

IS

4 | 2021

ILMANSUOJELU

Korona näytti miten **LIIKENTEEN VÄHENEMINEN**
PARANTAA ILMANLAATUA s. 4

Monipuolista ilmanlaatatietoa **VIRANOMAISMITTAUSTA**
TUKEVALLA SENSORIMITTAUSVERKOSTOLLA s. 8

UUSILLA SMEAR-AGRI-MITTAUSASEMILLA
selvitetään maatalouden ilmastovaikutuksia s. 12

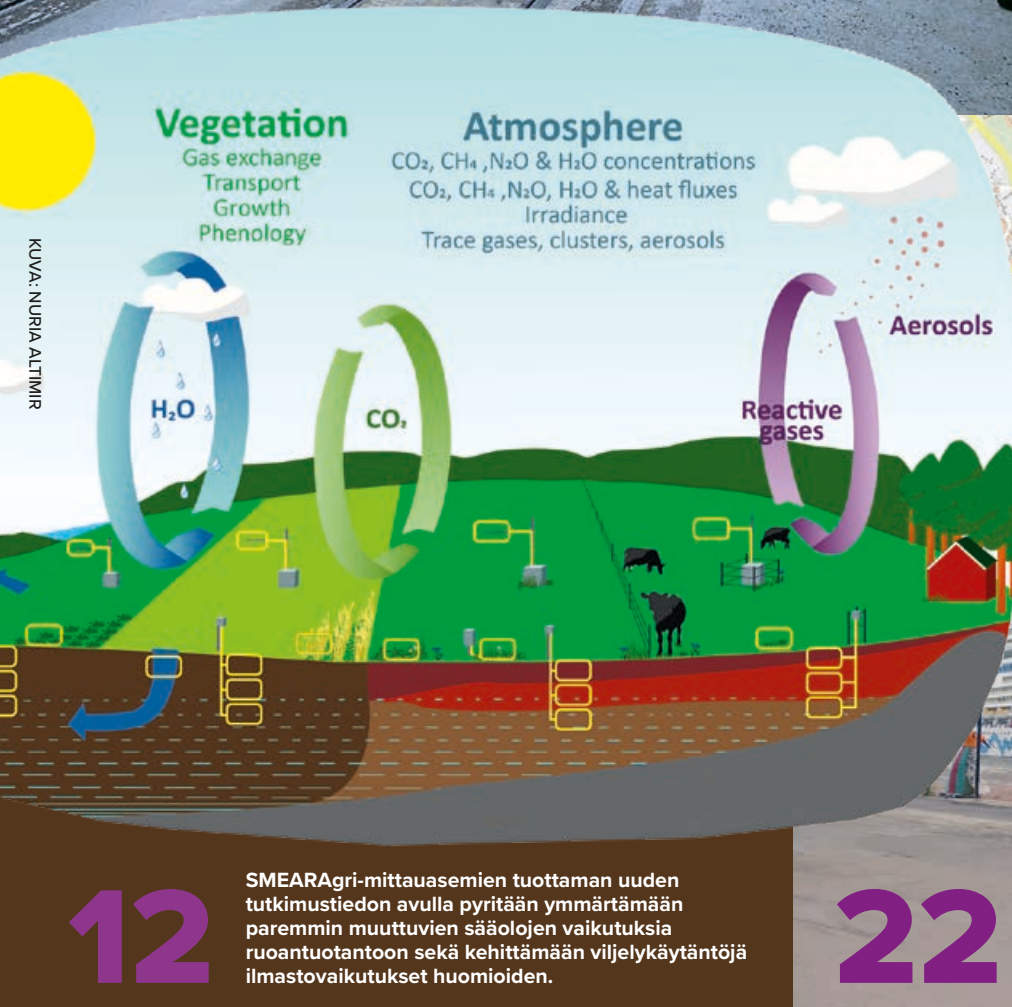
UUDET SATELLIITTIMITTALAITTEET
ilmanlaatumittausten tukena s. 18

MUSTAN HIILEN PÄÄSTÖILLÄ on suuri
vaikutus pienhiukkasten keuhkoaltistuksessa
kaupunkiympäristöissä s. 22

LAIVAPOLTTOAINEEN RIKKIRAJOITUSTEN
VAIKUTUS ilmakehän aerosolihiukkasten
ominaisuuksiin Itämerellä s. 26



4 Koronapandemia johti maaliskuussa 2020 poikkeustilaan, jonka seurauksena liikennemäärät vähenivät merkittävästi pääkaupunkiseudulla.



12 SMEARAgri-mittausasemien tuottaman uuden tutkimustiedon avulla pyritään ymmärtämään paremmin muuttuvien sääolojen vaikutuksia ruoantuotantoon sekä kehittämään viljelykäytäntöjä ilmastovaikutukset huomioiden.



11 "Toivon, että kun ilmansaasteiden terveysvaikutuksista saadaan koko ajan tarkempaa tietoa, osataan tulevaisuudessa arvostaa puhdasta ilmaa entistä enemmän."
- Katrianne Lehtipalo



8 Ilmanlaadun tilannekuva kaupunkialueella voidaan täydentää verifioiduilla sensoreilla.



22 Ulkoilman pienhiukkasten tiedetään aiheuttavan maailmanlaajuisesti merkittäviä terveyshaittoja ja useita miljoonia ennenaikaisia kuolemia vuosittain.

Pääkirjoitus 4/2021

Opiskelijoiden työt näkyväksi

Vuoden viimeisessä Ilmansuojelu-lehdessä on annettu tilaa opinnäytetöiden tekijöille. Jokaisella alalle tullee oma asiantuntijalla on oma erityinen polkunsu, miten juuri hän on päättänyt ilmanlaatuututkimuksen pariin. Usein tärkeänä tekijänä saattaa olla opinnäytetyön tekeminen ilmanlaatuun liittyen.

Ilmansuojelun asiantuntijaksi voi tulla montaa reittiä. Usein alan ammattilaisilla on soveltuva luonnontieteellinen tai ympäristötekniikan koulutus. Ilmansuojelun asiantuntija voi olla koulutukseltaan esimerkiksi fyysikko, kemisti, ympäristötieteilijä, maantieteilijä tai meteorologi.

Ilmansuojeluyhdistyksen puheenjohtaja Anu Kousa kertoo, että Ilmansuojeluyhdistyksellä on tärkeä rooli alan asiantuntijoille suunnattujen koulutuspäivien järjestämisessä. Ilmansuojelupäivät on yksi harvoja valtakunnallisia koulutustilaisuuksia jo valmistuneille asiantuntijoille. Ilmanlaadun mittaajille ISY:n Mittaajatapaaminen on merkittävä vuosittainen tapahtuma.

ISY palkitsee vuosittain ansioituneita opinnäytetöiden tekijöitä stipendin. Tässä lehdessä on kolmen stipendin saaneen opinnäytetyön tekijän artikkeli.

Ensimmäisessä artikkelissa kerrotaan miten uudet satelliittimittalaitteet tukevat ilmanlaatuututkimuksia. Toisessa artikkelissa pureudutaan mustan hiilen päästöjen vaikutuksiin pienhiukkasten keuhkoaltistuksessa kaupunkiympäristöissä. Viimeisessä artikkelissa perehdytään laivapolttoaineen rikkirajoitusten vaikutukseen ilmakehän aerosolihiukkasten ominaisuuksissa Itämerellä.

Lisäksi lehdessä on kiinnostava artikkeli koronan vaikutuksista liikenteen vähenemiseen ja ilmanlaatuun. HSY:n mittausten mukaan typidioksidin pitoisuudet olivat vuonna 2020 pääkaupunkiseudulla yli 30-vuotisen mittaushistorian matalimmat, ja ilmanlaatu oli koko mittaushistorian puhtainta.

Tässä numerossa on myös artikkeli, jossa käy ilmi kuinka HOPE-hankkeessa tehdyt mittaukset kertovat miten ilmanlaadun tilannekuva kaupunkialueella voidaan täydentää verifioiduilla sensoreilla. Ne parantavat mittausten kattavuutta ja tarjoavat tarkempaa tietoa erityisesti paikallisten päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun.

Lehdessä kerrotaan myös, miten uusilla SMEAR-Agri-mittausasemilla selvitetään maatalouden ilmastovaikutuksia. Asemien tuottaman uuden tutkimustiedon avulla pyritään ymmärtämään paremmin muuttuvien sääolojen vaikutuksia ruoantuotantoon sekä kehittämään viljelykäytäntöjä ilmastovaikutukset huomioiden.

Mukavaa loppuvuotta ja rentouttavaa vuoden vaihdetta!

LIINA PALOHEIMO-KOSKIPÄÄ
Päätoimittaja



ILMANSUOJELU-YHDISTYS ry.

ILMANSUOJELU-LEHTI

Ilmansuojeluyhdistys ry:n jäsenlehti
Magazine of the Finnish Air
Pollution Prevention Society
Medlemstidning av Luftvårdsföreningen rf.

Lehti ilmestyy neljä kertaa vuodessa.

PÄÄTOIMITTAJA / REDAKTÖR

Liina Paloheimo-Koskipää
ilmansuojelulehti@isy.fi

TOIMITUSKUNTA / REDAKTIONSRÅD

Nelli Kaski
Birgitta Kompula
Jenni Kontkanen
Mia Nores
Mikko Savolahti
Laura Sokka
Antti Tohka
Jari Viinanen

Taitto / Ombrytning

Hella Pakaslahti

Kannen kuva / Omslagsbild

Hella Pakaslahti

Paino / Tryckeri

Scanseri Oy

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

Lehti on luettavissa korkeakoulujen kirjastoissa sekä suurimmissa kaupunginkirjastoissa
Tidningen finns till påseende i högskolornas bibliotek samt i de största stadsbiblioteken

ILMOITUKSET / ANNONSER

Ilmoitushinnat normaali /yritysjäsen
Annonsspris vanligt / för medlemmar:

1/1 sivu 420 € / 350 €
1/2 sivu 320 € / 270 €
1/3 sivu 250 € / 210 €

Kestoilmottajille lisäksi 20 % alennus
Fortgående annons ger 20 % rabatt

TILAUKSET / BESTÄLLNINGAR

Lehden osoitteenmuutokset ja yksittäisnumeroiden tilaukset /
Adressförändringarna och beställning av enskilda nummer:

Ilmansuojeluyhdistys ry.
Sihteeri Essi Haapaniemi
PL 136,
00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi

- 4** Korona näytti miten liikenteen väheneminen parantaa ilmanlaatua
- 8** Monipuolista ilmanlaatuututkimusta viranomaismittausta tukevalla sensorimittausverkostolla
- 11** VALOKEILASSA: Katrianne Lehtipalo
- 12** Uusilla SMEAR-Agri-mittausasemilla selvitetään maatalouden ilmastovaikutuksia
- 18** Uudet satelliittimittalaitteet ilmanlaatuututkimusten tukena
- 22** Mustan hiilen päästöillä on suuri vaikutus pienhiukkasten keuhkoaltistuksessa kaupunkiympäristöissä
- 26** Laivapolttoaineen rikkirajoitusten vaikutus ilmakehän aerosolihiukkasten ominaisuuksiin Itämerellä

