

IS

4 | 2022

ILMANSUOJELU

MUSTA HIILI JA ULTRAPIENET HIUKKASET kaupunki-ilmassa
– seurannan hyödyt ja WHO:n suositukset s.4

PIENTEN HCL-PÄÄSTÖPITOISUUKSIEN mittaamisen haasteet s.10

UUTTA ILMANLAADUN TÄSMÄTIETOA ja liikkuvia mittauksia s.14

PUUN PIENPOLTON SAVUHAITTATAPAUSTEN KÄSITTELY s.16

Improving the Finnish Doppler lidar network's
capability for **AEROSOL OBSERVATIONS** s.20

Kasvihuonekaasupäästöjen seurantaa
TOMOGRAFIKUVANTAMISEN KEINON s.24



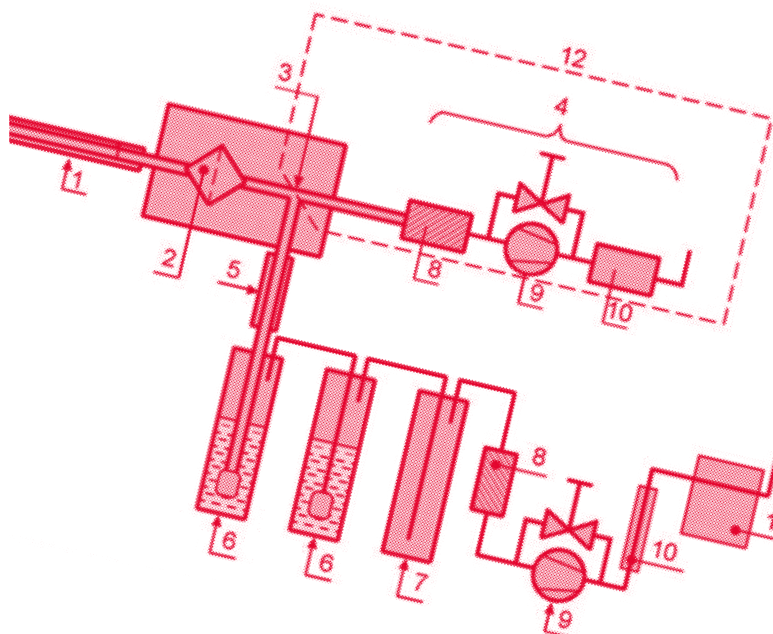
4

Kaupunki-ilman ultrapienien hiukkasten ja mustan hiilen seuranta tuo uutta ja tarkempaa tietoa mm. liikenteen pakokaasujen ilmanlaatuvaikutuksista ja -trendeistä.

KUVA © HSY/JARKKO NIEMI

10

Uudet BAT-päätelmät asettavat alhaisempia päästötasoja usealle ilmaan vapautuvalle komponentille.



16

Naapurin kokeman savuhaitan voimakkuus ja viranomaisen haitan rajoittamismahdollisuus eivät aina kohtaa.

KUVA KRUT COLLECTIVE AB OY

24

Avoimen säteen lasermittauksiin yhdistetyllä kolmiulotteisella kaasuvirtausmallinnuksella pyritään määrittämään kasvihuonekaasu-lähteiden ja -nielujen sijainnit ja voimakkuudet.



SISÄLLYS 4/2022

- 4 MUSTA HIILI JA ULTRAPIENET HIUKKASET kaupunki-ilmassa – seurannan hyödyt ja WHO:n suositukset
- 10 PIENTEN HCL-PÄÄSTÖPITOISUUKSIEN mittaamisen haasteet – Heroes-projektin havaintoja
- 14 Urbaani ilmanlaatu 2.0 -hanke: UUTTA ILMANLAADUN TÄSMÄTIETOA ja liikkuvia mittauksia
- 16 Uusi ohje viranomaisille: PUUN PIENPOLTON SAVUHAITTATAPAUSTEN KÄSITTELY
- 20 Improving the Finnish Doppler lidar network's capability for AEROSOL OBSERVATIONS
- 24 Kasvihuonekaasupäästöjen seurantaa TOMOGRAFIKUVANTAMISEN KEINAIN
- 28 VALOKEILASSA: Tiina Koljonen
- 29 TAPAHTUU: ISY:n opintomatka: Tuulesta temmattu - Perämerestä Persianlahti

Tupruttavaa talvea?

Sähkönhinta on noussut ja sillä on monia vaikutuksia. Myös ilmanlaatuun. Erityisesti pientaloalueilla puunpoltto on tärkeä lisäkeino, jonka avulla taloja lämmitetään ja pidetään samalla lämmityskuluja aisoissa. Näyttää siltä, että tänä talvena yhä useampi aikoo lämmittää kotiaan takassa roihuavalla tulella.

Näyttäisi myös siltä, että puuta aikovat polttaa myös sellaiset pientaloasujat, jotka eivät ole säännöllisesti käyttäneet tulipesiään. Silloin on saattanut unohtua järkevät tavat polttaa puuta ja seurauksena saattaa olla savuhaittoja. Myös liian pitkä nuohousväli aiheuttaa runsaampaa savuttamista. Mitä kylmempi talvesta tulee, sitä enemmän haittoja on luvassa. Tulevan talven ilmanlaatumittauksista näemme kuinka asiassa käy.

Tässä lehdessä on jälleen tuhti lukupaketti ilmansuojeluasioita. Ensimmäisessä artikkelissa käsitellään kaupunki-ilman ultrapienien hiukkasten ja mustan hiilen seuranta. WHO antoi parhaiden käytäntöjen suosituksia ohjearvopäivityksen yhteydessä syksyllä 2021. Näiden seurauksena on tarkoitus saada uutta ja tarkempaa tietoa etenkin liikenteen pakokaasujen, puunpolton savujen ja muiden polttoperaisten lähipäästöjen ilmanlaatuvaikutuksista ja -trendeistä.

Toisessa artikkelissa kerrotaan pienten HCl-päästöpitaisuuksien mittaamisen haasteista. Alhaiset pitaisuudet tarkoittavat sitä, että päästömittaajan on kyettävä entistä vaativampiin ja laadukkaampiin mittauksiin. Näihin mittaushaasteisiin on paneuduttu vuonna 2022 julkaistussa BATE-hankkeen loppuraportissa.

Seuraavassa artikkelissa kerrotaan ympäristöministeriön julkaisemasta uudesta ohjeesta ”Puun pienpolton savuhaittatapusten käsittely”. Ohjeen on tarkoitus selkiyttää ja tehostaa viranomaisten yhteistyötä, työnjakoa ja menettelyä savuhaittatilanteissa. Ohje on suunnattu erityisesti kuntien terveyden- ja ympäristösuojeluviranomaisille.

Lehdessä kerrotaan myös Urbaani ilmanlaatu 2.0 -hankkeesta, jonka tavoitteena on luoda uutta ilmanlaadun täsmätietoa ja kehittää liikkuvia mittauksia. Hankkeessa pyritään kasvattamaan ihmisten tietoisuutta ilmanlaadusta parantamalla ilmanlaatu-tiedon käytettävyyttä ja kiinnostavuutta.

ISY palkitsee vuosittain ansioituneita opinnäytetöiden tekijöitä stipendein. Tässä lehdessä kaksi stipendin saanutta opiskelijaa kertoo tutkimuksistaan. Pääsemme myös mukaan ISY:n opintomatkalle Kokkolan suurteollisuusalueelle ja Raahen SSAB te-rästehtaalle.

Minun matkani Ilmansuojelu-lehden päätoimittajana päättyy tähän lehteen. On ollut ilo ja kunnia olla mukana tekemässä tärkeää järjestötyötä lehden muodossa kahden vuoden ajan. Kiitos kaikille antoisasta yhteistyöstä. Erityiskiitos toimituskunnan jäsenille toimivasta yhteispelistä. Toivon ISY:lle kaikkea hyvää tulevaisuuteen!

Lämpimin ajatuksin,

LIINA PALOHEIMO-KOSKIPÄÄ
Päätoimittaja

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
Joonas Koivisto
Olli-Pekka Siira
Karri Saarnio
Mikko Savolahti
Laura Sokka
Antti Tohka
Jari Viinanen

Taitto / Ombrytning
Hella Pakaslahti

Kannen kuva / Omslagsbild
Pixabay

Paino / Tryckeri
Scanseri Oy

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

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
Annonpris vanligt / för medlemmar:

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

Kestoilmoittajille lisäksi 20 % alennus
Fortgående annons ger 20 % rabatt

Tilaukset / BESTÄLLNINGAR

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

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

MUSTA HIILI (BC) JA/TAI ALKUAINEHIIILI (EC)

TEE systemaattisia BC- ja/tai EC-mittauksia. Nämä mittaukset eivät kuitenkaan saa korvata tai vähentää niiden ilmansaasteiden seurantaa, joille on jo olemassa ohjeavot.

TEE päästöinventareja, altistumisarvioita ja lähdeanalyysijä BC/EC:lle.

TOTEUTA toimenpiteitä BC/EC-päästöjen vähentämiseen ja sääntelyyn, sekä kehitä normeja (tai tavoitteita) ulkoilman BC/EC-pitoisuuksille.

ULTRAPIENET HIUKKASET

MITTAA ultrapienien hiukkasten lukumääräpitoisuutta (PNC) niin, että mitattavan hiukkaskoon alarajana on $\leq 10 \text{ nm}$ ja koon ylärajalle ei rajoituksia.

LAAJENNA ilmanlaadun seurannan strategiaa integroimalla mukaan ultrapienien hiukkasten seuranta. Sisällytä reaaliaikaisia kokoeroteltuja PNC-mittauksia valituille ilmanlaatuasemille, joissa mitataan samanaikaisesti muita ilmansaasteita ja hiukkasten ominaisuuksia.

EROTTELE matalat ja korkeat PNC-pitoisuudet päätöksenteon tueksi, jotta saadaan priorisoitua ultrapienien hiukkasten päästöjen hallintaa.

Matalana PNC-pitoisuutena voidaan pitää $< 1\,000 \text{ hiukkasta/cm}^3$ (24 h keskiarvo).

Korkeana PNC-pitoisuutena voidaan pitää $> 10\,000 \text{ hiukkasta/cm}^3$ (24 h keskiarvo)

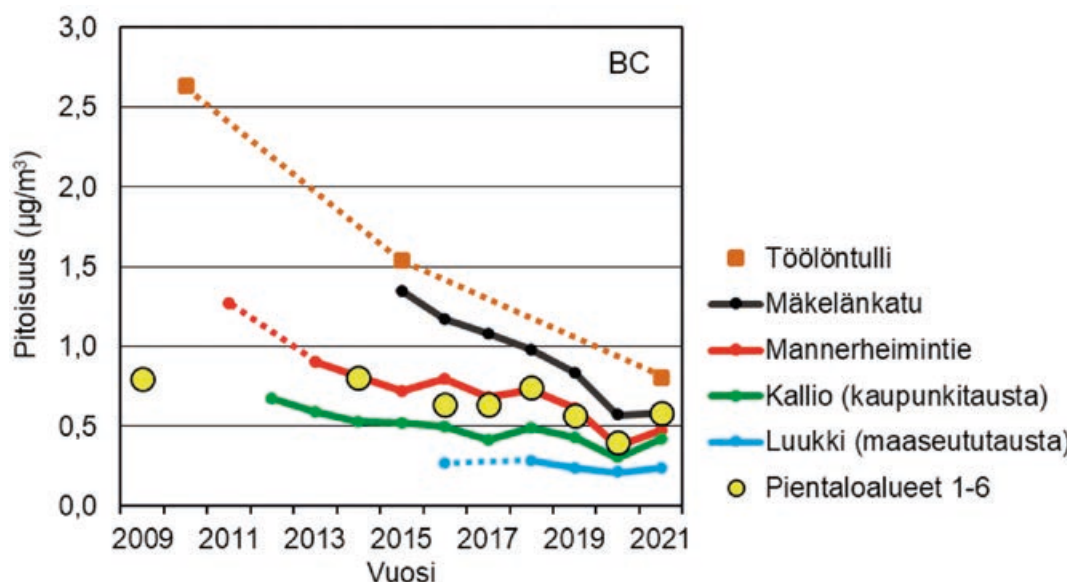
tai $> 20\,000 \text{ hiukkasta/cm}^3$ (1 h keskiarvo).

HYÖDYNNÄ uusimpia tieteellisiä ja teknologisia menetelmiä ultrapienen hiukkasten altistusarvioiden kehittämisessä, jotta altistusarvioita voidaan soveltaa entistä paremmin epidemiologisissa tutkimuksissa ja ultrapienien hiukkasten hallinnassa.

Kuva 1.

MUSTA HIILI JA ULTRAPIENET HIUKKASET KAUPUNKI-ILMASSA – seurannan hyödyt ja WHO:n suositukset

Maailman terveysjärjestö WHO antoi parhaiden käytäntöjen suosituksia ultrapienille hiukkasille ja mustalle hiilelle ilmanlaadun ohjeavopäivityksen yhteydessä syksyllä 2021. Suositukset edistävät näiden pienhiukkassuureiden seurannan laajentamista, pitoisuuksien vähentämistä ja terveyshaittojen jatkotutkimuksia. Kaupunki-ilman ultrapienien hiukkasten ja mustan hiilen seuranta tuo uutta ja tarkempaa tietoa etenkin liikenteen pakokaasujen, puunpolton savujen ja muiden polttoperaisten lähipäästöjen ilmanlaatuvaikutuksista ja -trendeistä.



Kuva 2. Mustan hiilen pitoisuuksien vuosikeskiarvoja pääkaupunkiseudulla (HSY).

Jarkko Niemi, ilmansuojeluasiantuntija, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY

Pienhiukkaset (PM_{2,5}) aiheuttavat suurimman osan ilmansaasteiden terveyshaittoista. Maailman terveysjärjestö WHO tiukensi merkittävästi pienhiukkasten ja useiden muiden ilman epäpuhtauksien ohjearvoja syksyllä 2021. Samassa yhteydessä WHO antoi myös parhaiden käytäntöjen suosituksia uusille pienhiukkassuureille, joita ovat ultrapienet hiukkaset (hiukkasten halkaisija alle 100 nm) sekä musta hiili (BC) ja/tai alkuainehiili (EC). WHO:n mukaan terveyshaittojen tutkimustietopohja ei ollut vielä riittävä siihen, että näille uusille hiukkassuureille annettaisiin ohjearvoja, mutta seurannan laajentaminen sekä pitoisuuksien vähennystoimet ovat tarpeen.

WHO:n parhaiden käytäntöjen suositukset on koottu yhteenvedon kuvaan 1. Niiden toteuttamisesta saatavia hyötyjä tarkastellaan seuraavissa luvuissa niin, että esimerkkinä on käytetty pääkaupunkiseudulla tehtyjä seuranta- ja tutkimustuloksia.

Mustan hiilen mittauksilla tietoa polttoperäisistä pienhiukkasista

Mustaa hiiltä eli nokea syntyy fossiilisten ja biopolttoaineiden sekä biomassan epätäydellisessä palamisessa. Suomessa sen merkittävimmät päästölähteet ovat puun pienpoltto sekä liikenteen ja työkonien pakokaasut. Musta hiili aiheuttaa terveyshaittojen lisäksi myös ilmaston lämpenemistä ja jäätiköiden sulamisen kiihtymistä.

Musta hiili (BC) ja alkuainehiili (EC) ovat operatiivisesti määriteltäviä metriikoita, joilla kuvataan suurpiirteisesti ilmaistuna noen määrää hiukkasissa. Viime vuosina varsinkin BC-mittaukset ovat yleistyneet ilmanlaadun seurannassa, koska sen mittalaitteet ovat

edullisempia ja aikaresoluutioltaan nopeampia kuin EC-mittaukset.

Pääkaupunkiseudulla ja muissa Suomen kaupungeissa valtaosa pienhiukkasten massapitoisuudesta (PM_{2,5}) on peräisin kaukokulkeutuneista ilmansaasteista. Pienempi osa on lähtöisin paikallisista lähteistä, kuten liikenteen pakokaasuista, katupölystä tai puunpoltton päästöistä. Musta hiilen pitoisuuteen sitä vastoin vaikuttavat eniten paikalliset polttoperäiset päästölähteet, minkä vuoksi musta hiili sopii hyvin paikallisen ilmansuojelutyön tehokkuuden arviointiin.

