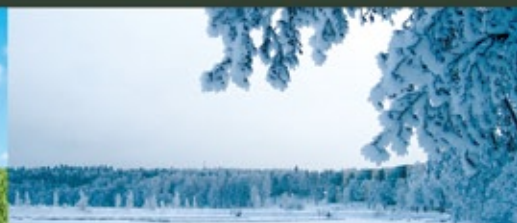


IS

Ilmansuojeluyhdistys ry:n jäsenlehti

Magazine of the Finnish Air Pollution Prevention Society

4/2016



**Ilmakehätutkimuksen haasteena
käänteisongelmat**

Hiilidioksidipäästöt kartalle

Ilmasto.nyt

**Tuuli- ja aurinkosähkön
ennustaminen**

Helsingin keskustan pienhiukkaset

**Aurinkovoimalat yleistyvät
yhteishankintojen kautta**

**Ilmansuojeluyhdistyksen
ekskursio Vaasaan**

Ilmansuojelu ja ilmastotyö Helenillä

ILMANSUOJELU

Ilmansuojelu on Ilmansuojeluyhdistys ry:n jäsenlehti, joka ilmestyy neljä kertaa vuodessa.
Medlemstidning av Luftvårdsföreningen rf.

Päätoimittaja / Redaktör

Johanna Kare-Haavisto
ilmansuojelulehti@gmail.com

Toimituskunta / Redaktionsråd

Anna Häyrinen, Helsingin Energia
Emmi Laukkanen, IL
Tuula Pellikka, VTT
Taina Ruuskanen, HY
Mikko Savolahti, SYKE
Antti Tohka, Metropolia AMK
Pia Tynys, HSY
Jari Viinanen, Helsingin kaupunki

Yhteystiedot / Kontakt information

Johanna Kare-Haavisto
Ilmansuojeluyhdistys ry., PL 136,
00251Helsinki

Ilmoitushinnat normaali /yritysjäsen: Annonpris vanligt / för medlemmar:

1/1 sivu 380 € / 305 €

1/2 sivu 290 € / 233 €

1/3 sivu 195 € / 156 €

Kestoilmoittajille lisäksi 20 % alennus.
Fortgående annons ger 20 % rabatt.

Taitto / Ombrytning

www.grafioso.fi/Tarmo Lavikka

Kannen kuva / Omslagsbild

Grafioso

Paino / Tryckeri

Scanseri Oy
ISSN-L 1239-8950
ISSN 1239-8950 (Painettu)
ISSN 2323-1211 (Verkkajulkaisu)

Lehden osoitteenmuutokset ja yksittäisnumeroiden tilaukset: Adressförändringar och beställning av enskilda nummer:

Ilmansuojeluyhdistys ry.
Sihteeri Liisa Kallio
PL 136, 00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi
www.isy.fi

Lehti on luettavissa yliopistojen, korkeakoulujen ja ammattikorkeakoulujen kirjastoissa sekä suurimmissa kaupunginkirjastoissa (maakuntakirjastot).

Tidningen finns till påseende i universitetens, högskolornas och yrkeshögskolornas bibliotek samt i de största stadsbiblioteken (landskapsbiblioteken).



Hallitus / Styrelse Puheenjohtaja / Ordförande

Katja Lovén

Varapuheenjohtaja / Viceordförande

Anu Kousa

Jäsenet / Medlemmar

Tommi Forsberg, Petteri Huuska,
Olli Nevalainen ja Kari Wellman

Varajäsenet / Suppleanter

Maija Leino, Jukka Makkonen,
Ari Männikkö ja Laura Sokka

Jäsenrekisterin ylläpito ja talousasiat/ Upprätthållande av medlemsregister och ekonomiska ärenden

Ilmansuojeluyhdistys ry.
Sihteeri Liisa Kallio
PL 136, 00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi
www.isy.fi

Pankkitili / Bankkonto

Nordea 126930-615326

Osoite / Adress

Ilmansuojeluyhdistys ry.
Sihteeri Liisa Kallio
PL 136, 00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi
www.isy.fi

Pääkirjoitus

Hyvä vuosi ilmastotyölle

Vuosi 2016 on ollut hyvin tärkeä ilmastotyön kannalta. Pariisin ilmastosopimus tuli voimaan ennätysnopeasti 4.11. juuri sopivasti ennen Marrakechin ilmastokokousta ja Suomenkin ratifiointin pitäisi olla voimassa tämän lehden ilmestyessä. Marrakechissa päästiinkin itse asiaan eli miettimään miten Pariisin sopimuksen sitoumuksia ja tavoitteiden toteutumista seurataan.

Kokouksen alla tehtyjen selvitysten mukaan nykyiset päästöjen vähennystoimet eivät riitä ja niiden seurauksena olisi 2,7 asteen lämpeneminen. Paljon työtä on vielä tehtävä, jotta päästäisiin edes 1,5 asteen nousun tasolle. Oman mausteen- sa tähän soppaan tuo myös Yhdysvallan uusi johto. Suomessa uusi Energia- ja ilmastostrategia on juuri käsittelyssä ja tähän aiheeseen poraudummekin lisää ensi lehdessä.

Ilmansuojelun tutkimuksessa edetään koko ajan kokonaisvaltaisempiin mal- leihin ja työkaluihin. Tässä lehdessä saammekin kuulla miten satelliitteja hyö- dynnetään ilmakehätutkimuksen kaukokartoitusmittauksissa sekä hiilidioksi- dipäästöjen kartoittamisessa ja päästölähteiden tunnistamisessa.

Aurinko- ja tuulienergian hyödyntäminen perustuu osin sään ennustamiseen ja esittelemme tähän kehitteillä olevan energiasääennusteen, jonka verkkosivuilta voi jo nyt käydä katsomassa oman alueensa uusiutuvan sähkön tuotantomah- dollisuuksia. Aurinkosähkö on kansainvälisesti kovassa nousussa ja kerromme tässä lehdessä myös Suomen aurinkosähkövoimaloista sekä HINKU-kuntien yhteishankinnoista pienvoimaloiden hankkimiseksi.

Viime lehdessä oli puhe kouluille valmistuneesta ilmastomateriaalista ja nyt voimme kertoa teille myös korkeakoulutukseen valmistuneesta ja vapaasti saatavilla olevasta Ilmasto.nyt -kurssimateriaalista. Sitran tuella kehitetty ma- teriaali on aidosti monialainen ja sitä tekemässä on ollut suuri joukko eri alojen edustajia niin yliopistoista kuin ammattikorkeakouluista.

Paikallisesti saamme kuulla ISYn ekskursiosta, jolla tutustuttiin Vaasan ener- gia-alan toimijoihin sekä Helsingin keskustan pienhiukkastilanteesta. Lisäksi saamme katsauksen Helenin vaiheisiin ja tulevaisuuden haasteisiin. Valitettasti Assmuthin hiilensidontaa ja metsienhoitoa käsittelevä artikkeli ei ehtinyt tähän lehteen, joten saamme lukea aiheesta lisää ensi vuonna.

Johanna Kare-Haavisto
päätoimittaja

*Toivotan kaikille
rauhallista joulun aikaa
ja hyvää uutta vuotta!*

Sisältö

4/2016

3

Pääkirjoitus

4

Ilmakehätutkimuksen haasteena
käänteisongelmat

8

Hiilidioksidipäästöt kartalle

10

Ilmasto.nyt

13

Tuuli- ja aurinkosähkön
ennustaminen

17

Helsingin keskustan pienhiukkaset

20

Aurinkovoimalat yleistyvät
yhteishankintojen kautta

24

Ilmansuojeluyhdistyksen
ekskursio Vaasaan

27

Ilmansuojelu ja ilmastotyö
Helenillä

30

Ilmassa



Satelliiteista tehtävillä kaukokartoitusmittauksilla voidaan tutkia Maan ilmakehän rakennetta. Mittausten oikea tulkinta vaatii kuitenkin fyysikan yksityiskohtaista mallintamista ja haastavien matemaattisten käänteisongelmien ratkaisua.

Ilmakehätutkimuksen haasteena käänteisongelmat

Kuin omenan ohut kuori

Maan ilmakehä on planeettaamme ympäröivä kaasukerros, jota Maan vetovoima estää karkaamasta avaruuteen. Maan kokoon verrattuna ilmakehä on hyvin ohut ja sen tiheys ja paine pienenevät voimakkaasti ylöspäin mennessä. Avaruuden ja ilmakehän rajana pidetään yleisesti 100 km korkeutta, vaikka mitään selvää fyysistä rajaa ei olekaan. Kuitenkin jos kuvittelee Maan olevan omena niin ilmakehä olisi vain sen kuoren paksuinen.

Kuiva ilmakehä koostuu lähinnä typestä (78 %), hapesta (21 %) ja jalokaasu argonista (1 %). Vesihöyryä on lisäksi 0-5 % paikasta ja vuodenajastariippuen. Alle tuhannesosa ilmakehästä on muita niin sanottuja hivenkaasuja. Hivenkaasuihin kuuluvat esimerkiksi otsoni, kasvihuonekaasut ja erilaiset ilman saasteet kuten typen ja rikin oksidit. Hivenkaasuja on vain

vähän, mutta niiden merkitys ilmakehälle ja elämälle on keskeinen. Esimerkiksi kasvihuonekaasut lämmittävät ilmakehää ja ilman niitä Maan keskilämpötila olisi -18 C astetta nykyisen +15 C sijaan.

Ilmakehällä on kerrosmainen rakenne. Noin 75 % ilmakehän massasta on sen alimmassa kerroksessa, troposfäärissä, joka ulottuu 10-15 km asti. Sääilmiöt tapahtuvat troposfäärissä ja ilmansaasteet pääsevät vaikuttamaan suoraan eliöihin Maan päällä. Seuraava ilmakehän kerros on noin 50 km asti ulottuva stratosfääri, jossa puolestaan sijaitsee 90 % ilmakehän otsonista. Otsonilla on tärkeä tehtävä vaimentaa Auringon vaarallista UV-säteilyä. Seuraavat kerrokset ovat mesosfääri ja termosfääri, joihin liittyvät omat ilmiönsä, kuten esimerkiksi revontulet.

Satelliitit ovat mullistaneet ilmakehätutkimuksen

Ilmakehän mittauksia tarvitaan, jotta pystyisimme ymmärtämään sen rakennetta, käyttäytymistä ja mahdollisia muutoksia. Mittauksia on kahta perustyyppiä. Paikallisessa mittauksessa mittalaite on suoraan yhteydessä tutkittavaan kohteeseen. Esimerkiksi kuumemittarin lukema on paikallinen mittaus ihon lämpötilasta. Samoin hivenkaasujen pitoisuuksia voidaan mitata paikallisesti Maan päällä tai vaikka stratosfääriin nousevan luotainpallon avulla. Paikalliset mittaukset ovat yleensä tarkkoja, mutta niiden kattavuus on huono. Tarvittaisiin valtavasti mittalaitteita, jotta saataisiin käsitys koko maapallon laajuisista ilmiöistä.

Kaukokartoitusmittauksessa havaittava kohde on nimensä mukaan kaukana. Puhutaan myös epäsuorasta mittauksesta, sillä yleensä ollaan kiinnostuneita jostain muusta kuin



Ilman kasvihuonekaasuja maapallon keskilämpötila olisi -18° C.

itse mitatusta suureesta. Käytännössä aina mitataan sähkömagneettista säteilyä, mutta mittauksesta halutaan päätellä jotain muuta kiinnostavaa asiaa, kuten kaasujen pitoisuuksia tai vaikka lumen syvyyttä.

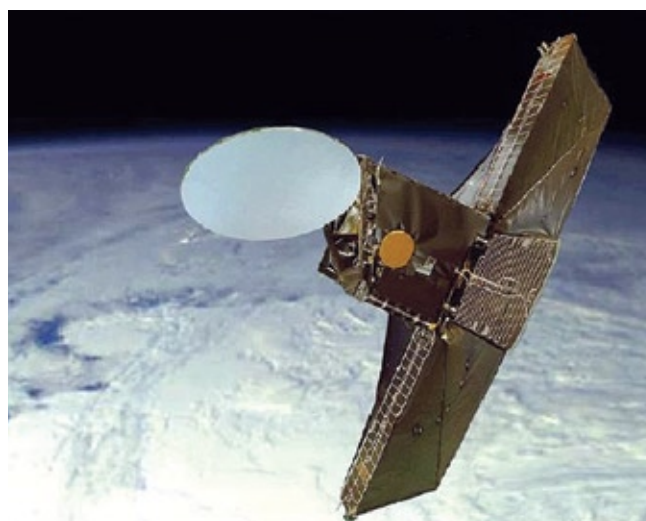


Kaukokartoitus mittaa useimmiten sähkömagneettista säteilyä ja mittaustuloksia käytetään esimerkiksi kaasujen pitoisuuksien tai lumen syvyyden päättelyyn.

Sähkömagneettisen säteilyn ominaisuudet riippuva puolestaan aallonpituudesta. Lyhytaaltoisella säteilyllä tutkitaan eri asioita kuin pitkällä. Ihmissilmä havaitsee 400-700 nm säteilyä ja aivot tulkitsevat eri aallonpituudet väreinä. Säteilyn voimakkuutta eri aallonpituuksilla kutsutaan spektriiksi. Satelliittimittaukset ovat lähes aina epäsuoria mittauksia ja satelliittihavainnoilla on suhteellisen helppoa kattaa koko maapallo. Tyypillinen ilmakehämittalaite tuottaa vuodessa kymmeniä tuhansia mittauksia - jotkut mittalaitteet jopa miljoonia.

Satelliittimittaukset ovatkin mullistaneet koko ilmakehä tutkimuksen viime vuosikymmeninä. Esimerkiksi otsonin tutkimus on kokenut valtavan loikan avaruudesta käsin tehtävän havainnoinnin myötä. Vuonna 1985 löydettiin Etelämantereen yläpuolelta suuri alue, jolta otsoni oli lähes kokonaan hävinnyt. Löytö yllätti tiedemiehet täysin ja jouduttiin kuumeisesti kehittämään otsonikadon selittävää teoriaa. Nopeassa ajassa päätettiin lähettää myös useita satelliitteja tuottamaan entistä parempia mittauksia. Nykyään joka keväisen otsoniaukon synty ymmärretään varsin hyvin, mutta otsoni on yhä yksi tärkeimmistä ilmakehän tutkimuskohteista.

Ilmatieteen laitos on ollut mukana useassa ilmakehän otsonia kartoittavassa satelliittihankkeessa. Näihin kuuluu esimerkiksi Odin-satelliitin kyydissä matkustava OSIRIS-mittalaite, joka on vuodesta 2001 lähtien mitannut ilmakehästä sironnutta Auringon säteilyä (Kuva 1.). Mittauksista voidaan sopivalla menetelmällä päätellä otsonin pitoisuuksia eri korkeuksilla eli otsonin profiileita. Odin ja OSIRIS ovat vieläkin toiminnassa vaikka satelliitin alkuperäinen suunniteltu elinaika oli vain 3 vuotta. Myös Envisat-satelliitissa (2002-2012)



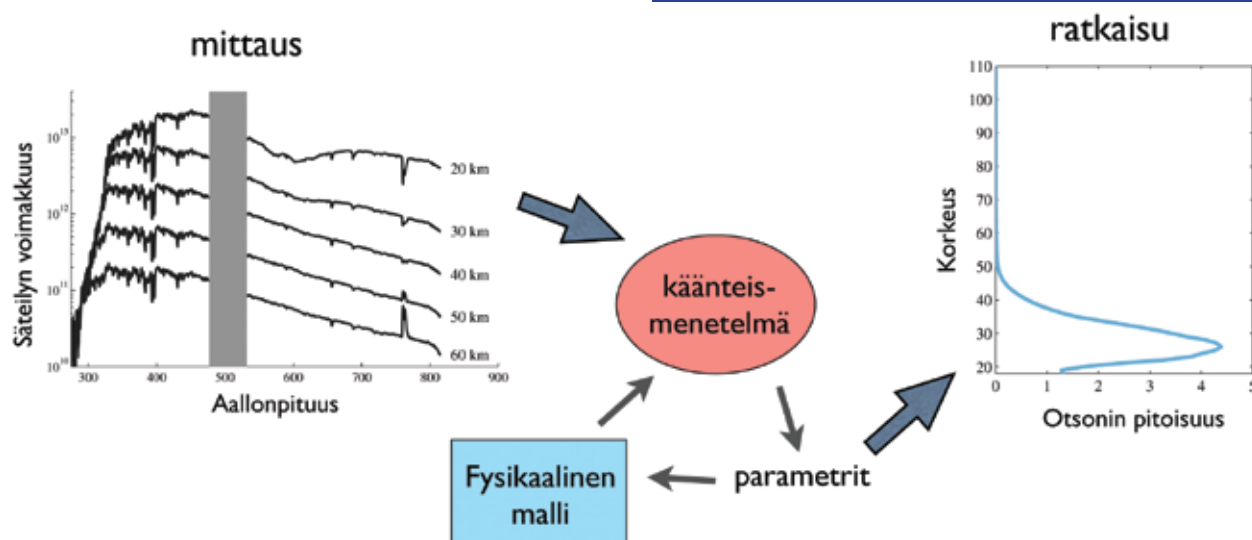
Kuva 1. Teini-ikäinen kaksikko: OSIRIS-mittalaite Odin-satelliitin kyydissä (kuva: Swedish National Space Board).

mukana ollut GOMOS-mittalaite tuotti samantyyppisiä siron tamittauksia kuin OSIRIS - siihen asti kunnes satelliitti lakasi toimimasta. Ilmatieteen laitos on kehittänyt menetelmät, joiden avulla sekä OSIRIS että GOMOS -mittauksista voidaan tuottaa ilmakehän otsoniprofiileja (Tukiainen et al., 2008, 2011, 2015).

Käänteisongelmat tekevät mittauksista haastavia

Kaasujen pitoisuuksien määrittäminen epäsuorista mittauksista on tyypillinen esimerkki niin sanotusta käänteisongelmasta. Jotta käänteisongelma voidaan ratkaista, tarvitaan mittauksia tuottava fysikaalinen malli. Käänteisongelma voidaan muotoilla esimerkiksi näin: millaisella ilmakehällä fysikaalinen malli tuottaa mittalaitteen havaitseman spektrin? Tässä ongelmassa ilmakehän eri korkeuksilla olevat pitoisuudet ovat ongelman tuntemattomat muuttujat eli parametrit, joiden arvot on tarkoitus selvittää (Kuva 2.).

Kuva 2. Esimerkki käänteisongelmasta: OSIRIS mittaa Auringon säteilyn voimakkuutta eri korkeuksilla, mutta halutaan tietää otsonin pitoisuus. Ratkaisua varten tarvitaan mittauksia kuvaava fysikaalinen malli sekä sopiva käänteismenetelmä.





Etelämantereen keväisen otsoniaukon löytyminen vahditti 80-luvulla satelliittimittauksiin siirtymistä.

Käänteisongelmien haaste on, että mahdollisia ratkaisuja on yleensä äärettömän monta. Mittaus ei yksiselitteisesti määrää ratkaisua, jolloin joudutaan tavalla tai toisella rajoittamaan ratkaisujen joukkoa. Jos tiedämme ratkaisun ominaisuuksista jotain etukäteen, voimme tiedon avulla karsia epäluonnollisia tai muuten vain ”huonoja” ratkaisuja. Ennako-oletusten käyttö helpottaa käänteisongelmien ratkaisua, mutta tekee tuloksesta enemmän tai vähemmän subjektiivisen. Käänteisongelman ratkaisussa täytyykin huolellisesti punnita mittauksen sisältämä informaatio, ennako-oletukset sekä mittaukseen ja mallinnukseen liittyvät epävarmuudet.

OSIRIS ja GOMOS -mittaukset sisältävät runsaasti tietoa ilmakehän profiilista. Mittausten tarkka mallinnus on kuitenkin hankalaa, koska fotonien sironta ilmamolekyyleistä tekee valon reitistä monimutkaisen. Valo voi päätyä mittalaitteeseen pilvistä, Maan pinnasta tai muista suunnista.

