., Frieler K., Knutti R., Frame D. and Allen M., 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C.
13. Muut , 2013. Linkkejä ydinjäteohjelma-sivuille: Deep Geological Repository; High level radioactive waste management
14. Onkalo Onkalo spent nuclear fuel repository
15. Pimenoff N., Venäläinen A., Järvinen H., 2011. Climate scenarios for Olkiluoto on a time scale of 120000 years. *Posiva report* 2011-04, 101 p.

16. Posiva 2000. Interpretation of geophysical logging of borehole OL-KR11, the Olkiluoto site at Eurajoki.
17. Posiva 2012 a. Kohti turvallista loppusijoitusta. Ydinjätehuollon neljä vuosikymmentä. Eura Print OY, 313 p.
18. Posiva, 2012 b, Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemus. Sama liitteineen, 512 p.
19. Saarnisto, 2010. Prof. Saarnisto kritisoi ydinjätteen loppusijoitusta Suomessa YDINVOIMA 2010 tapahtumassa Finlandia-talossa helmikuussa 2010.
20. Saarnisto, 2005. Rannansiirtyminen ja maankohoaminen, Itämeren vaiheet ja jokien kehitys Teoksessa: Johansson, Peter (toim.) ja Kujansuu, Raimo (toim.), Pohjois-Suomen maaperä. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 236 s.
21. Sokhi, R.S., 2008. (ed). World atlas of atmospheric pollution. Anthem Press, 120 p.
22. Solvara I. 2012. The Guardian, Papua New Guinea's seabed to be mined for gold and copper
23. STUK 2012 STUK tarkastaa Posivan loppusijoituslaitoksen turvallisuuden
24. Szakálos, P. 2002. KTH, Superseded Departments, Materials Science and Engineering) Szakalos_esitys, 2011
25. Tang Q., Leng G., Groisman P.Y., 2012. European hot summers associated with a reduction of cloudiness. Journal of Climate vol 25, 3637-3644. doi:10.1175/JCLI-D-12-00040.1
26. Tsedakis P.C., Channell J.E.T., Hodell D.A., Kleiven H.F. & Skinner L.C. 2012. Determining the natural length of the current interglacial. Nature Geoscience Vol 5, DOI: 10.1038/NCEO1358
27. TVO, 2008. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen laajentaminen neljännellä yksiköllä. YVA-selostus, 217 p.
28. Vieno T., 1994. Safety analysis of disposal of spent nuclear fuel. VTT publications 177, 256 p.
29. Vira J., 2011. Käänteistä logiikkaa ja maailmanpelejä.



MAL Klubi-illat



YK:n ilmastoneuvottelut Riosta Dohaan – ehditäänpö ilmastomuutosta hillitä?

Tiistai 12.2

Hotelli Arthur, Vuorikatu 19, Helsinki, Kaisaniemi

Alustaja: Ympäristöneuvos Jaakko Ojala (eläkkeellä)

Ojala on fyysikko, MALin (SMFL) erittäin aktiivinen jäsen ja entinen puheenjohtaja. Hän on osallistunut vuosien mittaan Suomen edustajana lukuisiin kansainvälisiin ilmastoa ja ilmastomuutosta käsitteleviin kokouksiin.



Lustotutkijan näkökulma ilmastomuutokseen

Tiistai 12.3

Hotelli Arthur, Vuorikatu 19, Helsinki, Kaisaniemi

Alustaja: Professori Kari Mielikäinen, METLA, Kasvu- ja tuotostutkimus



Paikkaulottuvuudet Salvador Dalin taiteessa ja Rolf Nevanlinnan neliulotteisissa kappaleissa

Tiistai 9.4.

Hotelli Arthur, Vuorikatu 19, Helsinki, Kaisaniemi

Alustaja: Filosofian tohtori Jaakko Joki (eläkkeellä)

ILMOITTAUDU nettisivujen kautta Klubi-iltoihin
<http://mal-liitto.fi/fi/kalenteri>



MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLISTEN
ALOJEN AKATEEMISET