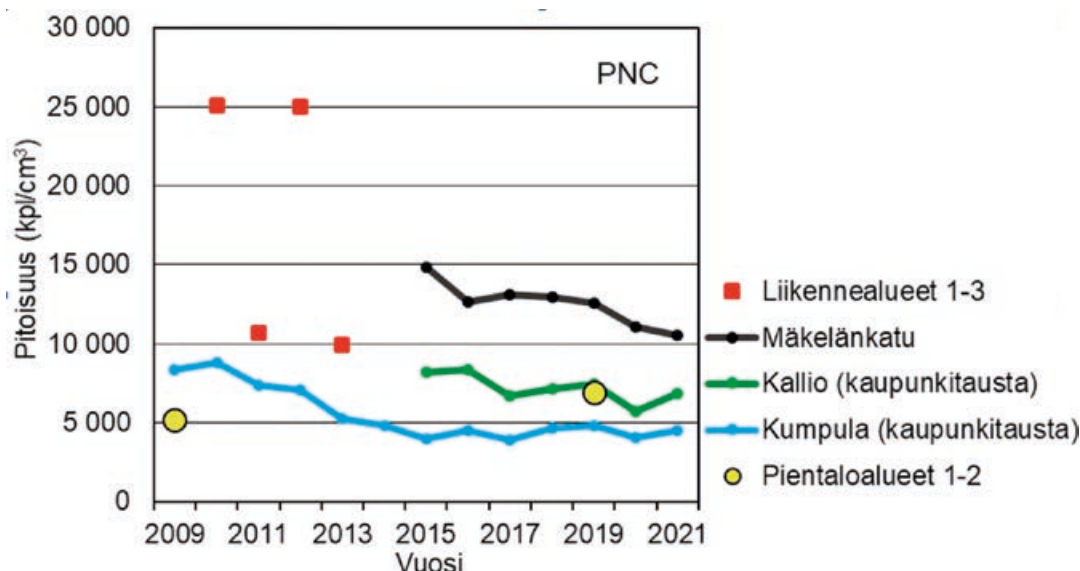
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY aloitti musta hiilen jatkuvat mittaukset pääkaupunkiseudulla vuonna 2009. Mustan hiilen korkeimmat vuosipitoisuudet on mitattu Helsingin vilkasliikenteisissä katukuiluissa (kuva 2, Töölöntulli ja Mäkelänkatu).

Mustan hiilen pitoisuudet ovat kuitenkin laskeneet huomattavasti viimeisen kymmenen vuoden kuluessa. Pääsyy tähän ovat autoliikenteen päästösääntelyn kiristyminen ja pakokaasujen uudet puhdistusteknologiat, erityisesti hiukkasuodattimet. Tuloksista näkyy selvästi myös pitoisuusnotkahdus vuonna 2020, jolloin liikennemäärät vähenivät koronapandemian rajoitustoimien vuoksi. Lisäksi talvi oli poikkeuksellisen lämmin ja tuulinen.

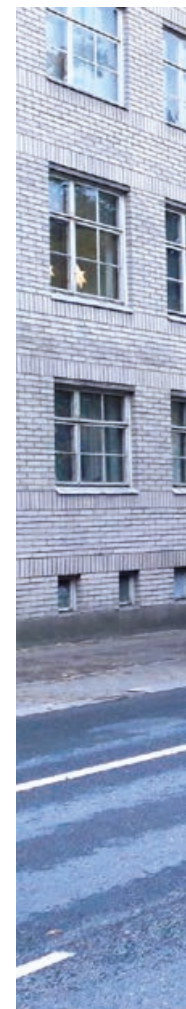
Mustan hiilen mittauksia on tehty myös monilla pientaloalueilla pääkaupunkiseudulla (kuva 2). Pientaloalueilla vuosipitoisuudet ovat olleet suunnilleen samalla tasolla kuin Helsingin ydinkeskustassa Mannerheimintien varrella. Pientaloalueilla puunpoltton päästöt nostavat huomattavasti mustan hiilen pitoisuuksia, etenkin tyyninä talvi-iltoina.

Mustan hiilen päästöinventaarit ja lähdeanalyysit tarkentavat kokonais kuvaa

Mustasta hiilestä saadaan seurantatietoa myös päästöinventaarien ja lähdeanalyysien avulla. Päästöin-



Kuva 3. Hiukkasten lukumääräpitoisuuden vuosikeskiarvoja pääkaupunkiseudulla. Mitatun hiukkaskoon alarajana on noin 6 nm. Kumpulan mittaukset ovat Helsingin yliopistolta ja muut HSY:stä.



ventaarit tuottavat tietoa eri päästölähteiden osuudesta, mikä on tärkeää ilmansuojelun toimenpiteiden kohdentamisessa. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla mustan hiilen päästöosuudet olivat vuonna 2019 seuraavat: autoliikenne noin 67 %, puunpoltto 21 % ja laivaliikenne 2 %. Valtaosa päästöistä on peräisin vanhoista dieselautoista sekä kiukaista ja takoista. Myös työkonet ovat merkittävä BC-lähde, mutta ne eivät olleet mukana inventaarissa.

Pääkaupunkiseudun päästöinventaarien tuloksia on myös käytetty leviämismallintamisessa, jolla saadaan selville pitoisuuksien alueellinen jakauma ja eri lähteiden osuudet ulkoilmassa. Lähdeanalyysijä on tehty myös pääkaupunkiseudun ilmanlaatuasemien BC-mittauksista. Mittauksiin perustuvalla lähdeanalyysillä voidaan erottaa suuntaa antavasti esimerkiksi puunpolton ja liikenteen päästöjen osuudet mustasta hiilen pitoisuuksista.

Hiukkasten lukumääräpitoisuudet ovat korkeita liikenneympäristöissä

WHO:n parhaissa käytännöissä suositellaan, että ultrapienien hiukkasten seuranta sisällytetään mukaan ilmanlaadun seurantaverkkoihin, niin että mitataan hiukkasten lukumääräpitoisuutta (PNC). Hiukkasten lukumäärästä suurin osa on alle 100 nm kokoluokassa, ja näin pienillä hiukkasilla on vain vähäinen vaikutus hiukkasten massapitoisuuteen ($PM_{2.5}$).

Kaupunki-ilmassa hiukkasten lukumääräpitoisuutta nostavat etenkin liikenteen pakokaasut ja muut polttoperäiset lähipäästöt. Lukumääräpitoisuuteen vaikuttavat merkittävästi myös ilmakehässä kaasuista syntyvät hiukkaset, joiden muodostuminen on runsainta kevään ja alkukesän aurinkoisilla säillä.

WHO:n parhaissa käytännöissä korostetaan sitä, että lukumääräpitoisuuden mittausten kokoalueen on tarpeen ulottua hyvin pienikokoisiin hiukkasiin

(≤ 10 nm). Tämä on tärkeää, koska esimerkiksi liikenneympäristöissä suurin osa hiukkasista on erittäin pienikokoisia.

HSY on mitannut hiukkasten lukumääräpitoisuutta pääkaupunkiseudulla vuodesta 2009 alkaen ja Helsingin yliopiston mittaukset ulottuvat 1990-luvulle saakka. Korkeimmat vuosipitoisuudet ovat liikenneympäristöissä (kuva 3).

Hiukkasten lukumääräpitoisuudet ovat laskeneet pääkaupunkiseudulla, mutta hitaammin kuin esimerkiksi mustan hiilen pitoisuudet (vrt. kuva 2). Pientaloalueilla lukumääräpitoisuudet eivät ole kovin korkeita. Puunpolton hiukkaset ovat kooltaan kookkaampia kuin liikenteen pakokaasujen hiukkaset, minkä vuoksi puunpolton hiukkaset nostavat erityisesti mustan hiilen ja pienhiukkasten massapitoisuuksia.

WHO suosittelee erottelemaan korkeat ja matalat lukumääräpitoisuudet päätöksenteon tueksi, jotta saadaan priorisoitua ultrapienien hiukkasten päästöjen hallintaa. WHO:n esittämät korkeat pitoisuustasot ($> 10\,000$ hiukkasta/ cm^3 vrk-pitoisuus ja $> 20\,000$ hiukkasta/ cm^3 tuntipitoisuus) eivät ole siis terveysperusteisia ohjeistoja, vaan pitoisuustasoja päästöjen hallinnan tueksi. Korkeiden pitoisuustasojen ylityksiä esiintyy pääkaupunkiseudulla usein erityisesti vilkasliikenteisissä ympäristöissä.

Ultrapienien hiukkasten seurantaan, hallintaan ja terveyshaittojen selvittämiseen tarvitaan tutkimusyhteistyötä

WHO korostaa, että on tärkeää hyödyntää uusimpia tieteellisiä ja teknologisia menetelmiä ultrapienien hiukkasten altistusarvioiden kehittämisessä, jotta altistusarvioita voidaan soveltaa entistä paremmin epidemiologisissa tutkimuksissa ja ultrapienien hiukkasten hallinnassa. Uutta tutkimustyötä ja resurssien kohdentamista tarvitaankin muun muassa hiuk-



HSY:n supermittausasemalla Mäkelänkadulla tehdään monipuolisia ilmanlaatumittauksia ja tutkimusyhteistyötä. Lakisääteisten epäpuhtauksien lisäksi mitataan useita sääntelemättömiä pienhiukkassuureita, kuten musta hiili, hiukkasten lukumääräpitoisuus, kokojakauma, keuhkodespositiivinen pinta-ala ja kemiallinen koostumus.

kasten lukumääräpitoisuuksien mittaamiseen, malintamiseen, lähdeanalyysiin, altistumisarvioihin ja terveyshaittatutkimuksiin.

Hiukkasten lukumääräpitoisuuden pitkäaikaista seuranta kaupunki-ilmassa on hedelmällistä syventää erilaisilla tutkimusmittauksilla joillakin ilmanlaatuasemilla. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla hiukkasten lukumääräpitoisuuden kokojakaumia mittaavat Helsingin yliopisto ja HSY. Kokojakaumamittauksen avulla saadaan lisätietoa siitä, kuinka suuri osuus erilaisilla päästölähteillä on hiukkasten pitoisuuksiin ja miten eri kokoluokkien hiukkaspitoisuudet kehittyvät vuosien kuluessa (kuva 4).

Uudet hiukkassuureet ilmanlaatuindikaattoreina viestinnässä

Viestinnässä mittauksien havainnollistetaan usein ilmanlaatuindeksillä, jonka avulla tehdään ilmanlaatuokitus hyvästä erittäin huonoon. Musta hiili ja hiukkasten lukumääräpitoisuus eivät ole mukana ilmanlaatuindeksissä, koska niiden pitoisuuksien taitteiden määrittelyyn ei ole vielä riittävästi tietoa terveyshaittatutkimuksista.

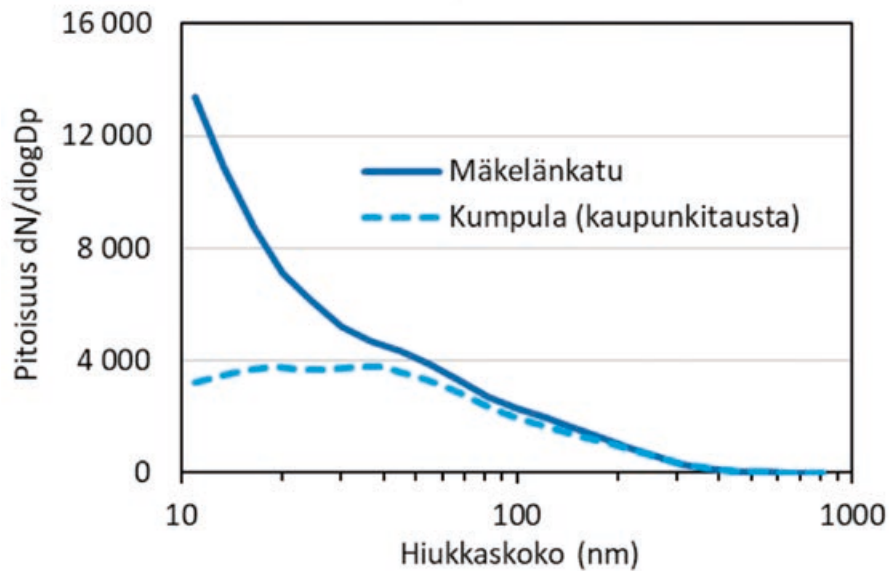
Uusille pienhiukkassuureille (BC, PNC ja keuhkodespositiivinen pinta-ala LDSA) on kuitenkin tehty pääkaupunkiseudulla pitoisuusasteikko, jota hyödynne-

tään esimerkiksi ilmanlaadun visualisoinnin väriasteikoissa. Uusien hiukkasindikaattoreiden väriasteikko on tehty vertaamalla tilastollisesti hiukkassuureiden (BC, PNC, LDSA) pitoisuuksia samanaikaisesti typpidioksidin (NO_2) ja pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) mitaustuloksiin pääkaupunkiseudulla. Uudet hiukkasindikaattorit tarkentavat ilmanlaadun tilannekuvaa erityisesti liikenteen pakokaasujen ja puunpolton lähipäästöjen vaikutuksista.

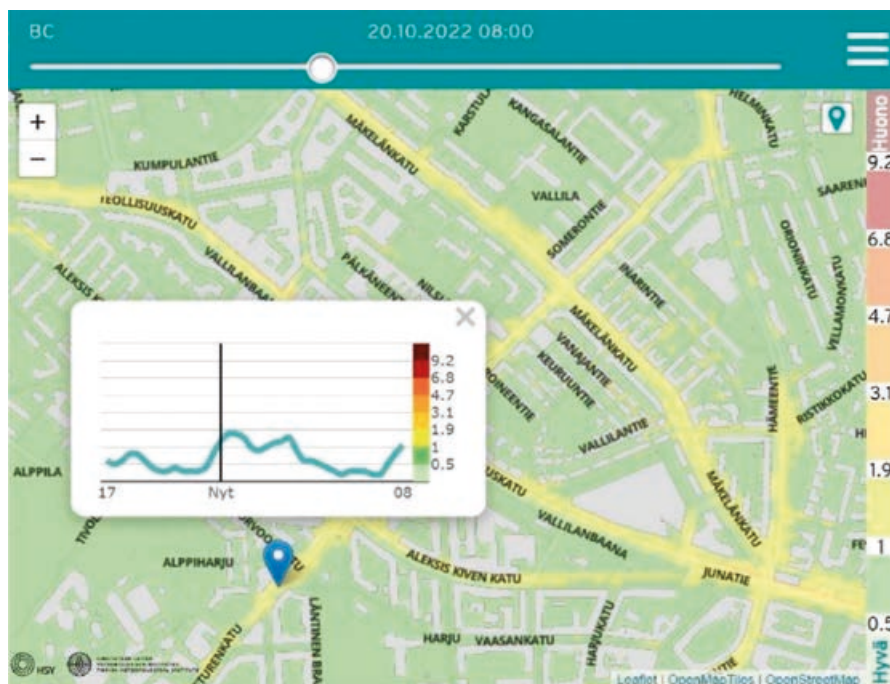
Uusien hiukkasindikaattoreiden väriasteikko on käytössä HSY:n ilmanlaatuksikartassa pääkaupunkiseudulla. HSY:n ilmanlaatuksikartassa visualisoidaan ilmanlaadun nykytila ja ennuste (+ 24 h) Ilmatieteen laitoksen ENFUSER-mallituloksista. Kartan ilmanlaatuindeksissä ovat mukana vain säännellyt epäpuhtaudet (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 ja O_3). Lisäksi eri ilmansaasteiden pitoisuudet esitetään omilla välilehdillään. BC- ja LDSA-tulokset esitetään niin, että väriasteikossa on hyödynnetty uusien hiukkasindikaattoreiden pitoisuusrajoja (kuva 5).

Uusien hiukkasmittaukset yleistymisen kaupunkien seurantaverkoissa

WHO:n parhaissa käytännöissä suositellut uudet pienhiukkassuureet (BC/EC ja PNC) tarkentavat merkittävästi kaupunki-ilmanlaadun seuranta ja lisäävät



Kuva 4. Hiukkasten lukumääräpitoisuuden kokojakaumien keskiarvot Helsingissä Mäkelänkadulla (HSY:n data) ja Kumpulassa (Helsingin yliopiston data) vuonna 2021. Liikenteen päästöillä on suuri vaikutus kaikkein pienimpien hiukkasten pitoisuuksiin Mäkelänkadulla.



Kuva 5. HSY:n ilmanlaatukartassa ja -ennusteessa on nykyään mukana myös mustan hiilen tulokset (www.hsy.fi/ilmanlaatukartta). Mustan hiilen väriasteikossa on hyödynnetty uusien hiukkasindikaattoreiden pitoisuusrajoja (Fung ym., 2022).

ymmärrystä muun muassa polttoperäisistä lähipäästöistä ja niiden trendeistä. Samalla mittaukset tuottavat aineistoa myös uusiin terveyshaittatutkimuksiin. Nähtäväksi jää, annetaanko hiukkasten lukumääräpitoisuudelle tai mustalle hiilelle joskus tulevaisuudessa ohjearvoja, kun WHO tekee uusia terveysriskiarvioita tulevien epidemiologisten tutkimusten perusteella.

Hiukkasten lukumäärän ja mustan hiilen pitoisuudet ja lähteet vaihtelevat voimakkaasti kaupunki-il-

massa ajan ja paikan suhteen. Olisikin tärkeää, että uusien hiukkassuureiden pitkäkestoisia mittauksia tehtäisiin nykyistä enemmän erilaisissa mittausympäristöissä ja kaupungeissa. WHO kuitenkin korostaa, että uudet mittaukset eivät saa korvata tai vähentää niiden ilman epäpuhtauksien mittauksia, joille on annettu ohjearvoja. Kustannustehokkaiden mittausmenetelmien kehittäminen ja mittauksen standardisointi ovat tärkeitä, jotta BC- ja PNC-mittaukset yleistyvät sekä tuottavat yhteneviä ja laadukkaita tuloksia.