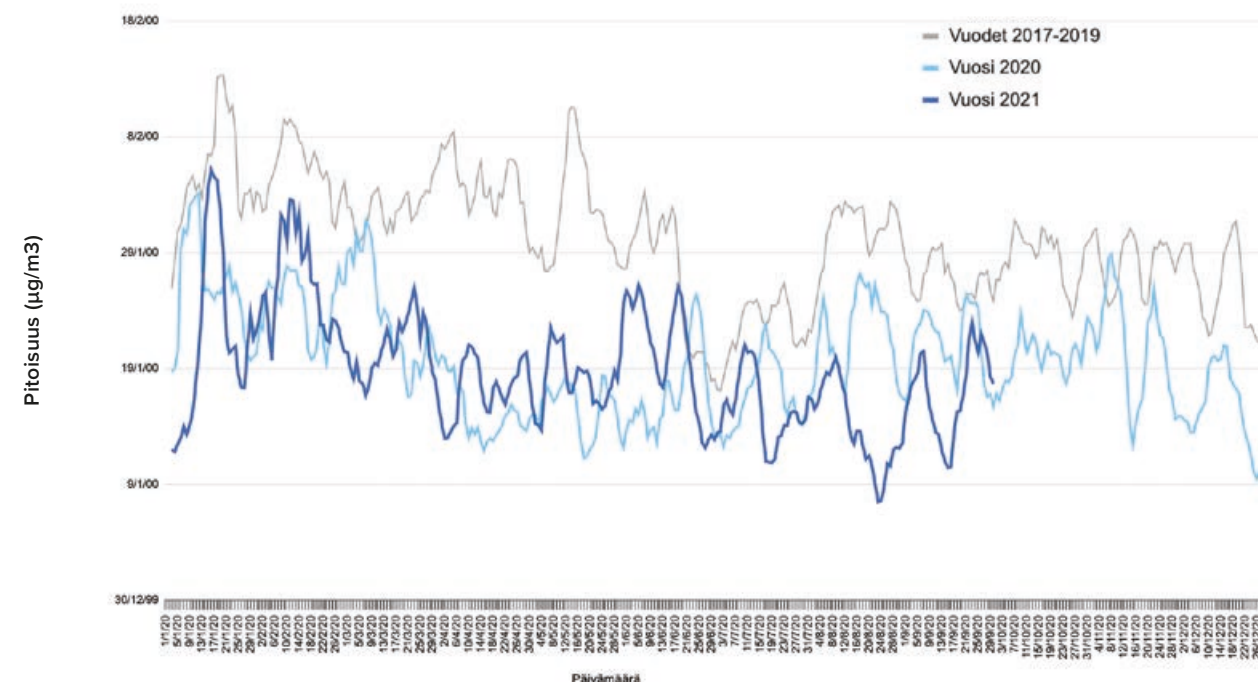
KORONA

näytti miten liikenteen väheneminen parantaa ilmanlaatua

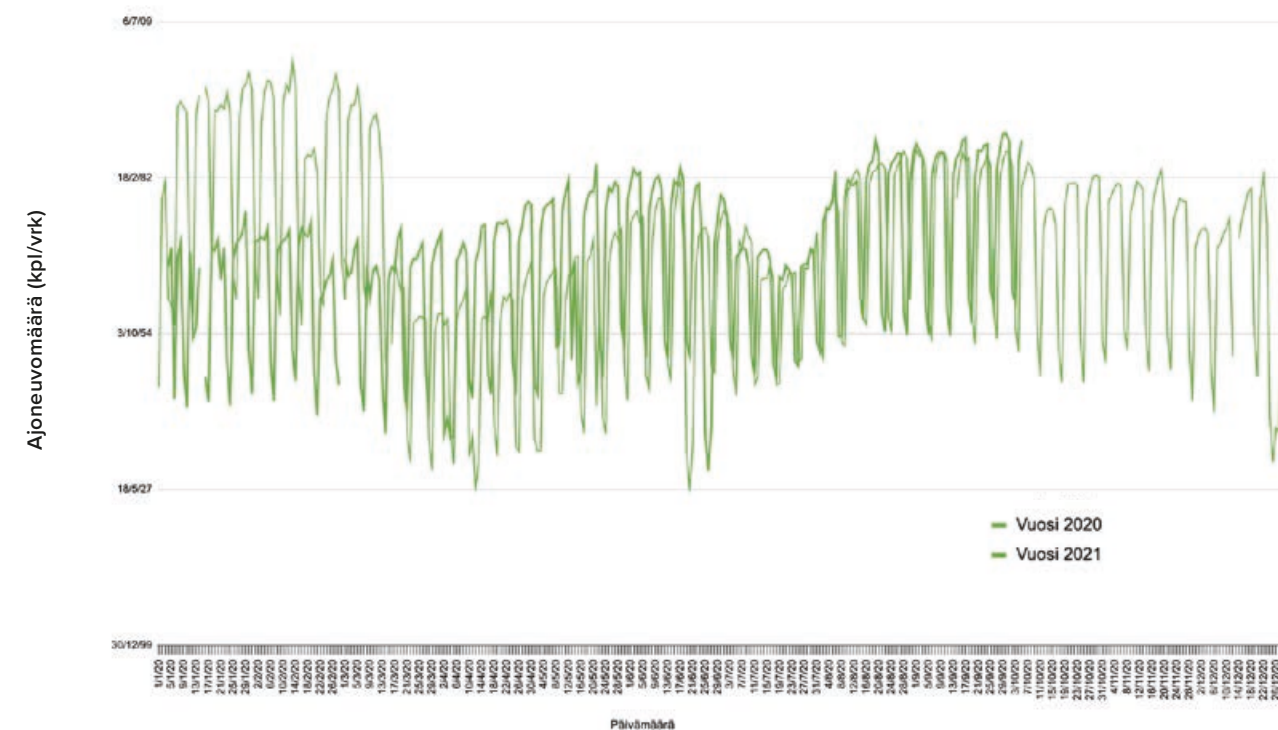
Koronapandemia johti maaliskuussa 2020 poikkeustilaan, jolloin liikennemäärät vähenivät merkittävästi pääkaupunkiseudulla, etenkin vilkasliikenteisillä alueilla. Liikennemäärien väheneminen laski pakokaasuista peräisin olevan typpidioksidin pitoisuuksia kaupunki-ilmassa.

KUVA: SAIJA KORHONEN

Typpidioksidin pitoisuudet (7 vrk liukuva keskiarvo) vuosina 2020, 2021 ja 2017-2019, validoimaton data vuodelle 2021



Mäkeläncadun vrk-liikennemäärät vuosina 2020 ja 2021



Saija Korhonen, ilmansuojeluasiantuntija, HSY

Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) mittausten mukaan typpidioksidin pitoisuudet olivat vuonna 2020 pääkaupunkiseudulla yli 30-vuotisen mittaushistorian matalimmat, ja ilmanlaatu oli koko mittaushistorian puhtainta.

Verrattuna vuosien 2017–2019 kevätkuukausiin typpidioksidin pitoisuudet laskivat keväällä 2020 vilkasliiken-

teisillä alueilla 40–60 prosenttia. Helsingin keskustassa Mäkeläncadun, Mannerheimintien ja Kallion mittausasemilla typpidioksidin vuosipitoisuudet olivat noin kolmanneksen pienemmät verrattuna viime vuosiin.

Koronapandemiasta aiheutuneen liikenteen päästöjen vähenemisen lisäksi typpidioksidin pitoisuudet ovat viime vuosina laskeneet ajoneuvoteknologian kehityksen myötä. Helsingin ilmanlaatua on osaltaan parantanut myös se, että henkilöautokannan lisäksi HSL:n bussien päästöt ovat vähentyneet erityisen nopeasti viime vuosina.

Mallinnetut typpidioksidin pitoisuudet keväällä 2019, 2020 ja 2021 HSY:n ilmanlaadun vuosikartalla. Pitoisuudet on esitetty ilmanlaatuindeksin avulla.



Ilmanlaadun vuosikartta: <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/ilmanlaatu-nyt/ilmanlaatuvuosikartta/>

Pienemmät liikennemäärät näkyvät matalampina typpidioksidin pitoisuuksina

Tänäkin vuonna liikennemäärät ovat olleet keskimäärin noin kymmenen prosenttia tavallista alhaisemmat Helsingin keskustan vilkasliikenteisillä alueilla. Typpidioksidin pitoisuudet ovat myös olleet tavallista matalampia. Alkuvuodesta pakokaasut aiheuttivat kuitenkin ajoittain kohonneita typpidioksidin pitoisuuksia heikkotuulisilla pakkassäillä. Ennen koronapandemiaa vuoden 2020 alkupuolella leudot ja tuuliset sääolot suosivat pakokaasujen laimenemista kaupunki-ilmassa.

Koronakevät erottuu ilmanlaatuksikartassa puhtaimpana

Typpidioksidin pitoisuuksia on myös mallinnettu reaaliaikaisesti koko pääkaupunkiseudun alueella vuodesta 2019 alkaen. Ilmanlaadun vuosikartalta näkee liikenteen pakokaasujen vaikutuksen eri alueiden ilmanlaatuun hengityskorkeudella.

Mallinnustuloksista nähdään, miten keväällä 2019 Helsingin keskustan vilkasliikenteisimmässä paikoissa typpidioksidin pitoisuudet kohosivat korkeiksi ja ilmanlaatu oli paikoitellen näiden alueiden läheisyydessä välttävä tai huono. Koronapandemiasta aiheutunut liikennemäärien ja liikenteen päästöjen väheneminen näkyy selvästi keväällä 2020 karttakuvassa. Keväällä 2020 ilmanlaatu oli laajalti hyvä myös vilkkaimpien ympäristöjen läheisyydessä, kun typpidioksidi ei enää selvästi heikentänyt ilmanlaatua. Keväällä 2021, kun liikennemäärät olivat palanneet jo lähemmäs koronaa edeltävää tasoa, näkyy mallinuskartassa typpidioksidin pitoisuuksien hienoinen nousu varsinkin vilkkaasti liikennöidyissä ympäristöissä.

Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurelta osin kaukokulkeumaa

Liikennemäärien väheneminen on näkynyt etenkin typpidioksidin pitoisuuksien laskussa, mutta myös liikenteen suorat pienhiukkaspäästöt ovat pienentyneet jonkin verran. Ulkoilman pienhiukkasista suurin osa on peräisin kaukokulkeumasta, joten paikallisten päästöjen väheneminen ei näy pienhiukkasten pitoisuuksissa yhtä voimakkaasti.

Katupölyn pitoisuuksiin liikennemäärien väheneminen ei vaikuta myöskään yhtä paljon, sillä sääoloilla on suuri vaikutus pölyämiseen ja pienemmälläkin liikennemäärällä katupöly pääsee nousemaan ilmaan. Katupölyn pitoisuudet kohoavat vilkasliikenteisillä alueilla etenkin keväisin, kun tien pinnat kuivuvat ja talven aikana kertynyt katupöly nousee ilmaan.

Pölyisten päivien määrä on vähentynyt

Kevään 2020 katupölykausi oli tavallista helpompi joutuksen osittain liikennemäärien vähenemisestä sekä suotuisista sääolosuhteista. Leudon ja lumettoman talven takia hiekoitusmäärät olivat pienempiä ja katujen kevätpesut pystyttiin aloittamaan pääkaupunkiseudulla tavanomaista aikaisemmin.

Vuonna 2020 pölyisiä päiviä oli Helsingin keskustan mittaussasemilla (Mannerheimintie, Mäkelänkatu ja Kallio) selvästi vähemmän kuin kahtena edellisenä vuonna. Pölyisten päivien määrä on vähentynyt pääkaupunkiseudulla myös pitkällä aikavälillä, koska katupölyä torjutaan aikaisempaa tehokkaammilla puhdistusmenetelmillä ja pölynsidontakasteluilla. Katupölyä voidaan edelleen vähentää muun muassa hillitsemällä liikennemääriä ja valitsemalla kitkarenkaat talvirenkaiksi.

Kevään 2021 katupölykausi oli pääkaupunkiseudulla viime vuotta pölyisempi, koska vuoden 2021 talvi oli edellisvuotta kylmempi, ja katuja jouduttiin hiekoittamaan vielä helmikuun lopulla. Talvella ja kevään katupölykaudella maaliskuussa liikennemäärät olivat pienempiä kuin ennen koronapandemiaa. Kesän aikana liikennemäärät palasivat pääkaupunkiseudulla lähelle koronapandemiaa edeltävää tasoa. Tämän syksyn liikennemäärät ovat kuitenkin alhaisempia kuin syksyllä 2019.

Uudet tiukemmat WHO:n ohjearvot ylittävät myös Suomessa

Koronapandemian aiheuttama liikennemäärien väheneminen loi suotuisat olosuhteet ilmansaasteiden, varsinkin typpidioksidin, pitoisuuksien vähenemiselle. Ilmansaasteiden pitoisuudet laskivat varsinkin vilkasliikenteisimmässä paikoissa Helsingin keskustan alueella. Vaikkakin ilmansaasteiden pitoisuudet ovat koronapandemian aikana olleet tavanomaista matalampia, eivät ne nykyisellä tasollaan alita WHO:n uusia syyskuussa 2021 julkaisemia tiukempia ilmanlaadun ohjearvoja.

WHO:n ohjearvot perustuvat terveysvaikutuksiin, joita ilmansaasteiden on todettu aiheuttavan. Ohjearvoilla pyritään vaikuttamaan ilmanlaadun kehitykseen asettamalla tavoitteita sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Ilmanlaadun parantamiseksi on tehty paljon hyvää työtä, ja pidemmällä aikavälillä ilmansaasteiden pitoisuudet ovat alentuneet. Onkin tärkeää jatkaa edelleen ilmansuojelutyötä laajassa yhteistyössä.

KUVA: SAULA KORHONEN



Koronan hiljentämä Turunväylä talvella 2021.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMANLAADUN JA UUSIUTUVAN ENERGIAN ASIAANTUNTIJA

- Päästöjen leviämismalliselvitykset
- Ilmanlaadun mittaukset
- Mittalaitteiden kalibrointipalvelut
- Ilmakemian analyysipalvelut
- Ilmanlaadun seurantasuunnitelmat
- Ilmanlaadun koulutus- ja konsultointipalvelut
- Tuulimittaukset
- Tuuli- ja jäätämistalustulosten analysointi
- Paikallisen tuulivoimapotentiaalin määrittäminen
- Tuulivoiman tuuliennusteet
- Aurinkoenergian tuotantopotentiaali ja ennusteet
- Kansainväliset hankkeet ja tutkimushankkeet

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI/ILMANLAATUPALVELUT
ILMANLAATUPALVELUT@FMI.FI



Kuva: Laura Karin

HOPE-projektin sensoriverkoston mittauspisteet pääkaupunkiseudulla.



Ilmanlaadun tilannekuvaa kaupunkialueella voidaan täydentää verifioiduilla sensoreilla, jotka parantavat mittausten kattavuutta ja tarjoavat tarkempaa tietoa erityisesti paikallisten päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun.

MONIPUOLISTA ILMANLAATUTIETOA

viranomaismittausta tukevalla sensori- mittausverkostolla

Tuukka Petäjä, professori, Ilmakehätieteiden keskus INAR, Helsingin yliopisto
Hilkka Timonen, ryhmäpäällikkö, Ilmatieteen laitos

Ilmansaasteet ovat maailmanlaajuisesti suurin ympäristöperäinen uhka ihmisten terveydelle. Ilmanlaadun seuranta perustuu tällä hetkellä viranomais- ja kaupunkien suorittamiin mittauksiin kiinteillä ilmanlaadun mittausasemilla, joita on tyypillisesti isommissa kaupungissa vain muutamia. Tällainen mittaussysteemi ei anna kokonaisvaltaista kuvaa ilmanlaatuilanteesta eikä ilmanlaadun vaihtelusta erilaisissa ympäristöissä, sillä ilmansaasteiden pitoisuus vaihtelee paljon riippuen paikallisista päästölähteistä, kuten liikenteestä ja puunpoltosta.

Helsingin kaupungin koordinoima hanke kokosi yhteen pääkaupunkiseudun ilmanlaatuosaajat Helsingin yliopistolta, Ilmatieteen laitokselta, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymästä (HSY), Vaisala ja Forum Viriumista. Hanke oli osa Euroopan unionin "Urban Innovation Action:in" rahoittamaa "Healthy Outdoor Premises for Everyone" (HOPE) -projektia.

HOPE-hankkeen tavoitteena on kehittää uutta ilmanlaadun täsmätietoa ja edistää ilmanlaadutiedon innovatiivista hyödyntämistä kaupunginos- ja asukasastolla. Hankkeessa mitataan ilmanlaatua sekä kiinteästi asennetuilla että kannettavilla henkilökohtaisilla ilmanlaatusensoreilla, etsitään ratkaisuja ilmanlaadun parantamiseen Helsingissä, ja otetaan käyttöön osallistavan budjetoinnin kokeilumalli, jossa kohdealueiden asukkaat vaikuttavat parhaimpien keinojen valintaan.