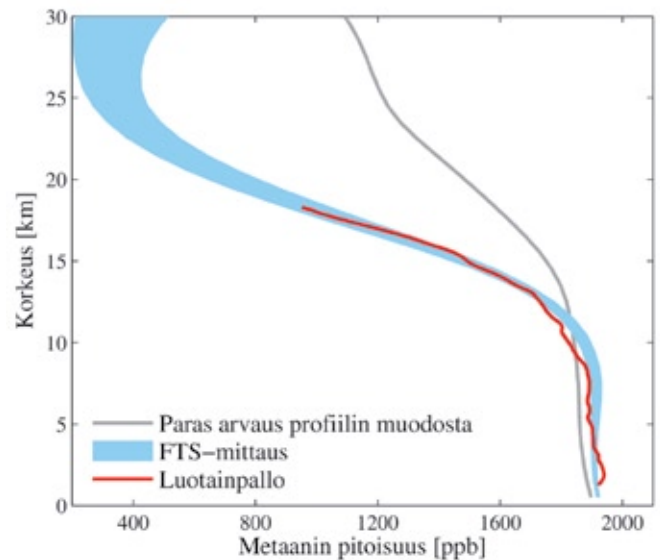
Monikertasironnan vaikutus mittauksiin on osattava mallintaa, tai muuten tuotetut otsoniprofiilit ovat systemaattisesti vääriä. Parhaimmat mallit käyttävät Monte Carlo -menetelmää, jossa simuloidaan muutamaa yksinkertaista sääntöä noudattaen satojen tuhansien fotonien satunnaisia polkuja. Monte Carlo -mallit ovat tarkkoja, mutta yleensä myös hitaita käyttää.

Joissain ilmakehän käänteisongelmissa fysikaalinen malli on suoraviivaista rakentaa, mutta mitattu spektri sisältää vain vähän informaatiota ilmakehän profiilista. Tällainen tilanne on Sodankylässä sijaitsevan FTS-mittalaitteen kanssa, jonka avulla tutkitaan erityisesti kasvihuonekaasuja, kuten metaania. Maan pinnalla oleva FTS-laite katsoo suoraan Aurinkoon ja mittaa ilmakehässä vaimentunutta Auringon säteilyn spektriä erittäin hyvällä aallonpituuksien erotuskyvällä. Mittauksen mallintaminen on helppoa, koska pidemmällä aallonpituuksilla Aurinkoa katsottaessa sironnan vaikutus on häviävän pientä. Verrattuna GOMOS ja OSIRIS -mittauksiin, kaasujen profiilien selvittäminen FTS-mittauksista on kuitenkin erittäin vaikeasti ratkaistava käänteisongelma. Eri ilmakehän korkeuksien vaikutus FTS-spektriin voidaan selvittää vain hyvin karkeasti jos ollenkaan. Usein FTS-profiileja ei edes yritetä ratkaista, vaan menetelmät luottavat siihen että profiilin muoto tunnetaan tarkasti etukäteen.



Epäsuorat mittaukset aiheuttavat käänteisongelman eli tulosten saamiseksi täytyy osata valita oikeat ennako-oletukset sekä huomioida mittauksen ja mallinnuksen epävarmuudet.

Sodankylässä luotainpallon avulla tehdyistä paikallisista mitauksista on kuitenkin huomattu, että joskus metaaniprofiilin muoto stratosfäärissä poikkeaa etukäteen ajatellusta huomattavan paljon. Tällainen tilanne on etenkin keväisin Maan napa-alueilla, kun niin sanottu ilmakehän polaaripyörre osuu kohdalle. Tämän ilmiön huomattuun Ilmatieteen laitoksen tutkijat alkoivat kehittää uutta menetelmää, jossa poikkeavia metaaniprofiilin muotoja voidaan ratkaista myös epäsuorista FTS-mittauksista (**Kuva 3.**). Menetelmä perustuu metaanin luonnollisen vaihtelun määrittämiseen ja esittämiseen vain muutamalla huolellisesti valitulla parametrilla. Parametrien avulla voidaan kuvata koko profiili 40 km asti, mutta samalla



Kuva 3. Metaanin profiili 19.3.2014 Sodankylässä mitattuna FTS-mittalaitteella (sininen) ja luotainpallolla (punainen). Kuvassa on myös etukäteen ajateltuna paras arvaus profiilista (harmaa).

Lähteet

Kyrölä, E., Laine, M., Sofieva, V., Tamminen, J., Päiväranta, S.-M., Tukiainen, S., Zawodny, J., and Thomason, L.: Combined SAGE II–GOMOS ozone profile data set for 1984–2011 and trend analysis of the vertical distribution of ozone, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 10645–10658, doi:10.5194/acp-13-10645-2013, 2013.

S. Tukiainen, S. Hassinen, H. Auvinen, E. Kyrölä, J. Tamminen, C. Haley, N. Lloyd, and P. T. Verronen, Description and validation of a limb scatter retrieval method for Odin/OSIRIS, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 113, 2008.

S. Tukiainen, E. Kyrölä, P. T. Verronen, D. Fussen, L. Blanut, G. Barrot, A. Hauchecorne, and N. Lloyd, Retrieval of ozone profiles from GOMOS limb scattered measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 659–667, 2011.

S. Tukiainen, E. Kyrölä, J. Tamminen, J. Kujanpää, and L. Blanut, GOMOS bright limb ozone data set, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 3107–3115, 2015.

S. Tukiainen, J. Railo, M. Laine, J. Hakkarainen, R. Kivi, P. Heikkinen, H. Chen, and J. Tamminen, Retrieval of atmospheric CH₄ profiles from Fourier transform infrared data using dimension reduction and MCMC, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 2016.

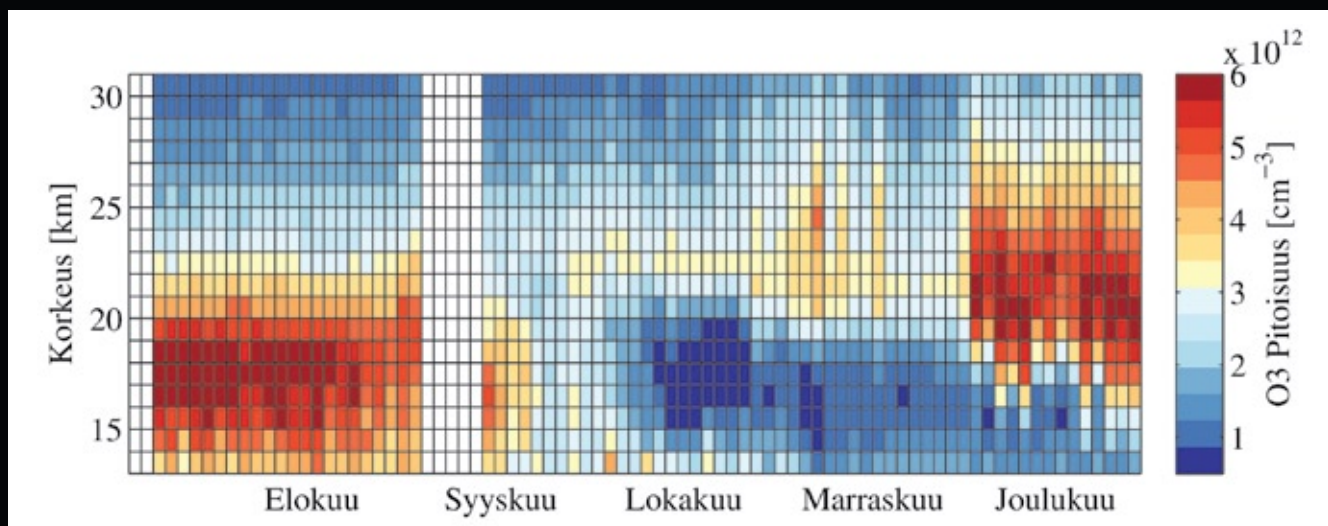
käänteisongelma saadaan pakotettua tuottamaan vain realistisia ratkaisuja. Tuloksena oli ensimmäisiä FTS-mittauksista johdettuja metaanin profiileja polaaripyörteestä (Tukiainen et al., 2016).

Kuori ei kestä liikaa kolhuja

Pitkät mittaussarjat avaruudesta ja Maan päältä ovat välttämättömiä, jotta voitaisiin tutkia ilmakehän muutoksia ajassa. Jos muutoksia havaitaan, tärkeä kysymys on selvittää ihmisen toiminnan vaikutus.

Otsonikerroksen muutokset ovat hyvä esimerkki. Muun muassa GOMOS ja OSIRIS mittauksista on arvioitu, että yleisesti ottaen ilmakehän otsoni väheni vuoteen 1997 asti ja on sen jälkeen ollut hienoisessa nousussa (esim. Kyrölä et al., 2013). Otsonin palautuminen on suoraa seurausta otsonia tuhoavien kloori- ja bromiyhdisteiden kieltämisestä kansainvälisillä sopimuksilla. Vaikka otsonikerroksen tulevaisuus näyttää nyt hyvältä, Etelämantereen jokakeväinen otsoniaukko (**Kuva 4.**) tulee silti esiintymään vielä vuosikymmeniä.

Tulevaisuuden haasteet liittyvät otsonia enemmän kasvi-huonekaasuihin ja ilmaston lämpenemiseen. Tutkijat ovat arvioineet, että vuodesta 1750 lähtien ilmakehässä olevan hiilidioksidin pitoisuus on kasvanut 40 % ja metaanin jopa 150 %. Kasvaneet pitoisuudet selittävät havaittua maapallon lämpenemistä, ja ihmisten sekä luonnon kannalta ilmastomuutokseen liittyvät valtavia riskejä. Tarvitaan lisää mittauksia ja niiden parempaa tulkintaa, jotta ymmärtäisimme miten herkkä kaasukerroksemme selviää tulevaisuudessa. Kuori on hyvä suoja omenalle, mutta liian monta kolhua pilaa sen silti lopulta käyttökelvottomaksi.



Kuva 4. Otsonin määrä Etelämantereen alueella vuonna 2004 OSIRIS ja GOMOS -mittausten mukaan. Otsoniaukko kehittyy Etelämantereele vuosittain paikallisena keväänä syyskuussa ja lähes kaikki otsoni tuhoutuu muutaman kuukauden ajaksi.

Lisätiedot:

Tutkija Simo Tukiainen, FT, Ilmatieteen laitos
Puh 050 340 5385, simo.tukiainen@fmi.fi



Hiilidioksidipäästöt kartalle

Olipa kyse mistä tahansa tieteellisestä ilmastokonferenssista tai tavalliselle kansalaiselle suunnatusta informaatiosta, niin puhuttaessa ilmaston muutoksesta esiin nousee ns. Keelingin käyrä: ikoninen aikasarjakuva Mauna Loan observatorion hiilidioksidimittauksista. Kuvan vasemmasta alalaidasta lähtee nouseva hiilidioksidi pitoisuus kohti oi-

keaa yläkulmaa. Viivamuotoisuuden rikkoo vain vuosittain tapahtuva pohjoisen pallonpuoliskon kasvukauden kanssa negatiivisesti korreloiva sykli. Trendi johtuu ihmisen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. Siksi niitä olisi hyvä vihdoin kartoittaa.

Hiilidioksidi on tärkein kasvihuonekaasu, ja sen rooli on keskeinen havaitussa ilmaston lämpenemisessä. Kuten viimeaikoina on laajasti uutisoitu, hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä on noussut esteellisen ajan noin 280 miljoonasosasta nykyiseen noin 400 miljoonasosaan kaikkialla maapallolla. Hiilidioksidi onkin ilmakehässä hyvin sekoittunut ja sen paikalliseen määrään vaikuttaa lähteiden ja nielujen lisäksi mm. kulkeuma. Hiilidioksidin elinikä ilmakehässä on vuosia.

Satelliiteista saadaan tietoa

Viimeisen kahden vuosikymmenen aikana satelliitit ovat mullistaneet ihmiskunnan kyvyn mitata ilmakehän koostumusta. Satelliitit ovat tuoneet merkittävästi lisätietoa muun muassa ilmanlaadusta globaalilla skaalalla (kartat), ja mahdollistaneet ilmanlaadun seurannan alueilla, joissa se perinteisin menetelmin on ollut hankalaa. Satelliittipohjaisia ilmanlaatuhavaintoja on käytetty esimerkiksi päästöjen määrän estimointiin, muutosten seurantaan ja päästöinventaarierien verifiointiin, sekä inventaarioista puuttuvien päästölähteiden kartoittamiseen.

Ensimmäinen ilmakehän alakerroksen arvoille herkkä hiilidioksidihavaintoja tuottava mittalaite oli eurooppalainen SCIAMACHY, joka laukaistiin osana ESan Envisat-avaruusalusta vuonna 2002. Se toimi aina vuoteen 2012 saakka mahdollistaen hiilidioksidin kartoittamisen ensimmäistä kertaa avaruudesta. Ensimmäinen varta vasten kasvihuonekaasumittauksia varten suunniteltu satelliitti oli japanilainen

GOSAT, joka laukaistiin vuonna 2009. GOSAT on edelleen toiminnassa ja sille on suunniteltu myös jatkoa.

Kesällä 2014 alkoi uusi aikakausi, kun NASAn amerikkalainen Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) laukaistiin maata kiertävälle radalle. OCO-2:n maantieteellinen erottelukyky on erinomainen, 1×2 km, ja se mahdollistaa hiilidioksidin tutkimisen ennennäkemättömällä tarkkuudella verrattuna aikaisempiin mittauksiin. Noin 700 kilometrin korkeudella lentävästä mittalaitteesta saadaan noin miljoona maailmanlaajuista havaintoa vuorokaudessa, ja näistä noin 13 % on tieteellisessä mielessä käyttökelpoisia.

Ihmisperäisen hiilidioksidin kartoittaminen on haastavaa

Verrattuna lyhytikäisiin ilmanlaatuun vaikuttaviin kaasuihin trendi, vuosivaihtelu, voimakas tausta ja kulkeuma hankaloittavat ihmislähtöisen hiilidioksidin tutkimista. Tyypillinen lähtökohta, jossa kerätään ja keskiarvoistetaan riittävä määrä havaintoja, ei johda oikeaan lopputulokseen.

Ensimmäiset kuvat ihmislähtöisestä hiilidioksidista julkaistiin vuoden 2016 marraskuussa GRL-tiedelehden artikkelissa (Hakkarainen et al., 2016). Artikkelissa käytetty lähestymistapa oli suoraviivainen: yksittäisistä OCO-2 havainnoista (XCO_2) vähennettiin tutkimusalueen yli laskettu päivämediaani. Poikkeama on siis määritelty kaavalla:

$$\text{XCO}_2(\text{poikkeama}) = \text{XCO}_2(\text{mittaus}) - \text{XCO}_2(\text{päivämediaani}).$$

Tämä auttaa samanaikaisesti poistamaan trendin sekä kausivaihtelun, ja auttaa lisäksi mittausten epäsäännöllisen otannan kanssa, sekä ottaa myös huomioon havaintojen mahdollisesti sisältämän alueellisen harhan. Seuraavassa vaiheessa näin saadut poikkeamat keskiarvoistetaan ajan yli.

Karttoja ihmisperäisestä hiilidioksidista

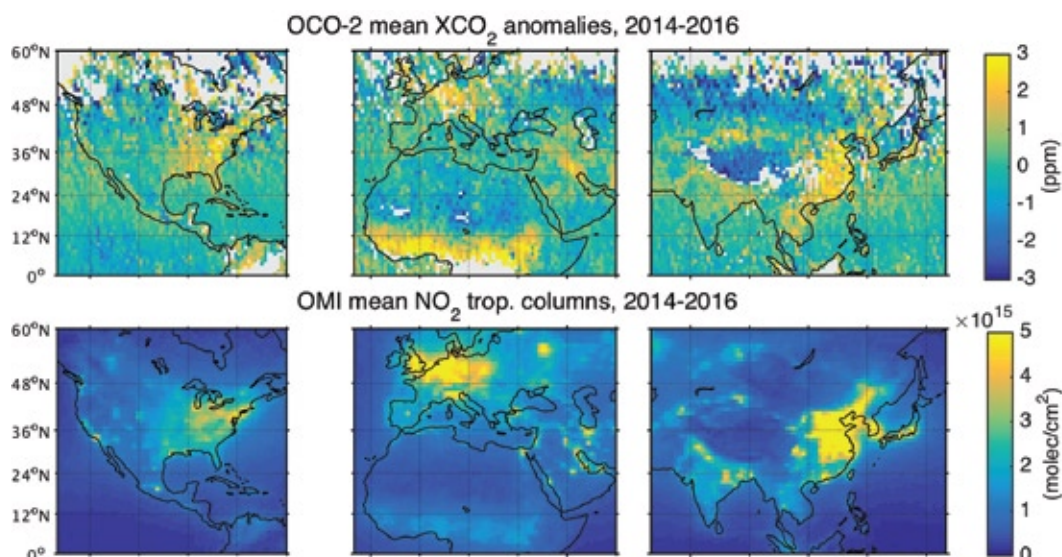
Kuvassa 1 on esitetty OCO-2 havainnoista tehty poikkeamakuva. Kuvasta voidaan havaita, että Kiinassa hiilidioksidipäästöt ovat suurimmat. Myös Keski-Euroopan ja Yhdysvaltain Itäosien suuret päästöalueet sekä Afrikassa ta-

Mistä idea lähti?

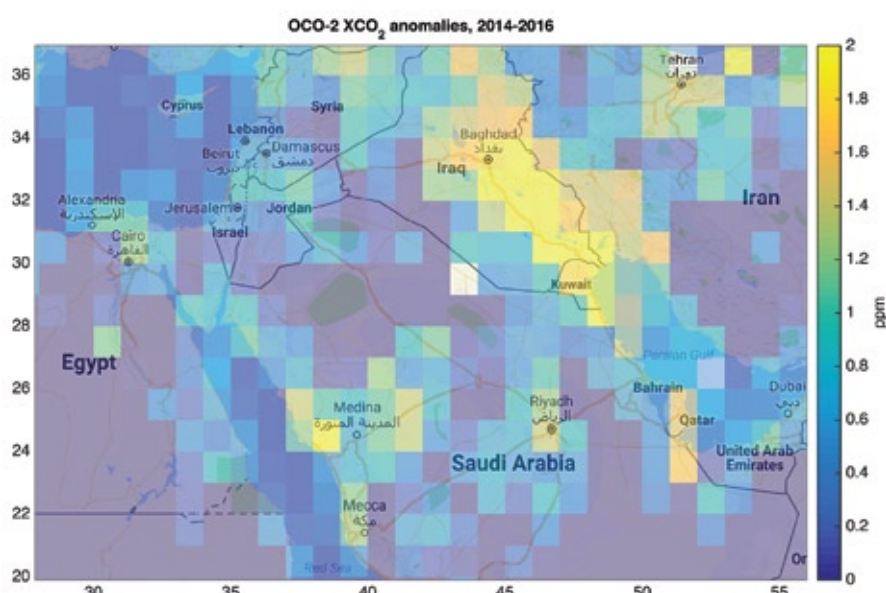
"Kun lähdin tutkimaan OCO-2 -mittalaitteen tekemiä hiilidioksi-dihavaintoja, tarkoitukseni oli tehdä yksinkertainen kuva: x-akselille tulisi hiilidioksidi ja y-akselille tyypidioksidi. Näiden kahden muuttujan välillä muodostuisi korrelaatio. Ja tästä korrelaatiosta voisi sitten päätellä jotain.

Tehdessäni kuvaa havaitsin, että ei tule mitään. Mielessäni pyöri hiilidioksidin nouseva trendi ja ennen kaikkea vuosivaihtelu. Näistä olisi päästävä eroon. Mietin, että käyttäisin hyväksi maanpinnalta tehtyjä mittauksia. Kirottua, ei onnistu.

Päätin käyttää itse satelliitin mittauksia hyväksi, ja näin syntyi kuva, joka on esitetty myös tämän artikkelin yhteydessä. Muistan olleeni pettynyt, kun kaikki yksittäiset kaupungit eivät näkyneetkaan heti tarkasti. Pidin kuvaa viikkoja työpöydälläni, kunnes aloin pikkuhiljaa tajuta, että kukaan ei ollut koskaan nähnyt mitään vastaavaa."



Kuva 1. Ylhäällä OCO-2 –mittalaitteen havainnosta tehty poikkeamakartta. Alhaalla OMI-mittalaitteen typpidioksidihavainnoista tehty kartta.



Kuva 2. OCO-2 –mittalaitteen havainnosta tehty poikkeamakartta Lähi-idässä.

pahtuva biomassan palaminen erottuvat selkeästi. Näiden suurten alueiden lisäksi myös yksittäiset erillään olevat päästöalueet, kuten suuret kaupungit, erottuvat kartasta. Voimakkaita gradientteja havaitaan muun muassa Tiibetin ylängön ympärillä, Japanissa, sekä Etelä- ja Pohjois-Korean välillä.