Lähteet

Fung, P.L., Sillanpää, S., Niemi, J.V., Kousa, A., Timonen, H., Zaidan, M.A., Saukko, E., Kulmala, M., Petäjä, T., Hussein, T. 2022. Improving the current Air Quality Index with new particulate indicators using a robust statistical approach. *Science of the Total Environment*, 157099. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157099>

Harni, S.D., Saarikoski, S., Kuula, J., Helin, A., Aurela, M., Niemi, J.V., Kousa, A., Rönkkö, T., Timonen, H. 2022. Effects of emission sources on the particle number size distribution of ambient air in the residential area. *Atmospheric Environment*, 119419. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119419>

Korhonen, S., Loukkola, K., Portin, H., Niemi, J. 2022. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2022. HSY:n julkaisu 3/2022. <https://julkaisu.hsy.fi/ilmanlaatu-paa-kaupunkiseudulla-vuonna-2021.html>

Latikka, J., Sillanpää, S., Rasila, T., Komppula, B., Laukkanen, J., Lovén, K. 2022. Pääkaupunkiseudun ilmanlaatuselvitys. Kotitalouksien puunpolton, autoliikenteen ja laivaliikenteen pienhiukkas-, mustahiili-, ja bentso(a)pyreenipäästöjen leviämismallilaskelmat. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. https://expo.fmi.fi/aqes/public/Paakaupunkiseudun_ilmanlaatuselvitys_2022.pdf

Luoma, K., Niemi, J. V., Aurela, M., Fung, P. L., Helin, A., Hussein, T., Kangas, L., Kousa, A., Rönkkö, T., Timonen, H., Virkkula, A., Petäjä, T. 2021. Spatiotemporal variation and

trends in equivalent black carbon in the Helsinki metropolitan area in Finland. *Atmospheric Chemistry and Physics* 21, 1173–1189. <https://doi.org/10.5194/acp-21-1173-2021>

Rönkkö, T., Kuuluvainen, H., Karjalainen, P., Keskinen, J., Hillamo, R., Niemi, J.V., Pirjola, L., Timonen, H.J., Saarikoski, S., Saukko, E., Järvinen, A., Silvennoinen, H., Rostedt, A., Olin, M., Yli-Ojanperä, J., Nousiainen, P., Kousa, A., Dal Maso, M. 2017. Traffic is a major source of atmospheric nanocluster aerosol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114 (29), 7549–7554. <https://doi.org/10.1073/pnas.1700830114>

Saarikoski, S., Niemi, J. V., Aurela, M., Pirjola, L., Kousa, A., Rönkkö, T., Timonen, H. 2021. Sources of black carbon at residential and traffic environments obtained by two source apportionment methods. *Atmospheric Chemistry and Physics* 21, 14851–14869. <https://doi.org/10.5194/acp-21-14851-2021>

Teinilä, K., Timonen, H., Aurela, M., Kuula, J., Rönkkö, T., Hellén, H., Loukkola, K., Kousa, A., Niemi, J.V., Saarikoski, S. 2022. Characterization of particle sources and comparison of different particle metrics in an urban detached housing area, Finland. *Atmospheric Environment* 272, 118939. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118939>

WHO, 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMANLAADUN JA UUSIUTUVAN ENERGIAN ASIAANTUNTIJA

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

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



Kuva: Laura Karlin

PIENTEN HCl- PÄÄSTÖPITOISUUKSIEN MITTAAMISEN HAASTEET - Heroes-projektin havaintoja

Uudet BAT-päätelmät asettavat alhaisempia päästötasoja (BAT-AEL: associated emission level) usealle ilmaan vapautuvalle komponentille, sekä uusien epäpuhtauskomponenttien mittausvelvoitteita. Alhaiset pitoisuudet tarkoittavat sitä, että päästömittaajan on kyettävä entistä vaativampiin ja laadukkaampiin mittauksiin. Näihin mittaushaasteisiin on paneuduttu vuonna 2022 julkaistussa BATE-hankkeen loppuraportissa.

Tuula Pellikka, johtava tutkija, VTT
Tuula Kajolinna, tutkija, VTT

Eurooppalainen standardisointijärjestö CEN ja sen tekninen komitea TC264 Air quality on laatinut vuonna 1998 teollisuuslaitosten HCl-päästöjen mittaamista varten ensimmäisen version standardireferenssimenetelmästä EN 1911 ”Stationary source emissions. Determination of mass concentration of gaseous chlorides expressed as HCl. Standard Reference Method”. Standardi on päivitetty vuonna 2010, jolloin mitattavat HCl-pitoisuudet ovat olleet nykyistä korkeampia.

Eurametin rahoittamassa Heroes-nimisessä tutkimushankkeessa on keskitytty vetykloridin (HCl) mittaamisen epävarmuuksiin pienissä, alle 10 mg/m^3 , pitoisuuksissa. Tässä artikkelissa kerrotaan hankkeen tavoitteista sekä kuplituskeräimillä tehtyjen laboratoriotestien tuloksista.

Hankkeesta ja sen tavoitteista

Heroes-hanke (I8NRM04) käynnistyi vuonna 2019. Kyseessä on kolmivuotinen hanke, jonka koordinaattorina on National Physical Laboratory (NPL) Iso-Britanniasta. Muut mukana olevat kansalliset metrologiset laitokset ovat Cesky Metrological Institut (CMI) Tsekeistä sekä Teknologian tutkimuskeskus VTT Suomesta. Muina tutkimuspartnereina mukana ovat Ineris Ranskasta sekä Environment Agency Iso-Britanniasta.

Heroes-hankkeen päätavoitteena on selvittää, mitkä ovat realistiset mittausepävarmuudet mitattaessa pieniä, alle 10 mg/m^3 , HCl-pitoisuuksia. Projektin aikana on tutkittu sekä HCl:n standardireferenssimenetelmän EN 1911 että myös jatkuvatoimisten päästömittausanalysaattoreiden epävarmuuksia laajojen kenttäkokeiden avulla. Tutkittuja jatkuvatoimisia päästömittausanalysaattoreita olivat FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy) ja NDIR-GFC (nondispersive infrared- gas filter correlation). Suomessa EN-standardit otetaan käyttöön SFS-standardeina SFS-tuliitteella varustettuna (eli tässä tapauksessa SFS-EN 1911),

mutta tässä artikkelissa käytetään yhdenmukaisuuden vuoksi termiä EN 1911.

HCl:n mittausvelvoitteita on annettu useassa sektorikohtaisessa BREF-asiakirjassa. Muun muassa jätteenpolton BAT-AEL (associated emission levels, päästötasot) ovat $2\text{--}6 \text{ mg/m}^3$ ja suurille voimalaitoksille (LCP, large combustion plants) vastaavasti $3\text{--}12 \text{ mg/m}^3$.

Standardissa EN 1911 on esitetty, että mikäli menetelmää käytetään standardireferenssimenetelmänä (siis joko jatkuvatoimisen, kiinteästi asennetun CEMS-mittalaitteen kalibrointiin tai laitoksen kertaluonteisiin mittauksiin) sen mittausepävarmuus ei saa ylittää 30 %:ia päästöraja-arvosta laskettuna. Mittaajan tulee todentaa tämä ennen mittauksia.

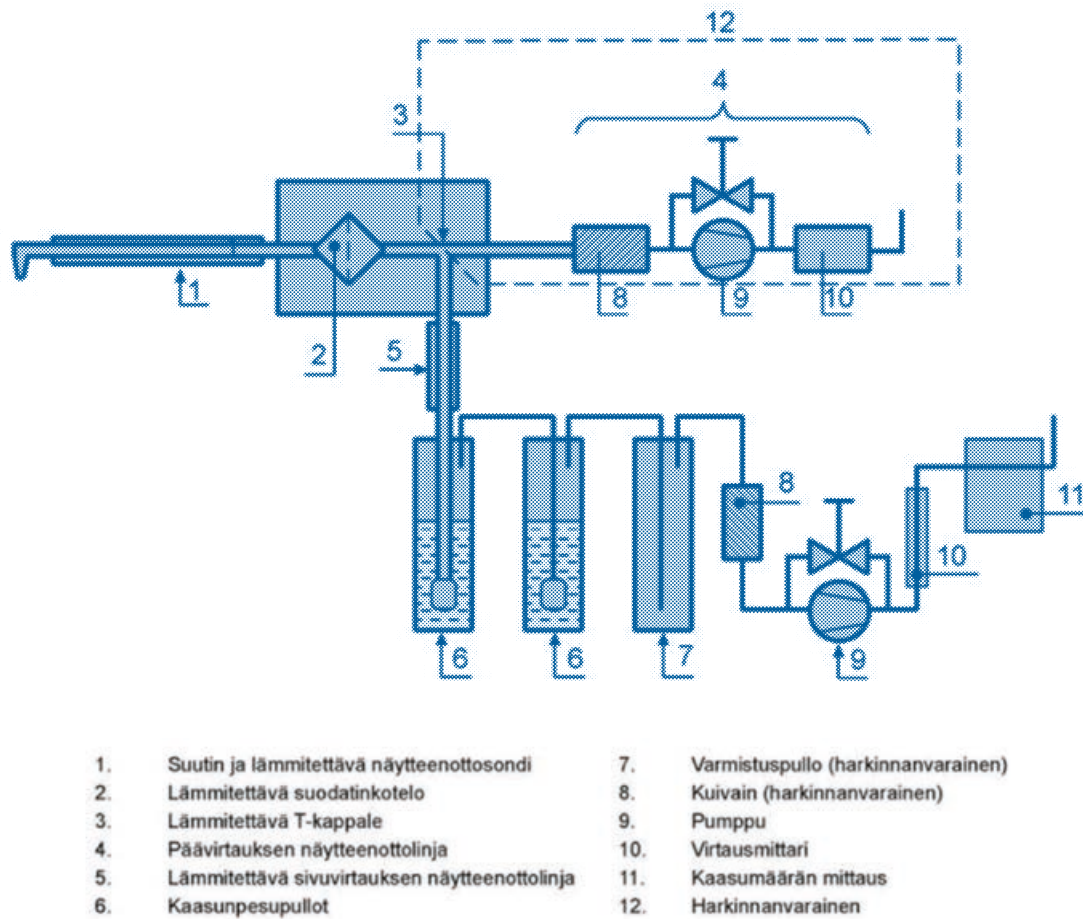
Esimerkkinä:

Jos päästöraja-arvoksi määrättäisiin LCP-laitokselle päästötason alaraja eli 3 mg/m^3 , tarkoittaisi tämä sitä, että EN 1911-menetelmää käytettäessä tämän menetelmän maksimiepävarmuus saisi olla 1 mg/m^3 .

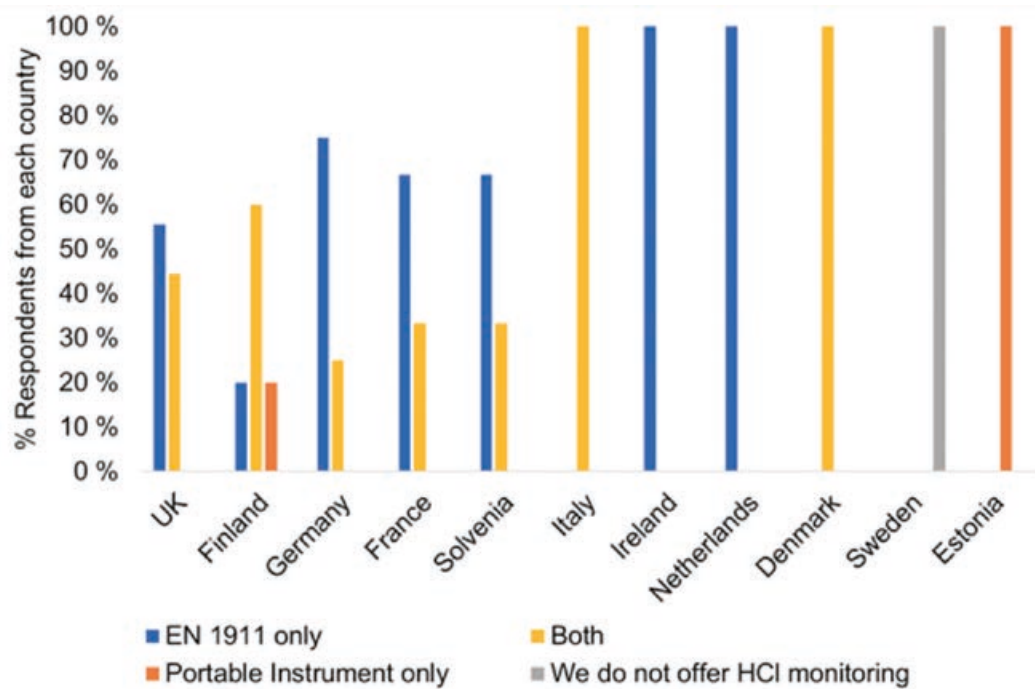
On erittäin todennäköistä, että näin pientä mittausepävarmuutta ei menetelmällä EN 1911 saavuteta.

Projektin alatavoitteet:

1. Vahvistaa eurooppalaista ”stack gas simulator” -tasoa siten, että niissä on mahdollista generoida alhaisia HCl-pitoisuuksia.
2. Tutkia EN 1911-menetelmän suorituskkyä alhaisilla pitoisuustasoilla (muun muassa vertailumittaukset Ineriksen vertailumittauspenkissä Ranskassa).
3. Määrittää EN 1911 menetelmän realistiset epävarmuudet projektissa tehtävien vertailumittausten avulla.
4. Tutkia optisten jatkuvatoimisten HCl-mittausmenetelmien suorituskkyä alhaisilla pitoisuustasoilla vertailumittauksissa NPL:n Stack Gas Simulator-testipenkissä P-AMS (portable automated measuring systems) -mittalaitteilla.
5. Tuottaa National Regulator Guidance Document (UK), jossa esitetään suositukset realistisille mittausepävarmuuksille.
6. Tuottaa taustatietoa EN 1911-standardin revisiointia varten.



Kuva 1. Ei-isokineettisen kuplitusnäytteenottolinjaston periaate.



Kuva 2. Käytetyt HCl-mittausmenetelmät webropol-kyselyyn vastanneissa maissa.

EN 1911:n periaate on seuraava:

- Savukaasusta imetään näyte lämmitetyn näytteenotto-sondin avulla ensin suodattimen lävitse ja siitä kuplituspulpojen lävitse kaasukellolle.
- Kuplituspulpoissa on absorptioluoksena kloridivapaa vesi. - Suodatinta ei analysoida.
- Kemiallisen analyysin tuloksena saadaan näytteen kloridipitoisuus, joka sitten muunnetaan laskennallisesti vetykloridiksi.
- Näytteenoton laadunvarmistustoimia ovat muun muassa linjan tiiveystestit, absorptiotehokkuuden varmistaminen sekä kenttänollien tekeminen.

Mikäli tutkittava kaasu on kylläistä (sisältää pisaroita), on näytteenotto tehtävä isokineettisesti, jolloin yleensä käytetään ns. sivuvirtakeräystä ja kuvassa 1 esitetyllä päävirralla (12) säädetään näytteenottonopeus isokineettiseksi.

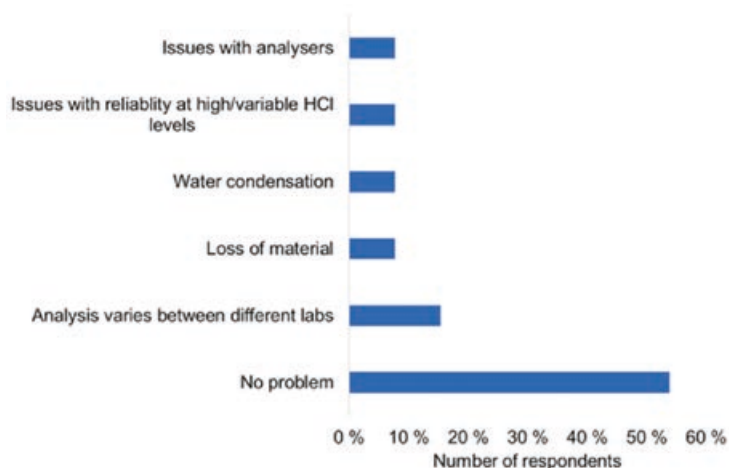
Jatkuvatoimisia menetelmiä, joita HCl:n mittaamiseen myös usein käytetään, ovat muun muassa FTIR-analysaattorit ja myös TDLAS- sekä NDIR-GFC-tekniikkaa on näihin mittauksiin sovellettu.

Kysely HCl-mittausmenetelmien käytöstä ja niihin liittyvistä haasteista Euroopassa

Hankkeen alussa tehtiin kysely eri Euroopan maihin siitä, mitä HCl-mittausmenetelmiä heillä tyypillisesti käytetään ja miksi. VTT laati webropol-muotoisen kyselyn yhdessä projektin muiden partnereiden kanssa ja tämä kysely lähetettiin useaan EU-maahan. Vastauksia saatiin 31 kpl ja ne olivat seuraavista maista: Suomi, Ruotsi, Iso-Britannia, Ranska, Italia, Saksa, Slovenia, Viro, Tanska, Alankomaat sekä Irlanti. Alla muutamia poimintoja tämän kyselyn tuloksista.

EN 1911 on standardireferenssimenetelmä vetykloridin mittaamiseen ja useassa maassa vain validoituja EN-standardipohjaisia mittausten menetelmiä tulee käyttää. Esimerkiksi Suomessa on kuitenkin sovittu, että myös muita, valideja mittausten menetelmiä saa käyttää, mikäli mittaajalla on näihin akkreditointi.