Kiinteän sensoriverkoston hyödyt ilmanlaadun monitoroinnissa

Pääkaupunkiseudun jo valmiiksi kattavaa ilmanlaadun mittausta täydennettiin Vaisalan kehittämällä AQT530-ilmanlaatusensoreilla, jotka mittaavat kaasumaisia (O_3 , NO_x , CO) sekä hiukkasmaisia ($PM_{2.5}$, PM_{10}) ilmansaasteita. Ennen varsinaisia mittauksia sensorit sijoitettiin Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) Mäkelänkadun supermittausasemalle noin kuukauden mittaisiin vertailumittauksiin. Näiden avulla varmistettiin sensorien toiminnasta ja pystyttiin havaitsemaan mahdolliset pienet erot sensorien välillä. Vertailumittausten avulla sensoreille tehtiin myös sensorikohtaiset korjausyhtälöt, joiden avulla varmistettiin tulosten vertailukelpoisuus.

Täydentävä sensoriverkosto keskitettiin ilmanlaadun kannalta mielenkiintoisille alueille, jotka edustavat erilaisia kaupunkiympäristöjä. Yhteensä 11 mittaustasuria sijoitettiin Jätkäsaaren alueelle, jossa on paljon täydennysrakentamista sekä satama. Sensorit asennettiin edustaviin paikkoihin, kuten liikenneväylien lähelle, rakennustyömaiden läheisyyteen tai kaupunkiympäristön tausta-alueelle.

Vallilassa, vilkasliikenteisessä katukuilussa sijaitsevan HSY:n supermittausaseman lähistöllä, seurasimme kuudella anturilla erityisesti paikallisen mittakaavan pitoisuuksien vaihtelua ja liikenteestä johtuvia päästöjä. Pa-



Ilmanlaadun mittauspiste Jätkäsaarella.

kilan pientaloalueella testasimme kahdeksan anturin voimin anturin kykyä havaita pienimuotoisen puunpolton päästöjä sekä vertailla Pakilan ja Vallilan mittauksia. Käytännössä kunkin anturin tarkan sijoituspaikan määräsi alueellinen edustavuus, sähkön saavuus ja datayhteys.

Sensoriverkoston avulla saatiin paljon tietoa pitouksien alueellisesta vaihtelusta. Täydentävä ilmanlaatudata oli erityisen hyödyllistä esimerkiksi tie- ja samaliikenteen aiheuttamien päästöjen leviämisen tarkastelussa (NO₂), rakennuspölyn arvioinnissa (PM₁₀), sekä esikaupunkien pientaloalueiden pienen mittakaa-

van puunpolton vaikutusten seurannassa (CO, PM_{2,5}). Näiden lisäksi sensoriverkko pystyi havaitsemaan erityisiä ilmanlaatuutilanteita, kuten esimerkiksi uuden vuoden ilotulituksen, ja ilman epäpuhtauksien kaukokulkeumatilanteita kaupunkimittakaavassa. Lisäksi havaittiin, että tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi tärkeää on myös sensorien toiminnan verifiointi ilmanlaatuasemilla ennen uuteen mittauspaikkaan siirtämistä.

Tulevat toimet

Sensoreilla on tehty mittauksia nyt vuoden verran. Sensorit ovat toimineet hyvin ja sensorien tuottama data on havaittu hyödylliseksi. Sensorituloksista on tehty jo ensimmäinen tieteellinen julkaisu, ja tavoitteena on vielä laajentaa tutkimusta sisältämään tietoa sensoridatan hyödyistä ilmanlaatumallinnuksessa. HOPE-mittausten ja mallinnuksen pohjalta rakennettiin myös ilmanlaatu-tietoja hyödyntävä puhtaan ilman GreenPaths -reittisovellus. Sovelluksesta oli artikkeli Ilmansuojelulehden tämän vuoden ensimmäisessä numerossa.

Ilmanlaatuallistusta arvioiva reittimallinnus on laajan kansainvälisen vertailun perusteella tieteellisesti vasta alussa. Lisäksi HOPE:n aikana tehtiin ilmanlaatumittauksia kannettavilla laitteilla, jotka kulkivat kaupunkilaisten mukana heidän liikkuessaan kaupungilla. Nämä tulokset ja kokemukset kerrotaan seuraavassa Ilmansuojelulehden numerossa.

Viitteet

HOPE-projektin sivu: <https://uia-initiative.eu/en/uia-cities/helsinki>

GreenPaths -reittisovellus (<https://green-paths.web.app>)

Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525, 367-371.

Petäjä, T., Ovaska, A., Fung, P.L., Poutanen, P., Yli-Ojanperä, J., Suikkola, J., Laakso, M., Keskinen, J., Järvinen, A., Kuula, J., Kurppa, M., Karppinen, A., Nieminen, J.V., Paasonen, P. and Timonen, H. (2021) Added value of supporting air quality observations with the use of Vaisala AQT530 sensor as a part of a sensor network, *Frontiers in Env. Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.719567>.

Poom, A., Willberg, E., & Toivonen, T. (2021). Environmental exposure during travel: A research review and suggestions forward. *Health & Place*, 70, 102584.

Katrianne Lehtipalo

Kuinka kauan olet ollut ilmansuojelualalla?

Aloitin työskentelyn Helsingin yliopistolla vuonna 2007 tehdessäni gradua, jossa tutkittiin uusia menetelmiä ilmakehän kaikkien pienimpien aerosolihiukkasten havaitsemiseksi. Työ ei tullut valmiiksi yhdessä gradussa, joten siitä syntyi myös väitöskirja. Nykyään olen apulaisprofessori Ilmatieteen laitoksella ja Helsingin yliopiston Ilmakehätieteiden keskuksessa ja johdan Ilmakehän aerosolit –tutkimusryhmää.

Mitkä ovat olleet merkittävimmät murroskohdat ilmansuojelualalla oman urasi aikana?

Vastaan kysymykseen ajatellen omaa tutkimusalaani. Murroskohta pienhiukkasten syntyprosessin ymmärtämisessä molekyylitasolla on ollut hiukkaslaskureiden ja massaspektrometrien tuottaman tiedon yhdistäminen, joka on tuottanut monia tieteellisiä läpimurtoja. Näin pystymme ymmärtämään mitkä ilmakehän kaasusta voivat muodostaa hiukkasia, joilla on lopulta vaikutusta ilmanlaatuun ja pilvien muodostumiseen.

Mitkä ovat olleet viimeisimpiä työtehtäviäsi tai projektejasi?

Työtehtäväni liittyvät erityisesti ilmakehän pienhiukkasten mittaamiseen, sekä niiden syntyprosessien selvittämiseen kenttämittausten ja CERN'in tutkimuskammiassa tehtävien mittausten avulla. Pyrimme ryhmässäni myös standardisoimaan ilmakehän koostumukseen liittyviä mittaus- ja analyysimenetelmiä ACTRIS infrastruktuurin (Aerosols, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure) puitteissa.

Mitä näet suurimpina tulevina trendeinä ja haasteina ilmansuojelualalla?

Ilmastonmuutos on tietysti aikamme suurin kysymys. Ilmasto- ja ilmanlaatuksykymykset ovat myös monella tavalla toisiinsa kytkeytyneitä, joten on kiinnostavaa nähdä miten ilmastonmuutos itsessään ja sen hillintä ja sopeutumistoimenpiteet vaikuttavat ilmanlaatuun. Toivon myös, että kun ilmansaasteiden terveysvaikutuksista saadaan koko ajan tarkempaa tietoa, osataan tulevaisuudessa arvostaa puhdasta ilmaa entistä enemmän!

Mitä haluaisit saada aikaan urasi aikana?

Haluan tuottaa relevanttia ja tarkkaa tieteellistä tietoa ja dataa ilmanlaatu- ja ilmastotoimien tueksi. Haluaisin myös olla mahdollisimman hyvä ohjaaja ja mentori ryhmässäni työskenteleville tulevaisuuden ilmakehätieteilijöille ja ilmasto/ilmanlaatuasiantuntijoille!



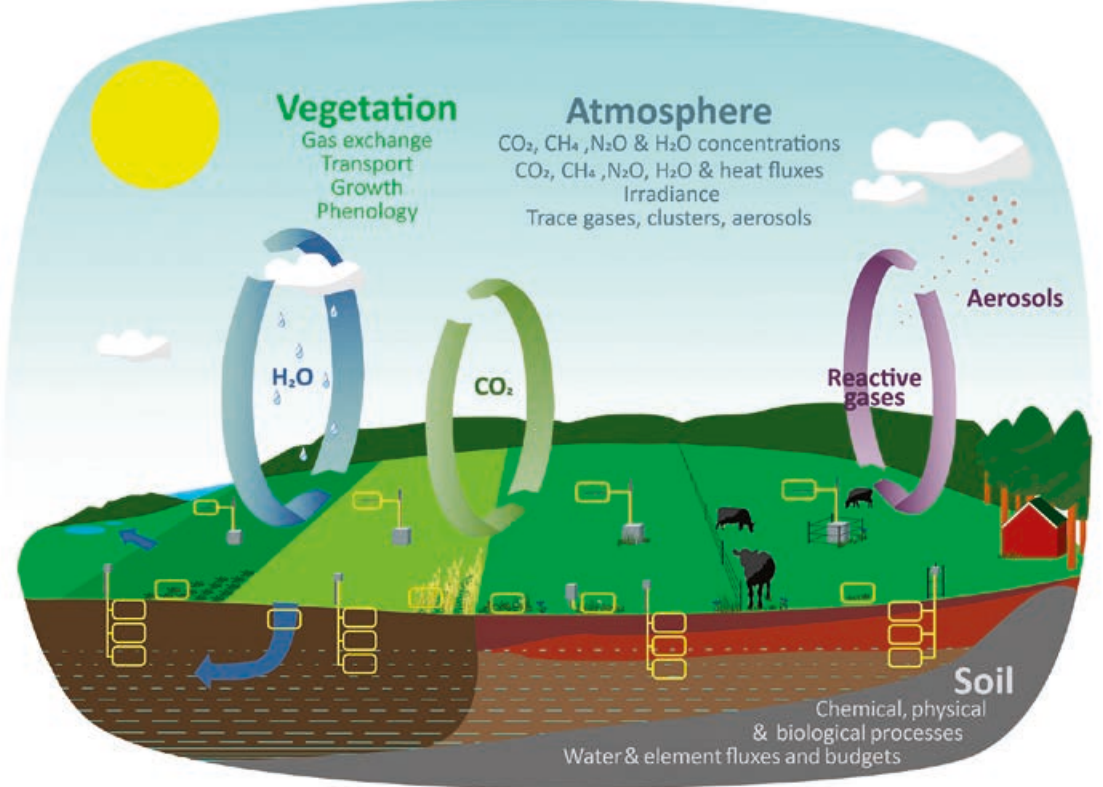
Katrianne Lehtipalo on ilmakehätieteen apulaisprofessori Ilmatieteen laitoksella ja Helsingin yliopiston Ilmakehätieteiden keskuksessa. Hän on väitellyt tohtoriksi vuonna 2011 ja ollut fysiikan dosentti vuodesta 2017. Lehtipalo on ollut kirjoittajana yli sadassa tieteellisessä julkaisussa. Hän on myös Suomen Aerosolitutkimusseuran johtokunnan jäsen ja Airmodus Oy:n hallituksen jäsen.



KUVA 2. Useat alan opiskelijat tekivät kesällä 2021 kasvihuonekaasujen kammionmittauksia kesäkuun alusta elokuun loppuun saakka vuoroviikoin Viikissä ja Halti-alassa siirrettävän mittauskaluston avulla. Molemmilla pelloilla oli 48 maahan upotettua kammion kaulusta, ja 24 maanäytettä kerättiin kaulusten välistä kunkin viikon yhteydessä. Kesän pitkä hellejakso teki työstä erityisen haastavaa sekä fyysisesti että mittaustekniikan osalta.

SMEAR- Agri

Station for Measuring Earth surface- Atmosphere Relations



KUVA: NURIA ALTIR

KUVA 1. SMEAR-Agri-mittausasemilla tutkitaan maaperän, vesistöjen ja ilmakehän välisiä vuorovaikutuksia erilaisilla viljelymailla. Keltaiset laatikkoelementit kuvaavat ilmasta, kasvustosta ja maaprofiilin eri syvyyksistä sekä pellon valumavesistä tehtäviä mittauksia. Nuolet kuvaavat aineiden ja yhdisteiden virtoja maaperän ja ilmakehän välillä. Mittausasemilla seurataan ilmakehän kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, CO₂; metaani, CH₄; typpioksiduuli, N₂O; vesihöyry, H₂O) ja reaktiivisten yhdisteiden virtoja, kasvuston biomassaa, maaperän ominaisuuksia, pinta- ja salaojavalunnan kulkeutumista sekä valumaveden kuljettamia kiintoaines- ja ravinnepitoisuuksia.

Uusilla SMEAR-Agri-mittausasemilla selvitetään maatalouden ilmastovaikutuksia

Helsinkiin on perustettu kaksi maatalouden ilmastovaikutuksia tutkivaa SMEAR-Agri-mittausasemaa. Asemien tuottaman uuden tutkimustiedon avulla pyritään ymmärtämään paremmin muuttuvien sääolojen vaikutuksia ruoantuotantoon sekä kehittämään viljelykäytäntöjä ilmastovaikutukset huomioiden. Mittausasemia ylläpitävät Helsingin yliopisto ja ilmakehätieteiden keskus INAR (Institute for Atmospheric and Earth System Research), ja niitä hyödynnetään tutkimuksen lisäksi opetuksessa ja yhteiskunnallisessa vuorovaikutuksessa.