Erityisesti mielenkiintoisia ovat Lähi-idän korkeat arvot, joita ei ole raportoitu päästöselvityksissä. Tämän varsinainen vahvistaminen signaalista edellyttää kuitenkin vielä lisättyä. Lähi-idän poik-

keamakartta on esitetty **kuvassa 2**. Siitä voidaan havaita yksittäisiä kaupunkeja, sekä valtava poikkeama Irakin yllä. Lisää vastaavia karttoja on esitelty alkuperäisen artikkelin liitteessä.

Tutkimuksessa käytettiin myös hollantilais-suomalaisen OMI-mittalaitteen tekemiä typpidioksidihavaintoja. Typpidioksidi on lyhytikäinen palamisprosessissa syntyvä kaasu, joka pysyy päästölähteiden lähellä. Sitä onkin aiemmin käytetty indikaattorina ihmisperäiselle hiilidioksidille.

Globaalisti tarkasteltuna OCO-2 havainnoista saatujen poikkeamien ja OMI:n typpidioksidin välillä oli selvä yhteys. Molempien antamat maantieteelliset piirteet ovat yhtenevät kaikkien suurten päästöalueiden osalta. Myös OCO-2 -poikkeamien ja olemassa olevien emissioinventaarien välillä on voimakas positiivinen korrelaatio. Kun OMI typpidioksidia ja OCO-2 poikkeamia käytettiin yhdessä, niiden avulla

voitiin myös luokitella eri alueita päästöjen määrän sekä tyypin mukaan. Muun muassa alueet, joissa biomassan palaminen oli dominoiva hiilidioksidin päästölähde voitiin erottaa alueista, joissa fossiilisten polttoaineiden palaminen oli dominoiva.

“

OMI typpidioksidin ja OCO-2 poikkeamien tietoja yhdistämällä alueita oli mahdollista luokitella esimerkiksi sen perusteella oliko dominoiva hiilidioksidin päästölähteen fossiilinen polttoaine vai biomassaa.

OCO-2 -mittalaite tulevaisuudessa tärkeä ilmasto-tutkimukselle

Tehty tutkimus perustui OCO-2-mittalaitteen ensimmäisen puolentoista vuoden aikana tekemiin havaintoihin. Kun havaintoajasarjasta tulee pidempi, voidaan päästölähteitä tutkia entistä luotettavammin. Onkin odotettavaa, että OCO-2 satelliitin havainnot tulevat olemaan keskeinen osa tulevaisuuden ilmasto- ja päästötutkimusta. Myös eri satelliitti-mittalaitteiden yhteiskäyttö avaa uusia mahdollisuuksia kuten tutkimuksessa on osoitettu hyödyntäen OMI-havaintoja yhdessä OCO-2 -havaintojen kanssa.

LÄHDE

Hakkarainen, J., I. Ialongo, and J. Tamminen (2016), Direct space-based observations of anthropogenic CO₂ emission areas from OCO-2, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070885

Ilmasto.nyt

- korkeakouluille ilmastomuutoksesta

Ilmasto-osaamista tarvitaan kaikilla aloilla. Perustiedon paikkaamista varten valmistui syksyllä 2016 uusi ilmastomuutosoppimateriaali Ilmasto.nyt, joka on avoimesti verkossa kaikkien käytettävissä osoitteessa www.ilmastonyt.fi.

Ilmastomuutos on kaikkialla

Ilmastomuutos näkyy kaikkialla: matkailuyrittäjät pohtivat lumisten talvien tulevaisuutta, teollisuudessa seurataan tarkasti Pariisin ilmast sopimuksen täytäntöönpanoa ja yritykset tekevät ilmastostrategioitaan. Ilmasto-osamista tarvitaan kaikilla aloilla. Mutta löytyykö Suomesta tarpeeksi osajia eri aloilta ja miten koulutus on vastannut haasteeseen?

“

Jokaisen Suomen korkeakoulusta valmistuvan tulisi hallita ilmastonmuutoksen perusteet sekä ymmärtää sen vaikutukset oman omaan alaansa.

mukaan Suomen yliopistoissa kyllä opetetaan ilmastomuutosta eri aloilla ja kaikissa korkeakouluissa, mutta perusteiden opetus ei ole kaikkien saatavilla.

Ilmasto.nyt on kaikille avoin oppimateriaali

Helsingin yliopisto ja Lappeenrantaan teknillinen yliopisto olivat valmiita tarttumaan toimeen ja ehdottivat keväällä 2015 aluksi erikseen ilmastonmuutoksen perusteita käsittelevän opetusmateriaalin tuottamista. Kaksi toisiaan tukevaa ehdotusta yhdistettiin, ja hankkeen peruspilareiksi muodostui näiden

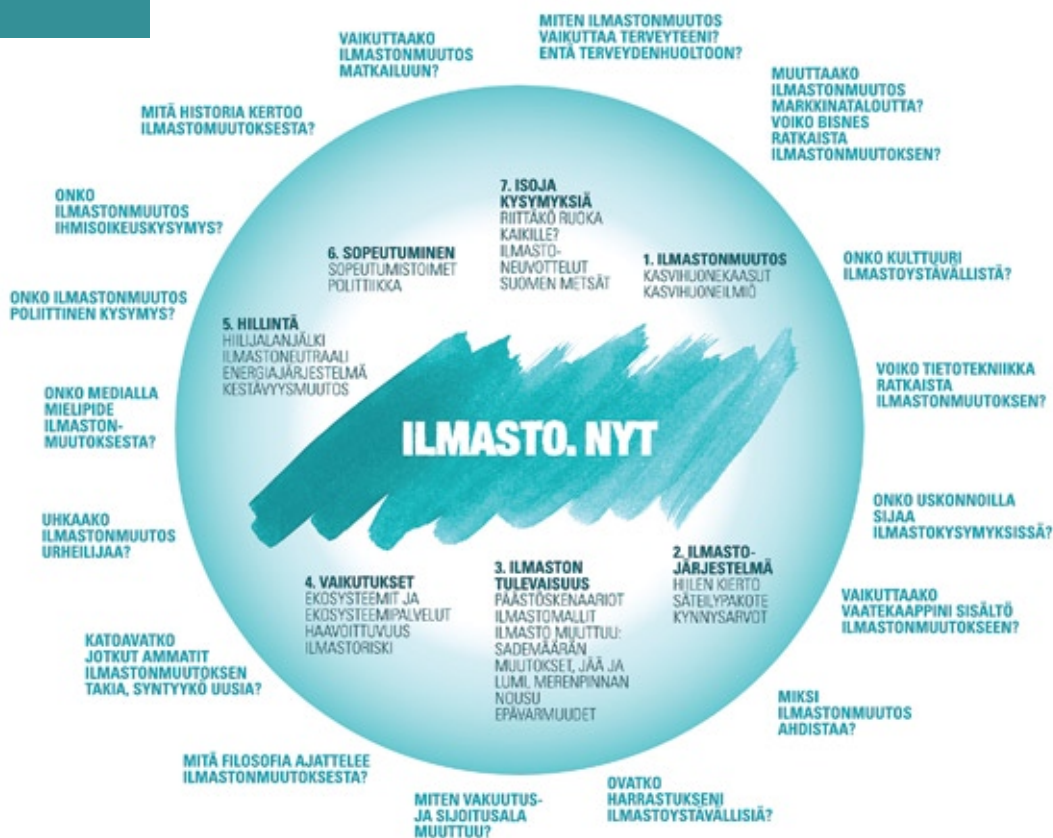
44

Ilmasto.nyt-opintokokonaisuus on avoimesti saatavilla oleva verkko-opintokokonaisuus, jonka materiaaleja voi käyttää korkeakoulussa kurssin järjestämiseen tai itse-opiskeluun.

yliopistojen asiantuntemus ilmastonmuutoksesta ilmiönä, sen hillinnästä ja siihen sopeutumisesta.

Ilmasto.nyt-opintokokonaisuutta alettiin luoda syksyllä 2015 ja se valmistui syksyllä 2016. Uusi ilmastonmuutosopimateriaali Ilmasto.nyt on avoimesti verkossa kaikkien käytettävissä osoitteessa www.ilmastonyt.fi. Materiaali löytyy kokonaan myös englanniksi. Materiaali sijaitsee Helsingin yliopiston MOOC-alustalla. MOOC tarkoittaa avointa verkkokurssia (Massive Open Online Course). Ilmasto.nyt-materiaali on ensisijaisesti tarkoitettu korkeakouluille 2-5 opintopisteen kurssin järjestämiseksi, mutta sitä voi alustalla

KUVA 1. Ilmastomuutos liittyy kaikkeen.
Ympyrän sisällä on esitelty Ilmasto.nyt materiaalin sisältökokonaisuudet. Ulkokehälle on koottu niihin vahvasti liittyviä kysymyksiä.
Kuva: Ilmasto.nyt /Sitra.



Tähän kysymykseen Sitra lähti vastaamaan kutsumalla koolle Suomen yliopistojen rehtorit sekä edustajia Suomen Akatemiasta ja liike-elämästä lokakuussa 2014. Keskustelussa nousi esille, että jokaisen Suomen korkea-koulusta valmistuvan tulisi hallita ilmastonmuutoksen perusteet sekä ymmärtää, miten ilmastonmuutos vaikuttaa valmistuneen edustamaan alaan. Keskustelu jatkui ja Sitra teetti niiden tueksi selvityksen ilmasto-alan koulutuksen nykytilasta (Liljeström ja Monni, 2015). Selvityksen

opiskella myös itsenäisesti. Itsenäisestä opiskelusta saa verkkoalustalta sertifikaatin. Opintopisteitä kurssista saa vasta suorittamalla sen johonkin mukana olevista korkeakouluista.

Ilmasto.nyt verkkomateriaali sisältää tekstiä, kuvia ja videoita. Mukana on myös tehtäviä, oppimispäiväkirjan pohja ja opettajan ohjeet. Sisällöt käsittelevät ilmastonmuutosta ilmiönä, sen hillintää ja siihen sopeutumista, kuten luonnontieteellistä perustaa, vaikutuksia ekosysteemeihin ja ihmisyhteisöihin (Kuva 1).



Monipuoliset materiaalit sisältävät mm. eri yhteiskunnan alueiden vaikuttajien haastatteluja.

Oppimistehtävät laajentavat näkökulmia eri konteksteihin ja videoille on haastateltu toimijoita eri puolilta suomalaista yhteiskuntaa. Mukana on mm. Elinkeinoelämän Keskusliiton toimitusjohtaja **Jyri Häkämies** ja kansanedustaja **Pekka Haavisto**. Haastattelujen avulla opiskelija pääsee kurkistamaan, miten ilmastonmuutos näyttäytyy esimerkiksi kahvialalla, terästeollisuudessa tai kirkon työssä.

Tavoitteena on, että opiskelijat löytäisivät yhtymäkohtia oman alansa ja ilmastonmuutoksen väliltä ja osaisivat soveltaa oppimaansa omalla alallaan nyt ja tulevaisuudessa. Katsomalla ilmiötä eri näkökulmista opiskelija oppii tarkastelemaan eri tietolähteitä ja ilmastonmuutoksesta käytävää keskustelua kriittisesti, luomaan yhteyksiä eri aiheiden välillä sekä etsimään ratkaisuja monipuolisesti ja kokonaisvaltaisesti.

Materiaali tehtiin monialaisessa yhteistyössä

Kun kahta yliopistoa, Helsingin yliopistoa ja Lappeenrannan teknillistä yliopistoa, pyydettiin yhdistämään hyvin samantaiset hanke-ehdotuksensa, alkoi tutustuminen toisen yliopiston ehdotukseen ja toisaalta pohdinta siitä, mihin yhdessä tähdätään ja ketä muita tarvitaan mukaan. Tämä osoittautui erittäin sujuvaksi prosessiksi: kaikilla osapuolilla oli tahto saada tämä tärkeä aihe mahdollisimman monen Suomen korkeakoululaisen ulottuville.

Yhdessä koettiin, että ymmärrettävän ja voimaannuttavan kokonaisuuden luomiseksi tarvitsimme mukaan myös kasvatustalan ja taiteiden ammattilaisia. Tätä näkemystä tuki myös Suomen Ilmastopaneelin raportti ilmastokasvatuksesta (Lehtonen ja Cantell, 2015). Kun Ilmasto.nyt videoluennot päätettiin tehdä yhdessä Metropolia ammattikorkeakoulun opiskelijoiden kanssa, monialainen soppa oli valmis keitettäväksi.



Monen eri tahon yhdessä työstimän projektin toteuttaminen oli haastavaa: jo yhteisten tavoitteiden sopiminen oli oma haasteensa.

Kun työ aloitettiin, lopputuloksesta oli varmasti vähintään yhtä monta visioita, kuin oli tekijääkin. Tämän ei annettu kuitenkaan häiritä tai lamaannuttaa, vaan työskentely aloitettiin reippaasti kohti liikkuvaa maalia. Tavoitteena oli koko ajan, että alle vuoden päästä kurssi on jo käynnissä ja tässä tavoitteessa pysyttiin. Yhdessä tekemistä ja ryhmäytymistä helpottivat työpajojen yhteydessä tehdyt visiointi- ja rauhoittumishetket, joita ohjasivat työryhmän taiteilijat. Yksi tällainen hetki on käynnissä **kuvassa 2**, jossa loimme nauhan avulla kuvioita, jotka reflektivat yhteistyötämme ja ilmastonmuutosta aiheena. **Kuvassa 3** ollaan jo maaliviivoilla, suunnittelemassa yhdessä kurs-



sin johdantovideoita. Koko laaja 30 hengen tekijäjoukko on esitelty osoitteessa ilmastonyt.fi.

Ensimmäinen Ilmasto.nyt-kurssi pyörii parhaillaan Helsingin yliopistossa

Ensimmäinen Ilmasto.nyt-materiaaliin pohjautuva kurssi on parhaillaan käynnissä Helsingin yliopistossa. Kurssilla on kolme opettajaa eri aloilta: **Laura Riuttanen** fysiikasta, **Jaana Bäck** metsätieteistä ja **Sirkku Juhola** ympäristötieteistä. Lisäksi kurssi on avoinna Avoimen yliopiston kautta kaikille kiinnostuneille ja avoimen yliopiston puolelta kurssia opettaa **Sanna-Liisa Sihto-Nissilä**. Kurssi sai heti alkuun suuren suosion ja ensimmäiselle kurssille ilmoittautuikin 168 opiskelijaa monialaisin taustoin. Edustettuina on niin kotitaloustieteilijää kuin fyysikkoakin, aina politiikasta liike-elämään. Opiskelijat opiskelevat Ilmasto.nyt materiaalia noin neljän hengen pienryhmissä ja kirjoittavat oppimispäiväkirjaa. Pienryhmissä tehdään myös kaksi projektityötä: ensimmäinen on sisältö-materiaalia erilaisiin tapauksiin soveltava projekti ja toisessa projektityössä opiskelijat suunnittelevat oman ilmastomuutosprojektinsa.

Tammikuussa 2017 Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa otetaan Ilmasto.nyt-materiaali osittain käyttöön osana jo useita vuosia järjestettyä Ilmastomuutos-kurssia. Lisäksi Lappeenrannassa toteutetaan kokonaan uusi etänä suoritettava englanninkielinen kurssi, joka nojautuu climate.now-materiaaliin. Ilmasto.nyt materiaali on mukana myös Aalto yliopistossa keväällä alkavalla ilmastomuutuskurssilla. Tavoitteena on, että kaikissa Suomen korkeakouluissa voisi opiskella ilmastomuutoksen perusteita ja tuki myös, että materiaali voisi olla hyödyksi mahdollisimman laajasti muillekin. Tavoitteena on myös lähitulevaisuudessa järjestää myös koulutusta korkeakouluopettajille.

Ota ilmasto.nyt -materiaali käyttöön

Yhdessä luotu materiaali on vapaasti kaikkien käytettävissä oman korkeakoulukurssin rakentamista sekä muuta koulutusta ja käyttöä varten.

Ilmasto.nyt materiaalit löytyvät osoitteesta:

> www.ilmasto.nyt

Lähteet

Emma Liljeström ja Suvi Monni, 2015: Ilmasto-alan yliopisto-opetuksen nykytila Suomessa 2015, Sitra.

<http://www.sitra.fi/julkaisut/Muut/Ilmastoalan%20koulutuksen%20nykytila%202015.pdf>

Anna Lehtonen ja Hannele Cantell, 2015: Ilmastokasvatus osaamisen ja vastuullisen kansalaisuuden perustana. Suomen Ilmastopaneeli, Raportti 1/2015.

English Abstract

New climate change education material Climate.now

There is an urgent need of climate change knowledge in every field of the society. For that, a new material Climate.now was published in Autumn 2016. It is aimed for a 2-5 cr university course, but the learning material is openly available for anyone interested at www.climate.now.fi. The material was produced by a multidisciplinary team of experts from Finland, including natural and social scientists, pedagogical experts and artists. First course is now going on at the University of Helsinki, second one coming in January at the Lappeenranta University of Technology. Our motivation is to make everyone in Finland to understand the basics of climate change!

Yhteystietoja

Laura Riuttanen, Helsingin yliopisto, tohtorikoulutettava,
PL 48 (Erik Palménin aukio 1), 00014 Helsingin yliopisto, +358 50 415 4746,
laura.riuttanen@helsinki.fi

Maija Leino, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, nuorempi tutkija,
Saimaankatu 11, 15140 Lahti, +358 40 584 2736, maija.leino@lut.fi

Liisa Lahti, Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra, asiantuntija,
Itämerenkatu 11-13, 00180 Helsinki, +358294 618292, liisa.lahti@sitra.fi





Anders V. Lindfors, tutkimusprofessori, Ilmatieteen laitos
Sami Niemelä, yksikön päällikkö, Ilmatieteen laitos
Evgeny Atlaskin, Ilmatieteen laitos
Herman Böök, Ilmatieteen laitos
Karoliina Hämäläinen, Ilmatieteen laitos
Santtu Karhinen, tutkija, Suomen ympäristökeskus

Tuuli- ja aurinkosähkön ennustaminen

Aurinko- ja tuulivoimaloiden tuotanto vaihtelee sääolojen mukaan sen sijaan, että se pysyisi tasaisena kuten perinteisissä voimaloissa. Koska aurinko- ja tuulivoima tulevat olemaan tulevaisuuden sähköntuotannossa yhä merkittävämmässä roolissa, sähköntuotannon ennustamisen tärkeys korostuu. Ilmatieteen laitos tutkii ja kehittää säänennustusmalliin pohjautuvia energiasääennusteita.

Pariisin tuoreessa ilmastopimuksessa maailman valtiot sitoutuvat siihen, että ilmaston lämpeneminen pyritään rajoittamaan 1,5 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ilmastoa lämmittävien kasvihuonekaasujen päästöt on saatava pienemmäksi nopealla aikataululla. Sähköntuotannon osalta näyttää siltä, että aurinko- ja tuulivoima tulevat olemaan tulevaisuudessa yhä merkittävämmässä roolissa.



Samalla sähkömarkkinat ovat muuttumassa. Tulevaisuuden sähkömarkkinoilla puhutaan esimerkiksi kysyntäjoustosta, jossa kuluttajat osallistuvat sähköntarpeen huippujen tasaamiseen (Honkapuro, 2016). Tarve tähän johtuu siitä, että aurinko- ja tuulivoimaloiden tuotanto vaihtelee sääolojen mukaan sen sijaan, että se pysyisi tasaisena, kuten perinteisissä voimaloissa.

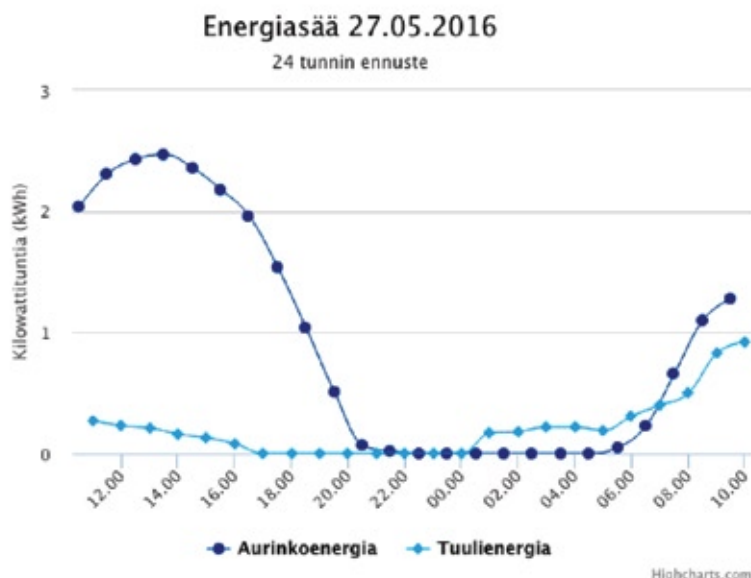
“ Kuluttajat ovat tulevaisuudessa mukana sähköhuippuja tasaa-
massa.