Kuvassa 2 on esitetty eri maiden käyttämiä mittausten menetelmiä. Käytetyt mittausten menetelmät jakautuvat maittain merkittävästi.



Kuva 3. Haasteet kuplitusmenetelmän (EN 1911) käytössä webropol-kyselyn mukaan.

Esimerkiksi Virossa käytetään vain jatkuvatoimisia mittausten menetelmiä, kun taas Irlannissa ja Alankomaissa käytetty menetelmä on kertaluonteinen kuplitusmenetelmä, EN 1911. Toki on muistettava, että nämä vastaukset pohjautuvat yksittäisten vastaajien antamiin kommentteihin, eivätkä siis edusta maan ”virallista” kantaa tai käytäntöä.

Kyselyssä kysyttiin myös tyypillisiä epävarmuuksia, mitä eri mittaustavoilla saadaan. EN 1911 -menetelmällä yli 30 %:ia vastaajista ilmoittaa mittauserpävarmuudeksi < 10 %:ia ja jatkuvatoimisilla menetelmillä enemmistö vastaajista (reilut 25 %) ilmoittaa epävarmuuden olevan 11-20 %:ia. Tässä on huomattava se, että kyselyn vastauksista ei käy ilmi, miten nämä epävarmuudet on laskettu tai arvioitu.

Esimerkkinä:

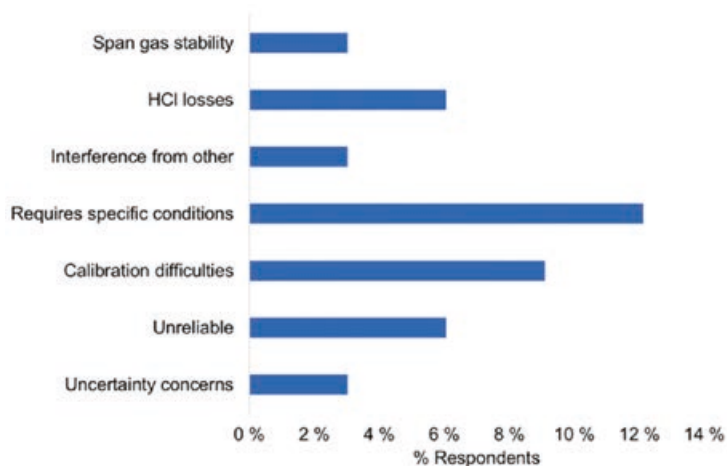
Standardin EN 1911 mukaan epävarmuuslaskentaan tulisi ottaa huomioon kemiallisen analyysin toistettavuus, jonka on oltava < 2,5 %. Ainakin Suomessa analyysilaboratoriot ilmoittavat analyysin kokonaisepävarmuuden toistettavuuden sijasta ja sen suuruus on yleensä noin 20 %:n luokkaa. Näin ollen alle 10 %:n mittauksen kokonaisepävarmuusarviot kuplitusmenetelmälle ovat turhan optimistisia.

Kuvissa 3 ja 4 on esitetty haasteita, mitä kyselyyn vastanneet ovat huomanneet EN 1911-menetelmää käytettäessä (kuva 3) ja vastaavasti jatkuvatoimisilla analyysointoreilla (kuva 4).

Kuten yllä olevista vastauksista nähdään, molemmilla mittausten periaatteilla on omat etunsa ja haasteensa. Kuplitusmenetelmän luotettavuutta epäillään korkeilla tai vaihtelevilla HCl-pitoisuustasoilla, ja kuten myös kemiallisen analyysin luotettavuutta. Toisaalta usea vastaaja on todennut, että kuplitusmenetelmän käytössä ei ole mitään haasteita. Jatkuvatoimisten HCl-mittalaitteiden kalibrointia pidetään haastavana, kuten myös laitteiden häiriöherkkyyttä toisille kaasuille. Kuplitusmenetelmän avulla saadaan kertaluonteista tietoa pitoisuuksista, ja vastaavasti jatkuvatoimisilla menetelmillä reaaliaikaista dataa.

Laboratoriotestit eri kuplitusmenetelmille

VTT tutki Heroes-hankkeessa erilaisten kuplituspulpojen välisiä eroja laboratoriotestien avulla. Standardissa EN 1911 ei ole esitet-



Kuva 4. Haasteet jatkuvatoimisten HCl-analysaattoreiden käytössä webropol-kyselyn mukaan.

HCl- saannot erilaisilla kuplituskeräimillä, testit vuosina 2020 ja 2021



Kuva 5. HCl-pitoisuudet eri kuplituskeräimillä. (Huom! Tyhjä ruutu= tulos alle määrittäysrajan, < 0,5 mg/m³).

ty vaatimuksia siitä, minkälainen kuplituspulloon rakenteen tulisi olla. Standardin liitteessä A on ainoastaan esitetty muutama mahdollinen vaihtoehto kuplituspulloon rakenteelle.

Laboratoriossa tuotettiin 2 mg/m³ (NTP, kuiva) HCl-pitoisuutta Hovacal-höyrystimen avulla. Tuotettu kaasu jaettiin viiteen linjaan, joista näytekaasu meni neljän erilaisen kuplituskeräimen läpi ja viides linja FTIR-mittalaitteelle. Kuplituskeräinten koko oli 200 ml ja niihin laitettiin 80 ml absorptioliuosta. Kuvassa 5 on esitetty kokeissa mitatut pitoisuudet.

Hovacalilla tuotettu pitoisuus oli 2 mg/m³ ja jatkuvatoimisesti HCl-pitoisuuksia mitannut FTIR-mittalaite (DX4000, Gaset) mitasi n. 2,2 mg/m³ keskiarvopitoisuutta kaikkien kokeiden aikana.

Keskiarvopitoisuudet kuplituskeräimissä olivat:

- pohjasintteri 1,4 mg/m³
- normaali 1,6 mg/m³
- sokeripala 1,7 mg/m³
- suora putki 1,6 mg/m³

Huomioitavaa on se, että useassa testissä mitattu pitoisuus jäi alle kemiallisen analyysin määrittäysrajan, joka oli tässä tapauksessa 0,5 mg/m³. Syytä tähän ei ole löydetty. Kaikki toimet tehtiin jokaisen näytteenoton jälkeen kaikille kuplituspulloille samalla tavalla (näytteiden siirto näytepulloon, linjojen huuhtelut jne.) ja toimet teki saman henkilö.

Tuloksia käsiteltiin tilastollisesti standardin ISO 5725-2 periaatteiden avulla. Kyseinen laskenta ei huomioi eroa tuotetun (tavoite) pitoisuuden ja mitatun pitoisuuden välillä. Laskenta tarkastelee ainoastaan eri kuplituspullojen välisten saantojen eroja. Tämän tilastollisen tarkastelun pohjalta erot eri kuplituspullojen välillä eivät ole merkittäviä.

Hankkeen lopputuloksista

Kuten artikkelin alussa kerrottiin, Heroes-hankkeen tavoitteena on tuottaa tutkittua tietoa eri HCl-menetelmien luotettavuudesta. Tällä hetkellä projektin tutkimuskumppaneilla on lopullisten yhteenvedojen laatiminen meneillään, ja asiasta kiinnostuneiden kannattaa seurata Heroes-hankkeen internetsivuja (<http://empir.npl.co.uk/heroes/news/>). Sinne päivitetään viimeisimmät uutiset sekä hankkeen yhteenvedo.

Teollisuuspäästädirektiivin (Industrial Emission Directive) päivitys on parhaillaan meneillään. Siinä tullaan kiinnittämään huomiota muun muassa mittausepävarmuuksiin ja kuinka ne tulisi huomioida silloin, kun tulosta verrataan päästöraja-arvoon. Näin ollen mittausepävarmuuksien määrittäytapojen tulisi olla yhtenäisiä ja tähän työhön tulisi panostaa sekä kansallisesti että EU-tasolla.

Kiitokset

Hankkeen r8NRMoi Heroes päärahoittajana toimii Euramet ja tämän lisäksi mukana on kansallista rahoitusta. Haluamme tässä esittää kiitoksemme Eurametille tämän hankkeen tukemisesta.

Lähdeluettelo

ISO 5725-2, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, 1994

Pellikka, T., Kajolinna, T., 2022, Päästömittausten haasteet alhaisilla pitoisuustasoilla- BATE-projektin havaintoja, VTT Technology; No 407, <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2022.T407>, 75 s.

Päästömittausten käsikirja, 2007, Ilmansuojeluyhdistys, 58 s. + liitteet, <https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf>



Urbaani ilmanlaatu 2.0 -hanke: Uutta ilmanlaadun täsmätietoa ja liikkuvia mittauksia

Helsingin yliopiston, Ilmatieteen laitoksen ja Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY:n yhteinen Urbaani ilmanlaatu 2.0 -hanke jatkaa HOPE-hankkeen työtä ja tuo reaaliaikaista ja korkearesoluutioista ilmanlaatudataa entistä helpommin saataville sekä kaupunkilaisten, yritysten että viranomaisten käyttöön.

Nelli Kaski, Ilmansuojeluasiantuntija, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY

Ilmanlaatutieto käytettäväksi ja kiinnostavaksi

Hankkeessa pyritään kasvattamaan ihmisten tietoisuutta ilmanlaadusta parantamalla ilmanlaatutiedon käytettävyyttä ja kiinnostavuutta. Kolmivuotisen hankkeen aikana käytettävyyttä ja kiinnostavuutta on tarkoitus parantaa lisäämällä ilmanlaatutiedon tarkkuutta, kattavuutta ja saatavuutta kehittämällä mittaus- ja data-analyysimenetelmiä sekä malleja. Jotta asukkaat voisivat altistua ilmansaasteille vähemmän, heidän on saatava ajantasaisista tiedoista sekä ennusteista ilmanlaadusta. Ilmanlaadun

parantamiseksi arviot ilmansaasteista ja niiden lähteistä ovat tärkeitä myös viranomaisille ja kaupunkisuunnittelun tueksi.

Uusien menetelmien pilotointia ja kaupunkilaisten osallistamista

Hankkeessa pilotoidaan uusia ilmanlaadun mittausmenetelmiä kuten liikkuvia mittauksia, edullisia ilmanlaatusensoreita sekä sensoreiden kalibrointialgoritmeja. Lisäksi kehitetään uusien ilmanlaatusuureiden, kuten mustan hiilen (BC), hiukkasten keuhkokehitysoituvan pinta-alan (LDSA) ja hiukkasten lukumäärän (PNC) mittaamista ja mallinnusta, mikä helpottaa ilmakehän

pienhiukkasten (PM_{2,5}) terveysvaikutusten arvioinnissa. Hankkeessa järjestetään myös kaupunkilaisia osallistavia mittauskampanjoita, joissa vapaaehtoiset kantavat mukanaan edullisia Helsingin yliopistossa kehitettyjä ilmanlaatusensoreita.

Ilmanlaatu data tulee kaupunkilaisten ja yritysten käyttöön

Hankkeessa tuotettava data on avointa ja sille pyritään etsimään uudenlaisia käyttökohteita esimerkiksi hackathonin avulla yhdessä kaupunkilaisten ja yritysten kanssa. Tavoitteena on kerätä monen eri tason ilmanlaatu data yhdelle data-alustalle, joka tarjoaa monipuolista dataa eri sidosryhmien tarpeisiin. Näin ilmanlaatu havainnot saadaan tehokkaampaan käyttöön suoraan yrityksille, kaupunkien asukkailla sekä päätöksentekijöille.

Yksi esimerkki uudenlaisesta ilmanlaatu tiedon hyödyntämisestä on Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen kehittämä puhtaan ilman reittiopas (Green Paths). Sitä kehitetään hankkeessa niin, että se mahdollistaa väestötaseoisten altistumislaskelmien tekemisen kaupunkisuunnittelun tarpeisiin.

Hankkeessa on tehty jo ilmanlaatu mallin parannuksia, mittauskampanja sekä laitevertailuja

Hankkeessa on kehitetty Ilmatieteen laitoksen ENFUSER-ilmanlaatu mallia entistä tarkemmaksi niin, että avoimeen dataan on lisätty uusia pienhiukkassuureita (BC ja LDSA) ja pidempi 24 tunnin ennuste pääkaupunkiseudulle. Nämä muutokset tulivat käyttöön myös HSY:n ilmanlaatu karttaan (<https://www.hsy.fi/ilmanlaatu kartta>).

Kumpulan kampuksella on tehty mustan hiilen (BC) sensorien vertailumittauksia ja testattu BC-sensoriverkkoa mittauskampanjassa. HSY:n Mäkelänkadun ilmanlaadun supermittausasemalla puolestaan on tehty hiukkasten lukumääräpitoisuuden (PNC) mittalaitevertailuja. Uusia indikaatiivisia PNC-mittauksia hyödynnetään jatkossa HSY:n mittausverkossa. Sensoreita tullaan käyttämään myös hankkeen drooni-mittauksissa, joilla tuotetaan tietoa muun muassa korkean meluaidan vaikutuksesta ilmanlaatuun pääväylän lähistöllä.

Urbaani ilmanlaatu 2.0 -hanke

Hanke käynnistyi vuonna 2022 ja jatkuu vuoden 2024 loppuun saakka.

Hanke saa rahoitusta Teknologiateollisuuden 100-vuotissäätiön Tulevaisuuden tekijät -ohjelmasta.

Hankkeen verkkosivut: parempaailmaa.fi

Hankkeen twitter-tili: @Parempaailmaa



Päästömittaus- ratkaisut ilmaston hyväksi yli 30-vuoden kokemuksella

Gasmet Technologies Oy

+358 9 7590 0400 / contact@gasmet.fi / www.gasmet.fi



Uusi ohje viranomaisille: **PUUN PIENPOLTON SAVUHAITTATAPAUSTEN KÄSITTELY**

**Ympäristöministeriö on julkaissut uuden ohjeen ”Puun pienpolton savuhaittatapau-
sten käsittely”. Ohjeen tarkoitus selkiyttää ja tehostaa viranomaisten yhteistyötä,
työnjakoa ja menettelyitä savuhaittatilanteissa. Ohje on suunnattu erityisesti kunti-
en terveyden- ja ympäristönsuojeluviranomaisille.**

Katja Ohtonen, erityisasiantuntija, ympäristöministeriö

Puun pienpolton päästöt ja niiden aiheuttamat terveys- ja viihtyisyyshaitat

Puun palaessa kiinteä puuainees muuttuu näkymätömiksi kaasuihin ja pienhiukkasiksi, ja pieni osa jää näkyväksi aineeksi tuhkaluokkaan ja savukanaviin. Täydellisen puun palamisen tuotteet olisivat hiilidioksidi ja vesi. Reaalimaailmassa palaminen ei ole täydellistä. Epätäydellisessä palamisessa syntyy mm. häkää, hiilivetypäästöjä (mm. metaania) ja PAH-päästöjä. Jotkin tuhkan ainesosista höyrystyvät liekissä kaasumaiseen muotoon ja tiivistyvät uudelleen lämpötilan laskiessa. Tällöin syntyy pienhiukkasia. Pienhiukkas-päästöt sisältävät myös mustaa hiiltä (BC), joka voimistaa ilmastomuutosta.

Päästöjen muodostumiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten käyttäjä, ulkoiset olosuhteet, polttoaine ja poltolaite. Matala päästökorkeus, päästöjen painotuminen ilta-aikaan ja tiheä tulisijallisten pientalon alue ovat altistumista ja haittoja lisääviä tekijöitä.

Ympäristönsuojelulain ja terveydensuojelulain mukaan terveyshaitalla tarkoitetaan ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisuutta. Hiukkasten aiheuttamia yleisimpiä haittoja ovat ärsytysoireet kuten kurkkukipu, yskä ja hengenahdistus. Yksilöiden herkkyys oireille vaihtelee. Pitkään, esimerkiksi vuosia tai vuosikymmeniä, jatkunut altistuminen kohottaa riskiä sairastua kroonisiin sydän- ja hengitystiesairauksiin. Haitatonta pienhiukkasten kynnyspitoisuutta ei ole pystytty vahvistamaan.