Noora Manninen, tohtorikoulutettava, Helsingin yliopisto
Annalea Lohila, apulaisprofessori, Ilmatieteen laitos
Mikko Skogberg, tohtorikoulutettava, Helsingin yliopisto
Mari Pihlatie, Professori, Helsingin yliopisto



KUVA: MARI PIHLATIE

KUVA 3. Kasvihuonekaasujen jatkuvatoiminen mitaus pyörrekovarianssimenetelmällä oli SMEAR-Agri Haltialan asemalla täydessä toiminnassa jo kesällä 2021. Viikin asemalle vastaavat mittalaitteet asennettiin syksyllä.

Pariisin ilmastopimuksessa 2015 Suomi sitoutui Ranskan aloitteeseen kasvattaa maatalousmaiden hiilimääriä 0,4 % vuosittain. Kivennäismaiden hiilensidonta on myös yksi Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliiton (MTK) julkaiseman Maatalouden ilmastotiekartan esittelemistä merkittävistä maatalouden toimenpiteistä, joita suunnitellaan ilmastopäästöjen pienentämiseksi.

Hiili on maan orgaanisen aineksen pääkomponentti, ja orgaanisella aineksella puolestaan on maassa tärkeitä, hyvää kasvukuntoa ylläpitäviä ominaisuuksia: korkeampi orgaanisen aineksen määrä parantaa vedenpidätyskykyä, ravinteiden pidättymistä, ilmavuutta ja maapartikkeleiden rakenteellista kestävyyttä. Maan orgaaninen aines on kuitenkin jatkuvan muutosprosessin alaisena, ja sen mikrobiologinen hajoaminen tuottaa sekä kasvihuonekaasupäästöjä että huuhtoutumiselle alttiina olevia liukoisia ravinteita. Kuinka siis onnistuu tasapainoilu ruoantuotannon, maatalouden ympäristökuormituksen ja hiilensidontatavoitteiden kanssa?

Maatalousmaa hiilen sitojana

Viljely- ja laidunkäytössä olevilla kivennäismailla arvioidaan olevan suuri potentiaali sitoa hiiltä. Erityisesti pohjoisilla alueilla edellytykset maaperän hiilensidonnalle ovat hyvät, koska viileässä ja kosteassa ilmastossa maan orgaanisen aineksen kertyminen voi olla suurempaa kuin sen hajoaminen. Viljeltyjen kivennäismaiden hiilipitoisuuksien on kuitenkin todettu jatkuvasti laskeeneen vuosikymmenten ajan meillä ja muualla Euroopassa, mikä on nostanut esiin huolen maaperän hiilen hävikistä ja sen ympäristövaikutuksista. Viljelykäytäntöjen tiedetään vaikuttavan orgaanisen aineksen hajoamiseen ja hiilen hävikkiin maasta, mutta näihin liittyvät kemialliset, fysikaaliset ja mikrobiologiset prosessit ovat vielä osin epäselviä. Yksi keino maatalousmaiden hiilen hävikin hillitsemiseksi olisi edistää sellaisten viljelymenetelmien käyttöä, joilla voidaan samanaikaisesti sekä vähentää kasvihuonekaasupäästöjen syntyä että sitoa ilmakehän hiilidioksidista peräisin olevaa hiiltä orgaaniseen muotoon maaperään.

Lisäksi maaperän hiilensidonnalla voi parhaimmil-

laan olla muitakin maan orgaaniseen ainekseen liittyviä toivottavia vaikutuksia, kuten peltomaan kasvuolosuhteiden ja tuottavuuden paraneminen, pienempi lannoitustarve, maaperän biodiversiteetin lisääntyminen ja vesistökuormitusriskin pienentyminen. Orgaanisen hiilen ja ravinteiden dynamiikka maaperässä on kuitenkin hyvin monimutkaista, ja maan orgaanisen hiilen pitkäaikaiseen varastointiin vaikuttavista mekanismeista tarvitaan vielä paljon tutkimustietoa.

Mitä mittausasemillamme tehdään?

Viikin ja Haltialan uudet SMEAR-Agri-mittausasemat kuuluvat ilmakehän ja ekosysteemin välisiä vuorovaikutuksia tutkivien SMEAR-asemien (Station for Measuring Ecosystem-Atmosphere Relations) verkostoon. Lisäksi asemat toimivat osana pitkäaikaisten, ympäri Suomea sijaitsevien maatalouden mittausasemien (INAR RI Agriculture) verkostoa, joiden avulla pyritään selvittämään suomalaisten maataloustuotannossa olevien kivennäis- ja turvemaiden kasvihuonekaasupäästöjä, hiilensidontaa sekä vesistöihin suuntautuvia ravinnekuormia (kuva 1).

Viikin mittausasema on perustettu kesällä 2021 jatku-

vassa rehunurmiviljelyssä olevalle savimaalle. Nurmi uudistetaan muutaman vuoden välein, jolloin välivuoden ajan pellolla viljellään viljalajeja. Haltialan mittausasema puolestaan on perustettu kesällä 2020 hiusesavimaalle, joka on ollut pitkäaikaisessa viljanviljelyssä kevennetyllä maanmuokkauksella. SMEAR-Agri-mittausasemien tutkimustoimintaa johtavat Viikissä Helsingin yliopiston professori Mari Pihlatie ja Haltialassa Ilmatieteen laitoksen apulaisprofessori Annalea Lohila.

Mittausasemilla tehdään hiilidioksid-, metaani- ja typpioksiduulivoiden kammiomittauksia (kuva 2), ja mitataan kasvihuonekaasujen vaihtoa pellon ja ilmakehän välillä ns. pyörrekovarianssimenetelmällä (kuva 3). Menetelmä kerää aineistoa mm. hiilen vaihdosta yötä päivää vuoden ympäri ja tuottaa tietoa koko pellon kaasunvaihdosta. Kammioilla puolestaan pystytään tutkimaan pienen maa-alan kaasunvaihtoa sekä pelloalueen sisäistä vaihtelua, joka voi erityisesti typpioksiduulin osalta olla hyvin suurta. Lisäksi dataa kerätään sääoloista, lämpö- ja auringonsäteilystä, peltomaan eri kerroksiin asennetuista automaattisista kosteus-, lämpötila- ja hapetus-pelkistysantureista sekä laboratoriossa mitattavista maaperän kemiallisista, fysikaalisista ja mikrobiologisista ominaisuuksista (kuva 4).

Asemilla mitataan myös reaktiivisia kaasumaisia yhdisteitä, kuten ammoniakkia, ja pienhiukkasten muodostumista, sekä näiden merkitystä ilmanlaatuun ja ilmastomuutokseen. Jatkuvatoimiset kattavat mittaukset tuottavat uutta tietoa pohjoisten viljelymaiden vaikutuksista ilmastoon, vesistöihin ja ilmanlaatuun sekä näiden vaikutusten vasteista sääoloihin ja muuttuvaan ilmastoon.

SMEAR-Agri-mittausasemat ovat avoimia vieraileville tutkijoille, ja niiden toivotaan toimivan perustana lukuisille tutkimushankkeille. Asemilla mitattava kasvihuonekaasujen data tulee reaaliaikaisesti kaikkien nähtäville mm. Ilmatieteen laitoksen ja Carbon Action -alustan perustamaan Peltobservatorioon.

Mittausaineistosta lasketaan hiilen sidonnan ja kasvihuonekaasujen vaihdon vuositasaita, joiden kautta voidaan arvioida viljelyn kokonaisvaikutuksia ilmastoon eri aikajänteissä. Kaasuvaihdon kautta voidaan myös selvittää, milloin pelto toimii hiilen sitojana ja milloin sen lähteenä, milloin ja kuinka paljon typpioksiduulia vapautuu peltomaasta, tai minkälainen vaikutus laiduntamisella on peltoviljelyn metaanitaseeseen. Tämän perusteella pyritään tarkentamaan kasvihuonekaasujen vuositasaita sekä ilmastomalleja ja pääsemään kiinni siihen, miten ilmastomuutos ja mahdollisten sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen vaikuttavat peltomaan hiilensidontaan ja kasvihuonekaasupäästöihin pohjoisissa oloissa, sekä miten viljelytoimia on mukautettava muuttuviin ilmasto-oloihin. Tietoa voidaan hyödyntää edelleen poliittisessa päätöksenteossa mm. suuntaamalla maatalouden tukitoimia oikein kohdistettuihin viljelytoimenpiteisiin, jotka tukevat ilmastovaikutukset huomioivaa maataloustuotantoa.

Lisätietoa:

INAR RI Agriculture:
<https://www2.helsinki.fi/en/infrastructures/inar-ri-agriculture>
 Peltobservatorio:
<https://blog.fmi.fi/peltoobservatorio/fi/online-field-data-fi/>



KUVA: MARKKU KOSKINEN

KUVA 4. SMEAR-Agri Viikin nurmi-
kentälle kaivettiin kaksi maakuop-
paa noin 1,5 metrin syvyyteen kesäl-
lä 2021. Kuopasta käsin peltomaalle
voitiin tehdä tarkka maaprofiilikuva-
us tunnistamalla ominaisuuksiltaan
erilaisia maahorisontteja. Kustakin
maahorisontista otettiin maanäyt-
teet kemiallisia, fysikaalisia ja mikro-
biologisia laboratorioanalyysijä var-
ten. Kuvassa tutkimusteknikko Tatu
Polvinen ja opiskelija Oona Uhlgren
asentavat maahan automaattisia
kosteus-, lämpötila- ja hapetus-pel-
kistysanturit viidelle eri syvyydelle.

NEW SMEAR-AGRI MEASURING STATIONS STUDY CLIMATIC IMPACTS OF AGRICULTURE

Two long-term measuring stations on agricultural land have been established in Helsinki: SMEAR-Agri Viikki on clay soil under continuous grass cultivation (established in 2021) and SMEAR-Agri Haltiala on clay loam under cereal cultivation with no-tillage (established in 2020). The stations are maintained by the University of Helsinki and the INAR (Institute for Atmospheric and Earth System Research) to study the effects of the changing climate on food production in northern mineral soils and to quantify the impacts of climate-smart cultivation practices. The new stations belong to the network of SMEAR (Station for Measuring Ecosystem-Atmosphere Relations) stations that study the interactions between the atmosphere and various natural and managed ecosystems. In addition, the stations operate as part of a Finnish network for long-term measurement stations (INAR RI Agriculture), used for quantifying green-

house gas (GHG) emissions, carbon sequestration and nutrient loads to water bodies from agricultural mineral and organic soils in Finland. The SMEAR-Agri stations collect data with eddy covariance towers and chambers to measure the exchange of GHGs (carbon dioxide, methane, nitrous oxide) between the field and the atmosphere. Additionally, soil, crop and meteorological variables are continuously measured, and soil chemical, physical and microbiological properties are analyzed in the laboratory. The GHG data will be openly accessible and visible to everyone in real time in the Field Observatory, maintained by the Finnish Meteorological Institute and the Carbon Action Platform. The SMEAR-Agri Viikki and Haltiala stations are open to visiting researchers, and are expected to serve as a basis for many research projects, in addition to being utilized by citizens and for education.

Lähteet

Andrén, O., Kätterer, T., Karlsson, T. & Eriksson, J. 2008. Soil C balances in Swedish agricultural soils 1990–2004, with preliminary projections. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 81: 129–144. <https://doi.org/10.1007/s10705-008-9177-z>.

Bellamy, P., Loveland, P., Bradley, R., Murray, R. & Kirk, G.J.D. 2005. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature*, 437: 245–248. <https://doi.org/10.1038/nature04038>.

Beniston, J.W., Shipitalo, M.J., Lal, R., Dayton, E.A., Hopkins, D.W., Jones, F., Joynes, A. & Dungait, J.A.J. 2015. Carbon and macronutrient losses during accelerated erosion under different tillage and residue management. *Eur J Soil Sci*, 66: 218–225. <https://doi.org/10.1111/ejss.12205>.

Bossio, D.A., Cook-Patton, S.C., Ellis, P.W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., Wood, S., Zomer, R.J., von Unger, M., Emmer, I.M. & Griscom, B.W. 2020. The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nat Sustain*, 3: 391–398. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>.

Gubler ym., 2019. Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends.

Gubler, A., Wächter, D., Schwab, P., Müller, M. & Keller, A. 2019. Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends. *Environ Monit Assess*, 191: 277. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7435-y>.

Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Glob Change Biol*, 19: 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>.

Honkanen, H., Turtola, E., Lemola, R., Heikkinen, J., Nuutinen, V., Uusitalo, R., Kaseva, J. & Regina, K. 2021. Response of boreal clay soil properties and erosion to ten years of no-till management. *Soil Till Res*, 212: 105043. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105043>.

Kallenbach, C.M., Wallenstein, M.D., Schipanksi, M.E. & Grandy, A.S. 2019. Managing Agroecosystems for Soil Microbial Carbon Use Efficiency: Ecological Unknowns, Potential Outcomes, and a Path Forward. *Front Microbiol*, 10: 1146. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01146>.

Lal, R. 2007. Carbon Management in Agricultural Soils. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 12: 303–322. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9036-7>.

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. 2020. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK ry. Helsinki. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020082161330>.

Letkens, S., van Orshoven, J., van Wesemael, B., Muys, B. & Perrin, D. 2005. Soil organic carbon changes in landscape units of Belgium between 1960 and 2000 with reference to 1990. *Global Change Biology*, 11: 2128–2140. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001074.x>.

Ludwig, B., Geisseler, D., Michel, K., Joergensen, R.G., Schulz, E., Merbach, I., Raupp, J., Rauber, R., Hu, K., Niu, L. & Liu, X. 2011. Effects of fertilization and soil management on crop yields and carbon stabilization in soils. A review. *Agronomy Sust Developm*, 31: 361–372. <https://doi.org/10.1051/agro/2010030>.

Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chamber, A., Chaplot, V., Chen, Z-S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O’Rourke, S., Richer-de-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C-C., Vågen, T-G., van Wesemael, B., Winowiecki, L. 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292: 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>.