BCDC Energia –tutkimushankkeen tavoitteena on löytää ratkaisuja, jotka mahdollistavat aurinko- ja tuulienergian mahdollisimman laajamittaisen ja kustannustehokkaan käytön. Hanke on alkanut syksyllä 2015, ja sen rahoittaa Strategisen Tutkimuksen Neuvosto (STN). Hanketta johtaa Oulun yliopiston Kauppakorkeakoulu. Tutkimuksessa markkinamekanismit yhdistyvät uuden sukupolven digitaalisiin palveluihin ja räätälöityihin sääennusteisiin. Uusiutuvan energiantuotannon ja pilvipalveluiden hallintaa ja optimointia tehostetaan. Lopputuloksena kehitetään moderni verkkokauppa sähkönkulutuksen ja sähkön pientuotannon myyntiin ja ostoon.

Energiasääennuste tuuli- ja aurinkovoimalle

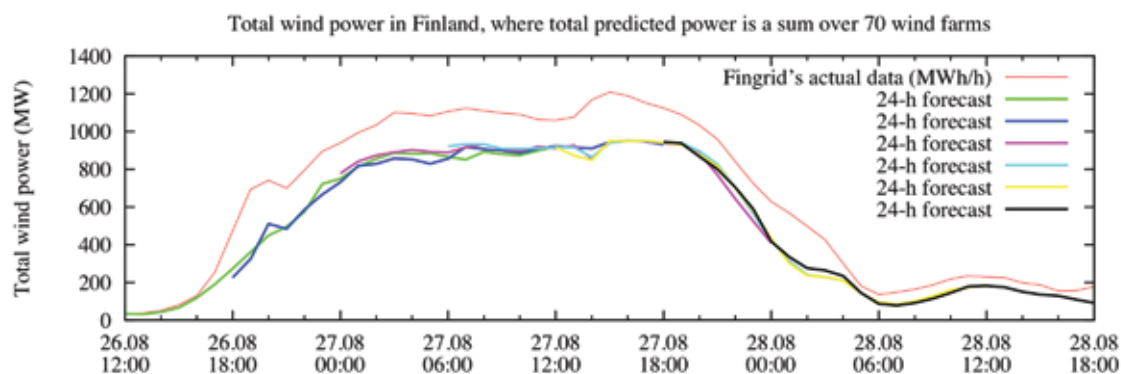
Energiantuotannon ja sään ennustaminen on BCDC-hankkeessa Ilmatieteen laitoksen vastuulla. Numeeriset sääennustusmallit ovat tässä hyvin keskeisessä asemassa. Säänennustusmalli on laskennallinen tietokoneohjelma, joka simuloi ilmakehän käyttäytymistä fysiikan lakien mukaan tietystä alkuehetestä ajassa eteenpäin. Malli sisältää kaikki tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon kannalta oleelliset suu-reet, keskeisimpinä auringon säteily ja tuulen nopeus. Näin ollen mallin tuottaman sääennusteen perusteella voidaan laskea esimerkiksi paljonko tuuli- tai aurinkosähköä tietty kokoonpano tuottaisi mallin ennustamissa sääoloissa.

Säämallipohjaista energiasääennustetta voi seurata BCDC-hankkeen verkkosivuilla. Energiasääennuste kertoo auringon paisteen ja tuulen kilowattitunteina seuraavan 24 tunnin aikana paikkakuntaakohtaisesti. Ennusteessa on oletettu sekä aurinkopaneeleille että tuuliturbiinille 2,5 kWp (kilowatti-peak) huipputeho. Aurinkovoiman osalta tämä vastaa pienehköä omakotitalon katolle asennettua aurinkovoimaa, jossa on noin 10 aurinkopaneelia. Vastaavasti tuu-



Rauli-myrskyn aikana toteutunut tuulivoima-tuotanto pysyi 1000 MW:n tuntumassa noin 24 tunnin ajan ollen enimmillään noin 1200 MW. Huippu saavutettiin 27.8. iltapäivällä. Säämal-lin ennustamaa tuulivoimatuotantoa kuvaava käyrä on muodoltaan hyvin samantapainen kuin toteutunut tuotanto, mutta säämallin tuotan-tolukemat jäävät kauttaaltaan pienemmäksi. Säämallin huippulukema on noin 960 MW.

“ *Elokuun Rauli-myrsky nosti tuulivoiman tuotannon hurjiin lukemiin ja myrskyä käytettiin mallin ja toteutuneen tuotannon vertailuun.*



KUVA 2. Rauli-myrskyn ennustettu ja toteutunut tuulivoima-tuotanto 26.-28.8.2016.

Iso osa sää-mallin ja to-teutunee tuot-tannon väli-sestä erosta selittyy sillä, että olemme laskuissamme käyttä-neet puut-teellista tie-toa Suomen tuulivoima-loista. Kerä-simme tietoa

livoiman osalta kyseessä on pientuulivoimatuotantoon so-veltuva tuuliturbiini, jonka napakorkeus on 12 metriä. **Kuva 1** näyttää esimerkin energiasääennusteesta Raaseporille 27.5.2016.

“ *Energiasääennusteita voi käydä katsomassa jo nyt osoitteessa: www.bcdenergia.fi/enerbiasaa*

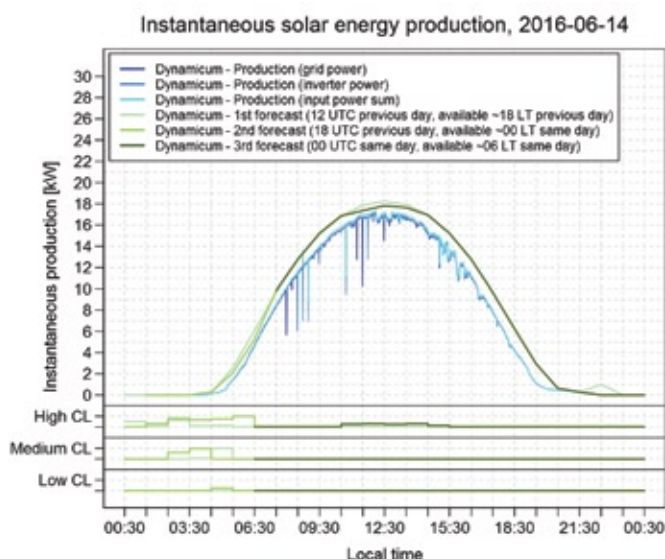
tuulivoiman tuotantolaitoksista Energiaviraston voimalaitos-rekisteristä ja Tuulivoimayhdistyksen listauksesta. Meidän tiedoissamme Suomen yhteenlaskettu tuulivoimakapasiteetti on 975 MW, kun Fingridin mukaan se on noin 1300 MW. Jotta voisimme paremmin arvioida tuulivoimaennusteiden osu-vuutta, tarvitsisimme ajan tasalla olevan listan Suomen tuu-livoimaloista. Keskustelemme tästä parhaillaan Fingridin kanssa.

Rauli-myrskyn tuulivoimatuotanto ylitti 1000 MW

Tutkimushankkeessa kehitämme myös energiasääennustetta isoille tuuliturbiineille ja aurinkovoimaloille. Elokuisen Rauli-myrskyn aikana Suomen yhteenlaskettu tuulivoimatuotanto ylitti Fingridin tietojen mukaan ensimmäistä kertaa 1000 MW [Kaukonen ja Heikkinen, 2016]. Halusimme testata, kuinka säämallimme onnistuu tämän ennustamisessa. **Kuva 2** esit-tää Fingridin tuulivoimatiedot 26.-28.8.2016 yhdessä säämal-lin tuulivoimaennusteen kanssa. Tuulivoimaennuste perustuu tässä HARMONIE-säämalliin, joka on 2,5 km hilavälillä tällä hetkellä erottelukyvyltään Ilmatieteen laitoksen tarkin.

Kesän aurinkoenergiaennusteet Kumpulassa

Aurinkoenergiaennusteiden osalta vertailukohtana toimi alus-sa Ilmatieteen laitoksen (Dynamicum) katolla Helsingin Kum-pulassa sijaitseva 21 kWp (kilowatti-peak) aurinkosähkölait-os. Kumpula on otollinen kehitysympäristö aurinkoenergian tuotantomallille, sillä siellä tehdään perinteisten säähavain-tojen lisäksi myös useita nimenomaisen aurinkosähkölaitok-sen suorituskykyyn liittyviä mittauksia. Esimerkiksi aurinko-paneeleiden lämpötilan ja säteilysuureiden mittaukset tukevat tulosten analysointia ja mallin virhelähteiden ymmärtämistä.



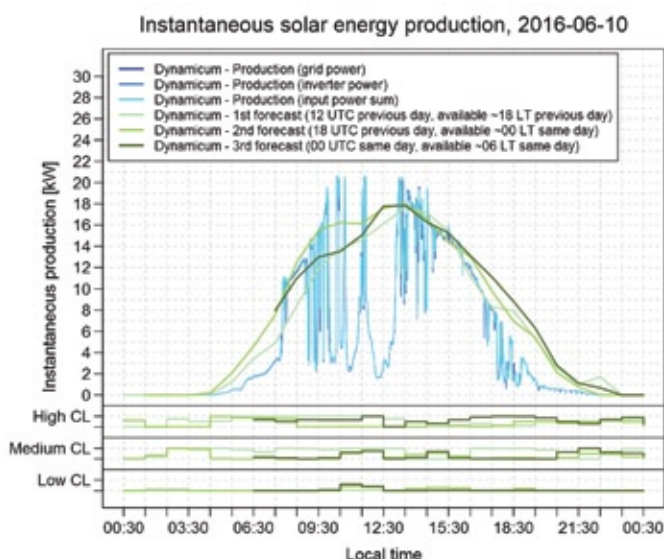
KUVA 3. Dynamicumin aurinkovoimalaitoksen tuotantoennuste sekä toteutunut tuotanto kahtena erityyppisenä päivänä kesäkuussa 2016. Vasen kuva edustaa lähes pilvetöntä, ja oikea hyvin vaihtelevapilvisistä päivistä. Kuvien alaosassa on kuvattu säänennustuksen mallin arvioima ala-, keski-, ja yläpilvisyys kyseisinä ajankohtina (Low CL, Medium CL, High CL).

Olemme verranneet aurinkoenergiaennustetta toteutuneeseen aurinkosähkötuotantoon kesäkauden 2016 aikana (4.6.-31.8.2016). Keskiössä on ollut energiamarkkinoille tärkeä seuraavan päivän (day-ahead) tuotanto. Tulokset osoittavat, että malli suoriutuu kohtuullisen hyvin pilvettöminä jaksoina, hieman toteutunutta tuotantoa systemaattisesti yliarvioiden. Esimerkkinä **kuva 3** vasen puoli (lähes pilvetön päivä 14.6.2016), jossa ennusteen suhteellinen virhe tuotantoon verrattuna klo 9-15 on 6–9 %.

Tällä hetkellä tuotantomallin kehitystyössä keskitytään eri virhelähteiden tarkempaan arviointiin. Kuvan 3 pilvettömän päivän osalta voidaan sanoa, että mallin ennustama auringon säteily on linjassa havaintojen kanssa. Suurimmat virhelähteet näyttävät liittyvän paneelien hyötysuhteeseen vaikuttavan paneelien lämpötilaan sekä tuotantolaitoskohtaisten parametrien määrittelyyn, jotka vaikuttavat voimalaitoksen hyötysuhteeseen.

Vertailujaksosta käy selväksi myös se, että auringonsäteilyyn voimakkaasti vaikuttavan pilvisyyden ennustaminen on säänennustusmalleille toisinaan haasteellista. Esimerkkinä kuvan 3 oikea puoli, josta nähdään, että malli ei aina kykene kuvaamaan realistisesti pilvien aiheuttamaa vaihtelua aurinkosähkötuotannossa. Keskipäivän aikaan tuotannossa on syvä notkahdus, joka ei näy ennusteissa. Malli ennustaa kyllä alapilviä keskipäivälle, mutta ilmeisesti liian vähän tai liian

“*Aurinkosähköennusteiden kohdalla pilvisyyden ennustaminen on erityisen haastavaa.*”



ohutta pilvää. Aurinkoenergiaan liittyviä ennustushaasteita on pohdittu myös muualla [Böök, 2016].

Jäätämisenennusteet tuulivoimalle

Suomen pohjoisen sijainnin takia tuulivoiman ennustamisessa tulee tuulen nopeuden lisäksi ottaa huomioon ilmakehän jäätävät olosuhteet. Kun tuulivoimalan lapoihin kertyy jäätä, niiden pinta karhenee ja aerodynaamiset ominaisuudet heikenevät. Tämän seurauksena ilmavirtaus irtoaa lavan pinnasta aiheuttaen sähköntuotantop tappioita. Jotta sähköä voitaisiin tuottaa riittävästi sääoloista riippumatta, olemme kehittäneet tuulivoiman tukemiseksi jäätämisenennusteet. Tällä hetkellä ennuste on testivaiheessa, ja koekäyttäjiltä odotetaan palautetta tuotteen laadun parantamiseksi.

Jäätämisenennuste päivittyy neljä kertaa vuorokaudessa ja se pohjautuu menetelmään, jota on käytetty myös Suomen jäätämisenlaskuksen luomiseen (Hämäläinen ja Niemelä, 2016). Ennusteen pituus on 54 tuntia. Tällä pyritään vastaamaan sähkömarkkinoiden tarpeeseen arvioida seuraavan päivän tuotanto. Jään kertymänopeus lasketaan ISO-standardin (ISO 12494: Atmospheric icing of structures) mukaan vapaasti pyörivän 3 cm halkaisijaltaan olevan sylinterin pintaan. Tuulivoimalle jään kertymänopeuden raja-arvoksi on määritetty 10g/h. Tämä määrä jäätä vastaa lavan pinnassa ns. santaperikarheutta, jonka kohdalla myös tuulivoiman tuotannossa alkaa näkyä jään aiheuttamaa hävikkiä.

Koska jäätämisenennuste lasketaan sylinterin muotoiselle kappaleelle, jonka halkaisija on 3 cm, voidaan samaa laskentamenetelmää jatkossa hyödyntää myös sähkö- ja raideliikenteen voimajohtojen jäänkertymän arviointiin. Suomen olosuhteissa johtoihin kertyvän jään massa on suhteellisen pientä ja täten aiheuttaa harvemmin sähköjohtojen katkeamista. Toisaalta pienempikin määrä jäätä voimajohtojen pinnalla kasvattaa johdon konduktanssia ja aiheuttaa voimajohtossa itsessään sähkönsä hävikkiä.

“ *Kehitteillä olevan jäätämisen-
ennusteen avulla voidaan enna-
koida niin tuulivoiman energia-
hävikkiä kuin vaikka sähkö-
johtojen sähkön hävikkiä.*

Todennäköisyysennusteet tulossa

Tässä artikkelissa on esitetty alustavia tuloksia Ilmatieteen laitoksen energiasääennusteista. Jatkossa on tarkoitus parantaa ennusteita vertaamalla niitä tarkemmin ja laajemmin sekä toteutuneeseen sähköntuotantoon että oleellisiin meteorologisiin suureisiin.

Tulemme lisäksi tutkimaan uusien havaintojen syöttämistä säänennustusmalliin, jotta mallin alkutilanne paremmin vastaisi havaittuja sääoloja. Aurinkoennusteen osalta esimerkiksi satelliittien tekemät pilvihavainnot ovat mielenkiinnon kohteena. Niiden avulla voi mahdollisesti saada mallin pilvisyyden vastaamaan paremmin todellisuutta.

Tutkimme myös todennäköisyysennusteiden soveltamista energiasääennusteisiin. Todennäköisyysennuste antaa perinteisen deterministisen ennusteen sijaan jakauman sään todennäköisestä kehityksestä. Jos otetaan esimerkkinä huomisen sää Helsingissä, todennäköisyysennuste voi kertoa, että lämpötila on 80% todennäköisyydellä välillä 1–6°C. Tämäntyyppinen ennusteen epävarmuudesta kertova tieto on tärkeä sähkömarkkinoiden kannalta.



Tuuli- ja aurinkosähkön ennustaminen

LÄHTEET

Böök, H. (2016): Aurinkoenergiatuotannon ennustushaasteet, BCDC-hankkeen verkkojulkaisu, <http://www.bcdcenergia.fi>

Honkapuro, S. (2016): Kysyntäjoustop avulla tuuli- ja aurinkovoimaa voidaan lisätä voimakkaasti, Smart Energy Transition -hankkeen verkkojulkaisu, <http://www.smartenergytransition.fi>

Hämäläinen, K. ja S. Niemelä (2016): Ilmakehän jäätävien olosuhteiden mallinnus ja ennustaminen, Ilmatieteen laitoksen tiedeuutinen, www.ilmatieteenlaitos.fi

Kaukonen, T. ja M. Heikkinen (2016): Tuulivoimatuotanto ylitti ensi kertaa 1000 megawatin rajan, Fingridin verkkotiedote, www.fingrid.fi

Helsingin keskusta-alueen pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat eniten kaukokulkeuma ja paikalliset liikenneperäiset hiukkaspäästöt. Pienhiukkasten kemiallinen koostumus ja lähteet vaihtelevat eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina. Episodiluonteiset tilanteet kuten talvinen inversiotilanne, voimakas kaukokulkeuma tai tehokas sekundäärisen orgaanisen aineen muodostus voivat nostaa pienhiukkasten pitoisuustasoa huomattavasti Helsingin ydinkeskustassa.

Helsingin keskustan pienhiukkaset



Kimmo Teinilä, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos
Minna Aurela, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos
Risto Hillamo, tutkimusprofessori, Ilmatieteen laitos
Hilkka Timonen, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos
Sanna Saarikoski, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos
Leena Kangas, tutkija, Ilmatieteen laitos
Anu Kousa, ilmansuojeluasiantuntija, HSY
Jarkko Niemi, ilmansuojeluasiantuntija, HSY

Ilmatieteen laitoksen ja HSY:n yhteistutkimuksessa mitattiin ilmakehän pienhiukkasten kemiallista koostumusta kahden vuoden ajan Helsingin vilkasliikenteisessä ydinkeskustassa. Mittaukset tehtiin toukokuun 2013 ja huhtikuun 2015 välisenä aikana. Tutkimuspaikka oli HSY:n ilmanlaatuasema Mannerheimintielle. Ilmatieteen laitoksenaerosolimassaspektrometrillä analysoitiin PM_{1-} kokoluokan (halkaisijaltaan alle 1 mikrometri) hiukkasten orgaanisen aineen, sulfaatin, nitraatin, ammoniumin ja kloridin pitoisuudet jatkuvatoimisesti. Katupölyn osuutta pienhiukkasista ei pystytty mittaamaan aerosolimassaspektrometrin avulla, mutta sen osuus PM_{1-} kokoluokassa on yleensä pieni. Poikkeuksena ovat katupölyjak-

sot, jolloin kemiallisten komponenttien yhteenlaskettu massa oli mitattua $PM_{2.5}$ massapitoisuutta selvästi pienempi. Tämä ero johtui todennäköisesti juuri $PM_{2.5}$ hiukkaskokoluokan sisältämistä katupölyhiukkasista.

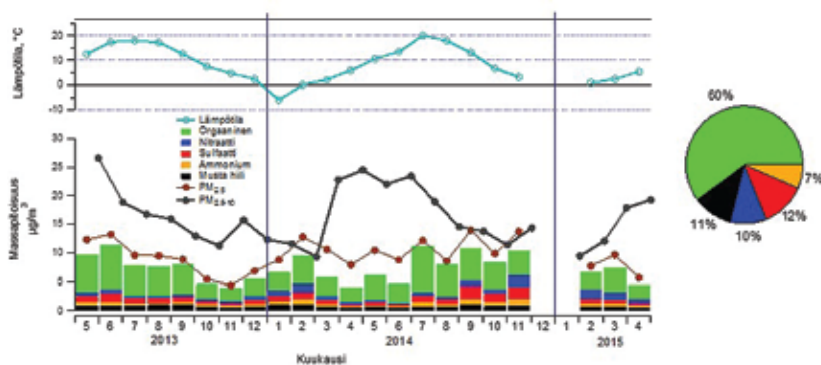
Aerosolimassaspektrometrin lisäksi HSY:n mittausasemalla mitattiin jatkuvatoimisesti hiukkasten sisältämän mustan hiilen pitoisuutta, $PM_{2.5-}$ ja PM_{10-} kokoluokan hiukkasten massapitoisuutta sekä hivenkaasujen pitoisuuksia. Aerosolimassaspektrometrin mittaamista orgaanisista massaspektreistä tehtiin faktorianalyysi, jonka avulla orgaaninen aines jaettiin hapetusasteensa perusteella erilaisiin komponentteihin. Tutkimus on saanut rahoitusta MMEA-tutkimusohjelmasta (Measurement, Monitoring and Environmental Assessment, WP4.5.2) ja Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamasta INKA-ILMA hankkeesta Tekesin kautta.