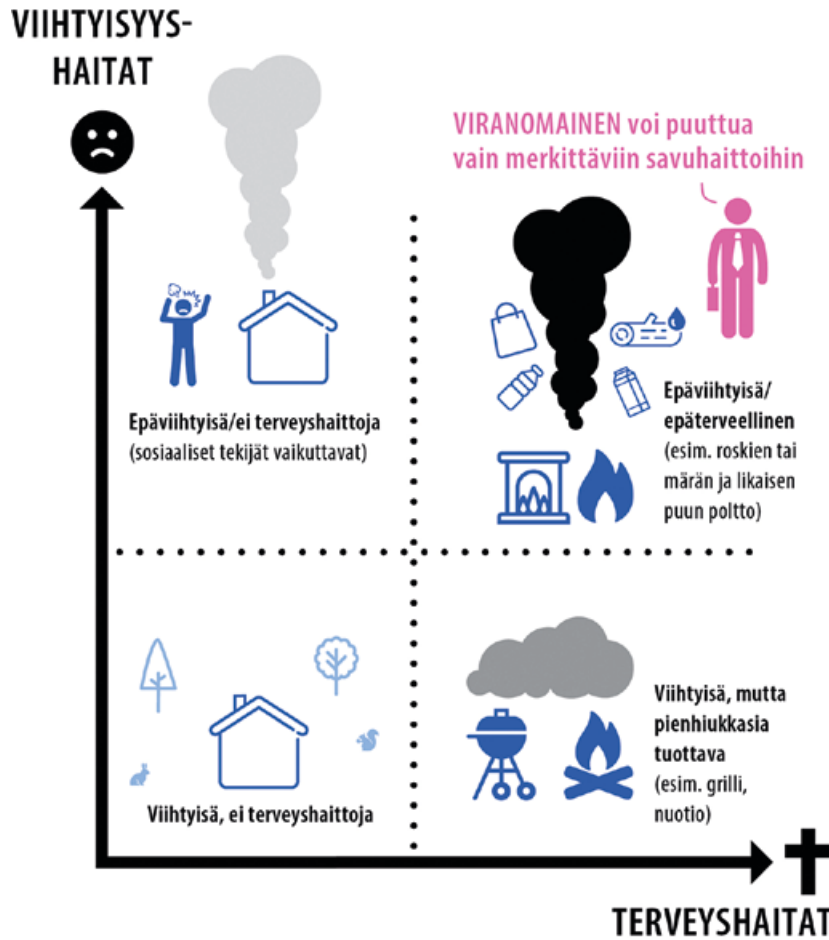
Viihtyisyyshaittaa ei ole lainsäädännössä määritelty, mikä tekee viihtyisyyshaitan vaikeasti sovellettavaksi. Viihtyisyyshaitalla kuvataan muuta kuin suoraan terveyteen kohdistuvaa haittaa. Se on välittömästi,

ei viiveellä, havaittava häiriö, joka vähentää ihmisen elinympäristön viihtyisyyttä. Naapurussuhdelain rasisitus-käsitettä käytetään viihtyisyyshaitan tulkin-
nassa: naapuri ei saa aiheuttaa kohtuutonta rasisitusta toiselle esimerkiksi savun muodossa.

Terveys- ja viihtyisyyshaitat eivät ole suorassa suhteessa toisiinsa. Ei ole selkeää kynnystä, jota vähäisempi haitta olisi hyväksyttävissä ja merkittävämpi voitaisiin kieltää. Viihtyisyyshaitta on vielä subjektiivisempi kokemus kuin terveyshaitta. Viihtyisyyshaittaa voi aiheuttaa savupäästö, josta ei kuitenkaan aiheudu terveyshaittaa, jos naapurussuhteet ovat valmiiksi tulehtuneet. Epäterveellinen savuhaittatilanne saatetaan kokea viihtyisäksi esimerkiksi, kun istutaan iltanuotilla yhdessä (kuva 1).

Pienpolton laitetypit savuhaittojen muodostumisen kannalta

Puun pienpolton laitetypit voidaan jakaa panospolttoisiin (esim. takat) ja jatkuvapolttoisiin (esim. hakekattila). Käyttötarkoituksen mukaan laitteet voidaan jakaa ensisijaisiin ja toissijaisiin lämmönlähteisiin. Ensisijaisilla laitteilla lähes koko talon lämmöntarve tuotetaan puunpolttolaitteilla. Toissijaiset laitteet toimivat jonkin muun päälämmönlähteen lisälämmönlähteenä. Tulisijatyyppisiä ovat mm. varaavat tulisijat, puukiukaat, kamiinat, ulkotulisijat (mm. paljut, puugrillit), klapikattilat, hake- ja pellettipolttimet sekä pellettitulisijat. Puupolttoaineita ovat mm. klapit (halko, pilke), pelletit, hake ja puubriketit. Päästöjä syntyy erityisesti silloin, kun puuta käytetään päälämmönlähteenä, kun poltetaan puuklapeja ja kun puuta poltetaan panospolttoisissa laitteissa. Tyypillisesti päästöt ovat korkeita esimerkiksi avotakoista, ulkotulisijoista, vanhoista puukiukaista ja kaksois-pesäkattiloista.



Kuva 1: Viihtyisyys ja terveellisyys. Koettu viihtyisyyshaitta ei aina ole sama asia kuin terveyshaitta. Viihtyisyyshaittaa voi aiheuttaa savupäästö, josta ei kuitenkaan aiheudu todennettavissa olevaa terveyshaittaa. Epäterveellinen savuhaittatilanne saatetaan kokea viihtyisäksi.

Tulisijan käyttäjän vastuu ja keinot

Ympäristönsuojelulain toiminnanharjoittaja-käsite kattaa myös puulla taloan lämmittävät yksityishenkilöt. Näin ollen:

- toiminnanharjoittajan on oltava selvillä toiminnan ympäristövaikutuksista ja niiden vähentämismahdollisuuksista (Selvilläolovelvollisuus YSL 6§)
- toimintaa on harjoitettava niin, että ympäristön pilaantuminen rajoitetaan mahdollisimman vähäiseksi (YSL 7§)
- jos toiminnasta aiheutuu tai uhkaa aiheutua terveyshaittaa tai ympäristön pilaantumista, toiminnanharjoittajan on ryhdyttävä toimiin pilaantumisen torjumiseksi (Pilaantumisen torjuntavelvollisuus YSL 14§).

Esimerkiksi jatkuva määrän puun poltto niin, että naapurille aiheutuu terveys- tai viihtyisyyshaittaa, saatetaan olla tilanne, johon viranomainen voi puuttua ylläolevin perustein.

Toiminnassa on meneteltävä huolellisesti ja varovaisesti ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi sekä käytettävä pilaantumisen ehkäisemiseksi tarkoituksenmukaisia toimia (varovaisuus- ja huolellisuusperiaate sekä BAT-periaate YSL 20§).

Polttotavat vaikuttavat päästöihin merkittävästi.

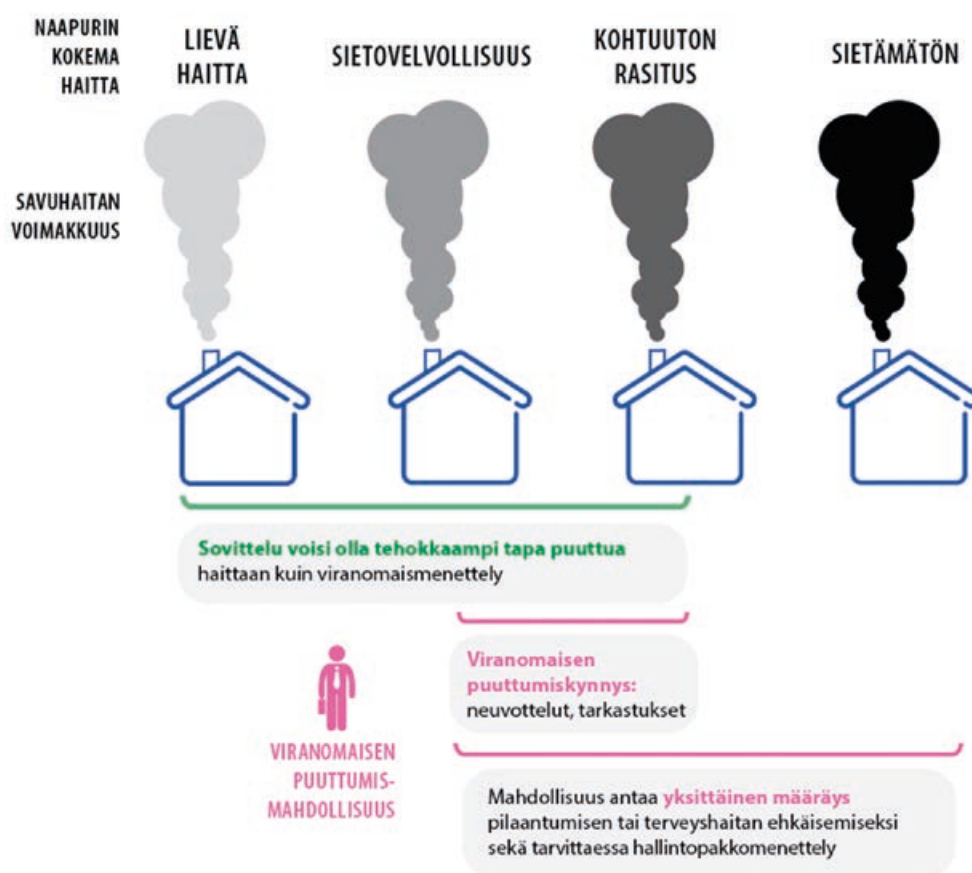
Jos polttotavat ovat huonot, päästöt ovat isot, vaikka polttolaite olisi erinomainen. Tumma tai ruskea savu tai kitkerä haju savussa ovat merkkejä huonosta palamisesta.

Päästöihin vaikuttavat mm.:

- polttoaineen laatu: poltetaan vain kuivaa ja puhdasta puuta
- tuulettuva ja sateelta suojattu puuvarasto
- ei saa polttaa jätteitä
- polttolaitteen huolto: nuohous, tuhkien poisto
- käyttäjän osaaminen: onko tutustuttu polttolaitteen käyttöohjeisiin?
- panoskoko, klapikoko, latominen, sytytystapa, ilmanvaihdon ja palamisilman säätö
- palamisen vaihe: erityisesti sytytysvaiheessa ja puita lisättäessä päästöt ovat suuret
- tulisija ja siihen tutustuminen: tulisijat ovat yksilöitä ja oman tulisijan parhaat käyttötavat oppii kokeilemalla.

Haitankärsijän mahdollisuudet ja velvollisuudet

Lähtökohtaisesti puhtaan ja kuivan puun polttaminen asianmukaisessa tulisijassa on sallittua. Viranomainen ei voi eikä saa puuttua kaikkeen puunpoltoon. Haitankärsijää koskee naapuruussuhdelain (26/1920)



Kuva 2. Savuhaitan voimakkuus viranomaisen ja naapurin kannalta. Naapurin kokeman haitan voimakkuus ja viranomaisen haitan rajoittamismahdollisuus eivät aina kohtaa.

mukainen sietovelvollisuus: kohtuuton rasitus naapurille ei ole sallittua. Viranomaisen puuttumiskynnys ylittyy, kun savuhaitta aiheuttaa kohtuutonta rasitusta (Kuva 2). Kynnys on tapauskohtainen, ja ärsytyskynnys vaihtelee yksilöittäin: tilanteen selkiyttämiseksi tarvitaan perusteellisia selvityksiä.

Hyvät tavat ja ystävällinen keskustelu naapurin kanssa ovat usein nopein ja tehokkain tapa haittojen vähentämiseksi. Jos välit kuitenkin ovat jo valmiiksi kehnot, voi ulkopuolista neutraalia sovittelua kysyä sovittelutoimistosta.

Lieviissä savuhaitoissa haitankärsijä voi sopeuttaa omaa toimintaa esimerkiksi sulkemalla ilmanvaihdon sekä välttämällä savuhaitan aikaan tuulettamista ja pyykin kuivaamista ulkona. Keskustelu näistä vaatii viranomaiselta erityistä hienotunteisuutta, sillä haitankärsijä ei useinkaan koe halukkuutta itse toteuttaa toimenpiteitä.

Työnjako kunnassa selkeäksi

Kunnan sisäisen työnjaon selkeyttäminen on tärkeää. Savuhaittatapaukset voivat ohjautua terveydensuojelu-, ympäristönsuojelu- tai rakennusvalvontaviranomaisille. Lainsäädännössä ei ole otettu yksiselitteisesti kantaa, kenelle tapaukset kuuluvat, joten yh-

teistyö on tärkeää päällekkäisen työn ja ristiriitaisten ohjeiden välttämiseksi. Terveydensuojelu- ja ympäristönsuojeluviranomaisen toimivaltaa ei ole haluttu lainsäädännössä rajata täysin erillisiksi joustavien menettelyiden turvaamiseksi. YSL:n ja TSL:n määritelmät terveyshaitasta ovat yhteneväiset, mikä korostaa lakien rinnakkaista soveltamismahdollisuutta. Pääsääntöisesti sisätilojen savuhaitassa asia kuuluu terveydensuojeluviranomaiselle ja ulkotilojen savuhaitassa ympäristönsuojeluviranomaiselle. Rakennusvalvontaviranomaisen rooli painottuu ennaltaehkäisyyn, rakennusteknisiin savuhaittojen syihin ja käyttötarkoituksen muutoksiin (esim. piharakennuksesta puusauna). Kunnassa kannattaa laatia yhteinen toimintamalli ja sopia työnjaosta.

Ylittyykö puuttumiskynnys?

Kaikkeen havaittuun savuun viranomainen ei voi eikä saa puuttua. Yksiselitteistä puuttumiskynnystä ei ole olemassa. Näkyvä ja tumma koko polttotapahtuman ajan esiintyvä savu on usein merkki ongelmista polttotapahtumassa. Naapuruussuhdelain mukaista haitan kohtuuttomuutta arvioitaessa ympäristönsuojeluviranomaisen on otettava huomioon mm. paikalliset olosuhteet, rasituksen tavanomaisuus, rasituk-

sen voimakkuus ja kesto ja rasituksen syntymisen alkamisajankohta.

Asumisterveysasetuksessa on hiukkasille terveyshaitan toimenpideraja, mutta yleisesti käytössä olevaa mittausten menetelmää ei ole. Lisäksi taustapitoisuus vaihtelee, savulähteitä voi olla useita ja sääolosuhteet vaikuttavat lähialueen pitoisuuksiin. Puuttumiskynnystä voi harkita esimerkiksi sen perusteella, onko alueella useita haitankärsijöitä tai toistuuko yhteydenotot esimerkiksi tietyn säätilan aikaan.

Savuhaitan arviointityökalut

Savuhaitan arviointityökaluja ovat Savuhaitan merkittävyyden arviointimatriisi, Savuhaitan seuranta-päiväkirja ja Lämmitystä ja puun polttoa koskeva selvitys. Savuhaitan merkittävyyden arviointimatriisiin haitankärsijä kirjaa arviot savun voimakkuudesta ja esiintymistiheydestä. Yhteisvaikutuksen perusteella arvioidaan savun terveydellistä merkittävyyttä ja jatkotoimien tarpeellisuutta.

Savuhaitan seuranta-päiväkirjaan haitankärsijä kirjaa yleensä mm. ajankohdat, vallitsevan säätilan, savuhaitan voimakkuuden (1-3) ja haitan kuvauksen. Mahdollista savuhaitan aiheuttajaa voi pyytää tekemään Lämmitystä ja puun polttoa koskeva selvityksen, johon kirjataan mm. päälämmitysmuoto, tulisijatiedot, tiedot polttoaineesta ja mahdolliset savuhaitat. Osapuolten käsitykset haitan syistä, kestosta ja voimakkuudesta voivat olla varsin erilaiset. Viranomaisen tehtävä on kuunnella kaikkia ja tehdä objektiivinen arvio.

Riittävä selvittäminen

Viranomainen on velvollinen selvittämään asiaa riittävästi. Selvityksiä ei kuitenkaan ole syytä jatkaa ”loputtomiin”. Riittävien selvitys puute on usein vähintään osasyys, jos asia palautetaan hallinto-oikeudesta. Suhteellisen varmalla pohjalla ollaan, kun tilanteesta riippuen on selvitetty/toteutettu seuraavat:

- haitan merkittävyys: kohtuuton rasitus, terveyshaitan aiheuttaminen, viihtyisyyden heikentyminen
- savun lähde
- alueella toteutettu savuhaittakysely
- savuhaitan esiintymisajat ja voimakkuus (savuhaittapäiväkirja 1 kk)
- polttopäiväkirja ja koepolttot (jos polttaja suostuu yhteistyöhön)
- viranomaisen tarkastukset ja niiden laadukas dokumentointi.

Ohjaus ja neuvonta

Haittoihin on yleensä tehokkainta vaikuttaa ennalta. Viranomainen voi pyytää paikallista nuohoojaa opastamaan puun polttajaa. Neuvonta ja ohjaus hyvässä hengessä auttaa usein vähentämään savuhaittoja sietovelvollisuuskynnyksen alapuolelle.

Esimerkiksi:

- Ohjeistetaan polttoaineen oikea varastointi ja käyttö.
- Korostetaan, että lastulevyn, vanerin, maalatun puun, likaisen puun ja muun jätteen polttaminen tulisijoissa on kiellettyä.
- Oheistetaan hyvään polttamistapaan ja palamisolosuhteiden säätöön.
- Tulisijan käytössä on noudatettava käyttöohjeita.
- Kehotetaan nuohouskertojen lisäämiseen.

Määräyksen antaminen

Tarvittaessa viranomaisen on annettava asiasta valituskelpoinen päätös. Määräys annetaan tarvittavista toimenpiteistä niin, että ne toteuttamalla haitta saadaan tasolle, joka alittaa sietovelvollisuuskynnyksen. Terveydensuojeluviranomainen arvioi, aiheutuuko sisälle kulkeutuvasta savusta savuhaittaa, ja velvoittaa tarvittaessa sen, jonka vastuulla haitta on, ryhtymään toimiin haitan poistamiseksi.