Nemitz, E., Mammarella, I., Ibrom, A., Aurela, M., Burba, G.G., Dengel, S., Gielen, B., Grelle, A., Heinesch, B., Herbst, M., Hörtnagl, L., Klemedtsson, L., Lindroth, A., Lohila, A., McDermitt, D. K., Meier, P., Merbold, L., Nelson, D., Nicolini, G., Nilsson, M.B., Peltola, O., Rinne, J. & Zahniser, M. 2018. Standardisation of eddy-covariance flux measurements of methane and nitrous oxide. *Int Agrophys*, 32 (4): 517–549. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0042>.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P. & Smith, P. Climate-smart soils. 2016. *Nature*, 532: 49–57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>.

Shi, P. & Schulin, R. 2018. Erosion-induced losses of carbon, nitrogen, phosphorus and heavy metals from agricultural soils of contrasting organic matter management. *Sci Total Environ*, 618: 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.060>.

Soussana, J.F., Allard, V., Pllegard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C., Ceschia, E., Clifton-Brown, J., Czobel, S., Domingues, R., Flechard, C., Fuhrer, J., Hensen, A., Horvath, L., Jones, M., Kasper, G., Martin, C., Nagy, Z., Neftel, A., Raschi, A., Baronti, S., Rees, R.M., Skiba, U., Stefani, P., Manca, G., Sutton, M., Tuba, Z. & Valentini, R. 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agric Ecosyst Environ*, 121 (1–2): 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.022>.

Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H.S., Lægdsmand, M., Greve, M.H. & Christensen, B.T. 2014. Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *Eur J Soil Sci*, 65 (5): 730–740. <https://doi.org/10.1111/ejss.12169>.

Witing, F., Gebel, M., Kurzer, H-J., Friese, H. & Franko, U. 2019. Large-scale integrated assessment of soil carbon and organic matter-related nitrogen fluxes in Saxony (Germany). *J Environ Manage*, 237: 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.036>.

Ilmansuojeluyhdistys myöntää vuosittain stipendejä ansioituneiden opinnäytetöiden tekijöille. Tässä lehdessä on kolme stipendin saajan kirjoittamaa artikkelia: kaksi vuodelta 2021 ja yksi vuodelta 2020.

Uudet satelliittimittalaitteet ILMANLAATUMITTAUSTEN TUKENA

Ilmanlaatua havainnoidaan perinteisesti maanpinnalla sijaitsevilla havaintolaitteilla, jotka mittaavat ilmansaasteiden pitoisuuksia välittömässä läheisyydessään.

Satelliiteista käsin tehtävien ilmanlaatumittausten tarkkuus eli resoluutio on kuitenkin viime vuosina parantunut huomattavasti, mikä on tehnyt niistä houkuttelevia välineitä ilmanlaadun seurantaan. Uudessa tutkimuksessa arvioitiin uusimman satelliittimittalaitteen, TROPOMIn, mittausten luotettavuutta Suomessa, ja verrattiin niitä perinteisen ilmanlaatuaseman mittauksiin.

Henrik Virta, tutkija, Avaruus- ja kaukokartoituskeskus, Ilmatieteen laitos

Euroopan avaruusjärjestö ESA laukaisi vuoden 2017 lokakuussa maata kiertävälle radalle Sentinel-5 Precursor -satelliitin ja sen kuljettaman TROPOMI-mittalaitteen (TROPOspheric Monitoring Instrument). TROPOMI on uusin ilmanlaatua mittaava satelliittimittalaite, jonka esi-isänä voidaan pitää vuonna 2002 NASAn Envisat-satelliitin mukana laukaistua SCIAMACHY-mittalaitetta (SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartography).

Satelliitit näkevät yhä tarkemmin

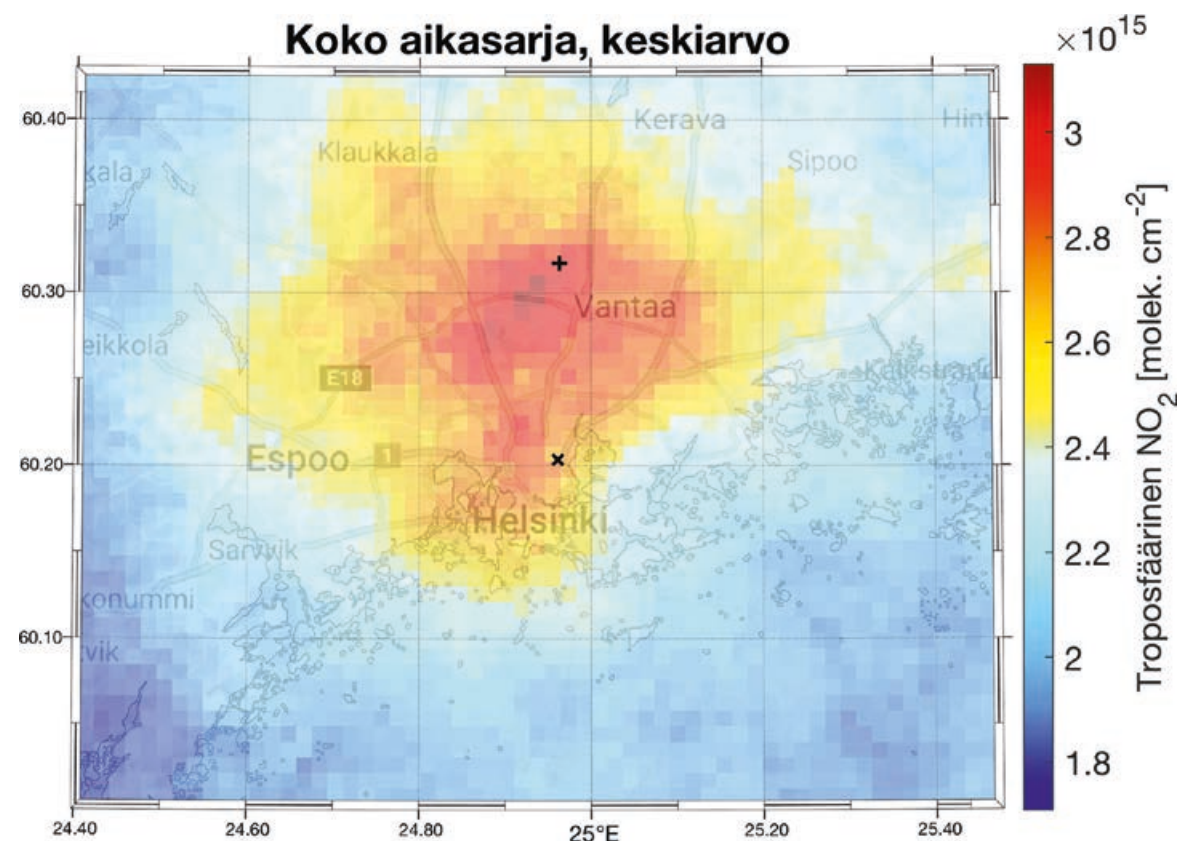
Mittalaitteiden tekniikka on kehittynyt vuosien aikana monella eri tavalla, joista eräs olennaisimmista on laitteiden tarkkuudessa eli resoluutiossa tapahtunut parantuminen. Satelliittimittaus koostuu vierekkäisistä pikseleistä samaan tapaan kuin digitaalisen kameran kuva, joten mittalaitteen resoluutio määrittää sen havaitsemisen pitoisuusvaihteluiden pienimmän koon. Kun SCIAMACHYn resoluutio oli aikanaan noin 30×60 kilometriä, on TROPOMIn resoluutio nykyään noin 5,5×3,5 kilometriä. Sen resoluutio riittää siis jo esimerkiksi havaitsemaan kaupunkien sisäisiä pitoisuusvaihteluita, minkä vuoksi sen mittauksista ovat tiedeyhteisön lisäksi kiinnostuneet esimerkiksi Suomen ympäristöministeriö.

TROPOMille asetettujen odotusten lunastamiseksi sen mittausten luotettavuus on kuitenkin säännöllisesti tarkistettava, eli ne on validoitava käyttäen saatavilla olevia vertailu- eli referenssimittauksia. Validointi on erityisen tärkeää satelliiteista käsin tehtävien hivenkaasumittausten tapauksessa (muut kuin typpi, happi ja argon), sillä ne syntyvät monimutkaisten laskenta-algoritmien ja erilaisten syötetietojen yhdistämisen tuloksena.

Säteilystä pitoisuuksiin

Avaruudesta käsin tehtävät ilmakehän hivenkaasujen ja pienhiukkasten satelliittihavainnot perustuvat ilmakehän läpi kulkevan sähkömagneettisen säteilyn mittauksiin. Ilmakehässä olevat erilaiset partikkelit ja molekyylit heikentävät eli absorboivat ilmakehän läpi kulkevaa säteilyä eri aallonpituuksilla, mikä jättää säteilyyn niille tunnusomaiset ”sormenjäljet”. Ilmakehän koostumus voidaan siten arvioida vertaamalla säteilyn voimakkuuden aallonpituusjakaumaa ennen sen matkaa ilmakehän läpi ja sen jälkeen.

Ilmakehän koostumusta mitattaessa säteilyn lähteenä toimii yleensä aurinko, jolloin satelliitit mittaavat sekä suoraan auringosta tulevaa että alapuoleltaan ilmakehstä heijastuvaa ja siroavaa auringon säteilyä. Mittausten tulokset lähetetään maa-asemalle, jossa varsinaiset laskutoimitukset suoritetaan ja lopullinen arvio eri hivenkaasujen pitoisuuksista tuotetaan. Lopputuloksena saadaan arvio jonkin hivenkaasun molekyylien lu-



TAUSTAKARTTANA ON GOOGLE MAPS.

Typidioksidin keskimääräinen alailmakehän pylväspitoisuus pääkaupunkiseudulla 19.4.–29.9.2018 välisenä aikana TROPOMI:n mittauksen perusteella. Mittaukset on sovitettu tasaväliseen hilaan, jonka resoluutio on 1×1 km. Helsingin Pandora-mittalaitteen sijainti on merkitty mustalla rastilla ja Helsinki-Vantaan lentokentän sijainti mustalla ristillä.

kumäärästä jokaisen mittalaitteen pikselin yläpuolella olevassa ilmakehän pylväässä, mikä voidaan esimerkiksi typidioksidin tapauksessa jakaa edelleen troposfääriseen (alailmakehä) ja stratosfääriseen pylväaseen.

Satelliittimittalaitteet mittaavat siis hivenkaasujen pitoisuutta koko ilmakehän (tai vain tropos-/stratosfäärin) läpi ulottuvassa pylväässä, kun taas ilmanlaatuasemat mittaavat pitoisuuksia välittömässä läheisyydessään. Niiden mittaukset edustavat siis olennaisesti erilaista osaa ilmakehästä. Auringon säteilyä käyttävät mittalaitteet ovat lisäksi tyypillisesti aurinkosynkronisella kiertoradalla, mikä tarkoittaa, että ne tekevät mittaauksensa aina samaan paikalliseen aurinkoaikaan. Esimerkiksi TROPOMI tekee mittaauksensa noin klo 13:30 paikallista aikaa, kun taas ilmanlaatuasemat tekevät mittaauksia tasaisesti koko päivän ajan. Satelliiteista käsin tehtäviä mittaauksia haittaavat lisäksi pilvet, jotka peittävät näkyvistä niiden alapuolella olevan ilmakehän.

Vertailua korkeilla leveysasteilla

TROPOMI:n varsinaisesta operatiivisesta validoinnista vastaa S5P Mission Performance Centre (S5P MPC, 2019), joka seuraa jatkuvasti mittalaitteen suorituskykyä vertaamalla sen mittaauksia ympäri maailmaa sijaitsevien vertailuasemien mittaauksiin. S5P MPC:n suorittama validointi on pitkälti automatisoitua, mutta sitä tukee myös ympäri maailmaa sijaitsevista tutkimusryhmistä koostuva S5P Validation Team. Siihen kuuluu myös Il-

matieteen laitoksen Avaruus- ja kaukokartoituskeskuksessa toimiva HIGHVAL-projekti, jonka tarkoituksena on arvioida TROPOMI:n suorituskykyä korkeilla leveysasteilla (Suomessa). Tutkittaviin mittaauksiin kuuluvat esimerkiksi typidioksidin (NO₂), otsonin (O₃), rikidioksidin (SO₂) ja metaanin (CH₄) pitoisuusmittaukset, joista typidioksidi on tässä artikkelissa tarkemman tarkastelun kohteena. NO₂ on ilmansaaste, jota syntyy pääasiassa erilaisissa palamisprosesseissa kuten polttomoottoreissa. Sen pitoisuudet ovatkin yleensä erityisen korkeita kaupungeissa, sekä suurten teollisuus- ja voimalaitosten lähistöllä.

Osana HIGHVALin toimintaa TROPOMI:n vuonna 2018 tekemät typidioksidimittaukset validoitiin käyttäen Helsingin Kumpulassa tehtäviä vertailumittaauksia. Vertailumittalaitteena käytettiin Ilmatieteen laitoksen toimitalon Dynamicumin katolla sijaitsevaa Pandora-laitetta, joka on kaupallisesti saatavilla oleva, erityisesti satelliittimittausten validointiin kehitetty mittalaitte. Se mittaa koko ilmakehän pylväspitoisuutta vastaavalla periaatteella kuin TROPOMI, mutta on sitä tarkempi ja herkempi paikallisille pitoisuusvaihteluille.

Kuvassa on esitetty TROPOMI:n mittaamien NO₂:n troposfäärin pylväspitoisuuksien keskiarvo tutkimuksen aikana. Kartta on tehty keskiarvoistamalla kaikki saatavilla olleet mittaukset resoluutioltaan 1×1 km kokoiseen hilaan, mikä mahdollistaa mittalaitteen omaa resoluutiota pienempien (keskimääräisten) pitoisuusvaihtelui-

den tarkastelun. Kartasta nähdään, että suurimmat TROPOMI:n havaitsemat pitoisuudet ovat Pohjois-Helsingissä Kehä I:n yllä, lähellä ristillä merkittyä lentoasemaa.