Hiukkasten massapitoisuudet

Pienhiukkasten ($PM_{2.5}$) keskimääräinen massapitoisuus mittaussajanjaksolla oli $9,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja osuus noin kolmannes hengitettävien hiukkasten (PM_{10} mas-

sapitoisuudesta. Kevätkuukausina suurten hiukkasten ($PM_{2.5-10}$) osuus hengitettävien hiukkasten massasta oli kuitenkin suurempi, mikä johtuu keväisistä katupölyjaksoista. Pienhiukkasten ja suurten hiukkasten massapitoisuuksien ajallinen vaihtelu poikkesi toisistaan.

Liikenne on sekä suurten hiukkasten (autojen nostattama katupöly) että pienhiukkasten (pakokaasupäästöt ja katupöly) tärkeä paikallinen lähde, mutta erityisesti pienhiukkasilla on myös muita lähteitä, joista merkittävin on kaukokulkeuma. Sekundääristä orgaanista ainesta syntyy liikenteen tuottamien kaasumaisten orgaanisten yhdisteiden (VOC) hapettuessa ja hapestustuotteiden tiivistyessä jo olemassa olevien hiukkasten pinnalle tai muodostaessa uusia hiukkasia, mikä kasvattaa pienhiukkasten massaa. Sekundäärisen orgaanisen aineen muodostuminen vaatii aikaa, joten sen vaikutus pienhiukkasten massaan ei ajoitu välttämättä liikenteen ruuhkahuippuihin, kuten suurten katupölyhiukkasten. Pienhiukkaset myös viipyvät ilmassa huomattavasti pidempään kuin suuret hiukkaset, joiden pitoisuustasot laskevat nopeasti kun niiden lähteitä ei ole.



Kuva 1. Pienhiukkasten sisältämien kemiallisten komponenttien, pienhiukkasten ja suurten hiukkasten massapitoisuuksien ja lämpötilan kuukausikeskiarvot. Kuvassa on esitetty myös kemiallisten komponenttien suhteelliset osuudet koko mittausajanjakson aikana.

Suurin osa pienhiukkasista orgaanista ainetta

Pienhiukkasten (PM_{10}) massasta suurin osa (keskimäärin 60 %) koostui orgaanisesta aineesta (Kuva 1 sivulla 18). Muiden mitattujen kemiallisten yhdisteiden osuudet olivat sulfaatti (12 %), musta hiili (11 %), nitraatti (10 %) ja ammonium (7 %). Pienhiukkasten sisältämä sulfaatti, nitraatti, ammonium ja merkittävä osa orgaanisesta aineesta ovat pääosin peräisin kaukokulkeutuneista pienhiukkasista. Valtaosa pienhiukkasten sisältämästä mustasta hiilestä ja osa orgaanisesta aineesta on peräisin liikenteen päästöistä. Liikenteen hiukasmaiset primääripäästöt sisältävät lähinnä nokea joka koostuu mustasta hiilestä ja sen pinnalle sitoutuneesta orgaanisesta aineesta. Liikenteen kaasumaisista päästöistä ilmakehässä muodostunut sekundäärinen hiukkasmassa koostuu lähinnä orgaanisista yhdisteistä.

Aerosolimassaspektrometrillä mitattua orgaanisen aineen massaspektreistä tehtiin faktorianalyysi, jonka avulla orgaaninen aines kyettiin jakamaan hapetusasteiltaan erilaisiin komponentteihin. Vähiten hapettunut orgaaninen komponentti koostuu hiilivedydyntäisestä orgaanisesta aineesta, joka edustaa ajoneuvojen tuoreita primääripäästöjä. Kaikkein hapettunein orgaaninen aines, joka yleensä on myös vähiten haihtuvaa, on vallitsevana ikääntyneissä, kaukokulkeutuneissa pienhiukkasissa. Hapetusasteeltaan näiden välissä oleva, heikommin hapettunut komponentti sisältää lähinnä pai-

kallisesti tai alueellisesti muodostunutta sekundääristä orgaanista ainesta.

Faktorianalyysillä ei kyetty jakamaan omaksi orgaaniseksi komponentiksi ainesta, joka on peräisin esimerkiksi biomassan poltosta tai ruuanlaitosta. Tästä johtuen esimerkiksi talviaikaan heikommin hapettunut orgaaninen komponentti saattaa sisältää myös biomassan poltosta peräisin olevaa orgaanista ainesta, joka on peräisin lähialueen puun pienpoltosta. Sekundääristä orgaanista ainesta havaittiin muodostuvan erityisen nopeasti aurinkoisina kesäpäivinä ja sen pitoisuudet olivat tyypillisesti korkeimmillaan iltapäivällä ja illalla. Paikallinen tai alueellinen sekundäärinen orgaanisen aerosolin muodostus voikin ajoittain merkittävästi lisätä Helsingin keskustan ilman pienhiukkasmassaa. Mittausajanjaksoilla hiilivedydyntäisen komponentin suhteellinen osuus orgaanisesta aineesta oli keskimäärin 10 % ja hapettuneimman orgaanisen komponentin 57 %. Heikommin hapettuneen komponentin suhteellinen osuus oli keskimäärin 33 %.

Pienhiukkasten pitoisuuksiin ja kemialliseen koostumukseen vaikuttavat tekijät

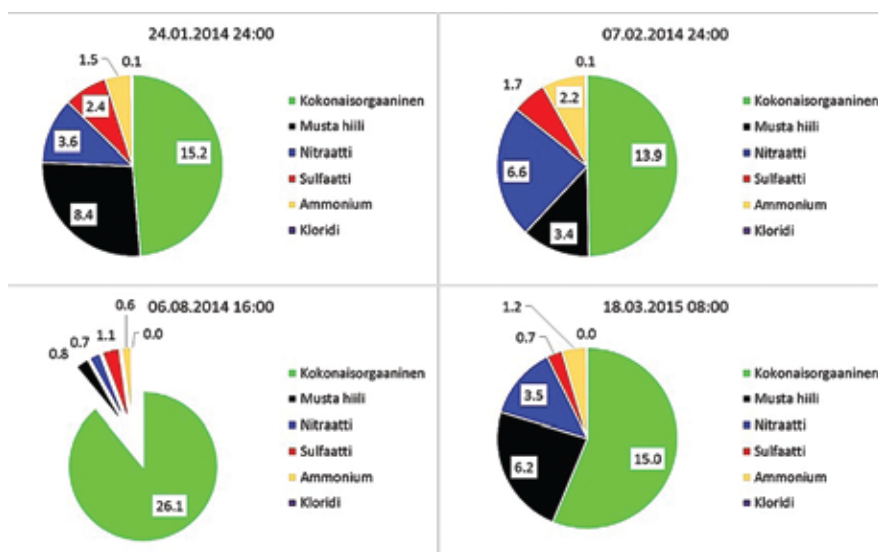
Mittau tulokset yhdessä faktorianalyysin kanssa osoittivat, että Helsingin ydinkeskustan pienhiukkasten massapitoisuuksiin ja niiden kemialliseen koostumukseen vaikuttavat useat tekijät. Hiukkasten kaukokulkeutuminen muualta Euroopasta vaikuttaa merkittävästi

pienhiukkasten pitoisuuksiin ja kemialliseen koostumukseen (erityisesti sulfaatti, ammonium, nitraatti ja voimakkaasti hapettunut orgaaninen aines). Koko mittausajanjaksoalla alueellisten ja kaukokulkeutuneiden pienhiukkasten osuus oli noin 70 % pienhiukkasten massasta. Pienhiukkasten sisältämän orgaanisen aineen pitoisuudet olivat selvästi korkeammat toukokuun ja syyskuun välisenä aikana. Tähän on syynä kaasumaisten orgaanisten yhdisteiden tehokkaampi hapettuminen ja sekundäärinen orgaanisen aineen muodostuminen kesäaikaan.

Pienhiukkasten sisältämän mustan hiilen pitoisuudet nousivat arkipäivisin vilkasliikenteisinä aikoina, kun paikallisen liikenteen suorat pakokaasupäästöt nostavat hiukkaspitoisuuksia. Liikenteen suorien hiukkaspäästöjen pitoisuustasot olivat selvästi alhaisemmat viikonloppuisin, mikä näkyi alhaisempina mustan hiilen pitoisuutena. Selvien ruuhkahuippujen puuttuminen viikonloppuisin näkyi myös mustan hiilen pitoisuuden pienempänä vuorokausivaihteluna. Talvella liikenneperäisten pienhiukkasten (musta hiili) pitoisuustasot pysyivät koholla myöhäiseen iltaan, jolloin liikennemäärät vähenivät. Kesällä pitoisuustasot kuitenkin alkoivat laskea jo puolenpäivän jälkeen. Tämä pitoisuustasojen lasku johtuu liikennepäästöjen laimenemisestä ilmakehän sekoituskorkeuden kasvaessa iltapäivisin. Kesällä sekoituskerroksen kasvu on huomattavasti suurempi kuin talvisin.

Korkeiden pienhiukkaspitoisuuksien episodeja

Työssä tutkittiin myös erilaisia episoditilanteita, joiden aikana pienhiukkasten pitoisuustasot olivat koholla tuntien tai päivien ajan. Korkeita pakokaasujen aiheuttamia hiukkaspitoisuuksia esiintyi talvisissa inversiotilanteissa, kun sääolot estävät liikenteen päästöjen laimenemista. Kesän hellejakson aikana hiukkaspitoisuuksia nostivat puolestaan sekä Itä-Euroopan maastopalojen päästöt, että paikallisen liikenteen päästöistä muodostunut



Kuva 2. Pienhiukkasten kemiallinen koostumus erityyppisten episoditilanteiden aikana. Pitoisuudet ovat tuntikeskiarvoja ja yksikkö on $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Mustan hiilen pitoisuudet pysyivät talvella pitempään korkeina kuin kesällä.

sekundäärinen hiukkasmassa. Mitausjakson korkeimmat pienhiukkasten vuorokausipitoisuudet mitattiin talvisessa kaukokulkeumassa, jossa ilmvirtaukset saapuivat Itä-Euroopan suunnalta.

Kuvassa 2 on esitetty pienhiukkasista mitattujen kemiallisten ainesosien pitoisuudet episoditilanteissa. Episodi, jonka maksimi oli 24.1.2014, liittyi talviseen inversiotilanteeseen. Lämpötila oli alle $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sekoituskerroksen paksuus oli vain 50-100 m. Tällaisessa inversiotilanteessa liikenteen päästöt eivät pääse tehokkaasti sekoittumaan, vaan jäävät maan pintakerrokseen. Tämä nähdään mustan hiilen selvästi suurempana suhteellisenä osuutena pienhiukkasten massasta. Episodin aikana myös hiilivedynkaltaisen orgaanisen komponentin pitoisuustasot nousivat.

Voimakkaisiin kaukokulkeumaepisoodeihin liittyivät tilanteet, jotka havaittiin 7.2.2014 ja 18.3.2015. Näistä ensimmäisessä Helsinkiin saapuneet ilmamassat olivat kulkeneet Euroopan

itä- ja keskialueiden ylitse ja jälkimmäisessä avopalojen (maastopalot tai kulotukset) savut kohottavat pitoisuuksia. Kaukokulkeumaepisodissa 7.2.2014 kaikkien kemiallisten ainesosien pitoisuudet nousivat, mutta erityisesti kohosivat nitraatin ja ammoniumin pitoisuudet. Tämä on tyypillistä kaukokulkeutuneelle ilmamassalle, jossa typen oksidien päästöistä on muodostunut hiukkasmaista typpiä. Hapan aerosoli taas kerää itseensä ammoniumia jolloin muodostuu ammoniumsulfaattia ja ammoniumnitraattia. Episodin aikana myös hapettuneimman orgaanisen komponentin pitoisuus nousi eniten verrattuna muihin orgaanisiin komponentteihin. Toiseen kaukokulkeumaepisodiin 18.3.2015 taas liittyi avopalojen savuja. Episodin aikana mustan hiilen, nitraatin ja orgaanisen aineen pitoisuustasot olivat koholla. Selvästi kohonnut mustan hiilen ja vähäisempi orgaanisen aineen pitoisuustasojen nousu liittyvät todennäköisesti juuri näihin avopalosavuihin.

Elokuun alun 2014 episodin aikana pienhiukkasten pitoisuudet nousivat merkittävästi Helsingin ydinkeskustassa. Varsinkin pienhiukkasten sisältämän orgaanisen ainesosan pitoisuus oli koholla ja sen osuus mitatuista kemiallisista ainesosista oli korkeimmillaan 90 %. Erittäin korkea orgaanisen ainesosan pitoisuus liittyi todennäköisesti

kahteen samanaikaiseen tilanteeseen, jotka kumpikin nostivat pienhiukkasten ja varsinkin niiden sisältämän orgaanisen ainesosan pitoisuutta. Kyseisenä ajanjaksona Itä-Euroopasta saapui Etelä-Suomeen maastopalosavuja, jotka nostivat pienhiukkasten kokonaisorgaanisen ainesosan pitoisuutta koko ajanjaksona ja erityisesti ikääntyneen, hapettuneimman orgaanisen komponentin pitoisuutta. Kyseinen viikko oli myös hyvin aurinkoinen ja kuuma, minkä vuoksi sekundäärinen orgaanisen aerosolin muodostus liikenteen VOC-päästöistä oli suotuisaa.



Aurinkovoimalat yleistyvät yhteishankintojen kautta

Aurinkovoimaloiden hinnat ovat tulleet globaalisti alas voimakkaasti viime vuosina. Yhteishankinnat ovat kiihdyttäneet kehitystä Suomessa. Nykyisin aurinkovoimaloiden asennus on taloudellisesti kannattavaa jo monissa kohderyhmissä.

Mökkikäyttö nosti aurinkosähkön kartalle

Aurinkosähköllä on Suomessa pitkät perinteet. 90-luvun alussa Suomi oli jopa Euroopan kärkeä aurinkosähkön hyödyntämisessä. Neste Oy alkoi tutkia aurinkosähköjärjestelmiä Suomessa jo 80-luvun alkupuolella, mistä syntyi Neste Advanced Power Systems (NAPS). Satojen tuhansien kesämökkien Suomessa aurinkojärjestelmät löivät itsensä läpi paikoissa, joissa sähköntarve oli vähäistä, kulutus painoittui kesäaikaan ja sähköliittymän hankkiminen oli kallista.

Järjestelmien suorituskyvyn paraneminen on tehnyt aurinkosähköstä jatkuvasti yhä houkuttelevamman vaihtoehdon. Kääntöpuolena yleinen tekniikan kehitys on kasvattanut tarpeita, kun mökillä tarvitsee nykyisin esimerkiksi ladata kännykkää ja katsella televisiota päivittäin. Monella mökillä kuitenkin riittää hyvin muutaman tuhannen euron aurinkosähköjärjestelmä valoihin, jääkaappiin, televisioon, ja niin edelleen jos vaihtoehtona on jopa kymmeniä tuhansia euroja maksava sähköliittymä. Nykyisin Suomessa on sähköistetty noin 80 000 kesämökkiä aurinkopaneelein ja siksi moni mieltääkin aurinkosähkön edelleen vain mökkiratkaisuksi.

Aurinkovoimala on hyvä vaihtoehto omakotitaloonkin

Viimeisten viiden vuoden aikana aurinkosähkö on alkanut olla kannattava osaratkaisu myös sähköverkkoon kytketyissä kohteissa; asuintaloissa, julkisissa rakennuksissa ja yrityksissä. Globaalisti järjestelmien hinnat ovat nykyisin noin puolet siitä mitä ne olivat viisi vuotta sitten. Kymmenessä vuodessa pudotus on ollut noin 75 %. Suomessa kehitys on ollut vielä nopeampaa viime vuosina, sillä etenkin asennuksissa osaaminen on lähestynyt huippumaita ja itse järjestelmiä saa nykyisin Suomesta suurin piirtein samaan hintaan kuin johtavista maista.

Alalle on syntynyt kymmenittäin uusia yrityksiä, mikä on lisännyt kilpailua. Edullisimmillaan asennetun aurinkovoimalan hinta Suomessa on nykyisin veroinen karkeasti isoissa kohteissa 1200 €/kW ja omakotitaloissa 1500 €/kW. Hinnoissa ei ole huomioitu kotitalousvähennystä, energiatukea tai muita tukimuotoja. Hieman lisähintaa voi tulla kotimaisista paneeleista tai erityisen hankalasta asennuskohteesta, mutta tällöin puhutaan korkeintaan joidenkin kymmenien prosenttien lisäyksestä. Toki aina löytyy toimijoita, jotka ovat valmiita kirjoittamaan isompiakin laskuja. Eräässä kohteessa maksettiin tänä vuonna aurinkovoimalasta jopa kolminkertainen hinta markkinahintaan nähden, joten kilpailutus kannattaa ja hinnoista on hyvä ottaa selvää. Tyypillinen omakotitalon järjestelmä on kooltaan noin 2-5 kW, kuten **kuvassa 1** näkyy,



Viime vuosina aurinkosähkön hinta on laskenut huomattavasti ja pienten voimaloiden asennus esimerkiksi omakotitaloihin on yleistynyt.

Aurinkosähkö kannattaa Suomessa

Aurinkovoimalan tuotto hyvässä kohteessa ja optimikulmassa etelään suunnattuna vaihtelee Suomessa pohjoisen 700 kWh/kW:sta etelän 900 kWh/kW:iin. Rahallinen säästö on tällöin karkeasti ottaen 50 -100 €/kW, riippuen kohteen sähkösopimuksesta. Ilman tukia takaisinmaksuajat venyvät yleensä vielä reilusti yli kymmenen vuoden ja aivan kaikissa kohteissa aurinkosähkö ei vielä kannata. Parhaissa kohteissa päästään kuitenkin tukien jälkeen jo selvästi alle kymmenen vuoden takaisinmaksuaikoihin ja jopa 10 % vuosituottoon. Lisäksi voimala nostaa usein kohteen arvoa.

Aurinkosähköllä voidaan tuottaa yleensä noin 10 -15 % kohteen tarvitsemasta vuotuisesta sähköstä. Avainasemassa on kulutuksen ja tuotannon kohtaaminen, koska ostosähkön korvaaminen on huomattavasti kannattavampaa kuin oma-tuotannon myyminen verkkoon. Sähkölaskun muuttuva osa



Kuva 1. Tyypillinen omakotitalon 2 kW aurinkovoimala. Kimmo Silvo, Vantaa.

koostuu karkeasti ottaen seuraavanlaisesti: 4 c/kWh energia, 3 c/kWh siirto ja 3 c/kWh verot. Pääsääntö on, että isoilla sähkön ostajilla hinnat ovat edullisempia ja pienemmillä taas kalliimpia. Kun sähköä tuotetaan myyntiin, tulee hyödyksi tuo 4 c/kWh, mistä vielä energiayhtiö mahdollisesti nipistää oman marginaalinsa. Kun taas omalla tuotannolla korvataan ostosähköä, saadaan hyödyksi $4+3+3=10$ c/kWh. Vanhasta tottumuksesta poiketen kannattaakin aurinkovoimalan omistajan siis muuttaa kulutustaan siten, että esimerkiksi pyykinpesuun käytetään edullisen yösähkön sijaan lähes ilmaista aurinkosähköä.

“ Omalla voimalalla kannattaa korvata ostosähköä mutta sähkön myynti ei välttämättä tuota voittoa. ”

Toisin kuin joskus kuulee puhuttavan, on aurinkosähkö myös aidosti ekologinen vaihtoehto, myös Suomessa. Toki aurinkovoimalan komponenttien valmistus vaatii energiaa ja raaka-aineita, mutta jopa pohjoiseen Suomeen asennettu voimala tuottaa valmistusta ja raaka-aineiden hankintaa vastaavan energiamäärän jo muutamassa vuodessa. Aurinkovoimala tuottaa aina kotimaista energiaa ja on myös lähiympäristössään harmiton, sillä se ei aiheuta esimerkiksi melua tai päästöjä ympäristöön.