Ympäristönsuojeluviranomainen voi antaa ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaa toimintaa koskevan yksittäisen määräyksen. Viranomainen voi edellyttää esimerkiksi yhteensopivaa polttolaitteistoa ja polttoainetta, tulisijan käyttöajan rajoittamista, lämmitysjärjestelmän teknistä parannusta, savupiipun korottamista, kattilan käytön kieltämistä ilman vesivaraajaa ja jopa puunpolton kieltämistä, jos tilanteita ei saada korjaustoimenpiteillä hallintaan. Vuodenajat on otettava huomioon määräämisen annettaessa. Toimenpiteet voidaan määrätä toteuttavaksi uhkasakon uhalla.

Ohjeen liitteeseen 2 on koottu lähinnä hallinto-oikeuksien savuhaittoihin liittyviä päätöksiä. Päätöksiin tutustumalla voi saada tukea vireillä olevan tapauksen hoitamiseen. Aihepiirejä päätöksissä ovat mm. polttoaineen ja polttolaitteen yhteensopimattomuus, toimivaltakysymykset, asian riittävä selvittäminen, kaavoitus ja savuhaitta, puun pienpolttoa ei voitu kokonaan kieltää ja viranomaisen velvollisuus tehdä muutoksenhakukelpoinen päätös.

**Puun pienpolton savuhaittatapausten käsittely:
Ohje viranomaisille -julkaisu löytyy verkosta
suomeksi ja ruotsiksi**

Suomeksi: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-421-5>
Ruotsiksi: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-425-3>

Ilmansuojeluyhdistys myöntää vuosittain stipendejä ansioituneiden opinnäytetöiden tekijöille. Tässä lehdessä on kaksi stipendin saajan kirjoittamaa artikkelia.

Improving the Finnish Doppler lidar network's capability for aerosol observations

The capability of Halo Doppler lidars network in Finland has been assessed and demonstrated. It shows excellent potential for applications in not only aerosol science but also air quality and aviation safety.

Viet Le, Researcher, Finnish Meteorological Institute

Atmospheric aerosols are emitted either from anthropogenic activities (industry, transportation, etc.) or natural sources (forest fires, volcanic ash, etc.). They play a crucial role both in climate and in human's life.

Near the surface, aerosol particles such as dust and pollen have a negative impact on air quality and human health. Meanwhile, elevated aerosol from high altitude such as from volcanic eruptions or desert dust presents an imminent threat to aviation safety. One of the recent major incidents was the eruption of Eyjafjallajökull volcano in Iceland in April and May 2010, which caused major interruptions in the air traffic system over Europe for days. Although these kinds of events are rare, they can have severe impacts on the environment and economy. High resolution data of aerosol vertical and horizontal distribution could play a crucial role to mitigate the impact of hazardous aerosol emissions for the aviation industry. One of the motivations for this study is to improve the security of supply by air traffic in Finland by better volcanic ash detection.

At Finnish Meteorological Institute, a ground-based network of Halo Doppler is used to collect data of atmospheric vertical profiles continuously 24/7 across Finland up to 9 km above ground level (Figure 1).

Doppler lidar (Figure 2) is an instrument that is conventionally utilized for wind measurement such as in airports for wind shear detection. It emits laser pulses and measures the light scattered back by particles and hydrometeors in the atmosphere. Based on

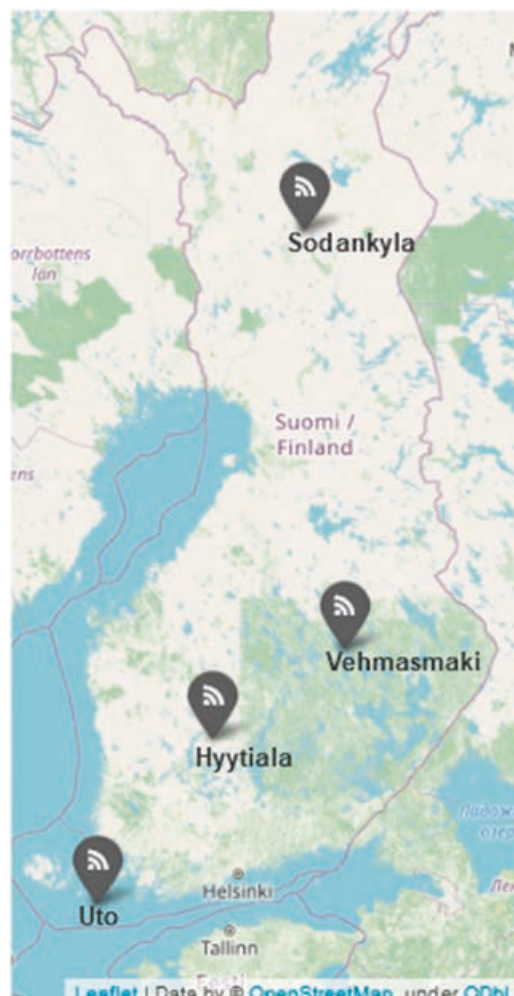


Figure 1: Locations of Halo Doppler lidars network that was utilized in this study in Finland



Figure 2: A Halo Doppler lidar on the rooftop of Finnish Meteorological Institute in Helsinki

the wavelength difference between the emitted and received light, the (along-beam) wind speed can be derived. Here, we evaluate the Halo Doppler lidar's capability to retrieve weak signals of aerosol depolarization ratio in continuous long-term operation.

The focus of this study is the aerosol depolarization ratio, which is a parameter that depends on the sphericity of the aerosol particles. The aerosol depolarization ratio enables classification of aerosol into different categories such as smoke, dust, marine and volcanic ash. For instance, marine aerosol is spherical and has very low depolarization ratio, while dust and ash are non-spherical and have high depolarization ratio.

The structure of this study consists of three main parts. Part one is to assess the quality of the data from the instruments in the network. In part two, a robust aerosol identification algorithm was created to extract the overall statistics of aerosol depolarization ratio. Finally in part three, a study case was shown to demonstrate the capabilities of the lidar network in

detecting elevated aerosol layer that was transported into the Finnish airspace.

In the first part, the time series of background signal-to-noise ratio was collected daily and analyzed. The background signal is supposed to follow Gaussian distribution with zero mean and, it can be used to assess any deterioration of the instrument. In addition, depolarization ratio at liquid cloud base is collected throughout the whole study period to determine the bleed-through (Vakkari et al., 2020) of the instruments. By comparing the differences between measured depolarization ratio and the hypothetical depolarization ratio of liquid cloud base (the value should be zero due to spherical droplet shape), the statistics of bleed-through can be obtained. This study found that most instruments in the network are stable and durable. Some deviations of background noise were observed in some instruments, but it was determined to be within an acceptable range. Small bleed-through values were detected in all instruments, and the depolarization ratio values were corrected accordingly.

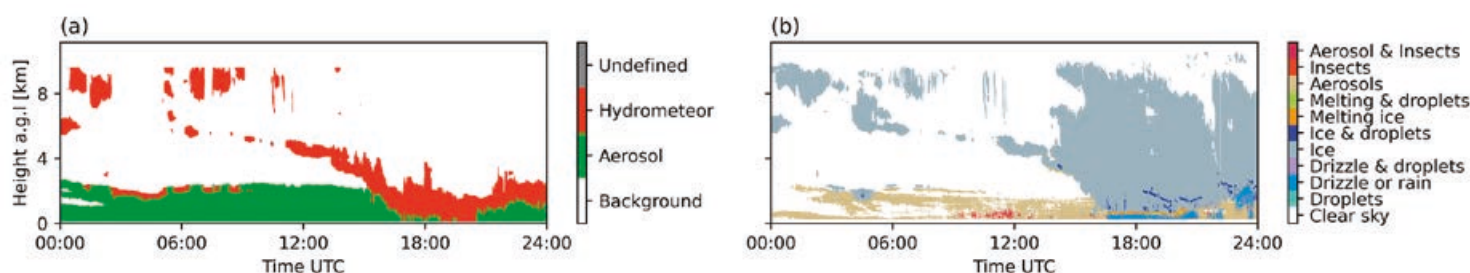


Figure 3: [a] Results from the aerosol identification algorithm and [b] Cloudnet classification algorithm on 2018-04-08 in Hyytiälä

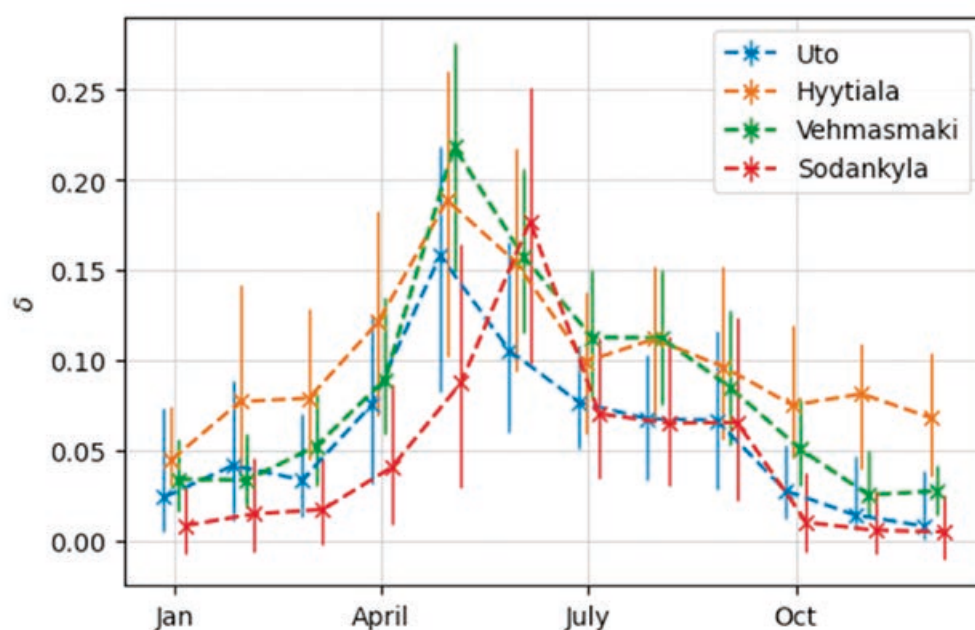


Figure 4: Monthly averages of aerosol depolarization ratio at all locations

After assessing and improving the data quality of all the instruments in the network in the first part, the data analysis can start in the second part. An algorithm was created to distinguish aerosol from clouds and precipitation using only data from the Halo Doppler lidar. The result from the algorithm was compared to the operational Cloudnet's classification algorithm (Illingworth et al., 2007) which utilizes a combination of data from multiple instruments such as ceilometer and cloud radar. Overall, the aerosol identification algorithm agrees very well with aerosol from Cloudnet's classification algorithm (Figure 3).

By applying this algorithm to the whole data set, the statistics of aerosol depolarization ratio was obtained. The overall pattern of aerosol depolarization ratio is displayed in Figure 4. The aerosol depolarization ra-

tios peak during summer, when pollen is abundant, and remain at the lowest in the winters. During summer, high depolarization ratio, which is a characteristic of pollen, can be observed during the daytime at most sites. In contrast, in the Utö island, the high depolarization ratio is observed at night, which suggests that pollen is transported to Utö from land at night.

In the final part of the analysis, a case of transported dust originated from Sahara Desert was observed by the network as shown in Figure 5. An aloft layer of aerosol was detected from 2018-04-14 21:00 UTC to 2018-04-15 10:00 UTC at Hyytiälä. Through simulation utilizing historical meteorological data, this layer of air mass is found to have been travelling for more than five days from Africa. The depolarization ratio of this layer is at around 0.24 ± 0.008 , which is

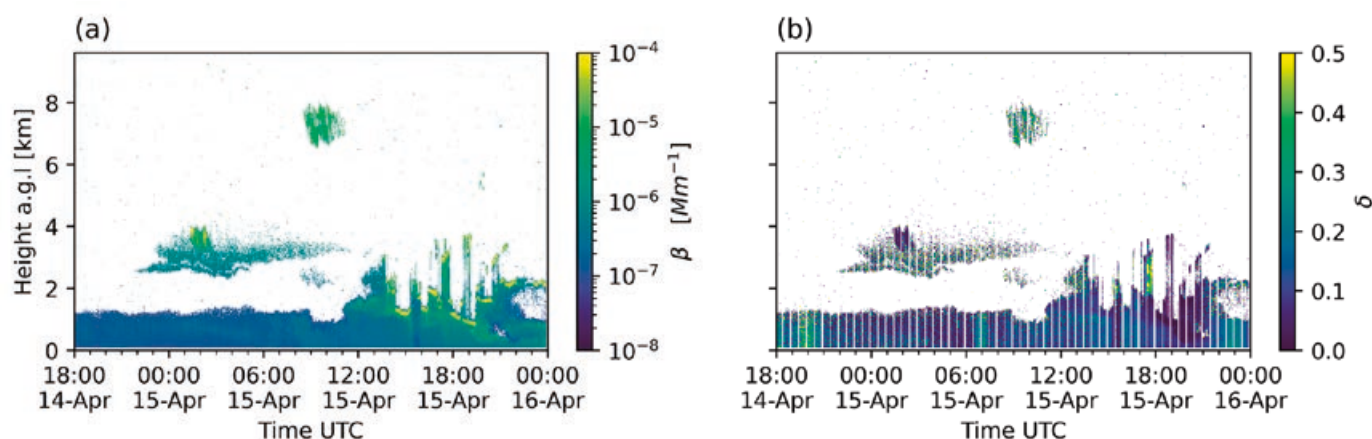


Figure 5: [a] Attenuated backscatter and b) Depolarization ratio profiles from 2018-04-14 18:00 UTC to 2018-04-16 00:00 UTC in Hyytiälä.

comparable to depolarization ratio of Saharan dust from literatures. The detection of this layer demonstrates the potential of the Doppler lidar network of providing timely warning for aircrafts and for air quality authority.

To sum up, this study offers a long-time view of aerosol depolarization ratio at 1565 nm wavelength, which is not common in literature. This is a steppingstone to the advancement of our understanding in aerosol science. The result also demonstrated excellent capability of the Doppler lidar network in monitoring transported aerosol and identifying its type and origin. This, in turn, would support air quality monitoring and improve the safety of aviation and the security of supply in Finland.

This article is based on Viet Le's thesis, the thesis and full bibliography are available at: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/334773>

The bibliography

Hirsikko, A., O'Connor, E. J., Komppula, M., Korhonen, K., Pfüller, A., Giannakaki, E., Wood, C. R., Bauer-Pfundstein, M., Poikonen, A., Karppinen, T., Lonka, H., Kurri, M., Heinonen, J., Moiseev, D., Asmi, E., Aaltonen, V., Nordbo, A., Rodriguez, E., Lihavainen, H., Laaksonen, A., Lehtinen, K. E. J., Laurila, T., Petäjä, T., Kulmala, M., and Viisanen, Y.: Observing wind, aerosol particles, cloud and precipitation: Finland's new ground-based remote-sensing network, *Atmos Meas Tech*, 7, 1351–1375, <https://doi.org/10.5194/amt-7-1351-2014>, 2014.

Illingworth, A. J., Hogan, R. J., O'Connor, E. J., Bouniol, D., Brooks, M. E., Delanoë, J., Donovan, D. P., Eastment, J. D., Gaussiat, N., Goddard, J. W. F., Haefelin, M., Klein Baltinik, H., Krasnov, O. A., Pelon, J., Piriou, J. M., Protat, A., Russchenberg, H. W. J., Seifert, A., Tompkins, A. M., van Zadelhoff, G. J., Vinit, F., Willen, U., Wilson, D.

Abstract

In order to improve our understanding of the role of aerosol in climate and the capability to detect volcanic ash, a ground-based network of Halo Doppler lidars is used to collect data of aerosol vertical profiles across Finland.

Data quality of the network has been assessed and improved. A robust classification algorithm is created to extract aerosol depolarization ratios from the data to calculate overall statistics. The aerosol depolarization ratios, which describe the spherical shape of aerosol particle, are found to vary by season and location. They peak during summer, when pollen is abundant, but they remain at the lowest in the winter. Several cases of long-range transported aerosol were detected by the network, one case of Saharan dust was shown here.

This study offers an overview of depolarization ratio for aerosol at a wavelength of 1565 nm, which is not commonly reported in literature. This opens a new possibility of using Doppler lidars for aerosol measurements to support air quality monitoring and the safety of aviation.

R., and Wrench, C. L.: Cloudnet: Continuous evaluation of cloud profiles in seven operational models using ground-based observations, *Bull Am Meteorol Soc*, 88, <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-6-883>, 2007.

Vakkari, V., Baars, H., Bohlmann, S., Bühl, J., Komppula, M., Mamouri, R. E., and O'Connor, E. J.: Aerosol particle depolarization ratio at 1565 nm measured with a Halo Doppler lidar, *Atmos Chem Phys*, 21, <https://doi.org/10.5194/acp-21-5807-2021>, 2021.