Kumpulan Pandora-laite (musta rasti) sijaitsee pääkaupunkiseudun mittakaavassa keskiuurten pitoisuuksien alueella. Vastaavantyyppiset kartat mahdollistavat eri alueiden yleisen ilmanlaatuilanteen arvioinnin, mikä ei ole vastaavalla tavalla mahdollista suhteellisen harvan ilmanlaatuasemaverkoston avulla. Karttoja tulkitessa on kuitenkin huomioitava satelliitti- ja maanpintamittalaitteiden väliset erot.

TROPOMI vastaan Pandora

Pandoran kanssa tehtyt vertailut osoittavat, että keskimäärin TROPOMI hieman yliarvioi NO₂:n pitoisuuksia Kumpulan alueella (noin 10 %). Tämä poikkeaa muissa vastaavankokoisissa kaupungeissa tehdyistä vertailuista, missä TROPOMI yleensä aliarvioi pitoisuuksia. Koska satelliiteista tehtävät mittaukset edustavat usean neliökilometrin kokoisen alueen keskimääräisiä pitoisuuksia, ja koska kaupunkien alueella NO₂:n paikalliset pitoisuudet vaihtelevat paljon tiheästä tiestöstä ja tuulen suunnan vaihtelusta johtuen, ovat TROPOMI:n mittaukset yleensä kaupungeissa alhaisempia kuin paikallisille pitoisuusvaihteluille herkempien vertailumittalaitteiden. Päävastainen ilmiö tapahtuu maaseudulla, missä pienetkin päästölähteet muuten alhaisten pitoisuuksien alueella johtavat satelliittimittauksissa yliarviointiin. Kumpula ja sen lähialueet edustavat siis koko maapallon mittakaavassa NO₂:n taustapitoisuuksia, vaikka Suomen mittakaavassa pääkaupunkiseutu onkin suurin yksittäinen NO₂:n lähde. Pääkaupunkiseudun asemilla mitattavat pitoisuudet ovatkin pieniä maailman suurkaupunkeihin verrattuna.

Lopuksi tutkimuksessa tarkasteltiin TROPOMI:n ja Pandoran herkkyyttä NO₂:n keskimääräiselle viikonaikaiselle vaihtelulle verrattuna Kumpulassa sijaitsevaan varsinaiseen ilmanlaatuasemaan. Sekä TROPOMI että Pandora havaitsevat vastaavan viikonaikaisen vaihtelun samalla tavalla kuin ilmanlaatuasema, vaikkakin heikompana. Lähimmäksi ilmanlaatuaseman havaitseman vaihtelun voimakkuutta pääsee TROPOMI:n mittaama troposfäärinen NO₂:n pylväspitoisuus.

Tutkimuksen perusteella TROPOMI:n voidaan todeta toimivan luotettavasti myös korkeilla leveysasteilla. Sen mittaauksia voidaan hyödyntää sellaisenaan ilmanlaadun tutkimuksessa, kunhan otetaan huomioon satelliittimittauksiin liittyvät rajoitteet ja erot perinteisiin maanpinnan tasolla tehtäviin ilmanlaadun mittaauksiin verrattuna. Lisäksi kehityksen alla on tällä hetkellä erilaisia menetelmiä, joilla varsinaisen maanpinnan tason typidioksidipitoisuus voitaisiin arvioida TROPOMI:n tekemien mittausten pohjalta. Tulevaisuudessa tällaisia arvioita voitaisiin mahdollisesti käyttää suoremmin perinteisten ilmanlaadun mittausten tukena.

NEW SATELLITE INSTRUMENTS IN SUPPORT OF AIR QUALITY MONITORING

Air quality is usually measured using ground-based air quality stations that measure concentrations in the ambient air nearby. Technical advancements in satellite sensing technology have however made space-based measurements appealing as a supporting tool in air quality monitoring. Before any applications the performance of new instruments must however first be evaluated using reference measurements.

The performance of the latest air quality -sensing satellite instrument called TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) was evaluated by comparing its nitrogen dioxide (NO₂) measurements to a reference instrument called Pandora in Helsinki. The results show that TROPOMI on average slightly overestimates NO₂ concentrations in Helsinki, which is consistent with the relatively low concentrations of NO₂ in Finland. Furthermore, TROPOMI is sensitive to the same weekly cycle of NO₂ as a reference air quality station. Based on the results TROPOMI therefore performs reliably also in the high latitude location of Finland.

Lähteet

- Bovensmann, H., Burrows, J. P., Buchwitz, M., Frerick, J., Noël, S., Rozanov, V. V., Chance, K. V., ja Goede, A. P. H. (1999). SCIAMACHY: Mission objectives and measurement modes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56, 127–150. DOI: 10.1175/1520-0469(1999)056<0127:SMOAMM>2.0.CO;2
- Komppula, B., Karppinen, T., Virta, H., Sundström, A.-M., Ialongo, I., Korpi, K., Anttila, P., Salmi, J., Tamminen, J., Lovén, K. (2021). Ilmanlaatu Suomessa ilmanlaatumittausten ja satelliittihavaintojen perusteella. Raportteja - Rapporten - Reports 2021:6. Ilmatieteen laitos, Helsinki. <http://hdl.handle.net/10138/334054>
- S5P MPC (2019). Quarterly Validation Report of the Copernicus Sentinel-5 Precursor Operational Data Products #05: April 2018 – November 2019. Sentinel-5 Precursor Mission Performance Centre. http://www.tropomi.eu/sites/default/files/files/publicS5P-MPC-IASB-ROCVR-05.0.1-20191217_FINAL.pdf
- Veefkind, J. P., Aben, I., McMullan, K., Förster, H., de Vries, J., Otter, G., Claas, J., Eskes, H. J., de Haan, J. F., Kleipool, Q., van Weele, M., Hasekamp, O., Hoogeveen, R., Landgraf, J., Snel, R., Tol, P., Ingmann, P., Voors, R., Kruizinga, B., Vink, R., Visser, H. ja Levelt, P. F. (2012). TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. *Remote Sensing of Environment*, 120, 70–83. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.027

Ulkoilman pienhiukkasten tiedetään aiheuttavan maailmanlaajuisesti merkittäviä terveyshaittoja ja useita miljoonia ennen aikaisia kuolemia vuosittain. Vaikka pienhiukkasten aiheuttamat terveysongelmat tiedetään hyvin, ei tiedetä kovin tarkkaan, mitkä hiukkaset ja päästölähteet ovat terveydelle haitallisimpia.

MUSTAN HIILEN PÄÄSTÖILLÄ ON SUURI VAIKUTUS pienhiukkasten keuhkoaltistuksessa kaupunkiympäristöissä

Diplomityön mittauksia
Helsingin Hernesaassa.

KUVA: NIINA KUITTINEN

Teemu Lepistö, väitöskirjatutkija, Tampereen yliopisto

On havaittu, että hiukkasmonitoroinnissa yleisimmin käytetyn mittarin, alle 2,5 mikrometrin kokoisten pienhiukkasten massapitoisuuden PM_{2.5}, yhteys ennen aikaisen kuoleman välillä vaihtelee ympäristön mukaan: PM_{2.5}-pitoisuus on Euroopassa keskimäärin myrkyllisempää kuin Aasiassa. Eri ympäristöissä PM_{2.5}-pitoisuus koostuu erilaisista hiukkasetta ja yhdisteistä, jolloin on ymmärrettävää, että myös terveyshaitat hiukkasmassaan liittyen ovat erilaisia. Tämä korostaa paikallisen hiukaspäästön tuntemisen merkitystä, kun hiukkasten aiheuttamia terveyshaittoja halutaan minimoida. PM_{2.5}-pitoisuuden rinnalle tarvitaan siis myös muita mittareita pienhiukkaspitoisuuden monitorointiin.

Eri ympäristöissä pienhiukkaset voivat erota koostumuksen lisäksi myös niiden aiheuttaman keuhkoaltistuksen kannalta. Hengitetyt pienhiukkaset voivat kulkeutua ihmisen hengitysteissä keuhkorakkuloihin, joissa hiukkasten sisältämät yhdisteet voivat päätyä verenkiertoon asti. Pienhiukkasten keuhkorakkuloihin kulkeutumisen tehokkuus riippuu voimakkaasti hiukkaskoosta. Tehokkaimmin keuhkorakkuloihin kulkeutuu alle 100 nm kokoiset hiukkaset.

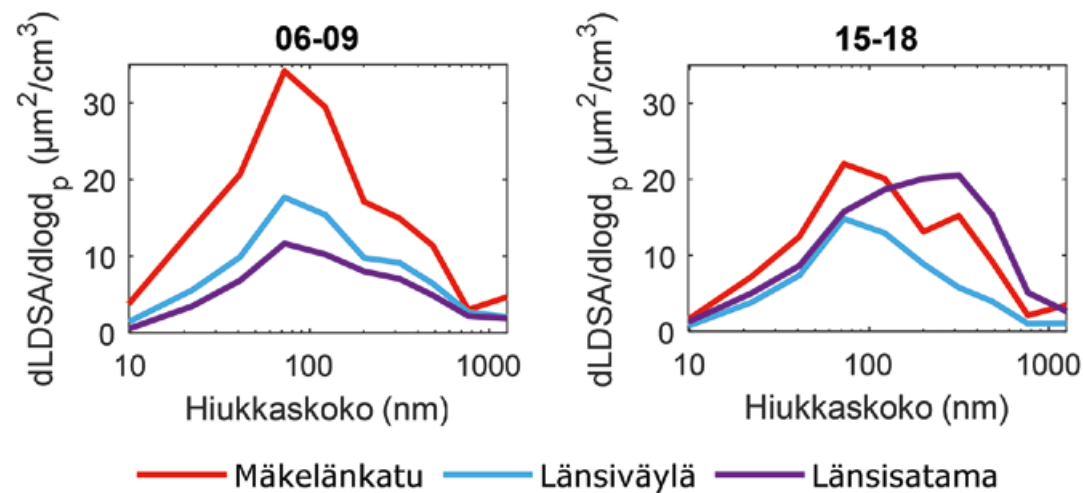
Keuhkocodepositiivinen pinta-ala LDSA (engl. Lung-deposited surface area) on mittari, joka tarkastelee keuhkorakkuloihin kulkeutuvien hiukkasten kokonaispinta-alaa. Tarkasteltavana ominaisuutena on pinta-ala, sillä on havaittu, että keuhkoihin tehokkaasti tunkeutuvien alle 100 nm hiukkasten kohdalla pinta-ala saattaa korreloida terveyshaittojen kanssa massa- tai lukumääräpitoisuutta paremmin. LDSA onkin yksi vaihtoehto hiukaspitoisuuden terveysvaikutusten arviointiin PM_{2.5}-pitoisuuden lisäksi. Yksi mahdollinen selitys PM_{2.5}-pitoisuuden erilaiselle myrkyllisyydelle Euroopan ja Aasian välillä voikin olla se, että alle 100 nm hiukkasten osuus kaikkien hiukkasten lukumäärästä on Euroopassa suurempi, jolloin sama PM_{2.5}-pitoisuus tarkoittaa suurempaa LDSA-pitoisuutta.

Koska LDSA-pitoisuus riippuu vahvasti hiukkaskoosta, myös erilaisten hiukaspäästöjen aiheuttama LDSA vaihtelee huomattavasti. Erityisesti musta hiili on kiinnostava hiukkastyypin LDSA:n kannalta. Mustan hiilen hiukkaset, eli nokihiukkaset, syntyvät epätydellisen palamisen myötä esimerkiksi eri kulkuneuvojen moottoreissa ja puun polton yhteydessä. Mustan hiilen hiukkaset ovat yleensä n. 30–300 nm kokoisia hiukkasia, jolloin ne ovat vielä niin pieniä hiukkasia, että ne kulkeutuvat tehokkaasti ihmisten keuhkoihin, mutta toisaalta ne ovat myös sen verran suuria, että ne aiheuttavat keuhkoissa suuren altistuspinta-alan. Toisin sanoen musta hiili voi olla merkittävä LDSA-pitoisuuden aiheuttaja.

Mustan hiilen suuri pinta-ala mahdollistaa myös sen, että ilmassa olevat muut yhdisteet saattavat tiivistyä mustan hiilen hiukkasten pinnoille. Mustan hiilen hiukkaset siis tarjoavat suuren tiivistymisalustan erilaisille päästölähteistä vapautuneille kaasumaisille yhdisteille, jotka voivat olla ihmiselle myrkyllisiä. Kaikkiaan mustan hiilen ominaisuudet siis mahdollistavat sen, että se voi kerätä pinnoilleen mahdollisesti myrkyllisiä kaasumaisia yhdisteitä, ja sopivan kokonsa myötä se voi kuljettaa nämä yhdisteet tehokkaasti ihmisen keuhkorakkuloihin.

Diplomityöni Mustan hiilen ja pienhiukkasten keuhkocodepositiivisen pinta-alan yhteys eri kaupunkiympäristöissä tarkastelee keuhkoihin kulkeutuvien hiukkasten pitoisuuksia ja ominaisuuksia kolmessa eri pääkaupunkiseudun kaupunkiympäristössä. Lisäksi työssä arvioidaan, kuinka musta hiili vaikuttaa hiukkasten aiheuttamaan

Esimerkit tutkimusympäristöissä mitatuista LDSA-pitoisuuksista hiukkaskoon funktiona



LDSA-pitoisuuteen. Työn mittausympäristöt ovat Mäkelänkadun katukuilu, Länsiväylän moottoritie sekä Länsisatama. Mittaukset järjestettiin elokuussa 2019. Diplomityön lisäksi työn aiheista on valmisteilla tieteellinen julkaisu, joka on tällä hetkellä vertaisarvioinnissa.