Yhteishankinnat Suomessa ja HINKU

HINKU-hanke alkoi vuonna 2008 Suomen ympäristökeskuksen vetämänä ja TEKESin rahoittamana viiden pienen kunnan voimin. Aloitte hankkeeseen tuli vuoden 2007 puolella

Yllätetään yhteiskunta -yhtysryhmittymältä, joka oli yhteydessä SYKEN **Jyri Sepälään**. HINKU-hankkeen tavoitteena on vähentää kasvi-huonekaasupäästöjä muuta yhteiskuntaa nopeammin. HINKU-kunnat ovat sitoutuneet tavoittelemaan 80 %:n päästövähennystä alueillaan vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Nykyisin HINKU-kuntia on jo 33 ja asukkaita niissä yli 630 000.

2010-luvun alkupuolella olivat aurinkovoimaloiden hinnat Keski-Euroopassa tulleet sen verran alas, että Suomesakin alkoi asiaan vihkiytyneiden keskuudessa herätä kiinnostus tilata komponentteja ulkomaisista verkkokaupoista ja rakentaa järjestelmä omaan käyttöön. Järjestelmällisemmäksi toi-

minta alkoi kasvaa keväällä 2013, kun **Vesa-Matti Puro** Lappeenrannasta keräsi porukan LUTin tiloihin ja teki komponenttien yhteistilauksen saksalaisesta verkkokaupasta 20 henkilölle. Suomeen toimitetut järjestelmät asennettiin Vesa-Matin johdolla pääosin talkoovoimin ja tilaajien itsensä toimesta.

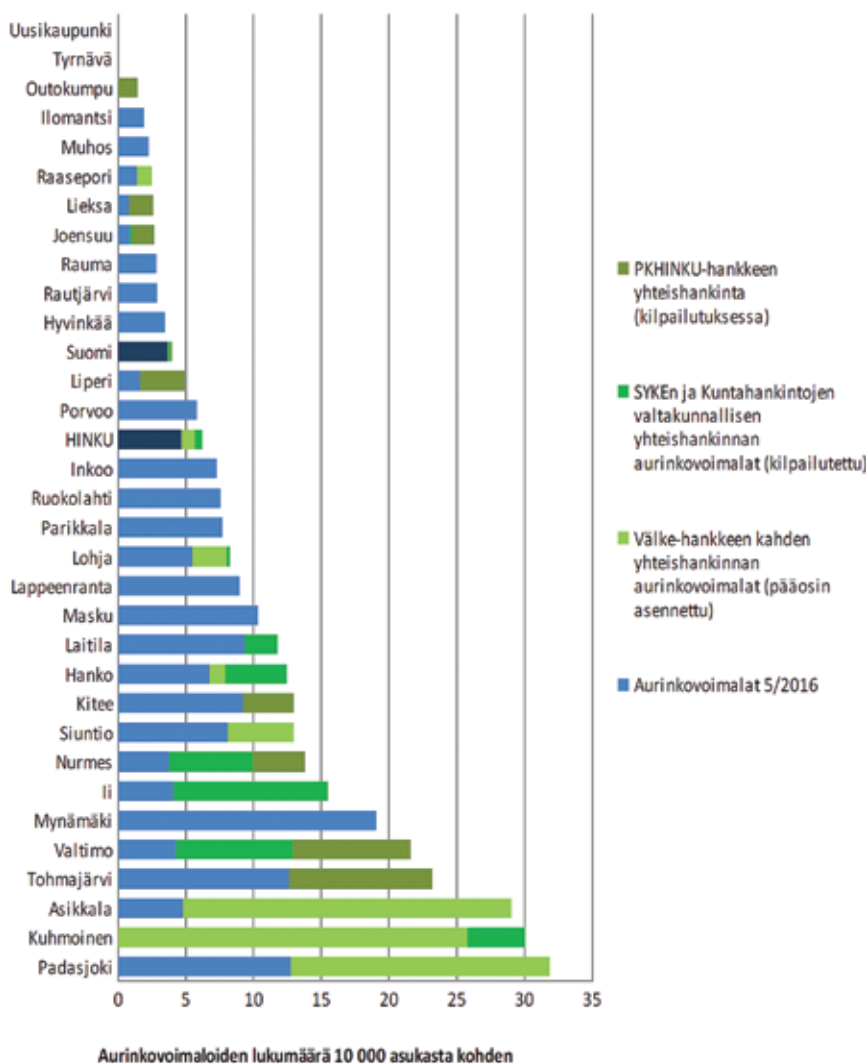
Vesa-Matti oli myös yhteydessä HINKU-tiimiin ja oli mukana jakamassa kokemuksiaan kun Mynämäellä käynnistettiin ensimmäistä HINKUn järjestämää aurinkovoimaloiden yhteishankintaa syksyllä 2013. HINKU-yhteishankinta kehitettiin palvelemaan paremmin myös niitä, joilla oli kiinnostus aurinkovoimaa kohtaan, mutta ei tarvittavaa osaamista tai kiinnostusta asentamista kohtaan. Tämän vuoksi toimintatavaksi valittiin "avaimet käteen" -toimitusten kilpailutus. Hankinnasta tehtiin samalla myös valtakunnallinen, vaikkakin tiedotus painottui HINKU-kuntiin ja etenkin Mynämäelle sekä muihin Varsinais-Suomen kuntiin. Kasaan saatiin noin 30 yksityishenkilöä sekä 4 kuntaa ja kilpailutus tuotti erittäin edullisen hinnan. Vesa-Matin Lappeenrannassa ja HINKU-tiimin Mynämäellä järjestämät yhteishankinnat saivat osakseen valtavan mediahuomion ja sen jälkeen yhteishankintoja on ollut tasaisesti useita vuosittain eri tahojen järjestäminä.

Paras puoli yhteishankinnoissa on tietenkin se, että volyymien kasvaessa hinnat putoavat, mutta myös yhdessä tekeminen on tärkeää. Monessa kohteessa hankintaa on harkittu jo pitkään, mutta viimeinen sysäys on puuttunut. Kun yhteishankinta osuu kohdalle, on lopullinen investointipäätös helppo tehdä, kun tietää että monet muut ovat samassa veneessä. Lisää aurinkovoimaloiden yhteishankinnoista voi lukea artikkelista Saikku et al. "Diffusion of solar electricity in the network of private actors as a strategic experiment to mitigate climate change".



Yhteisölliset yhteistilaukset ovat lisänneet aurinkovoimaloiden kysyntää Suomessa.

Kuvasta 2 nähdään miten suuri merkitys aurinkovoimaloiden lukumääriin HINKUn ja sen alahankkeiden tänä vuonna järjestämällä yhteishankinnoilla on ollut HINKU-kunnissa. Kuvassa yhdistyvät olemassa olevat voimalat sekä eri yhteishankintojen kautta tulossa olevat voimalat, joista joku voi vielä jäädä toteutumatta.



Kuva 2. HINKUn 2016 vuonna järjestämien yhteishankintojen vaikutus aurinkovoimaloiden lukumääriin.

Aurinkovoimala on kokoaan merkittävämpi investointi

Ensimmäisten hankintojen kohdalla puhuttiin noin 100 kW volyymeistä per yhteishankinta. Sitten hankintojen koko on kasvanut ja nykyisin yhteishankinnalla voidaan päästä jo 1000 kW:iin, eli 1 MW:n kokoluokkaan. Tätäkin kirjoittaessani Suomessa kuluu sähköä noin 10 000 MW teholla. Siihen suhteutettuna iso, 1 MW yhteishankinta ei vaikuta enää niin isolta. Lisäksi tällaisella puolipilvisellä kelillä tuotto jää ehkä noin 0,5 MW:iin. Tämän vuoksi aurinkosähkössä puhutaan peak, eli piikkitehosta, joka on voimalan nimellistuotto suorassa au-

ringonpaisteissa. Piikkiteho merkitään pienellä p-kirjaimella tehon perässä, esimerkiksi 5 kWp.

Vaikka aina ei paistakaan, aurinkosähkö on kuitenkin tärkeä pala energiapalapelä ja monessa mielessä järkevä investointi. Nykyisillä energian hinnoilla kovinkaan moni sähköntuotantoinvestointi ei ole kannattava - kiinteistökohtainen aurinkovoimala sitä kuitenkin useimmiten on. Se on myös niitä harvoja ratkaisuja, joita voidaan skaalata alaspäin omakotikokoluokkaan asti, ja jopa pienemmäksi, kannattavasti.

Monet muut tekniikat toimivat hyvin ja ovat kannattavia vain isommissa mittakaavassa. Maailmalla aurinkovoimalabuumi on valtava ja suomalaisten yritysten on vaikeaa saada palaansa kakusta, elleivät ne saa ensin kotimarkkinareferenssejä.

Suomessa on nykyisin aurinkosähköä arviolta 30 MW. Iso osa tästä määrästä on sähköverkon ulkopuolisissa kohteissa, kuten kesämökeillä. Keskiverto kesäpäivänä kun aurinko paistaa täydeltä terältä tuo Suomi ulkomailta sähköä noin kahden gigawatin teholla. Nykyisen aurinkovoimalakapasiteetin satakertaistaminenkaan ei siis vielä johda aurinkosähkön vientiin. Suomen suurin aurinkovoimala on HELENin omistama 853 kWp voimala, joka sijaitsee Helsingissä Kivikon hiihtohallin katolla. Maailmalla isoimmat voimalat ovat lähes tuhat kertaa tämän kokoisia. Maailmasta toki löytyy aurinkoenergialle suotuisampiakin paikkoja kuin Suomi, mutta ero ei ole niin valtava kuin voisi kuvitella. Aurinkosähkön tuotannon kannalta maailman parhaispaikoissa tuotantoteho paneelia kohden on noin kolminkertainen Suomen Lappiin verrattuna. Etelä-Suomessa olosuhteet ovat kutakuinkin samat kuin Pohjois-Saksassa. Saksassa aurinkosähköä kuitenkin tuotetaan noin 4500 kertaa enemmän kuin Suomessa.



Maailman parhaat aurinkosähkösijainnit tuottavat noin kolme kertaa enemmän kuin Suomen Lappi ja Etelä-Suomessa päästään jo samoihin lukuihin kuin Pohjois-Saksassa.

Aurinkovoimala katolla on keskivertoenergiainvestointia, kuten lämmitysjärjestelmän vaihtoa tai lisäeristämistä, kiitollisempi siinäkin mielessä, että se tyypillisesti näkyy selvästi ulospäin ja tuottaa näin myös selvän imagohyödyn. Samalla se innostaa muita tekemään vastaavan investoinnin.

Yhteishankintojen vaikutus näkyy selvästi myös tilastoissa ja HINKU-kunnissa onkin keskimäärin selvästi muita Suomen kuntia enemmän aurinkovoimaloita asukasluvuun suhteutettuna. Tilastoista pomppaavat helposti esiin pienet kunnat, mutta kärkipäässä Suomen keskitasoon nähden moninkertaisella aurinkovoimaloiden määrällä on myös Lappeenranta. HINKU-kunnista selvä ykkönen on Mynämäki.



Yhteishankintojen vaikutus aurinkosähkön suosioon on selvä: HINKU-kunnissa aurinkovoimaloita on selvästi enemmän kuin muualla Suomessa.

Suomen suurin yhteishankinta

Parhaillaan HINKU-tiimillä on KL Kuntahankintojen kanssa työn alla jälleen Suomen suurin yhteishankinta. Jo alkuvaiheessa on selkeästi puhkaistu 1000 kWp:n raja, kun mukaan on ilmoittautunut 34 kuntaorganisaatiota. Tällä kertaa konsepti on jalostunut puitehankinnaksi, jossa mukaan saa halutessaan myös rahoituksen. Tässä rahoituksen sisältävässä versiossa hankkija ei tarvitse ollenkaan investointibudjettia ja kuukausiveloitus on pyritty mitoittamaan vastaamaan voimalan tuottamaa säästöä sähkölaskussa. Näin ollen voimala on ensin 12 vuoden mittaisen sopimuskauden ajan karkealla tasolla kustannusneutraali ja sen jälkeen tuottaa lähes ilmaista sähköä 30 - 40 vuotta pitkän elinkaarensa loppuun asti. Tähän hankintaan pääsevät mukaan kaikki Suomen kunnat, kuntayhtymät, kuntaomisteiset yritykset sekä seurakunnat koska tahansa seuraavan neljän vuoden aikana. Hankinnalla on siis hyvät mahdollisuudet kasvaa jopa usean megawatin kokoluokkaan. Myös näkyvyys on taattu kun voimaloita aletaan asentaa, sillä mukana ovat muiden muassa Tampere-talo Tampereelta ja Finlandia-talo Helsingistä.

Rohkeimmin esimerkkiä näyttää lin kunta, joka on hankkinut aurinkovoimalan jo aiemmin ja saanut positiivisia kokemuksia siinä määrin, että ovat jo itsekin järjestäneet yhteishankinnan kuntalaisille. Tähän Suomen suurimpaan yhteishankintaan lähti mukaan 11 voimalalla ja yhteensä lähes 200 kW teholla. Tarkoituksena heillä on asentaa voimalat kaikkiin kohteisiin, joissa niistä on taloudellista hyötyä. Käytännössä siis kohteisiin, joissa on kesäaikaan vähäistä enemmän sähkönkuluusta.

Yhden aurinkovoimalan hankinta voi käynnistää toisenkin energiainvestoinnin

Kaikki Suomen kunnat kattava yhteishankinta ei tähtää pelkästään siihen, että saataisiin asennettua kerralla mahdollisimman paljon aurinkopaneeleita. Hanketta suunniteltaessa tärkeämpänä on pidetty sitä, että voimaloita saataisiin mahdollisimman moneen kuntaan läpi Suomen ja mahdollisimman näkyville paikoille. Kun kunnat saavat omakohtaista kokemusta aurinkovoimaloista, on esimerkiksi rakennusvalvonnan helpompi neuvoa kysymään tulevaa kuntalaista asi-

asta. Kunnan kiinteistössä olevaan aurinkovoimalaan on myös pääsääntöisesti helpompi päästä tutustumaan kuin omakotitalossa olevaan.

Kunnan kiinteistöt sijaitsevat usein myös keskeisellä paikalla, jossa voimala kerää enemmän katseita. Moni kunta suunnittelee myös laittavansa voimalan tuotantotiedot nettiin, jolloin asukkaat pääsevät tutustumaan alueensa todellisiin tuotantolukuihin. Tällä tavoin aurinkovoimalakokemuksia levittämällä ja tietoa lisäämällä megawatin tilaus voi synnyttää uutta kysyntää useiden kymmenien megawattien edestä. Samalla se voi innostaa ihmisiä myös muihin energiainvestointeihin.

LÄHDE

Saikku, L., Tainio, P., Hildén, M., Antikainen, R., Leskinen, P. & Koskela, S. 2016. Diffusion of solar electricity in the network of private actors as a strategic experiment to mitigate climate change. *Journal of Cleaner Production*, 141. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.003>

Joint procurements boost's Finnish solar pv market

Solar pv power plant prices have come down roughly 75 % in the last decade globally. Nowadays solar pv is economically feasible in numerous sites even in the Northern Finland, if most of the produced electricity can be used on site. In Finland joint procurements have accelerated the development by making the purchase easier and cheaper. HINKU-project has had an important role in developing solar pv joint procurements in Finland. More about the subject can be read from Saikku et al. "Diffusion of solar electricity in the network of private actors as a strategic experiment to mitigate climate change".



Ilmansuojeluyhdistyksen ekskursio Vaasaan

Ilmansuojeluyhdistyksen ekskursio suuntautui tällä kertaa Vaasaan. Isäntinä toimivat Vaasanseudun Kehitys Oy VASEK, Vaasan kaupunki, Wärtsilän dieselmoottoritehdas, ABB:n sähkömoottoritehdas, Westenergy Oy:n jätteenpolttolaitos, EPV Energia Oy:n Torkkolan tuulipuisto ja Vaskiluodon Voima Oy:n voimalaitos. Vaasan tarvitsema kaukolämpö tuotetaan Vaskiluodon voimalaitoksella ja Westenergyn Jätteenpolttoaitoksella. Kummatkin laitokset tuottavat myös sähköä.

Vaasanseudun Kehitys Oy on seudullinen kehittämissyhtiö. Sen tehtävänä on laajemminkin elinkeinoneuvonnan koordinointi, yrityspalveluiden tuottaminen, yrittämiseen liittyvät kehityshankkeet ja seudun markkinointi. Yhtiö toimii yhteistyössä kuntien, elinkeinoelämän sekä koulutusta ja tutkimusta harjoittavien tahojen kanssa.

Seudulle on kehittynyt huomattava Energia- ja ympäristötekniikan osaamisen keskittymä. He ovat mukana järjestämässä vuosittaista "Vaasa Energy Week"- tapahtumaa. Se on tärkeä energia-alan yritysten verkostoitumistapahtuma Suomessa. Tapasimme viestintäjohtaja **Hanna Alavillamon** ja markkinointipäällikkö **Mari Katteluksen**. Kattelus toimi oppaanamme muissakin tutustumiskohteissamme.

Vaasan kaupungin ympäristötoimen johtaja **Christer Hangelin** esitteli kaupungin Energia- ja ilmasto-ohjelman vuosille 2016-2035. Ohjelman keskeisinä tavoitteina on:

1. Energiatehokkuuden parantaminen
2. Uusiutuvan energian käytön lisääminen
3. Energiapalveluiden kehittäminen
4. Kasvihuonekaasujen vähentämistavoite 30 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä
5. Olla vuonna 2035 hiilineutraali luopuen fossiilienergiasta ja tuottaa hiilipäästöjä vain sen verran kuin se sitoo niitä ilmakehästä
6. Yleisen tahtotilan luominen, jotta koko kaupunkiorganisaatiossa pyritään samaan päämäärään ja vältetään ristiriitaisia päätöksiä.

Kaupungilla oli yksityiskohtaiset toimenpideaskeleet tavoitteen saamiseksi. Keinoina on juuri tilatut 12 kpl biokaasubussia ja pyöriteiden parantaminen ja talvikunnossa pidon tehostaminen. Tavoitteet ovat kovin haasteelliset koska huomattava osa kaupungin tarvitsemasta kaukolämmöstä tuotetaan Vaskiluodon voimalaitoksella hiiltä polttamalla.

Wärtsilä Oyj Vaasan tehtailla on keskittynyt moottoreiden kehitystyö. Vaasassa valmistetaan myös LNG moottorit. LNG moottorit tuottavat dieselmoottoreihin verrattuna huomattavan vähän NOx - kaasuja. Moottorien valmistuksen lisäksi Wärtsilällä on laajaa toimintaa merenkulku- ja energiemarkkinoilla. Uusimpina tuotteina meille esiteltiin laivojen rikkipesurit ja painolastiveden puhdistuslaitteet. Niiden käyttötarkoitus on estää vieraseläiden siirtyminen painolastiveden mukana satamasta toiseen. Ne tulevat pakollisiksi pikapuolin. Isäntämme ympäristöratkaisujen johtaja **Juha Kytölä** oli erityisen ylpeä Wärtsilän saamasta Guinness World Recordista: Most efficient 4-stroke diesel engine. Wärtsilä31- moottori saavuttaa polttoainetehokkuuden 50% akselitehona. Tehdaskäynnillä kävimme kokoonpanolinjalla.

“ Ekskursiolla tutustuttiin paikallisiin energiantuotantolaitoksiin kuten tuulipuistoon, jätteenpolttolaitokseen sekä voima-laitokseen ja lisäksi poikettiin Wärtsilän ja ABB:n moottoritehtailla.



ABB Oy valmistaa sähkömoottoreita, joiden koko vaihtelee 180 kW-1,3 MW:iin. Vaasassa valmistetaan myös erikoismuuntajia ja taajuusmuuttajia. Myös sähkömoottorien hyötysuhteet ovat parantuneet kehityksen myötä ja nousseet esim. tasolta 92,1 %:sta 95,1 %:iin. ABB on kehittänyt tästäkin tehokkaampia moottoreita.

Kävimme entisessä sähköhelojen valmistushallissa, jossa nykyisin on kolme moottorien kokoonpanolinjaa. Kuulimme, että kaikki valmistuslinjalla olevat moottorit on jo tilattu ja räätälöity asiakkaiden vaatimusten mukaisiksi.