Kasvihuonekaasupäästöjen seuranta tomografia-kuvantamisen keinoin

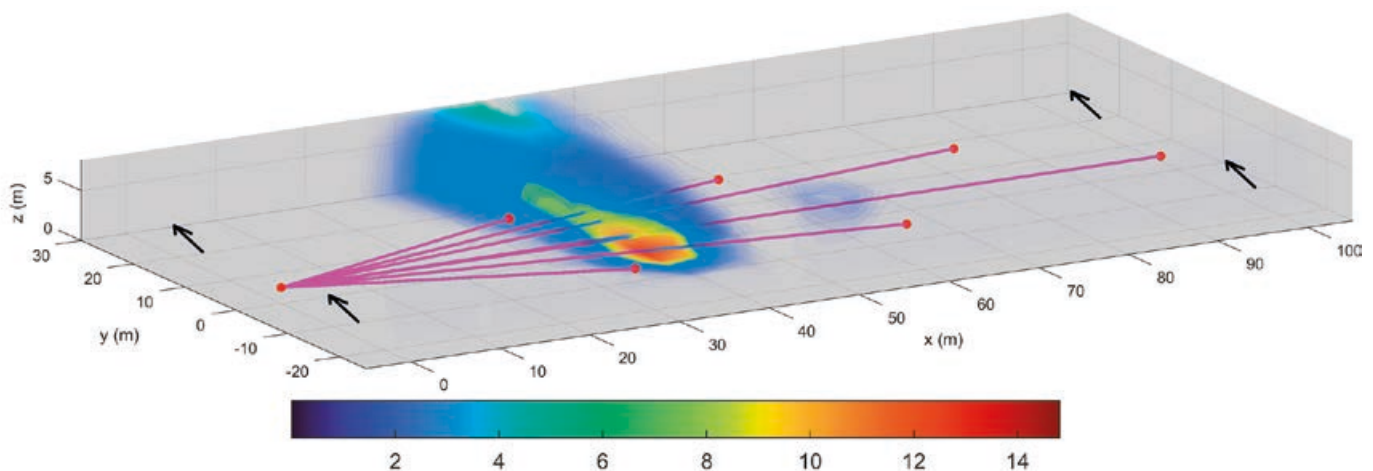
Avoimen säteen lasermittauksiin yhdistetyllä kolmiulotteisella kaasunvirtausmallinnuksella pyritään määrittämään kasvihuonekaasulähteiden ja -nielujen sijainnit ja voimakkuudet. Kehitetty malli soveltuu reaaliaikaiseen kaasupäästöjen seurantaan kymmenien hehtaarien kokoluokan alueilla. Jatkotutkimuksessa menetelmää kehitetään erityisesti maatalouden kasvihuonekaasutaseiden määrittämiseen.

Elias Vänskä, väitöskirjatutkija, Itä-Suomen yliopisto

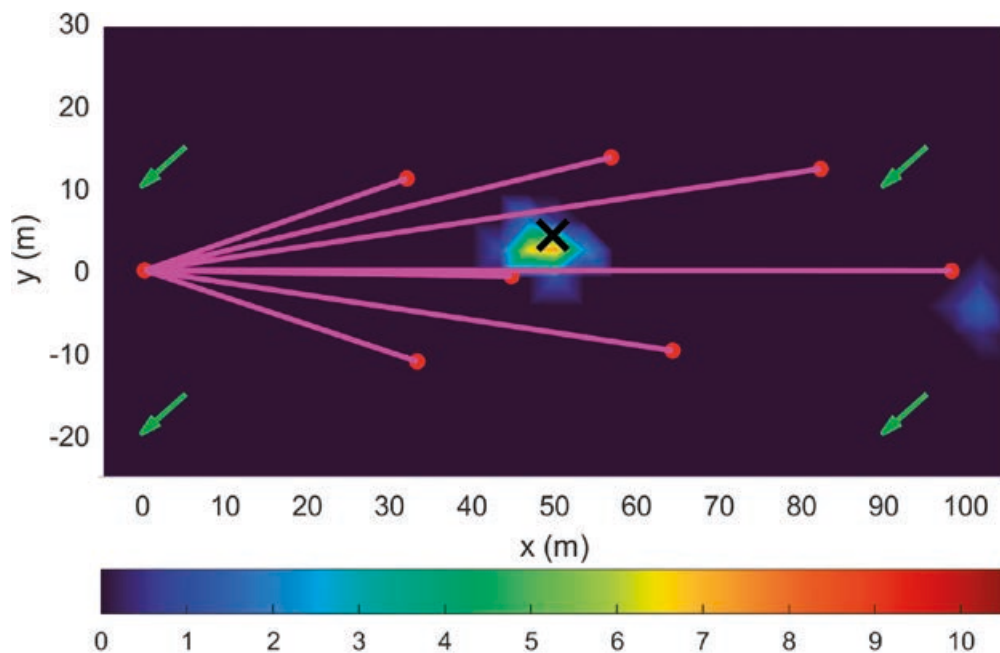
Ilmastonmuutoksen torjunta edellyttää toimia globaalin kasvihuonekaasujen (KHK) pitoisuuksien kasvun pysäyttämiseksi. Käytännössä tämä tapahtuu vaikuttamalla KHK-lähteisiin ja -nieluihin. Tehokkaiden päästövähennysten saavuttamiseksi on tärkeää tunnistaa kunkin sektorin päästöihin voimakkaimmin vaikuttavat tekijät. KHK-lähteisiin liittyvä tieto on kuitenkin usein etenkin laitosmittakaavassa (esim. yksittäinen tehdas-alue tai maatila) hyvin epävarmaa.

KHK-lähteiden tunnistaminen ja kvantifiointi on haastavaa, koska niistä saadaan ainoastaan epäsuoraa tietoa kaasupitoisuusmittauksien kautta. Lähteen määrittäminen pitoisuusmittauksista on niin kutsut-

tu huonokuntoinen käänteis- eli inversio-ongelma, minkä vuoksi luotettavan lähde-estimaatin laskemiseksi tarvitaan aina jonkinlaista lisätietoa ja oletuksia. Käytössä olevat KHK-lähteiden estimointimenetelmät perustuvat usein pistemäisiin mittauksiin ja voimakkaaseen aika- ja paikkakeskiarvoistukseen, minkä lisäksi malleihin voi liittyä huomattavia fyysikaalisia oletuksia ja rajoitteita. Tällaisilla menetelmillä esimerkiksi spatiaalisten vaihteluiden havaitseminen lähdejakaumassa on usein haastavaa. Kuitenkin, ympäristöstä riippuen, KHK-lähdejakauma voi sisältää esimerkiksi voimakkaita, pistemäisiä lähdepiikkejä (metaanivuoto tehdasalueella), tai laajoja, vahvasti korreloituneita nieluja (metsä tai pelto kasvukaudella). Laitosmittakaavassa tehokkaiden päästövähennyskeinojen löytämiseksi on siis kehitettävää



Kuva 1: Laskennallisella kaasuvirtausmallilla ratkaistu hetkellinen metaanipitoisuusjakauma (ppm) kolmiulotteisessa laskentatilassa. Purppurat viivat kuvaavat lasersäteitä ja mustat nuolet tuulen suuntaa. Selkeyden vuoksi kuvassa näkyvät vain taustapitoisuuden (~2 ppm) ylittävät metaanipitoisuudet.



Kuva 2: Estimoidun kaasulähdjakauman odotusarvon (ppm/s) kaksikulotteinen leikekuva maan pinnan tasolta yhtenä ajanhetkenä. Musta rasti osoittaa todellisen kaasulähteen sijainnin. Punaiset pisteet ja purppurat viivat kuvaavat avoimen säteen lasermittausten geometriaa, ja vihreät nuolet tuulen suuntaa.

menetelmiä, joilla kaasulähteistä saadaan luotettavaa aika- ja paikkasidonnaista tietoa.

Pro gradu -työssäni kehitin uudenlaista avoimen säteen laserdispersiomittauksiin sekä Bayesilaiseen tilaestimointiin (data-assimilaatioon) perustuvaa kaasulähteiden estimointimenetelmää. Menetelmässä kaasupitoisuusmittauksiin yhdistetään tuulimittauksia hyödyntävä laskennallinen kaasunvirtausmalli, joka tuo lisätietoa kaasulähteen spatiaalisesta jakaumasta. Kehitin menetelmää erityisesti voimakkaiden pistemäisten kaasulähteiden estimointiin, mutta sitä voidaan soveltaa myös muunlaisten KHK-jakaumien tapauksiin.

Mittauksista lisätietoa Bayesilaisen tilaestimoinnin avulla

Työssä hyödynnettiin uudenlaista avoimen säteen laserdispersiospektroskopiaan perustuvaa mittausmenetelmää. Mittauksissa keskiarvoinen kaasupitoisuus lasersäteen matkalta lasketaan mitattavan kaasun absorptio- ja dispersiospektriä hyödyntäen. Mittausasetelma muodostuu mitattavalle kaasulle optimoidusta laserlähteestä ja sensorista, sekä useista peileistä, joiden avulla keskiarvoista kaasupitoisuutta voidaan mitata eri suunnista ja eri pituisilta matkoilta. Lisäksi mittalaitteistoon yhdistetty sääasema mittaa tuulta ja muita mikrometeorologisia muuttujia.

Työssä käytettiin kaasulähteen määrittämiseen Bayesilaista tilaestimointia, jossa kaikkia muuttujia mallinnetaan satunnaismuuttujina. Bayesilainen lähestymistapa mahdollistaa esimerkiksi malleihin ja mittauksiin liittyvien epävarmuuksien huomioimi-

sen estimoinnissa. KHK-pitoisuusmittauksiin liittyvän Bayesilaisen inversio-ongelman ratkaisuna saadaan pitoisuus- ja lähdejakaumien estimaatit ja niihin liittyvät epävarmuudet. Estimaatteihin vaikuttavat mitausten lisäksi kaasun laskennallinen virtausmalli sekä muu muuttujiin liittyvä ennakkotieto, kuten kaasupitoisuusjakauman oletettu sileys paikan suhteen. Kolmiulotteisen mallinnuksen ansiosta pitoisuus- ja lähdejakaumien odotusarvot ja epävarmuusvälit voidaan esittää ajan suhteen muuttuvina kolmiulotteisina tomografiakuvina.

Tutkimukseen liittyi myös tilaestimoinnissa käytetyn kaasunvirtausmallin kirjoittaminen niin kutsuttuun redusoituun muotoon, mikä tiputti merkittävästi ongelman laskennallista dimensiota ja siten myös laskenta-aikaa. Laskennan nopeuttaminen on välttämätöntä, jotta KHK-päästöjen kolmiulotteista monitorointia voidaan tulevaisuudessa tehdä reaaliaikaisesti. Redusoitu malli toteutettiin niin sanotun pääkomponenttianalyysin avulla. Pääkomponenttianalyysissa hyödynnetään ennakkotiedon perusteella laskettavia muuttujien spatiaalisia korrelaatioita, jotka huomioimalla redusoitu malli menettää mahdollisimman pienen osan täyden mallin sisältämästä tiedosta.

Pistemäinen metaanilähde paikannettiin metrien tarkkuudella

Menetelmän toimivuutta tutkittiin sekä laskennallisilla simulaatioilla että Rutherford Appleton Laboratoryn (RAL) toimittamilla kontrolloidusta metaanipäästöstäkokeista suoritetuilla mittauksilla. Simu-



Kuva 3: Esimerkki PelloTomo-projektin mittausasetelmasta. Etualalla kuvassa Mirico Orion Dual Gas (CO_2 , CH_4)-laserlähde ja sensori. Laserlähde skannaa kolmijalkojen päälle pellolle aseteltuja peilejä. Peilien välisiltä palstoilta suoritetaan kammiomittauksia. Lisäksi pellon keskellä (kuvan ulkopuolella) on pyörrekovarianssimittalaitteisto.

laatioissa laskentahilaan luotiin halutunlainen kaasulähde, josta leviävää kaasupitoisuutta ratkaistiin ajassa eteenpäin mahdollisimman tarkassa laskentahilassa. Synteettiset mittaukset tehtiin laskennallisella mittausmallilla näin ratkaistusta ”todellisesta kaasupitoisuusjakaumasta”. Synteettisiin mittauksiin lisättiin kohinaa, minkä jälkeen niitä kohdeltiin kuten todellisia mittauksia. Simulaatioiden etuna on se, että niitä käytettäessä todelliset kaasulähde- ja pitoisuusjakaumat tiedetään tarkasti, jolloin niitä voidaan verrata inversio-ongelman ratkaisuna saataviin estimaatteihin.

Synteettisissä mittauksissa käytetty mittausgeometria vastasi RAL:n suorittamien kokeellisten metaanipäästömittausten asetelmaa. Mittauksissa monitoroitiin noin 55 m x 105 m kokoista peltoaluetta. Asetelmassa käytettiin seitsemää peiliä, joiden etäisyys laserlähteestä vaihteli noin 30 ja 100 metrin välillä. Metaanipäästöjä tehtiin eripuolille monitoroitavaa aluetta asetetuista 2 m x 2 m kokoisista säiliöistä. Yksittäisessä kokeessa yhdestä tai kahdesta erillisestä säiliöstä päästettiin metaania vakiosuuruisella, noin 1.1–1.5 kg/h massavuolla 1–2 tunnin ajan.

Menetelmä tuotti lupaavia tuloksia niin kaasupitoisuus- kuin lähdejakaumien rekonstruktioissa. Työn tuloksissa keskityttiin kaasulähteiden paikannustarkkuuteen sekä voimakkuuksien arvioimiseen kvalita-

tiivisella tasolla. Kaasulähteen paikannus onnistui muutamien metrien tarkkuudella sekä synteettisistä että todellisista mittauksista. Myös redusoidulla mallilla lasketut kaasulähteiden odotusarvot keskittyivät todellisten lähteiden lähelle, vaikkakin ne jakautuivat hieman laajemmalle alueelle tarkalla mallilla laskettuihin odotusarvoihin verrattuna.

Kuvassa 2 on esimerkki RAL:n mittauksista redusoidulla mallilla lasketusta lähdejakauman odotusarvosta. Odotusarvon huippukohta sijaitsee hyvin lähellä todellista kaasulähdettä. Odotusarvo sisältää myös toisen, heikomman huippukohdan alueen oikeassa laidassa. Tällä alueella estimaatin epävarmuus on kuitenkin suuri; epävarmuustietoa voidaan hyödyntää tunnistamaan todellinen lähde muista mahdollisista odotusarvon huipuista. Redusoidulla mallilla suoritettu laskenta koko 50 minuutin mittaukselle kesti alle 5 minuuttia, kun nykyisin käytössä olevilla menetelmillä tuon kokoluokan laskentaan kuluu tunteja; menetelmä soveltuu siis hyvin reaaliaikaiseen monitorointiin.

Työssä keskityttiin kaasulähteiden paikantamiseen, mutta erityisen tärkeää on pyrkiä saamaan luotettava arvio myös KHK-lähteen massavuolle. Kolmiulotteinen mallinnus mahdollistaa lähteen kokonaismassavuon suoran kvantifoinnin laskettujen rekonstruktioiden perusteella. Jotta tämä voidaan tehdä hyvällä

tarkkuudella, tarvitaan vielä kaasuvirtausmallin jatkokokeitusta ja lisää validointia mittauksilla, joissa todellisen lähteen voimakkuus on tiedossa.

Jatkotutkimuksessa menetelmää kehitetään erityisesti maatalouden kasvihuonekaasutaseiden arvioimiseen

Pro gradu -työssä toteutettua laskentaa kehitetään edelleen Itä-Suomen yliopiston ja Luonnonvarakeskuksen ”Tomografiaa pellolla” (Peltotomo) -tutkimushankkeessa. Hankkeen tarkoituksena on soveltaa uutta mittausta- ja laskentamenetelmää maatalousmaiden KHK-taseen määrittämiseen, ja tuottaa uudenlaista tietoa KHK-taseista maataloustoimijoiden käyttöön. Maatalousmaiden KHK-lähteet ja -nielut ovat usein luonteeltaan vahvasti paikan suhteen korreloituneita ja voimakkuudeltaan heikkoja, joten niiden KHK-taseen määrittäminen poikkeaa selvästi esimerkiksi pistemäisten kaasuvuotojen paikantamisesta ja kvantifioinnista. Maatalouden KHK-taseiden määrittämisessä kiinnostavinta on nielujen ja lähteiden voimakkuus ja niiden spatiaalinen rakenne: Vaihteleeiko esimerkiksi nurmipellon nielun voimakkuus eri puolilla peltoa maaperän kosteuden, lannoituksen tai kasvijikkeiden vaihtuessa? Tomografiakuvantamiseen perustuvan mallin avulla pyrimme tarkastelemaan tämän kaltaisia spatiaalisia vaihteluita, joiden määrittäminen on nykyisillä menetelmillä haastavaa.

Osana Peltotomo-projektia Itä-Suomen yliopiston Sovelletun fysiikan laitokselle hankittiin avoimen säteen lasermittauslaitteisto, joka soveltuu kymmenien hehtaarien laajuisten alueiden jatkuviin hiilidioksidin ja metaanipitoisuusmittauksiin. Projektin mittaukset käynnistyivät kesäkuussa 2022 Luonnonvarakeskuksen Maaninnan osaston koepellolla (kuva 3). Mittauksista laskettaville KHK-lähteiden ja -nielujen estimaateille saadaan myös verrokkidataa, sillä samalla pellolla on käynnissä jatkuva pyörrekovarianssimittaus ja intensiivipalstoilta tehtävät kammioimittaukset.