Keuhkoihin päätyvien hiukkasten ominaisuudet

Diplomityön mittauksissa havaittiin, että keuhkoihin päätyvien hiukkasten koot eroavat eri ympäristöissä. Länsiväylällä sekä aamu- että iltaruuhkan aikana LDSA-pitoisuutta aiheuttivat eniten 50–200 nm kokoiset hiukkaset, mikä on varsin tyypillinen tulos liikenneympäristöissä. Suuri LDSA-pitoisuus kyseisessä hiukkaskoossa selittyy esimerkiksi juuri mustan hiilen hiukkasilla, joita syntyy autojen moottoreissa. Työn toisessa liikenneympäristön mittauskohteessa Mäkelänkadulla korostuu myös 50–200 nm kokoisten hiukkasten osuus LDSA-pitoisuudessa. Länsiväylästä poiketen Mäkelänkadulla myös suuremmat n. 300–400 nm hiukkaset aiheuttavat varsinkin iltaruuhkan aikana huomattavasti LDSA:ta.

Tämä havainto viittaaakin siihen, että samankaltaisen päästölähteen, eli ajoneuvoliikenteen, aiheuttama keuhkoaltistus voi vaihdella ympäristön mukaan. Esimerkiksi Mäkelänkadulla suurempien hiukkasten vaikutusta selittää se, että katukuilussa ilma vaihtuu moottoritieympäristöä heikommin, jolloin hiukkaset ovat Mäkelänkadulla keskimäärin ikääntyneempiä, mikä näkyy myös suurempana hiukkaskokona. Mäkelänkadulla mitatut LDSA-pitoisuudet ovat myös huomattavasti korkeampia kuin Länsiväylällä, mikä tarkoittaa, että katukuilussa hiukaspäästölle altistuminen on todennäköisempää kuin avoimella alueella olevan moottoritien vieressä.

Länsisatamassa puolestaan iltapäivällä mitattujen hiukkasten LDSA-pitoisuudessa korostuu jopa n. 500 nm kokoiset hiukkaset. Tämä viittaa siihen, että satamassa altistutaan huomattavasti suurempikokoisille hiukkasille kuin ajoneuvoliikenneympäristöissä. Tämä eroavaisuus ympäristöjen välillä osoittaa, että laivaliikenteellä on merkittävä vaikutus satama-alueiden ilmanlaatuun. Suurempi hiukkaskoko viittaa jälleen esimerkiksi hiukaspäästöjen ikääntymiseen. Laivamoottoreista vapautuneet päästöt ehtivätkin ikääntyä ilmakehässä ennen kuin ne kulkeutuvat satama-alueille.

Eroavaisuudet keuhkoihin päätyvien hiukkasten koossa voivat viitata erilaisiin terveysvaikutuksiin. Erilainen hiukkaskoko viittaa esimerkiksi erilaiseen kemialliseen koostumukseen. Suurempi hiukkaskoko voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että hiukkasten pinnoille on tiivistynyt muita päästölähteistä vapautuneita kaasumaisia yhdisteitä. On oletettavaa, että näillä yhdisteillä on ihmisen terveyteen vaikuttavia ominaisuuksia.

Mustan hiilen vaikutus

Työn mittauksissa havaittiin, että kaikissa mittausympäristöissä LDSA-pitoisuus painottuu samoihin hiukkaskokoihin kuin mustan hiilen hiukkaset. Tämä viittaa siihen, että mustalla hiilellä voisi olla hyvin suuri merkitys hiukkasten aiheuttamassa keuhkoaltistuksessa. Kun tarkastellaan mustan hiilen ja LDSA:n pitoisuuksien välistä yhteyttä, havaitaan, että pitoisuudet korreloivat vahvasti kaikissa työn mittausympäristöissä.

Kun lasketaan LDSA:n ja mustan hiilen pitoisuuksien keskimääräinen suhde, voidaan arvioida, kuinka suuri osuus ympäristöjen LDSA-pitoisuuksista liittyy mustan hiilen päästöihin. Mustan hiilen päästöjen keskimääräinen osuus ympäristöjen LDSA-pitoisuuksissa havaittiin olevan Mäkelänkadulla 32,6 %, Länsiväylällä 36,0 % ja Länsisatamassa 40,6 %.

Vastaavasti mustan hiilen osuus alle mikrometrin kokoisten hiukkasten massapitoisuudesta oli Mäkelänkadulla 14,3 %, Länsiväylällä 14,6 % ja Länsisatamassa 7,3 %. Nämä tulokset osoittavat, että mustalla hiilellä on merkittävä rooli kaupunkiympäristöjen ilmanlaadussa hiukkasten keuhkoaltistuksen kannalta, vaikka mustan hiilen osuus kaikkien hiukkasten massapitoisuudesta on suhteellisen pieni.

Mustan hiilen päästöihin liittyvä suuri LDSA-pitoisuus riippuu päästölähteistä vapautuneista muista päästöistä. Esimerkiksi Länsisataman tuloksessa huomataan, että mustan hiilen päästöjen osuus LDSA-pitoisuudesta on suurin muihin ympäristöihin verrattuna, vaikka osuus massapitoisuudesta on huomattavasti pienempi kuin liikenneympäristöissä. Mustan hiilen hiukkaset kuljettavatkin muita päästölähteistä vapautuneita yhdisteitä ihmisen keuhkoihin, sillä päästön ikääntyessä nämä yhdisteet tiivistyvät mustan hiilen hiukkasten pinnoille.

Kuinka pienhiukkasten vaikutusta kaupunkien ilmanlaatuun tulisi arvioida?

Työn tuloksissa havaittiin, että mustan hiilen osuus LDSA-pitoisuudesta on huomattavasti suurempi kuin mustan hiilen osuus hiukkasten massapitoisuudesta. On siis mahdollista, että mustan hiilen terveysvaikutuksia voidaan aliarvioida, jos niitä tarkastellaan massapitoisuuden perusteella. Massapitoisuuden tarkastelu ei anna vastausta hiukkasten roolista keuhkoaltistuksessa.

Tässä työssä havaittiin, että mustalla hiilellä on merkittävä rooli yhdisteiden kulkeutumisessa ihmisten keuhkoihin kaupunkiympäristöissä. On varsin oletettavaa, että näillä yhdisteillä on ihmisen terveyteen liittyviä vaikutuksia. Toisaalta tilanteen tarkastelu LDSA-pitoisuuden avulla voi myös yliarvioida mustan hiilen ter-

veysvaikutuksia. Jos kaupunkiaerosolista otettaisiin kaikki mustan hiilen hiukkaset pois, kulkeutuisivat muut yhdisteet keuhkoihin todennäköisesti joidenkin muiden mekanismien avulla, vaikka tämä kulkeutuminen olisi todennäköisesti hieman vähäisempää. Toisin sanoen mustan hiilen hiukkasten poistaminen ei todennäköisesti vähentäisi suoraan kaupunkien LDSA-pitoisuutta tulosten mukaista 32,6–40,6 %.

Työn tulokset korostavat, että hiukaspitoisuutta on tärkeä arvioida monilla eri menetelmillä, jotta ympäristön pienhiukkasis-ta saadaan kokonaisvaltainen käsitys. Pelkän massapitoisuuden avulla ei saada selville eri hiukaspäästöjen terveysvaikutuksia kaupunki-ilmassa, mikä on havaittavissa myös siinä, että yhtä suuren massapitoisuuden myrkyllisyys on erilainen eri maissa ja kaupungeissa. Esimerkiksi LDSA:n ja mustan hiilen pitoisuuksien avulla saadaan jo huomattavasti laajempi kuva pienhiukkasten mahdollisista terveysvaikutuksista. Useamman eri pitoisuusyksikön monitorointi useissa eri ympäristöissä voisi siis antaa tärkeää lisätietoa esimerkiksi epidemiologisia tutkimuksia varten, kun arvioidaan pienhiukkasten terveysvaikutuksia.

Diplomityö on tehty Tampereen yliopiston aerosolifysiikan laboratoriossa. Työ on osa Euroopan unionin tutkimuksen ja innovoinnin Horizon 2020 -puiteohjelman TUBE-hanketta (sopimus No 814978) sekä BC Footprint-projektia (530/31/2019), jonka on rahoittanut Business Finland sekä projektiin osallistuvat yritykset.

Viitteet

Brown, D. M., M. R. Wilson, W. MacNee, V. Stone, and K. Donaldson. 2001. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: a role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicology and Applied Pharmacology* 175 (3):191–9.

Cohen A.J., M. Brauer, R. Burnett, H. R. Anderson, J. Frostad, K. Estep, K. Balakrishnan, B. Brunekreef, L. Dandona, R. Dandona, et al. 2017. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015, *The Lancet* 389 (10082):1907-1918.

ICRP (1994). Human respiratory tract model for radiological protection. Vol. 66. 24.

Krasowsky, T. S., G. R. McMeeking, D. Wang, C. Sioutas, G. A. Ban-Weiss. (2016). Measurements of the impact of atmospheric aging on physical and optical properties of ambient black carbon particles in Los Angeles. *Atmospheric Environment* 142, 496-504.

Kumar, P., Robins, A., Vardoulakis, S. and Britter, S. (2010). A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls. *Atmospheric Environment* 44.39, 5035–5052.

Li, X., Jin, L. and Kan, H. (2019). Air pollution: a global problem needs local fixes *Nature*, 570 (7762), pp. 437-439.

gasmet

Stressitöntä päästömittausta

Emme voi taata täydellistä työ- ja perhelämää, mutta voimme vakuuttaa tekevämme kaikkemme helpottaaksemme työtäsi.

Luotettavat päästömittauslaitteistot ovat avainasemassa laitoksen toiminnan varmistamisessa. Lisäksi nopea ja laadukas huolto, joka tukee sinua koko investoinnin elinkaaren ajan, keventää taakkaasi ja voit keskittyä muihin tehtäviin.

Tämän kaiken sinulle tarjoaa Gasmet

Tutustu meihin tarkemmin osoitteessa www.gasmet.com

contact@gasmet.fi / +358 9 7590 0400

LAIVAPOLTTOAINEEN RIKKIRAJOITUSTEN VAIKUTUS

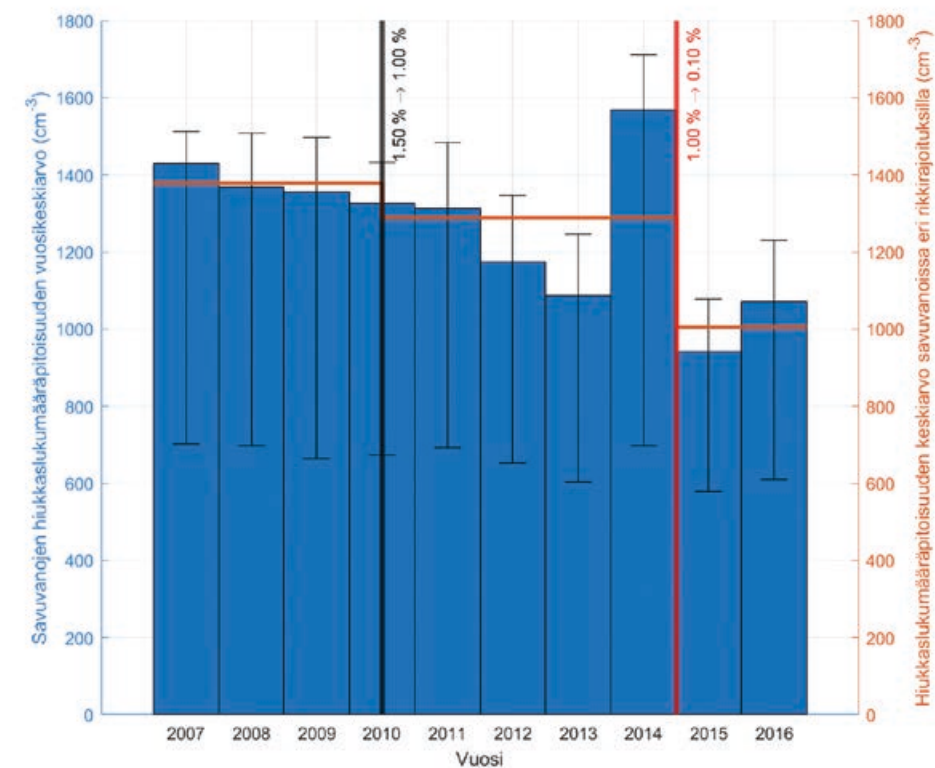
ilmakehän aerosolihiukkasten ominaisuuksiin Itämerellä

Laivaliikenteestä syntyvillä ilmakehäpäästöillä on merkittäviä ympäristö- ja terveysvaikutuksia erityisesti rannikoilla ja niiden läheisyydessä. Viime vuosikymmeninä kansainvälisillä vesillä ja varsinkin erityisherkillä alueilla, kuten Itämerellä, laivojen päästöille on asetettu asteittain tiukkenevia rajoituksia. Tarkastelin tutkielmassani laivapolttoaineen rikkipitoisuudelle asetettujen rajoitusten vaikutusta laivojen synnyttämiin ilmakehän pienhiukkaspäästöihin.



Kuva 1: Eri ilmansuuntasektorit kuvattuna mittausaseman katolta: ylämpänä satama, keskellä läheinen laivaväylä ja alimpana kaukaiset laivaväylät.

KUVA MUOKATTU SEPPÄLÄ 2020 DIPLOMITYÖSTÄ.



KUVA MUOKATTU ARTIKKELISTA SEPPÄLÄ ET AL. (2021).

Kuva 2: Vuosittaiset keskiarvot laivojen savuvanoista mitatuille hiukkaslukumääräpitoisuuksille vuosina 2007–2016 eri rikkirajoitusten aikaan. Siniset pylväät kuvaavat vuosittaisia keskiarvoja. Oranssit poikkiviivat kuvaavat hiukkaslukumäärien keskiarvoja eri rikkirajoitusten aikana.

Sami Harni, tutkija, Ilmatieteenlaitos

Laivojen on havaittu huonontavan ilmanlaatua rannikkoalueilla, sillä ne tuottavat alailmakehään otsonia, rikkiä ja pienhiukkasia. Laivapäästöjen on yleisesti ajateltu viilentävän ilmastoa, koska laivaliikenteessä syntyvät hiukkaset sisältävät valoa heijastavia yhdisteitä, kuten sulfaattia. Tähän olettamukseen liittyy kuitenkin epävarmuuksia, ja esimerkiksi arktisilla alueilla laivapäästöjen vaikutus ilmastoon voi olla myös lämmittävä.