Westenergy Oy:n jätteenpolttolaitoksella meidät otti vastaan tiedottaja **Riina Kivikangas** (silloin vielä Härkönen). Laitoksen polttoaineena on syntypaikalajiteltu jäte. Siitä siis ainakin olisi pitänyt olla eroteltuina lasi, metalli ja keräyspaperi ennen laitokselle toimitamista. Laitos tuottaa höyryä, jonka se myy Vaasan Sähkö Oy:lle. Tämä höyry pyörittää turbiinia, joka tuottaa sähköä. Lauhde hyödynnetään kaukolämpönä. Turbogeneraattori sijaitsee samassa rakennuksessa kuin polttokattila. Ympäristöluvan mukaan laitos saa polttaa vuodessa noin 190 000 tn jätettä. Siitä syntyy pohjakuonaa noin 20 %. Sähköä saadaan 80 GWh/v ja kaukolämpöä 280 GWh.



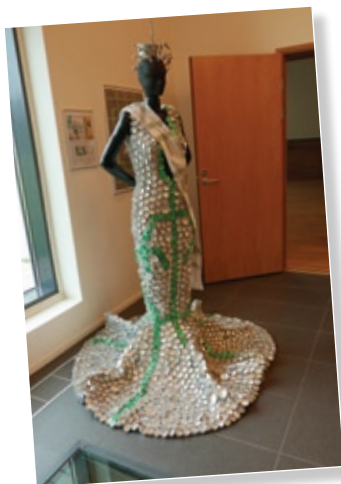
Torkkolan tuulipuistossa pyörii 16 tuulivoimalaa. Kunkin koko on 3,3 MW. Vuosituotannoksi on arvioitu 150 000 MWh. Mastot olivat varsin korkeita napakorkeuden ollessa 137 m. Roottori-en halkaisija on 126 m. Tuulipuiston alueella saa vapaasti kulkea. Alue on pääasiassa matalakasvuista metsää. Paikallinen metsästyssseura hyödyntää alueelle valmistuneita teitä. Käyntimme aikana tuuli oli noin 4 m/s ja automaattit käänsivät roottoreita etsien optimaalista tuulen suuntaa.

Vaskiluodon voima tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Vaasan voimalaitoksessa yhteistuotantona. Laitoksen tehot ovat 230 MW sähköä ja 170 MW kaukolämpöä. Polttoaineina on kivihiili, turve ja hake. Päästörajojen saavuttamiseksi laitos on rakentanut erillisen kaasutuslaitoksen voimalaitoksen viereen. Kaasutuslaitos käyttää turvetta ja haketta ja tuottaa CO₂-kaasua. Kaasu johdetaan hiilikattilaan. Kaasulla saavutetaan 25 % maksimitehosta hiilen osuuden ollessa loput 75%. Tasaisesti palava kaasu pienentää laitoksen NO_x -päästöjä siten, että laitos jää päästörajan 200 mg/Nm³ alle laajalla tehoalueella.

Tapasimme voimalaitospäällikön **Matti Loukosen** ja talouspäällikkö **Jan Lindqvistin**.

Excursioihin erottamattomana kuuluvan illallisen nautimme Vaasan venesatamassa olevassa perinteisessä kesärevintola Strampenissa. Excursio-ohjelman oli suunnitellut ja sopinut isäntien kanssa **Tero Pajukallio**.

Parhaimmat kiitokset vielä kaikille.



Ekskursio Vaasaan



Lauri Taipale, johtava asiantuntija, Helen

Juttusarja

Juttusarjassa ISY:n yritys- ja yhteisöjäsenet esittäytyvät ja kertovat ajankohtaisista ilman- tai ilmastonsuojeluun liittyvistä aiheista.

Ilmansuojelu ja ilmastotyö Helenillä

Helen Oy (2015-) ja sen edeltäjät, Helsingin Energia (1995), Helsingin kaupungin energialaitos (1977) ja Helsingin kaupungin kunnallinen sähkölaitos (1909) ovat huolehtineet jo yli sadan vuoden ajan pääkaupunkimme energia-asioista – parina viime vuosikymmenenä enenevässä määrin kilpailutilanteessa. Nykyään Helen Oy tuottaa yli 90 prosenttia Helsingin tarvitsemasta lämmöstä ja noin 10 prosenttia Suomen sähkönkulutuksesta. Kaukojäähdytys on uusi voimakkaasti kasvava toiminta-alue. Helen Oy:n tärkeä triplataspaino on toimitusvarma, edullinen ja ympäristöystävällinen energia. Tämän tasapainon ympäristöulottuvuus on tässä artikkelissa tarkasteltavana – eilen, tänään ja huomenna.

Päästöt laskussa

Ilmansuojelun perinteiset päästöt ovat rikkidioksidi, typenoksidit ja hiukkaset. Niiden vähentäminen Euroopassa on toteutunut kansainvälisin sopimuksin. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio (ECE) sai aikaan vuonna 1979 yleis- ja puitesopimuksen kaukokulkeutuvien päästöjen vähentämiseksi. Päästöjen vähentäminen pääsi vauhtiin. Esimerkiksi rikkidioksidin osalta ensin tavoitteena oli vähentää päästöjä 30 %, sitten 50 % ja edelleen 80 % vuoden 1980 tasosta. Helsingissä 30 % päästöjen vähentämistavoite merkitsi investointia savukaasujen rikinpoistoon Salmisaaren voimalaitoksessa, 50 % vastaavaa investointia Hanasaaren voimalaitokseen ja 80 %:n saavuttaminen toteutui maakaasun käyttöönoton myötä.

Helsingin energiantuotanto on elänyt täysin linjassa muun Länsi-Euroopan kanssa. Suomen liittyminen Euroopan Unioniin toi sen lainsäädännön edellyttämät päästövähennykset velvoittaviksi, ensin Suurten polttolaitosten direktiivin

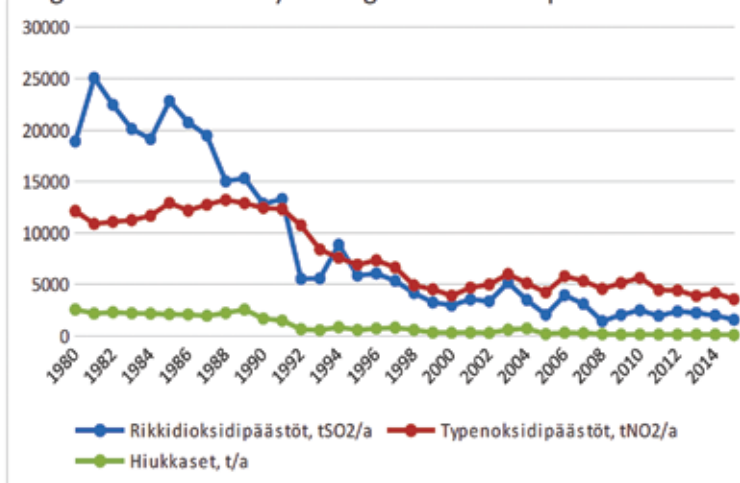
(LCP) kautta ja nyt vuoden 2016 alusta Teollisuuspäästädirektiivin kautta.

Helsingin alueen energiantuotannon perinteisten päästöjen kehitys 1980-2015 näkyy **kuvassa 1**. Samassa ajassa Helsingin alueella tuotettu energia (sähkö ja lämpö) on kohonnut lähes puolitoistakertaiseksi.

Kuvasta 1 on erityisen selvästi havaittavissa Salmisaaren (1987) ja Hanasaaren (1992) rikinpoistolaitosten vaikutukset rikkipäästöihin. Mikäli hiukkaspäästöt olisi piirretty kuvaan kymmenkertaisina, olisi myös rikinpoistoinvestointien vaikutus niiden kohdalla käynyt selkeästi ilmi. Salmisaaren ja Hanasaaren rikinpoistoinvestointeihin liittyneet letkusuodattimet ovat erinomaisen tehokkaasti vähentäneet hiukkaspäästöjä.

“ Salmisaaren ja Hanasaaren rikinpoistolaitokset ovat olleet keskeisiä rikkipäästöjen leikkaamisessa.

Helsingin alueen keskitetyn energiantuotannon päästöt 1980-2015



Kuva 1. Helsingin alueen keskitetyn energiantuotannon päästöt 1980-2015.



Helsingin energiantuotannosta aiheutuvat ilmanlaatuvaikutukset vähenivät kaukolämmön laajenemisen ansiosta olennaisesti jo ennen vuotta 1980. **Kuvassa 2** on esitetty rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo YTV:n/HSY:n Vallilan mittauspisteessä 1960 - 2014 mallinnusten (Helsingin ilman rikki, Ilmatieteen laitos ja Helsingin kaupungin sähkölaitos, 1977) ja mittausten (YTV/HSY) perusteella.



Kuva 2. Helsingin Vallilan mittauspisteen rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvojen kehitys 1960 - 2014.

Rikkidioksidi on energiantuotannon ilmapäästöjen indikaattori Helsingissä ja pitoisuudet ovat aina alittaneet voimassa olevat ilmanlaadun raja- ja ohjearvot. Vuodesta 1997 rikkidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvoraja on 20 µg/Nm³. Helsingin energiantuotannosta aiheutunutta ilmanlaadun kehittymistä on kutsuttu aiheellisesti menestystarinaksi.

Teollisuuspäästädirektiivi on keskeisessä osassa päästövähennyksissä

Teollisuuspäästädirektiivin, jatkossa IED:n, päästövähennysvelvoitteet olemassa oleville laitoksille tulivat voimaan 2016 alusta. IED:ssä vuodet 2016-2020 ovat siirtymäkausi ensi vuosikymmenelle, jolloin päästöjen vähentämisen pitää perustua 2010-luvulla suurissa polttolaitoksissa määritellyn parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan (BAT).



Teollisuuspäästädirektiivi eli IED ohjaa päästöjen vähentämistä Helenissä lähivuosina.

Parasta käytettävissä olevaa päästöjen vähentämisteknologiaa koskeva LCP-BREF julkaistaneen 2017 lopussa tai 2018 alussa. Julkaisusta neljän vuoden kuluessa laitosten toiminnan on vastattava parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa. Helenin käytännön elämässä tämä merkitsee tuntuvia investointeja päästöjen vähentämiseen ja ympäristölupien päivittämistä. Osa tarvittavista investoinneista kuten typenoksidien katalyyttinen vähentäminen Salmisaaren voimalaitoksessa on jo toteutettu.

Teollisuuspäästädirektiivin edellyttämät investoinnit ovat talouspuolella painokkaasti tuntuvia asioita. Positiivista on, että määritelty vaatimukset perustuvat olemassa olevaan tekniikkaan ja nämä vaatimukset ovat samat kaikille kilpailussa oleville toiminnanharjoittajille. Toisaalta suorat ilmanlaatuvaikutukset eivät Helsingissä edellytä päästöjen vähentämistä, koska aiheutuvat pitoisuudet ovat jo niin alhaisia ja samalla kirkkaasti EU:n ilmanlaatu-normit täyttävät.

Voi tietysti kysyä, että miksi sitten päästöjä vielä vähennetään. Euroopan ilmalaatustrategian CAFE:n (Clean Air For Europe) mukaan suurin hyöty päästöjen vähentymisestä tulee pienhiukkasten takia. Pienhiukkaset nykytiedon perusteella lyhentävät elinikää eli aiheuttavat ennenaikaisia kuolemantapauksia Euroopan laajuisesti jopa satoja tuhansia vuodessa. Suorien pienhiukkaspäästöjen lisäksi pitoisuuksia aiheuttavat rikin ja typen oksidien päästöistä muodostuvat sekundäärit hiukkaset, nitraatit ja sulfaattit. Asian hallinta edellyttää pienhiukkasten kaukokulkeutuvuuden takia ehdottomasti kansainvälistä yhteistyötä.

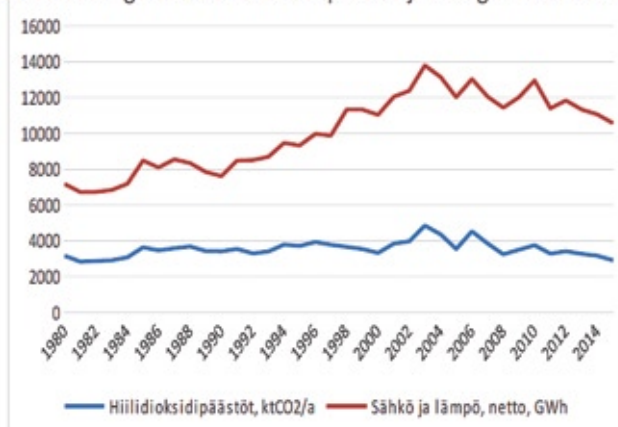
Myös happaman laskeuman, rehevöitymisen ja otsonin muodostuksen ongelmat eivät vielä ole Euroopasta kokonaan väistyneet. Siis niiltäkin osin tarvitaan edelleen kaukokulkeutuvien päästöjen vähentämistä kansainvälisenä yhteistyönä.

Ilmastovaikutukset, energiatehokkuus ja päästökauppa

Ensin otamme vauhtia historiasta. Suomessa 1960- ja 1970-luvuilla laitettiin jätevesipäästöt kuriin. Ilmansuojelu alkoi voimakkaasti vaikuttaa 1980-luvulla kärkeä haposateiden torjunta. 1990-luvulla painopiste siirtyi pienhiukkasiin. 1990-luvulla otsonikerrosta tuhoavien freonien eli CFC-yhdisteiden pääsy ilmakehään rajoitettiin globaalisti. Tällä vuosituhanella ponnistelut ovat suuntautuneet kasvihuonekaasuihin torjuntaan. Eli ilmastovaikutukset dominoivat nykyään kestävän kehityksen polkuja.

Ilmansuojelussa ja ilmastonsuojelussa energiatehokkuus on oiva keino. Vähemmän energiankulutusta merkitsee vähemmän päästöjä. Helenin tavoitteena on tuottaa ja jakaa energia mahdollisimman vähin energiahäviöin. Tässä on sähkön ja lämmön yhteistuotannon (jatkossa CHP) sekä kaukolämpöverkon ansiosta onnistuttu. CHP-järjestelmän rakentaminen ja käyttö Helsingissä on esimerkiksi torjunut ilmastomuutosta vuosikymmenien ajan. **Kuvassa 3** on esitetty Helsingin alueen energiantuotannon hiilidioksidipäästöt ja energiantuotanto 1980-2015.

Ilmastopolitiikan ohjauskeinona päästökauppa on tehokas keino oikein rakennettuna. Voidaan todeta, ettei tässä EU-tasolla ole onnistuttu. Ongelmana on ollut liian suuri päästöoikeuk-

Helsingin alueen energiantuotannon CO₂-päästöt ja energiantuotanto 1980-2015

Kuva 3. Helsingin alueen energiantuotannon hiiliidioksidipäästöt ja energiantuotanto 1980-2015.

sien määrä markkinoilla. Ei ole osattu ottaa huomioon taloudellisten suhdanteiden dynaamisuutta ja esimerkiksi uusiutuvan energian tukien vaikutusta päästöoikeuksien tarjontaan. Maksetaan tukea uusiutuvalle energialle ja seurauksena fossiilisia polttoaineita käyttävän tuotannon päästöoikeuden halpenevat. Tällä tavoin tuetaan fossiilista tuotantoa EU:n alenevan päästökaton alla, eikä anneta markkinoiden eli päästöoikeuden hinnan hoitaa päästöjen vähenemistä.

Tavoitteena ilmastoneutraali energiantuotanto

Kulkeminen kohti ilmastoneutraalia tulevaisuutta on vahvasti menossa. Näin tapahtuu kaikkialla EU:ssa, ei ainoastaan Helenillä ja Suomessa. Valitettavasti sähkömarkkinat eivät ole tämän kehityksen kannalta terveet. Euroopan markkinoille tulvi uusiutuvaa sähköä tukien voimalla, mikä on hyvä asia, mutta ei tapahdu pitkällä tähtäyksellä kokonaisuuden kannalta oikein. Siirtyminen fossiilisista polttoaineista uusiutuviin energialähteisiin pitää olla markkinaehtoisesti kannattavaa eikä tukien varassa.

Helenin tavoitteena on ilmastoneutraali energiantuotanto vuoteen 2050 mennessä. Ilmastoneutraaliuteen pyritään moni eri tavoin ja käyttäen hyödyksi avautuvia uusia mahdollisuuksia. Merkittävä askel kohti hiilineutraalia tulevaisuutta on Hanasaaren kivihiilivoimalaitoksen toiminnan lopettaminen vuoteen 2024 mennessä. Rinnan tämän lopettamisen kanssa tapahtuu biokaukolämmön tuotannon lisääminen.

Helen Oy:ssä jo tänä päivänä toteutettuja toimenpiteitä ilmastoneutraalilla polulla ovat

- voimakkaasti laajeneva kaukojäähdytys; lämpöpumpputeknologian hyödyntäminen kaukolämpöverkossa
- pellettien seospoltto Salmisaaren ja Hanasaaren kivihiilivoimalaitoksissa
- Suvilahden ja Kivikon aurinkovoimalat
- älykkäät energiajärjestelmät esim. Kalasatamassa
- energiatehokkuussopimukset 2017 - 2025, joihin Helen on liittynyt
- energian huippukulutuksen vähentäminen lämpölupauksen avulla
- Pohjoismaiden suurin sähkövarasto
- Biokaasu sertifikaattijärjestelmän kautta mukaan lämmöntuotantoon.

Ylläoleviin asioihin ja muihinkin energia-alan ajankohtaisiin asioihin voi tutustua Helenin blogissa: blogi.helen.fi.

Tämän artikkelin kirjoittaja on ollut Helenillä töissä lähes runsaat 30 vuotta eli vuodesta 1984. Sinä aika on tapahtunut valtavasti Helenin ympäristönsuojelun saralla, kuten voi havaita esimerkiksi kuvista 1 ja 2. Vuoteen 2050 on saman verran aikaa. Siis mitä tapahtuukaan tänä aikana kohti tätä uutta virstanpylvästä.

English Abstract

Environmental and Climate Change Impacts of Energy Production in Helsinki

The energy supply in Helsinki has been arranged for over 100 years by a municipal corporation owned by the city of Helsinki. Recently the municipal corporation became Helen Ltd, still owned by the city of Helsinki. Today Helen Ltd produces over 90 % of Helsinki's heating energy and about 10 % of the Finnish electricity consumption.

The district cooling done by Helen Ltd is growing powerfully. The most important aspects in Helen Ltd are energy delivery security, convenient energy price and environmentally friendly production. In this article the environmental and climate change aspects are examined on the time scale 1960-2015. Helen Ltd is going to be carbon neutral in 2050. The present understanding of this path is also described.



VÄITÖS

Islannin vulkaaninen pöly vaikuttaa merkittävästi Arktiseen lumeen ja jäähän



Näkymä Islannin Solheimajökull-jäätikölle maaliskuussa 2016. Jäätikön lounaiskieleke on lyhentynyt satoja metrejä viimeisen 20 vuoden aikana ilmaston lämpenemisen ja albedo-takaisin-kytkentämekanismien vaikutuksesta. Kuva: Outi Meinander

Ilmatieteen laitoksen tutkija FL Outi Meinanderin väitöksen mukaan mustan ja orgaanisen hiilen sekä Islannin vulkaanisen pölyn hiukkaslaskeumalla on selkeitä vaikutuksia Arktisen lumen ja jään optisiin ominaisuuksiin, tiheyteen ja sulamiseen.

Valoa absorboivat hiukkaset voivat vähentää sulavan lumen vedenpidätyskykyä ja lumentiheyttä, joka on tärkeä lumi- ja ilmastomallien sekä lumen satelliittimittausten muuttuja. "Islannista peräisin olevalla vulkaanisella pölyllä voikin olla laajempaa merkitystä Arktiseen ilmastomuutokseen kuin on tähän asti osattu ottaa huomioon", toteaa tutkija **Outi Meinander**. "Väitöstyössäni havaitsin, että ohut tulivuoren tuhkakeros edisti lumen ja jään sulamista, mutta suurempi määrä toimi eristeenä ja hidasti sulamista", Meinander kertoo.