Lähteet

A. Feitz, I. Schroder, F. Phillips, T. Coates, K. Negandhi, S. Day, A. Luhar, S. Bhatia, G. Edwards, S. Hrabar, E. Hernandez, B. Wood, T. Naylor, M. Kennedy, M. Hamilton, M. Hatch, J. Malos, M. Kochanek, P. Reid, J. Wilson, N. Deutscher, S. Zegelin, R. Vincent, S. White, C. Ong, S. George, P. Maas, S. Towner, N. Wokker ja D. Griffith, ”The Ginninderra CH₄ and CO₂ release experiment: An evaluation of gas detection and quantification techniques,” International Journal of Greenhouse Gas Control,

Abstract: Monitoring greenhouse gas emissions via tomography imaging

Due to rising atmospheric greenhouse gas (GHG) concentrations and their driving effect on climate change, improved methods for localizing and quantifying GHG emissions are needed. Particularly on site-scale, many contributing factors to the total GHG exchange are poorly understood due to severe constraints and unrealistic assumptions in estimation methods. In this work, a novel approach for continuous site-scale GHG monitoring was considered. The method combines open-path laser dispersion spectroscopy-based sequential gas concentration measurements and Bayesian state estimation to reconstruct spatiotemporal GHG concentration and source distributions as three-dimensional, time-evolving tomography images. Three-dimensional gas flow modelling, spatiotemporal prior information, and uncertainty modelling were included in the state estimation. The method was tested using numerical simulations and measurements collected from controlled methane releases. Localization of a methane point source was done in order of meters accuracy, and the estimated emission rates were of the correct magnitude. Future work involves further developing the methods, particularly for studying GHG balances in agricultural fields.

vol. 70, pp. 202-224, 2018.

S. E. M. Fletcher and H. Schaefer, ”Rising methane: A new climate challenge,” Science (American Association for the Advancement of Science), vol. 364, pp. 932-933, 2019.

B. Hirst, D. Randell, M. Jones, J. Chu, A. Kannath, N. Macleod, M. Dean ja D. Weidmann, ”Methane Emissions: Remote Mapping and Source Quantification Using an Open-Path Laser Dispersion Spectrometer,” Geophysical Research Letters, vol. 47, 2020.

I. T. Jolliffe, Principal Component Analysis, Springer, New York, NY, 2002.

J. Kaipio ja E. Somersalo, Statistical and computational inverse problems, 2004.

A. Seppänen, ”State estimation in process tomography,” Väitöskirja, Kuopion yliopisto, 2001.

E. Vänskä, ”Proper orthogonal decomposition based model reduction in Bayesian estimation of gas emissions,” Pro gradu -tutkielma, Itä-Suomen yliopisto, 2021.

Tiina Koljonen

Kuinka kauan olet työskennellyt ilmastokysymysten parissa?

Viime kesänä tuli täyteen 30 vuotta VTT:llä ja koko urani ajan olen tehnyt tutkimustyötä, joka kytkeytyy ilmastokysymyksiin. 1990-luvulla työskentelin teknologian kehityksen parissa, jolloin ilmastokysymykset eivät olleet vielä niin pinnalla. 2000-luvun alussa tutkin muun muassa hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (CCS) ja siitä lähtien ilmastokysymykset ovat olleet päälinjallisena tutkimushaasteena.

Mitkä ovat olleet merkittävimmät murroskohdat ilmastonsuojelussa oman urasi aikana?

YK:n Pariisin ilmastosopimus joulukuussa 2015 ja siihen kirjattu lämpötilan nousun rajaaminen 1,5 asteen esiteolliseen aikaan verrattuna nosti valtioiden ja maaryhmien ilmastotavoitteet aivan uudelle tasolle. Tuolloin ei vielä ymmärretty kovin hyvin mitä 1,5 asteen tavoite voisi käytännössä tarkoittaa, mutta IPCC:n erikoisraportti liittyen 1,5 asteen ilmastotavoitteeseen antoi päästötavoitteille uudet raamit. Tämän jälkeen oli viimeistään selvää, että kaikkien valtioiden, toimialojen, yritysten, kuntien ja jopa kotitalouksien tulee pyrkiä kohti hiilineutraalisuutta. Lisäksi meidän pitää poistaa hiilidioksidia ilmakehästä luonnollisin (esim. metsien hiilinielut) ja teknisillä keinoilla (esim. BECCS).

Mitkä ovat olleet viimeisimpiä työtehtäviäsi tai projektejasi?

COVID-19 pandemian aikana laadimme skenaariotarkasteluja sekä politiikkatoimien vaikutusten arvioita tukemaan hallituksen ilmasto- ja energiastrategian sekä keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (I. KAISU) laadintaa. Koordinoin itse laajaa VN TEAS HIISI (www.hiisi2035.fi)-tutkimushanketta sekä HIISI-jatkohaketta. HIISI-hankkeen ohessa laadimme myös Suomen ilmastolakiehdotusta tukevia skenaariolaskelmia sekä toteutimme Suomen biotalousstrategian päivityksen taustalle omat skenaariolaskelmat.

Samoihin aikoihin EU julkisti myös ns. FitFor55-säädösehdotuspaketin, jonka vaikutuksia Suomelle pohdittiin myös HIISI-hankkeessa. Parhaillaan työskentelen muun muassa Suomen kiertotalouden green



deal:in ja siihen liittyvän skenaariotyön parissa. Lisäksi tutkin kansainvälisissä tutkimushankkeissa negatiivisten päästövähennysteknologioiden ja -keinojen kestäviä potentiaaleja sekä ilmastomuutoksen hillintään ja sopeutumiseen liittyvää sosiaalista oppimista lähiympäristössä. Paljon muutakin on ollut ja on paraillaan meneillään, mutta tässä tärkeimmät.

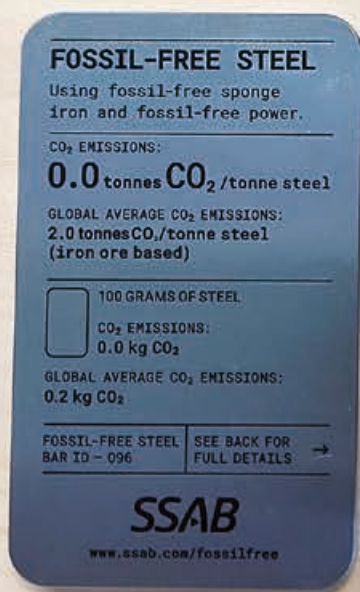
Mitä näet suurimpina tulevana rendeinä ja haasteina ilmastoalalla?

Ilmastoala on vielä toistaiseksi ollut verrattain teknologiakeskeistä ja painottunut kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Näkisin, että jatkossa myös ilmastomuutokseen sopeutuminen sekä siihen liittyvät teknologiat ja järjestelmät tulevat olemaan yhä tärkeämmässä roolissa. Toisaalta, kun tarkastelemme investointien, politiikkatoimien ja muiden päätösten vaikutuksia tarvitsemme yhä laajempaa ja monitieteellisempää tarkastelua liittyen ympäristöön ja luontoon, huoltovarmuuteen, talouteen sekä ihmisiin ja ihmisryhmiin. Toistaiseksi ei esimerkiksi juurikaan sisällytetä ilmastomuutoksen aiheuttamia haittoja tai toimimattomuuden ulkoiskustannuksia eri tarkasteluihin. Lisäksi tarvitsemme yhä enemmän sosiaali-, ihmis- ja yhteiskuntatieteilijöitä pohtimaan niitä parhaita keinoja, joilla ilmastomuutos saataisiin pysäytettyä tehokkaasti ja oikeudenmukaisella tavalla.

Mitä haluaisit saada aikaan urasi aikana?

Unelmana luonnollisesti olisi, että hiilineutraalisuustavoitteet aidon oikeasti saavutettaisiin ja että voisoin itse olla tukemassa tätä siirtymää erityisesti Suomessa, mutta myös muualla. Hopealuotia tähän ei ole vielä löytynyt, mutta toivon mukaan urani aikana oma ja muiden ymmärrys asiasta on kasvanut ja ainakin suuret esteet on saatu raivattua hiilineutraalin yhteiskunnan tieltä.

Tapahtuu-osiossa kerromme ISYn järjestämistä kiinnostavista tapahtumista, seminaareista ja retkistä. Lisää tietoa: isy.fi



SSAB:n suunnitelmissa on tehdä tulevaisuudessa fossiilitonta terästä elektrolyysillä tehdyn vedyn avulla. Me saimme ihailla ja kosketella näin valmistettua rautasientä ja myös siitä tuotettua teräslevyä.

ISY:N OPINTOMATKA

TUULESTA TEMMATTU - Perämerestä Persianlahti

ISY:n opintomatalla oli erinomaiset tutustumiskohteet: Kokkolan suurteollisuusalue ja Raahessa SSAB terästehdas.

Matkalla oli mukana 11 ISY:n jäsentä ja Helena Kivi-Koskinen toimi matkanjohtajamme.

Anu Kousa, ISY:n puheenjohtaja

Markkinointipäällikkö Johanna Hylki-lä Kokkolan Suurteollisuusalueyhdistys ry:stä ja Ympäristöpäällikkö Virve Heikkinen KIP Service Oy:stä kertoivat meille Kokkolan suurteollisuusalueen historiasta ja nykyisyydestä. Alue on Pohjois-Euroopan suurin epä-organisen kemianteollisuuden ekosysteemi. Teollisuusalueen juuret ovat vuodelta 1945, kun alueelle pe-

rustettiin rikkihappotehdas ja superfosfaattitehdas. Nykyisen teollisuusalueen pinta-ala on 700 ha ja siellä toimii lähes 80 yritystä. Alueen ideana on, että toisen sivuvirta on toisen yrityksen raaka-aine. Alueelle on myös perustettu yhdistys, jonka puitteissa mietitään yhdessä myös ympäristöön ja turvallisuuteen liittyviä asioita. Muita yhteistyöryhmiä ovat markkinointi, henkilöstöhallinto ja ict. Yhdistys on koettu erinomaiseksi tiedon jakamiskeinoksi.

Vetyä voidaan tuottaa monella tavalla ja olisi tär-

Kokkolan energian ei tarvitset tuottaa kesällä kaukolämpöä lainkaan, vaan teollisuuspuiston hukkalämmöllä saadaan lämmitys hoidettua.

keää, että sen valmistus olisi mahdollisimman vähän hiilidioksidipäästöjä tuottavaa tai mieluiten hiilidioksidipäästöjä ei syntyisi lainkaan. Toimitusjohtaja **Laura Rahikka** Hycamite TCD Technologies Ltd:stä esitteli miten heillä tehdään vetyä. Hycamite pilkkoo metaanista vetyä ja hiiltä katalyyttien avulla. Siten ei synny hiilidioksidipäästöjä lainkaan. Tämä tuotantotapa vie myös vähemmän energiaa kuin elektrolyysi. Parhaillaan on menossa erilaisten katalyyttien testaukset. Myös tuotannon skaalauskoheet ovat menossa. Tällä hetkellä testilaitos on jo käynnissä ja koetehtaan tuotantotilat rakenteilla. Mielenkiintoista on, että käytettävänä lopputuotteena ei synny vain vetyä, vaan myös hiiltä. Tuotettua hiiltä voidaan käyttää monella tavalla, kuten esimerkiksi akuissa tai sementti- ja terästeollisuudessa.

Tutustuimme myös alueella höyryä, lämpöä ja sähköä tuottavan Kokkolan energian toimintoihin. Kokkolan energian ESQ-päällikkö **Heidi Keto-Tokoi** ja tuotantojohtaja **Tommi Korpi** esittelivät meille Kokkolan energian Voima-nimistä laitosta. Raa'an tuulen riepottelemana tutustuimme raaka-ainekenttään. Kokkolan energian ei tarvitset tuottaa kesällä kaukolämpöä lainkaan, vaan teollisuuspuiston hukkalämmöllä saadaan lämmitys hoidettua.

Osa meistä opintomatkalaisista tutustui myös Kokkolan kaupungin keskustaan kävellessä. Kaupunkikävelykierroksella näimme hienosti ylläpidettyjä puutaloja ja jopa aikoinaan kokkolalaisten Krimin sodassa englantilaisilta kaappaaman maihinnousuveeneen.

Keskusteluja jatkettiin illallisella Kokkolan energian kanssa. Sähkön ja lämmön riittävyys sekä niiden tuottotavat tulevana talvena pohdituttivat illan aikana meitä kovasti.

Kirpeänä aurinkoisena aamuna jatkoimme bussilla matkaa Raaheen. Aluksi SSAB:n ympäristöjohtaja **Harri Leppänen** esitteli meille SSAB:n Raahan tehtaan nykytilaa ja tulevaisuuden suunnitelmia. Tehtaalla valmistetaan standardi-, premium- ja erikoisteräksiä. Tehtaalueen koko on noin 500 hehtaaria. Tehtaan hiilidioksidipäästöt ovat noin 7 % Suomen hiilidioksidipäästöistä. Niinpä päästöjen alentami-

nen on todella oleellista, jotta Suomi pääsee tavoitteeseensa hiilidioksidipäästöjen alentamisessa. Suunnitelmissa on tehdä tulevaisuudessa fossiilitonta terästä elektrolyysillä tehdyn vedyn avulla. Nykyisen tehtaan tilalle tulisi kokonaan uusi tehdas ja vanhat rakenteet käytettäisiin raaka-aineena (kierrätysteräksenä) uuden teräksen valmistuksessa. Ainakin aluksi rautasieni valmistettaisiin SSAB:n Ruotsin tehtailla hiilidioksidipäästöttömästi. Me saimmekin ihailla ja kosketella näin valmistettua rautasientä ja myös siitä tuotettua teräslevyä.

Raahan kaupungin teollisuusasiamies **Harri Tuomikoski** kertoi, miten Raahe osallistuu Perämeren erilaisiin hankkeisiin. Alueella on todella paljon tuulivoimahankkeita ja ne tulevat lisääntymään tulevaisuudessa. Lisäksi alueella on vetyhankkeita. Esimerkiksi BotH2nia on vetytaloudesta kiinnostuneiden toimijoiden yhteinen verkosto, jonka tavoitteena on luoda Pohjanlahdesta maailman ensimmäinen vetylahti.

Esittelyjen jälkeen pääsimme kiertoaajelulle tehtaan alueelle. Oppaana tehdasalueella olivat SSAB:n kehitysjohtaja **Kari Ojala** ja Harri Leppänen. Aloitimme kierroksen satamasta, johon raaka-aineet tulevat saapuessaan tehtaalle. Tehtaalla valmistetaan raakarautaa, joka jalostetaan teräkseksi terässulattolla. Sulasta teräksestä tehdään teräsaihioita, jotka valssataan levyiksi tai keloiksi kuumavalssauslaitolla. Valssausosa pääsimme näkemään teräslevyjen teon. On hurjan näköistä, kun kuumana hehkuva rautaa käsitellään vedellä ja voimalla.

Opintomatkamme lopuksi tutustuimme vielä Vihannin puukirkkoon, joka on rakennettu vuonna 1784. Kirkossa on Emanuel Granbergin alttaritaulu ja nuoruuden maalaus Getsemanesta. Kirkon sakastin katto on tehty Vihannin ensimmäisen kirkon kattolautoista ja sitä koristavat vesivärimaalaukset. Kirkosta meille kertoivat kanttori **Asko Rautakoski** ja kappalainen **Petri Tervo**. Saimme kuulla myös pienen urkukonsertin.

Kiitokset osallistujille ja vierailukohteille! Oli todella hieno, monipuolinen matka ja keskustelut olivat erittäin antoisia!



ILMANSUOJELUYHDISTYS

Ilmansuojeluyhdistys (ISY) toimii alansa valtakunnallisena ympäristönsuojelujärjestönä. Ilmansuojeluyhdistyksen tarkoituksena on edistää ilmansuojelua ja ilmansuojelututkimusta Suomessa sekä toimia yhdysiteenä 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 ulkomaille
4. tiedottaa ajankohtaisista ilmansuojeluasioista jäsenlehdessään
5. antaa lausuntoja ja tekee esityksiä alansa kuuluvista asioista
6. harjoittaa julkaisutoimintaa
7. osallistuu kansainväliseen tiedonvaihtoon

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 Oikkonen
Tuula Pellikka
Janne Ruuth

YHTEYSTIEDOT / KONTAKT

ILMANSUOJELUYHDISTYS RY

Sihteeri Hanne Hartikainen
PL 136,
00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi

www.isy.fi



@ISY_fi



www.facebook.com/ilmansuojeluyhdistys

LUFTVÅRDSFÖRENINGEN

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
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

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

KIRJOITTAJAT 4/2022

TUULA KAJOLINNA

tutkija
VTT
tuula.kajolinna@vtt.fi

NELLI KASKI

ilmansuojeluasiantuntija
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY
nelli.kaski@hsy.fi

ANU KOUSA

ISY:n puheenjohtaja
anu.kousa@hsy.fi

VIET LE

Researcher
Finnish Meteorological Institute
viet.le@fmi.fi

JARKKO NIEMI

ilmansuojeluasiantuntija
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY
jarkko.niemi@hsy.fi

KATJA OHTONEN

erityisasiantuntija
ympäristöministeriö
katja.ohtonen@gov.fi

TUULA PELLIKKA

johtava tutkija
VTT
tuula.pellikka@vtt.fi

ELIAS VÄNSKÄ

väitöskirjatutkija
Itä-Suomen yliopisto, Sovelletun fysiikan
laitos
eliasva@uef.fi



* . PV73 *