Tutkielmassani tarkasteltiin kahden rikkirajoituksen muutoksen vaikutusta laivojen aiheuttamiin pienhiukkaspäästöihin laivaväyliä läheisyydessä. Nämä muutokset olivat laivapolttoaineen rikkipitoisuuden enimmäismäärän muuttuminen 1,50 %:sta 1,00 %:iin 1.6.2010, sekä 1,00 %:sta 0,10 %:iin 1.1.2015. Tutkitut hiukkasten ominaisuudet olivat pienhiukkasten lukumäärä ja kokojakauma ilmakehässä ja havaituissa laivojen savuvanoissa. Myös savuvanojen ikääntymistä eri rikkirajoitusten aikana tarkasteltiin.

Pienhiukkasmittaukset Utön saarella

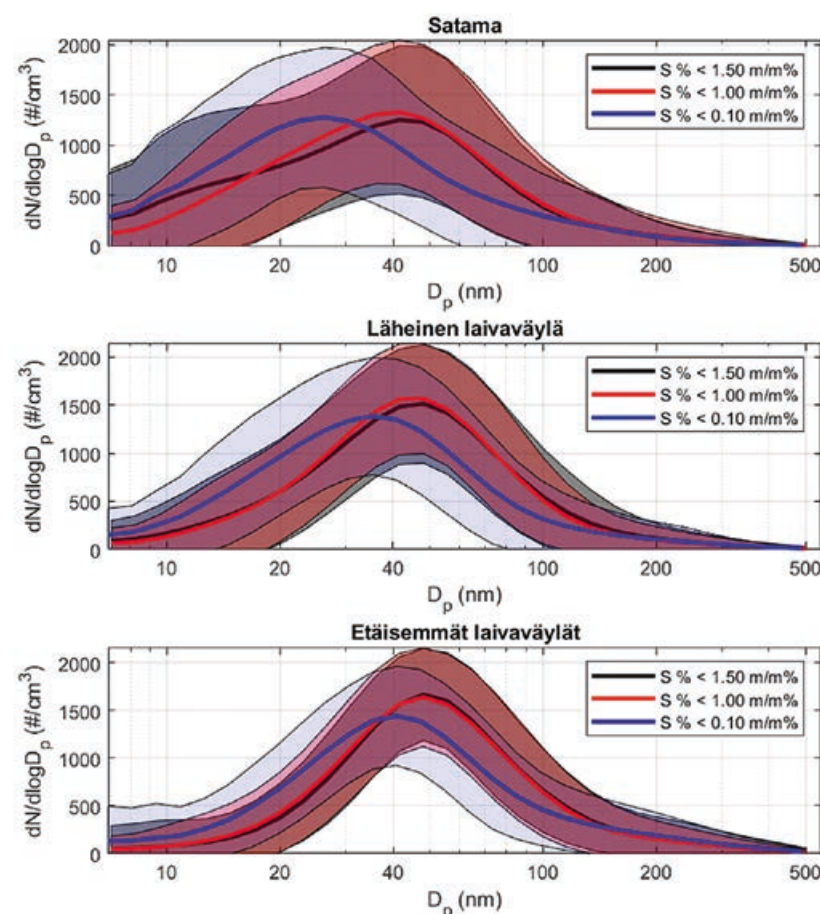
Tutkimuksessa käytetyt aikasarjat mitattiin Utön saarella (59° 47'N, 21° 23'E) aikavälillä 11.1.2007–31.12.2016. Mittaus kattaa kymmenen vuoden ajanjakson ja tarjoaa ainutlaatuisia tietoja rikkirajoitusten muutosten vaikutuksista. Työssä käytetyt hiukkaskokojakaumat ja lukumääräpitoisuudet mitattiin differentiaalisella hiukkaskokoluokittelijalla (DMPS), joka mittasi hiukkasia kokovälillä 7–538 nm.

Tästä datasta saatiin eriteltyä yhteensä 43500 erillistä laivapäästöepisodia Ilmatieteenlaitoksella kehitettyä laivojen savuvanojen eli päästöpluumien tunnistustekniikkaa soveltaen. Erilaisilta etäisyyksiltä saapuvien päästöjen tarkastelemiseksi savuvanan jaettiin myös kolmeen ilmansuuntasektoriin: satama (~500 m), läheinen laivaväylä (1–2 km), ja etäämpänä sijaitsevat laivaväylät (8–50 km). Löydettyistä savuvanoista yhteensä noin 22000 jakautuivat kolmelle edellä mainitulle sektorille. Kuvassa 1 on esitettyä nämä ilmansuunnat kuvattuna mittausaseman katolta.

Rikkirajojen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin

Kuva 2 esittää laivojen savuvanojen keskimääräiset hiukkaslukumääräpitoisuudet vuosittain näyttäen niiden muutokset mittausjakson aikana. Tulokset osoittivat selkeästi, että pienhiukkasten pitoisuudet laivojen savuvanoissa pienenevät rikkirajojen tiukentuessa. Ensimmäisen tarkastellun rajoituksen muuttuessa pienhiukkaspitoisuudet vähenivät 7 % ja toisen muutoksen jälkeen 22 %. Kokonaisuudessaan konsentraatiot laskivat savuvanoissa 27 %.

Kuvassa 3 on esitettyä hiukkasten lukumääräkokojakaumat eri sektoreille ja rikkirajoituksille. Keskiarvot on laskettu konsentraatioista, jotka on kaikki normalisoitu 1000 cm⁻³ konsentraatioon. Näin ollen kuvaajista ei ole näkyvissä konsentraatioiden muutosta vaan vain jakaumien muoto. Kuvaajista voidaan havaita, että läheiseltä ja kaukaisilta laivaväyliltä tulevilla laivojen savuvanoilla jakauman muoto ei juurikaan muutu ensimmäisen rikkirajoituksen jälkeen. Toinen rajoitus kuitenkin siirsi selvästi jokaisella sektorilla jakauman



Kuva 3: Laivojen savuvanojen hiukkaskokojakaumat eri sektoreilla eri rikkirajoitusten aikana. Vaaleat värit kuvaavat jakauman keskihajontaa.

moodia pienempään hiukkaskokoon. Rikkirajoitukset eivät näyttäneet vaikuttavan jakauman muotoon yli 150 nm kokoisille hiukkasille.

Työn johtopäätökset

Rikkirajoitusten ja varsinkin jälkimmäisen rikkirajoituksen muutoksen 1,00 %:sta 0,10 %:iin huomattiin vaikuttavan merkittävästi ilmakehän pienhiukkaspitoisuuksiin. Rikkirajoitusten tiukentaminen johti noin 32 %:n laskuun ilmakehän kokonaishiukkaskokumääräpitoisuuksessa sekä noin 27 %:n laskuun laivojen savuvanojen hiukkaskokumäärissä. Samaan aikaan pitoisuuksien pienentyessä savuvanoissa hiukkaskoot pienenevät ja muutos oli suurin pienimpien kokoluokkien hiukkasilla (34–108 nm).

Myös viitteitä rikkipitoisuuden rajoittamisen vaikutuksista hiukkasten ikääntymiseen oli nähtävissä. Näitä vaikutuksia ei kuitenkaan pystytty työssä selvästi osoittamaan. Rikkirajoitusten huomattiin vaikuttavan myös suoraan tausta-aerosolin hiukkaskokumääräpitoisuuksiin niin, että tiukemmat rikkirajoitukset laskivat tausta-aerosolin lukumääräpitoisuutta. Tämä antaa viitteitä siitä, että laivojen päästöjen vaikutus alueen lukumääräpitoisuuksiin voi olla selvästi suurempi kuin savuvanojen suora 4–8 %:n osuus pitoisuudesta.

Tuloksista on laadittu tieteellinen artikkeli, joka on julkaistu Atmospheric Chemistry and Physics -lehdessä (Seppälä et al., 2021).

Kirjoittajan sukunimi on vaihtunut kesällä 2021 Seppälästä Harniksi.

Viitteet

- Fuglestad, J., Bernsten, T., Eyring, V., Isaksen, I., Lee, D. S. and Sausen, R., 2009. Shipping Emissions: From Cooling to Warming of Climate—and Reducing Impacts on Health. Environmental science & technology, 43(24), pp. 9057-9062.
- Eyring, V., Isaksen, I. S. A., Bernsten, T., Collins, W. J., Corbett, J. J., Endresen, O., Grainger, R. G., Moldanova, J., Schlager, H. and Stevenson, D. S., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. Atmospheric Environment, 44(37), pp. 4735-4771.
- Kivekäs, N., Massling, A., Grythe, H., Lange, R., Rusnak, V., Carreno, S., Skov, H., Swietlicki, E., Nguyen, Q. T., Glasius, M. and Kristensson, A., 2014. Contribution of ship traffic to aerosol particle concentrations downwind of a major shipping lane. Atmospheric Chemistry and Physics, 14(16), pp. 8255-8267.
- Pope, C. A., 1996. Adverse health effects of air pollutants in a nonsmoking population. Toxicology, 111(1), pp. 149-155.
- Schwartz, J., Dockery, D. W. and NEAS, L. M., 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles? Journal of the Air & Waste Management Association (1995), 46(10), pp. 927.
- Seppälä, S., Kuula, J., Hyvärinen, A.-P., Saarikoski, S., Tönkkö, Topi., Keskinen, J., Jalkanen, J.-P., and Hilka, T., 2021 Effects of marine fuel sulfur restriction on particle number concentration and size distributions in ship plumes in the Baltic Sea, Atmospheric Chemistry and Physics, 21, 3215–3234.
- Seppälä Sami, 2020, Effects of marine fuel sulfur restrictions on particle properties in atmospheric aerosol at the Baltic Sea, Diplomityö, Tampereen yliopisto.
- Landis, M. S., Norris, G. A., Williams, R. W. and Weinstein, J. P., 2001. Personal exposures to PM2.5 mass and trace elements in Baltimore, MD, USA. Atmospheric Environment, 35(36), pp. 6511-6524.

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



www.ax.fi

Toimintamme on
sertifioitu
ISO9001
standardin mukaisesti

ORGANISATION
CERTIFIED BY
Inspecta
ISO 9001

FINAS
Finnish Accreditation Service
T232 (EN ISO/IEC 17025)

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 17025:2017 vaatimukset.

TIETEIDEN YÖ

ISY osallistuu Tieteiden yöhön teemalla "Kysy asiantuntijalta ilmanlaadusta ja ilmastosta". Tieteiden yö järjestetään 20.1.2022 klo 17-21 Tieteiden talon väistötiloissa Töölössä Aalto-yliopiston tiloissa osoitteessa Runeberginkatu 14-16. Tule mukaan keskustelemaan!



HALLITUS / STYRELSE

Puheenjohtaja / Ordförande

Anu Kousa

Varapuheenjohtaja / Viceordförande

Maija Leino

Jäsenet / Medlemmar

Suvi Haaparanta
Helena Kivi-Koskinen
Ville-Veikko Paunu
Kari Wellman

Varajäsenet / Suppleanter

Antti Hyvärinen
Rea Oikonen
Tuula Pellikka
Janne Ruuth

ILMANSUOJELUYHDISTYS

Ilmansuojeluyhdistys (ISY) toimii alansa valtakunnallisena ympäristönsuojelujärjestönä. Ilmansuojeluyhdistyksen tarkoituksena on edistää ilmansuojelua ja ilmansuojelututkimusta Suomessa sekä toimia yhdyskseenä 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 koulutusta sekä keskustelutilaisuuksia
3. järjestää ekskursioita kotimaassa ja ulkomailla
4. tiedottaa ajankohtaisista ilmansuojeluasioista jäsenlehdessään
5. antaa lausuntoja ja tekee esityksiä alansa kuuluvista asioista
6. harjoittaa julkaisu- ja tiedonvälitystä
7. osallistuu kansainväliseen tiedonvaihtoon

LUFTVÅRDSFÖRENINGEN

Luftvårdsföreningen fungerar som nationell miljövårdsförening. Luftvårdsföreningens syfte är att främja luftvärden 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 publikationer
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 luftvårdsarbetet

YHTEYSTIEDOT / KONTAKT

Ilmansuojeluyhdistys ry.

Sihteeri Essi Haapaniemi
PL 136,
00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi

www.isy.fi

[@ISY_fi](https://twitter.com/ISY_fi)

www.facebook.com/ilmansuojeluyhdistys

FINNISH AIR POLLUTION PREVENTION SOCIETY

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

> 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



Kuva: Visit Pori/Topi Vuori

Luvassa ajankohtaisia tietoja ilmanlaadun seurannasta.
Tutustu mittaajatapaamiseen: www.isy.fi

PORI

KIRJOITTAJAT 4/2021

SAMI HARNI

tutkija
Ilmatieteenlaitos
sami.seppala@fmi.fi

SAIJA KORHONEN

ilmansuojeluasiantuntija
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY
saija.korhonen@hsy.fi

TEEMU LEPISTÖ

väitöskirjatutkija
Tampereen yliopisto
teemu.lepisto@tuni.fi

ANNALEA LOHILA

apulaisprofessori
Ilmatieteen laitos
annalea.lohila@fmi.fi

NOORA MANNINEN

tohtorikoulutettava
Helsingin yliopisto
noora.manninen@helsinki.fi

TUUKKA PETÄJÄ

professori
Ilmakehätieteiden keskus INAR,
Helsingin yliopisto
tuukka.petaja@helsinki.fi

MARI PIHLATIE

professori
Helsingin yliopisto
mari.pihlatie@helsinki.fi

MIKKO SKOGBERG

tohtorikoulutettava
Helsingin yliopisto
mikko.skogberg@helsinki.fi

HILKKA TIMONEN

ryhmäpäällikkö
Ilmatieteen laitos
hilkka.timonen@fmi.fi

HENRIK VIRTÄ

tutkija
Avaruus- ja kaukokartoituskeskus,
Ilmatieteen laitos
henrik.virta@fmi.fi