Pölyn ilmastovaikutusten tutkiminen tärkeää

Ilmatieteen laitoksen tutkijan Outi Meinanderin väitöskirjassa tarkasteltiin ilmakehän aerosolien laskeuman vaikutusta lumen ja jään ominaisuuksiin. Hiukkaslaskeuman kryosfäärivaikutukset ovat tärkeitä hydrologian, ympäristön ja ilmaston kannalta. Arktisella alueella Islannin tulivuoren pöly voi olla merkittävä lunta ja jäätä sulattava tekijä ns. albedo-takaisin-kytkentämekanismien takia. "Tieteellinen työ Islannin pölyn merkityksen arviointia varten on vasta alkamassa ja me Suomessa olemme pohjoismaisen yhteistyön ansiosta maailman tiedeyhteisön eturintamassa", Meinander tähdentää.

Väitöstyössä on käytetty Ilmatieteen laitoksen Sodankylän Arktisen tutkimusaseman mitaustuloksia sekä Islannista peräisin olevia pölyhiukkasia. Kokeellinen aineisto ja mallilaskelmat osoittivat, että noki vähentää lumen heijastuskykyä sitä enemmän mitä lyhyempi säteilyn aallonpituus on kyseessä. Eniten heijastuskyky vähenee ultraviolettisäteilyn aallonpituuksilla. Sulamiskauden lumen heijastus oli epäsymmetrinen auringon korkeuskulmaan nähden joutu lumen fysikaalisten ominaisuuksien muuttumisesta päivän mittaan. Tämä aiheuttaa virheen satelliittien mittaamiin albedoarvoihin. Lisäksi nokea kertyi lumen pinta-

kerrokseen etenkin lumen sulaessa. Lumen orgaaninen hiili voi olla peräisin ihmistoiminnasta tai se voi koostua luonnollisista lumelle laskeutuneista siitepölyistä, siemenistä, sienirihmoista ja levistä. Maankäytön muutokset ja muut vastaavat ihmisen toimet vaikuttavat myös Islannin pölyn määrään.

Väitöskirjaa ovat rahoittaneet Suomen Akatemia ja Pohjoismaiden huippuyksikkö Cryosphere-atmosphere interactions in a changing Arctic climate. Outi Meinanderin seuraava tutkimusmatka Islantiin on maaliskuussa 2017, jossa hänen isäntinään ovat professori Olafur Arnalds Islannin Maataloustieteellisestä yliopistosta ja Dr. Pavla Dagsson-Waldhauserova Islannin yliopiston fysiikan laitokselta.

Väitöstilaisuus

Ilmatieteen laitoksen tutkijan, FL Outi Meinanderin väitöskirja *Effects Black Carbon and Icelandic Dust on Snow Albedo, Melt and Density* tarkastetaan Helsingin yliopiston bio- ja ympäristötieteellisessä tiedekunnassa. Työ kuuluu Helsingin yliopiston Ilmakehätieteiden tohtoriorjelmaan. Vastaväittäjänä on Helsingin yliopiston kunniatohtori, professori Tiit Nilson, Tartu Observatory, Viro, ja kustoksena on professori Pekka Kauppi.

Outi Meinanderin väitöstilaisuus järjestetään 18.11.2016 kello 12 Ilmatieteen laitoksella osoitteessa Erik Palménin aukio 1, Helsinki.

Lisätietoja

Tutkija Outi Meinander, 050 569 8900, outi.meinander@fmi.fi

Ilmastonmuokaus liian riskaabelia ilmastonmuutoksen hillintään

VTT:n ja Ilmatieteen laitoksen uuden tutkimuksen mukaan ilmastonmuokkaukseen liittyy kuitenkin niin suuria epävarmuuksia, ettei se tarjoa vaihtoehtoa kasvihuonekaasupäästöjen nopealle vähentämiselle.

Ilmastonmuokkauksella tarkoitetaan ympäristön suunnitelmallista muuttamista suuressa mittakaavassa erilaisilla ilmastonmuokkaustekniikoilla. Keinotekoisista ilmastonmuokkauksista on ehdotettu nopeaksi ja edulliseksi keinoksi hillitä ilmastonmuutosta. On esitetty, että ilmastonmuokkauksen avulla voisi lykätä kasvihuonekaasujen päästöleikkauksia, mutta saavuttaa siitä huolimatta Pariisin ilmastopöytäkirjassa määritelty tavoite rajoittaa ilmaston lämpeneminen alle 2 asteeseen. Ilmastonmuokkauksen vaikutuksiin liittyvät epävarmuudet ovat tuoreen tutkimuksen mukaan kuitenkin tällä hetkellä niin suuria, että menetelmiä ei voida pitää päästöleikkausten korvaajina ja lykkäjinä.

Käytännössä ilmastonmuokkaus voi alentaa tulevien vuosikymmenien päästöleikkaustarpeita vain vähän. "Ilmastonmuokkaus voi aiheuttaa sivuvaikutuksia, jotka ilmenevät vasta menetelmän käyttöönoton jälkeen. Siten ilmastonmuokkauksen käyttöön liittyy suuri epävarmuus, ja sen käyttö saatettaisiin joutua myös äkillisesti lopettamaan", sanoo Ilmatieteen laitoksen professori **Hannele Korhonen**. "Mikäli ilmastonmuokkauksen ohella lykätään päästöleikkauksia, ilmastonmuokkauksen lopettaminen johtaisi tilanteeseen, jossa kahden asteen tavoite on jo saavuttamattomissa", toteaa VTT:n erikoistutkija **Tommi Ekholm**.

Jos ilmaston lämpenemisen lisäksi pyritään ehkäisemään hiilidioksidista johtuvaa merten happamoitumista, ilmastonmuokkaus voi korvata päästövähennyksiä ainoastaan muiden kasvihuonekaasujen kuin hiilidioksidin osalta. Tulokset osoittavat, että tavat, jolla ilmastotavoitteet ja käytettävissä olevat ilmastonmuutoksen torjuntakeinot rajataan, voivat vaikuttaa merkittävästi optimaalisiin ilmastonmuutoksen hillintätoimenpiteisiin.

Ilmastonmuokkaukseen liittyy merkittäviä riskejä

Ilmastonmuokkauksella voitaisiin viilentää ilmastoa heijastamalla osa auringon säteilystä takaisin avaruuteen, esimerkiksi pilvien ominaisuuksia muokkaamalla tai jäljittelemällä tulivuorenpurkausten aiheuttamaa stratosfäärin pienhiukkaspeittoa. Ehdotettujen menetelmien etu on niiden nopea viilenemisvaikutus sekä kohtalaisen alhaiset kustannukset. Menetelmien käyttöön liittyy kuitenkin merkittäviä riskejä, kuten monsuunisaateen heikkeneminen ja siitä seuraavat riskit ruoantuotannossa Aasiassa ja Afrikassa.

Menetelmien äkillinen lopettaminen, esimerkiksi voimakkaiden negatiivisten vaikutusten vuoksi, aiheuttaisi myös nopean ilmastonmuutoksen, johon ekosysteemien ja yhteiskuntien olisi vaikea sopeutua. "Ilmastonmuokkauksen mahdollisesti suurta viilenyspotentiaalia ei tule siis käyttää synnä lykätä välttämättömiä kasvihuonekaasupäästöjen leikkauksia", Hannele Korhonen tiivistää.

Tutkimus julkaistiin Climatic Change -lehdessä, ja sen rahoitti Suomen Akatemia. Tutkimuksen tekivät yhteistyössä tutkijat VTT:ltä ja Ilmatieteen laitokselta.

Lisätietoja

Professori Hannele Korhonen, Ilmatieteen laitos, hannele.korhonen@fmi.fi, 040 8424 852

Erikoistutkija Tommi Ekholm, Teknologian tutkimuskeskus VTT, tommi.ekholm@vtt.fi, 040 775 4079

Lähde

Ekholm, T. & Korhonen, H. (2016): Climate change mitigation strategy under an uncertain Solar Radiation Management possibility. Climatic Change, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-016-1828-5>

Ilmatieteen laitoksen ohjelmistot avoimiksi

Ilmatieteen laitos julkaisee säädatan ja -tuotteiden jakeluun käytettävän SmartMet Server -palvelinohjelmiston lähdekoodin tämän vuoden aikana. Kyseinen ohjelmisto on käytössä Ilmatieteen laitoksen asiakaspalveluiden sekä julkisten verkkosivujen ja mobiilisovellusten taustalla sekä avoimen datan jakelussa.

Ilmatieteen laitoksella on lukuisia ohjelmistoja, joita käytetään sää- ja ympäristötiedon tuottamiseen, käsittelyyn ja jakeluun. Parhaillaan käynnissä olevassa selvitystyössä tutkitaan kaikkien laitoksella kehitettyjen ohjelmistojen avaamismahdollisuudet. Ohjelmistojen julkaisupäätökseen vaikuttavat muun muassa ohjelmistojen irroitettavuus omaksi kokonaisuudekseen sekä niiden potentiaalinen hyöty käyttäjä- ja kehittäjäyhteisölle.

"Julkaistavien ohjelmistojen laajuus tulee olemaan kansainvälisesti merkittävä. Ohjelmistojen julkaisemisella avoimena lähdekoodina pyritään lisäämään avoimen sää- ja ilmastodatan hyödynnettävyyttä sekä tehostamaan ohjelmistojen käyttöä ja kehitystä. Hyötyjä odotetaan myös käyttäjä- ja kehittäjäyhteisön syntymisestä", toteaa Ilmatieteen laitoksen pääjohtaja **Juhani Damski**. Ilmatieteen laitoksen avoimella lähdekoodilla tuetaan tutkimusprojekteja, kansainvälistä yhteistyötä, kehitysyhteistyötä ja suomalaista yritystoimintaa. Potentiaalisia

käyttäjiä ja kehittäjiä ovat muut ilmatieteen laitokset, alan yritykset ja yksityiset kehittäjät.

Ilmatieteen laitoksen ohjelmistot julkaistaan pääsääntöisesti MIT-lisenssillä, joka asettaa hyvin vähän rajoituksia ohjelmiston käytölle. MIT-lisenssi sallii lähdekoodin käytön myös osana suljettuja ohjelmistoja kunhan alkuperäinen lisenssi toimitetaan ohjelmiston mukana. Julkaistavien ohjelmistojen lisenssi harkitaan kuitenkin tapauskohtaisesti mahdollisten yhteistyökumppanien kanssa.

Ohjelmistot julkaistaan GitHub-verkkopalvelussa, joka on yksi maailman suurimmista lähdekoodi-verkkopalveluista. Avoimella lähdekoodilla tarkoitetaan ohjelmistoa, jota käyttäjä voi vapaasti hyödyntää, muokata sekä jaella uudestaan.

Lisätietoja:

Kehityspäällikkö **Roope Tervo**, roope.tervo@fmi.fi, 029 539 3651

Johtaja **Jussi Kaurola**, jussi.kaurola@fmi.fi, 029 539 4181

<http://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-lahdekoodi>



AX-SUUNNITTELU KERTOO ILMASI LAADUN

Ilmansuojeluselvitykset

Sisäilmaselvitykset ja -mittaukset

Teollisuuden- ja työhygieniamittaukset

Energiakatselmukset ja -mallinnukset

Kemikaalien riskiarvioinnit sekä onnettomuus- ja leviämismallinnukset

Melu- /ympäristöselvitykset ja -mittaukset, hajupaneeli ja asukaskyselyt

A background image showing a worker in an orange safety vest and helmet standing on a metal bridge or walkway, holding a long pole. The scene is hazy or foggy.

www.ax.fi

Toimintamme on
sertifioitu
ISO9001
standardin mukaisesti



Insinööritoimisto AX-LVI Oy:n päästömittaus-toiminta on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T232. Akkreditoinnin pätevyysalue löytyy FINASin sivuilta. Toimielin täyttää standardin SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 vaatimukset.

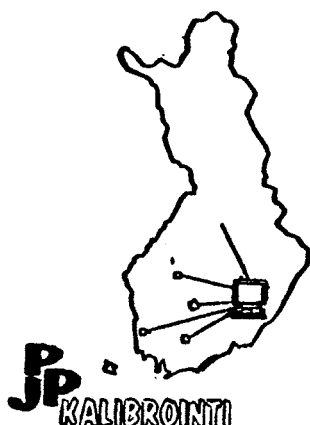
- > ILMANLAADUN ANALYSAATTORIT
- > MITTAUSASEMAN PC-DATALOGGERIT
- > MITTAUSVERKON DATAN TIEDON
KERUU, -KÄSITTELY JA RAPORTOINTI-
OHJELMAT

www.hnunordion.fi

hnu[®]NORDION

HNU Nordion Ltd Oy

PL 1 (Atomitie 5 B 6), 00371 HELSINKI
Puh 09 - 565 7240, fax 09 - 565 724 30
myynti@hnunordion.fi



ILMANLAATUMITTAUSTEN LAADUNVARMISTUS

- * mittauksen kaukoseuranta / kokonaishoito
- * analysaattorien kalibrointi: NO, NO₂, CO, H₂S, SO₂
- * tulosten editointi ja raportointi
- * mittauksen laatu järjestelmät

J.P. Pulkisen kalibrointi Ky
Honkalantie 21, 50600 Mikkeli

puh. 015-230 712
auto 0400-447 205



**LUOTETTAVA
YMPÄRISTÖANALYSAATTOREIDEN
TOIMITTAJA**

kontram

KONTRAM OY, Tuupakantie 32 a, 01740 Vantaa. Puh. (09) 8866 4500, faksi (09) 8866 4599
e-mail: analyysi@kontram.fi, www.kontram.fi



Enwin Oy tarjoaa kustannustehokasta kokonaispalvelua:

- ✓ **Teollisuuden ja kaavoituksen leviämismallit**
- ✓ **Päästölaskennat ja ilmanlaatuselvitykset**
- ✓ **Hajumallit, hajupaneelitutkimukset ja asukaskyselyt**
- ✓ **Ympäristöriskianalyysit (TUKES -vaatimukset)**
- ✓ **Hajapäästöselvitykset ja -mallinnukset**
- ✓ **Investointien ja piipun optimointimallit (PIPO/SUPO)**
- ✓ **Hot Spots -ilmanlaadun ja melun yhteisvaikutus**
- ✓ **Bioindikaattoritutkimukset**
- ✓ **Ulkoilmamittaukset: PM₁₀, PM_{2.5} , ym.**

Pyydä tarjous ja referenssit:

FM Ari Tamminen TkL, FM Tarja Tamminen
ari.tamminen@enwin.fi tarja.tamminen.enwin.fi

p. 03-266 4396, 040-512 7006, 040-840 9570



Ilmansuojelututkimusta vuodesta 2000

www.enwin.fi



ILMATIETEEN LAITOS



Ilmanlaadun ja tuulienergian asiantuntija

- Päästöjen leviämismalliselvitykset
- Ilmanlaadun mittaukset
- Mittalaitteiden kalibroinnit
- Ilmakemian analyysipalvelut
- Ilmanlaadun seurantasuunnitelmat
- Tuulimittaukset ja mittausten analysointi
- Tuulivoimapotentiaali ja -ennusteet
- Tuulivoiman tuotantoindeksi
- Aurinkoenergian tuotantopotentiaali ja ennusteet
- Koulutus- ja konsultointipalvelut

Ilmatieteen laitos
Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia
Erik Palménin aukio 1, PL 503, 00101 HELSINKI
ilmanlaatu palvelut@fmi.fi
www.fmi.fi/ilmanlaatu palvelut

Ilmansuojeluyhdistys ry. toimii alansa valtakunnal- lisena ympäristönsuojelu- järjestönä.

Ilmansuojeluyhdistyksen tarkoituksena on edistää ilmansuojelua ja ilman-suojelun tutkimusta Suomessa sekä toimia yhdyssteenä ilmansuojelun parissa työskentelevien henkilöiden ja yhteisöjen välillä Suomessa ja ulkomailla. Ilmansuojeluyhdistys pyrkii toiminnallaan edistämään ilmansuojelualalla toimivien henkilöiden ammattitaitoa. Ilmansuojeluyhdistys on perustettu vuonna 1976.

Ilmansuojeluyhdistys:

1. seuraa alansa tutkimuksen, koulutuksen, tekniikan sekä hallinnon ja lainsäädännön kehitystä
2. suunnittelee ja järjestää koulu-tusta sekä keskustelutilaisuuksi
3. järjestää ekskursioita kotimaassa ja ulkomaille
4. tiedottaa ajankohtaisista ilman-suojeluasioista jäsenlehdessään
5. antaa lausuntoja ja tekee esityksiä alansa kuuluvissa asioissa
6. harjoittaa julkaisutoimintaa
7. osallistuu kansainväliseen tiedonvaihtoon

Luftvårdsföreningen fungerar som nationell miljövårdsförening.

Luftvårdsföreningens syftemål är att främja luftvården och luftvårdsforskningen i Finland och fungera som förbindelselänk mellan personer och samfund som arbetar med luftvårdsfrågor i Finland och utomlands. Luftvårdsföreningen strävar att bättra yrkesskickligheter hos personer som arbetar med luftvårdsfrågor. Luftvårdsföreningen är grundad år 1976.

Luftvårdsföreningen:

1. följer med den vetenskapliga, forskningsmässiga, tekniska samt förvaltnings- och lagstiftningsmässiga utvecklingen i sin bransch
2. planerar och ordnar skolningstillfällen samt bedriver publikations-verksamhet
3. ordnar exkursioner både i Finland och utomlands
4. rapporterar om aktuella luftvårdsfrågor i sin medlemstidning
5. avger utlåtanden och tar initiativ i luftvårdsfrågor
6. bedriver publikationsverksamhet
7. deltar i det internationella luftvårdssamarbetet

Finnish Air Pollution Prevention Society (FAPPS) is the national air pollution prevention association.

The purpose of FAPPS is to prevent air pollution and to promote the research of air protection in Finland. FAPPS connects people and communities working with air protection issues in Finland and abroad. FAPPS aims to further the professional skills of the people working in the field. FAPPS was founded in 1976.

FAPPS:

1. follows technical, scientific, administrative and legislative developments of air protection
2. plans and organizes education and seminars
3. organizes excursions in Finland and abroad
4. informs about air protection issues of current interest in the magazine of FAPPS
5. gives statements and prepares proposals about air protection issues
6. publishes
7. participates in the international information exchange



Ilmansuojeluyhdistys ry
PL 136
00251 Helsinki

Kirjoittajat **4/2016**

Simo Tukiainen, tutkija
Ilmatieteen laitos
PL 503, 00101 Helsinki
050 340 5385
simo.tukiainen@fmi.fi

Janne Hakkarainen, tutkija
Ilmatieteen laitos
PL 503, 00101 Helsinki
050 563 7805
Janne.Hakkarainen@fmi.fi

Laura Riuttanen,
tohtorikoulutettava
Helsingin yliopisto
PL 48, 00014 Helsingin yliopisto
050 415 4746
laura.riuttanen@helsinki.fi

Maija Leino, nuorempi tutkija
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Saimaankatu 11
15140 Lahti
040 584 2736
maija.leino@lut.fi

Anders V. Lindfors,
tutkimusprofessori (tenure track)
Ilmatieteen laitos
Itä-Suomen ilmatieteellinen tutkimuskeskus
PL 503, 00101 Helsinki
050 433 1055
anders.lindfors@fmi.fi

Sami Niemelä, yksikön päällikkö
Ilmatieteen laitos
Meteorologinen tutkimus
PL 503, 00101 Helsinki
029 539 1000
sami.niemela@fmi.fi

Evgeny Atlaskin
Ilmatieteen laitos
Meteorologinen tutkimus
PL 503, 00101 Helsinki
029 539 1000
evgeny.atlaskin@fmi.fi

Herman Bööck
Ilmatieteen laitos
Itä-Suomen ilmatieteellinen tutkimuskeskus
PL 503, 00101 Helsinki
029 539 1000
herman.book@fmi.fi

Karoliina Hämäläinen
Ilmatieteen laitos
Meteorologinen tutkimus
PL 503, 00101 Helsinki
029 539 1000
karoliina.hamalainen@fmi.fi

Santtu Karhinen, tutkija
Suomen ympäristökeskus
Oulun toimipaikka
PL 413, 90014 Oulun yliopisto
050 465 8306
santtu.karhinen@ymparisto.fi

Kimmo Teinilä, erikoistutkija, FT
Ilmatieteen laitos
Erik Palménin aukio 1
00560 Helsinki
029 395 5414
kimmo.teinila@fmi.fi

Pasi Tainio, suunnitteluinsinööri
Suomen ympäristökeskus
Mechelininkatu 34 A
00251 Helsinki
029 525 1676
pasi.tainio@ymparisto.fi

Lauri Taipale, johtava asiantuntija
Helen Oy
Kampinkuja 2, 00090 Helen
050 559 2232
lauri.taipale@helen.fi

